



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SOROCABA

JOÃO PEDRO GOIVINO SILVA

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DE JUNDIAÍ (ETEJ) NA PRODUÇÃO DE
FERTILIZANTE ORGÂNICO**

Sorocaba / SP

2023

JOÃO PEDRO GOIVINO SILVA

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ESGOTO DE JUNDIAÍ (ETEJ) NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE ORGÂNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado como parte dos
pré-requisitos para a obtenção do título de
Engenheiro Ambiental, à Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cardoso de
Morais.

Sorocaba / SP

2023

Silva, João Pedro Goivino

S586a Análise da aplicação do lodo gerado na estação de tratamento de esgoto de Jundiaí (ETEJ) na produção de fertilizante orgânico / João Pedro Goivino Silva. -- Sorocaba, 2023

42 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

Orientador: Leandro Cardoso de Moraes

1. Lodo de esgoto. 2. Fertilizantes orgânicos. 3. Reciclagem de resíduos. 4. Águas residuais – Purificação – Tratamento biológico . I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

JOÃO PEDRO GOIVINO SILVA

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ESGOTO DE JUNDIAÍ (ETEJ) NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE ORGÂNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado como parte dos
pré-requisitos para a obtenção do título de
Engenheiro Ambiental, à Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Sorocaba, 05 de Abril de 2023

Prof. Dr. Leandro Cardoso de Moraes
Orientador

Profa. Dra. Cláudia Hitomi Watanabe Rezende
Banca Examinadora

Profa. Dra. Raquel Carnivalle Silva Melillo
Banca Examinadora

Sorocaba / SP

2023

RESUMO

O crescimento populacional e industrial desencadeou um aumento significativo na geração de efluentes domésticos e industriais. Neste sentido, o tratamento de efluentes apresenta-se como uma solução indispensável para o desenvolvimento urbano. Dentre as diferentes formas de tratar esses efluentes, o presente trabalho visa discorrer sobre o tratamento aeróbio biológico, com a finalidade de analisar a aplicação do lodo gerado no processo na produção de fertilizantes orgânicos. O estudo considerou a operação da estação de tratamento de esgoto de Jundiaí - SP (ETEJ), onde o lodo sedimentado nas lagoas de decantação é dragado e sofre um processo de desidratação, no qual segue para o processo de compostagem (higienização), onde o lodo desidratado (torta seca) é misturado com outras fontes de matéria orgânica. Após a higienização e atendendo as exigências das normas vigentes, o composto está apto para ser aplicado na agricultura. Vale destacar que a compostagem se apresenta como um método ambientalmente mais sustentável que a disposição em aterro sanitário, pois traz utilidade para o resíduo, que seria descartado em aterros, sendo inclusive economicamente mais atrativa, pois agrega valor comercial com a venda do fertilizante orgânico produzido.

Palavras-chave: fertilizante orgânico; saneamento; sustentabilidade.

ABSTRACT

Population and industrial growth triggered a significant increase in the generation of domestic and industrial effluents. In this sense, the treatment of effluents presents itself as an indispensable solution for urban development. Among the different ways of treating these effluents, the present work aims to discuss the biological aerobic treatment, with the purpose of analyzing the application of the sludge generated in the process in the production of organic fertilizers. The study considered the operation of the sewage treatment station in Jundiaí - SP (ETEJ), where the sludge sedimented in the decantation ponds is dredged and undergoes a dehydration process, in which it goes to the composting process (hygiene), where the Dehydrated sludge (dry cake) is mixed with other sources of organic matter. After cleaning and meeting the requirements of current regulations, the compost is ready to be applied in agriculture. It is worth mentioning that composting is presented as an environmentally more sustainable method than disposal in landfills, as it brings utility to the waste, which would be disposed of in landfills, and is even more economically attractive, as it adds commercial value with the sale of the organic fertilizer produced.

Keywords: organic fertilizer; sanitation; sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Tratamento de Esgoto	12
3.1.1 DEFINIÇÕES	12
3.1.2 OPERAÇÕES E PROCESSOS	12
3.1.3 RESÍDUOS GERADOS	15
3.2 Lodo de esgoto	15
3.2.1 USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO	16
3.2.1.1 Reciclagem de nutrientes	17
3.2.1.2 Patógenos	17
3.2.1.3 Metais pesados	18
3.2.1.4 Panorama geral	19
3.2.2 COMPOSTAGEM	20
3.2.3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	22
3.2.4 NORMAS PARA UTILIZAÇÃO DO LODO	22
4 METODOLOGIA	24
5 RESULTADOS	25
5.1 Área de estudo	25
5.1.1 A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE JUNDIAÍ - SP (ETEJ)	25
5.1.2 GALPÃO DE COMPOSTAGEM	27
5.1.2.1 Compostagem aerada por revolvimento	29
5.1.2.2 Compostagem com aeração forçada	31
5.1.3 PENEIRAMENTO	31
5.2 Análise da aplicação do lodo: Compostagem e Aterro Sanitário	32
5.3 Aspectos operacionais: Aterro Sanitário	33
5.4 Aspectos operacionais: Compostagem	34
5.5 Aspectos Ambientais	35
6 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o ser humano, tende a viver em bandos, e sempre teve o seu desenvolvimento e prosperidade pautados pelo acesso aos recursos essenciais à sua sobrevivência, quais sejam, água e alimento. Devido a essa necessidade fisiológica/biológica, durante séculos o homem se viu obrigado a empregar os meios adequados para adquirir, armazenar e transportar esses recursos, de maneira a elaborar ferramentas e construir estruturas para este fim (HOPPE, 2018).

No que tange a água, a limitação imposta às populações humanas pela escassez deste recurso, pode ser evidenciada pelo fato das civilizações antigas que prosperaram se localizarem próximo a grandes bacias hidrográficas, o que possibilitou o seu desenvolvimento e exerceu influência sobre as mesmas. Uma civilização que desenvolveu um manejo e tratamento notável da água foi o Antigo Egito, localizada na região norte da África, entre os anos 2100 - 1700 a.C. O manejo realizado por esta civilização geria o fluxo de águas do rio Nilo por um dispositivo administrativo, que controlava o fluxo a montante e a jusante do rio anualmente. Além disso, desenvolveram técnicas de irrigação, construção de diques, canalizações exteriores e subterrâneas, além de aquedutos e cisternas para sedimentação e clarificação de água. Outro método de tratamento empregado foi o armazenamento de água em recipientes de barro, durante vários meses, para que ocorresse o processo de decantação, visando torná-la apta para o consumo humano (ARISTIDES, 2018).

Conforme a sociedade humana foi se desenvolvendo, alocando os recursos de forma mais eficiente, as demandas mais básicas, como fornecimento de água potável e alimento foram supridas e, com isso, houve o surgimento de novos desafios a serem enfrentados. Um deles diz respeito ao saneamento básico, que além de tratar do abastecimento de água, engloba também serviços como esgoto sanitário, gestão de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais (ARISTIDES, 2018).

Nos dias atuais, vários Estados implementaram legislações que visam regulamentar o setor de saneamento, com diretrizes que tratam da contaminação dos solos, corpos hídricos e por consequência dos alimentos.

No Brasil, a lei nº 14.026/2020 - Lei do Saneamento Básico, faz esse papel, uma vez que atualizou o marco regulatório do saneamento básico, no qual alterou de maneira significativa a regulação do setor pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), concedendo à agência as atribuições de controlar e fiscalizar a qualidade e eficiência dos serviços prestados, regular as tarifas e estabelecer metas de universalização dos serviços públicos, estabelecer critérios para contabilidade regulatória, dentre outros. Além disso, o novo marco ainda contempla as demais diretrizes que se referem às condições necessárias para o lançamento de efluentes.

No setor do saneamento, o sistema de tratamento é composto por métodos de tratamento, que podem ser divididos em operações e processos unitários. Esses conceitos são usualmente utilizados em uma mesma unidade de tratamento, uma vez que podem ocorrer de maneira simultânea.

Com o estabelecimento do novo marco do saneamento básico, foi feita a previsão de que até o ano de 2033 cerca de 90% da população brasileira terá acesso a coleta e tratamento de esgoto. Todavia, com o aumento na geração de esgoto doméstico e, por consequência, a maior produção de lodo, surge a preocupação com o tratamento e destinação dessa quantidade de resíduo.

Neste sentido, possíveis alternativas para essa questão giram em torno da destinação final em aterros sanitários ou, do processamento e tratamento do lodo, com o aproveitamento do mesmo na agricultura, atividades florestais ou recuperação de solo degradado (RIGO, 2014). Considerando que a avaliação dessas alternativas envolve múltiplas variáveis de diferentes campos, quais sejam, econômico, social, ambiental e legal, a decisão da aplicação ou destinação do lodo requer um exame cuidadoso.

Conforme Quintana (2006) a aplicação do lodo para fins agrícolas, de forma a aproveitar a abundância de macro, micronutriente e de matéria orgânica, exige um tratamento prévio para que o material se torne livre de patógenos. Dessa forma, a compostagem do lodo, além de reutilizar a matéria orgânica e os nutrientes

presentes, realiza a higienização desse material, tornando possível a aplicação do produto em diferentes culturas.

No sentido de possibilitar a utilização do lodo como matéria prima, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 375/2006 definiu diretrizes e procedimentos para a utilização agrícola. A norma apresenta duas classes diferentes de lodo em função da concentração de patógenos no resíduo, indicando os tipos de cultura em que é permitida ou restrita a aplicação do lodo de acordo com a sua classificação.

Nesta mesma perspectiva, o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) por meio da instrução normativa nº 61/2020, reformulou as normas então estabelecidas sobre as especificações, garantias e tolerância utilizados na classificação de fertilizantes orgânicos simples, mistos, minerais e biofertilizantes utilizados na agricultura.

O lodo biológico é um produto resultante do processo de tratamento, sendo caracterizado por um material com uma composição complexa, dependendo de fatores como a infraestrutura urbana, do sistema de tratamento e dos hábitos da população, suas características químicas, físicas e biológicas podem apresentar variações. No geral, trata-se de um material rico em nitrogênio, fósforo, micronutrientes e matéria orgânica, bem como microrganismos com potencial de transmitir patógenos como ovos de helmintos, protozoários, bactérias e vírus.

Assim, o presente trabalho concentra-se em discorrer sobre o lodo gerado no processo de tratamento de esgoto na estação de tratamento de esgoto de Jundiaí - SP (ETEJ), sua aplicação e alternativas viáveis.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa analisar o uso do lodo proveniente do tratamento de esgoto para a produção de fertilizante orgânico na Estação de Tratamento de Esgoto de Jundiaí - SP (ETEJ).

2.2 Objetivos Específicos

- Descrever o processo de tratamento do esgoto;
- Discorrer sobre a aplicação do lodo na produção de fertilizante;
- Avaliar os aspectos ambientais e operacionais do emprego do lodo para fins agrícolas e na destinação para aterros sanitários.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Tratamento de Esgoto

3.1.1 DEFINIÇÕES

Conforme a ABNT-NBR 9648 de 1986, o esgoto sanitário é definido como o despejo líquido formado por esgoto doméstico e industrial, água, infiltrações e contribuição pluvial parasitária em um sistema de separação de esgoto sanitário. Sendo estabelecido como:

Esgoto doméstico: Despejo líquido resultante do uso das águas para higiene e necessidades fisiológicas humanas;

Esgoto industrial: Despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamentos estabelecidos;

Água e infiltração: Toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;

Contribuição pluvial parasitária: Parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986, p.1-2).

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), última etapa pela qual o esgoto sanitário passa, ao submeter este aos processos que possibilitam o seu retorno ao ambiente, produzem um resíduo chamado lodo de esgoto, conhecido também por biossólido (RIGO, 2014).

3.1.2 OPERAÇÕES E PROCESSOS

O líquido conhecido como esgoto é formado quando não há resíduos industriais presentes, além disso, é composto em sua maior parte por água (cerca de 99,87%) e contém pequenas quantidades de sólidos sedimentáveis (0,04%), sólidos não sedimentáveis (0,02%) e substâncias dissolvidas (0,07%) (NUVOLARI, 2003).

A característica do esgoto varia em função do uso da água, dos hábitos e práticas das pessoas, que alteram sua composição e, por consequência, seus parâmetros físicos, químicos e biológicos apresentados (VON SPERLING, 1996).

A remoção dessas fases, e logicamente dos poluentes, de forma a adequar o esgoto tratado a uma qualidade desejada ou a norma vigente, está associada aos conceitos de níveis de tratamento e eficiência de tratamento.

A eficiência de remoção de poluentes é dada pela relação (%) entre a sua concentração afluente e efluente, como mostra a Equação 1 (VON SPERLING, 1996):

Equação 1 - Eficiência de remoção de poluentes.

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996).

Sendo:

- **E** = Eficiência de remoção (%);
- **C_o** = Concentração afluente do poluente (mg/L);
- **C_e** = Concentração efluente do poluente (mg/L)

A classificação usual divide os níveis de tratamento do esgoto considerando a remoção dos materiais de maior dimensão até a remoção de poluentes microscópicos específicos (Tabela 1).

O pré-tratamento é responsável pela remoção dos sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa a remoção de sólidos suspensos sedimentáveis e matéria orgânica, em ambos prevalece a utilização de mecanismos físicos para remoção (SPERLING, 1996).

No tratamento secundário o objetivo é a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes como fósforo e nitrogênio, nessa etapa prevalecem processos biológicos. Já o tratamento terciário destina-se a remoção daqueles poluentes que não foram removidos no nível secundário ou de poluentes específicos (SPERLING, 1996).

Tabela 1 - Níveis de tratamento de esgoto

Nível	Remoção
<i>Preliminar</i>	- Sólidos em suspensão grosseiros (materiais maiores e areia)
<i>Primário</i>	- Sólidos em suspensão sedimentáveis - Matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão (DBO em suspensão)
<i>Secundário</i>	- DBO em suspensão (matéria orgânica fina não removida no tratamento primário) - Matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos (DBO solúvel)
<i>Terciário</i>	- Patogênicos - Metais pesados - Compostos não biodegradáveis - Nutrientes

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996).

Conforme Sperling (1996), os métodos de tratamento são divididos em operações e processos unitários, e a atuação conjunta destes compõe os sistemas de tratamento.

As operações físicas unitárias referem-se aos métodos de tratamento que utilizam forças físicas para a remoção dos poluentes, como sólidos grosseiros ou em suspensão (ex: gradeamento, filtração, flotação, sedimentação, floculação). Enquanto que os processos se classificam em biológicos unitários, onde a remoção dos contaminantes é predominantemente feita por meio de atividade biológica, e químicos unitários, na qual através da adição de produtos químicos ou reações químicas acontece a remoção ou conversão dos contaminantes (METCALF; EDDY, 1991).

3.1.3 RESÍDUOS GERADOS

A destinação dos resíduos sólidos gerados nas diferentes fases do tratamento é uma das questões mais importantes do tratamento de esgoto. Estes resíduos são compostos em geral por areia, material gradeado e lodo, onde destes subprodutos o mais importante em termos de volume e relevância é o lodo, e sua disposição irregular pode acarretar em graves impactos ambientais (VON SPERLING; ANDREOLI, 2010).

O lodo de esgoto é composto por elementos que podem ser utilizados como fertilizantes, incluindo matéria orgânica e nutrientes, porém também contém componentes perigosos para a saúde e o meio ambiente, como metais pesados, poluentes orgânicos e micro-organismos patogênicos (SILVA, 2001).

Neste sentido, para que o lodo possa ser destinado de forma adequada este deve passar por processos para atender as exigências vigentes da destinação final escolhida pelo gerador (PIMENTEL, 2012). Para isso, seu tratamento se dá através da estabilização, secagem e higienização. Com a finalidade de minimizar características como a geração de maus odores, potencial atração de vetores e o teor de microrganismos patogênicos, emprega-se a chamada estabilização do lodo, que através da digestão aeróbia ou anaeróbia remove parte dos patógenos deste sólido (FERNANDES, 2016).

Dentre os processos de tratamento, a secagem é feita para aumentar a porcentagem de sólidos presente no lodo, e é fundamental para o seu gerenciamento e diminuição dos custos com transporte do material. Esse processo ocorre através do desaguamento, desidratação ou adensamento do resíduo.

Já o processo de higienização do lodo visa tornar suas características sanitárias compatíveis com o uso em que será empregado, de forma geral busca reduzir o nível de patogênicos a níveis que não venham a causar risco à saúde humana ou impactos negativos ao meio ambiente. Para isso são empregados métodos como a compostagem, secagem térmica ou adição de cal virgem (caleação) (PIMENTEL, 2012).

3.2 Lodo de esgoto

O produto final dos processos de tratamento de esgoto, o lodo, é um produto rico em matéria orgânica e nutrientes, podendo ser utilizado de forma benéfica na agricultura, propiciando a reciclagem de nutrientes (BETTIOL; CAMARGO, 2006a). Contudo, para esta aplicação é essencial que o lodo de esgoto não apresente teores de metais pesados e de agentes patogênicos acima dos limites estabelecidos pelas normas reguladoras em vigência (TEIXEIRA, 2012).

O lodo gerado em uma ETE pode ter duas origens básicas, quais sejam, esgoto doméstico e esgoto industrial. O primeiro constitui-se majoritariamente de efluentes residenciais, com a possibilidade de ser contaminado por lançamentos irregulares na rede coletora, o que acaba levando material contaminado para a ETE. Já o lodo gerado a partir de esgoto industrial apresenta teores significativos de metais pesados e patógenos, variando de acordo com o processo produtivo da indústria em questão, tornando o material inadequado para a aplicação agrícola (TEIXEIRA, 2012).

A partir disso, o lodo bruto pode ser descrito como um subproduto do processo de tratamento de esgoto, que apresenta grande potencial para ser aplicado na agricultura, principalmente em regiões degradadas. No entanto, é importante monitorar sua utilização, evitando a dispersão de metais pesados e outros microorganismos patogênicos que não foram removidos no solo ou nos corpos hídricos (SPERLING; ANDREOLI, 2010).

A denominação de biossólidos foi utilizada com o objetivo de valorizar e fomentar o uso do subproduto do tratamento de esgoto, o lodo, principalmente na agricultura. Para ser classificado como biossólido, o material precisa passar por uma higienização adequada e apresentar características que o torne apto para a aplicação em cultivos (TEIXEIRA, 2012).

Segundo Tsutiya (2000), existem diversas alternativas para o destino final ou aproveitamento do biossólido, tais como: aplicação agrícola, destinação final em aterros sanitários, reutilização industrial na fabricação de agregados leves, tijolos, cerâmica e cimento, incineração, transformação em óleo combustível, ou para recuperação de áreas degradadas através do "Landfarming".

3.2.1 USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO

Os principais benefícios da aplicação do lodo em solos agrícolas incluem a adição de nutrientes importantes como nitrogênio, fósforo, zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio. Normalmente o biossólido fornece ao solo uma quantidade suficiente de nutrientes para as culturas, no entanto é importante lembrar que a quantidade e a disponibilidade desses nutrientes podem não ser sempre equilibradas para as plantas de forma imediata (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

O uso do lodo como fertilizante na agricultura é uma possibilidade para a ciclagem dos nutrientes, melhorando as condições do solo. Estas vantagens são amplamente atribuídas à presença de grandes quantidades de matéria orgânica nos biossólidos (EPSTEIN, 2002).

3.2.1.1 Reciclagem de nutrientes

O uso contínuo do solo para agricultura, sem práticas adequadas de manejo, pode levar a uma perda significativa de matéria orgânica. Segundo Reeves (1997) a matéria orgânica, indicador fundamental da qualidade do solo, atua como um armazenador de nutrientes importantes, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes, que são liberados após a morte e decomposição das plantas. Por isso, a biomassa microbiana é considerada uma importante fonte de nutrientes para o solo (GAMA-RODRIGUEZ, 2008).

Nesse sentido, o lodo de esgoto é considerado uma fonte rica em nutrientes, mas suas concentrações de N, P e K são geralmente menores em comparação com fertilizantes convencionais. No entanto contém inúmeros micronutrientes essenciais para as plantas, como Zn, B, Cu, Fe e Mn (Zinco, Boro, Cobre, Ferro e Manganês), que não estão presentes nos fertilizantes comercializados, podendo assim ser aplicado em solos com deficiência destes, tais como alcalinos e arenosos (FERNANDES, 2016).

A reciclagem agrícola transforma o lodo (material usualmente descartado) em matéria prima para agricultura, colaborando para “fechar” o ciclo dos nutrientes previamente retirados do solo pela agricultura, sendo assim uma alternativa de produção agrícola sustentável (EPSTEIN, 2002).

3.2.1.2 Patógenos

Antes de ser utilizado na agricultura, o lodo precisa passar por um processo de tratamento para garantir a diminuição da presença de agentes patogênicos e impedir a atração de vetores. Esse tratamento pode incluir técnicas como digestão aeróbia, digestão anaeróbia, estabilização alcalina, secagem térmica e compostagem (QIN LU; STOFELLA, 2012).

Conforme a Resolução Conama nº 375/2006, esses processos que resultam na redução significativa de patógenos podem ser descritos como:

- Digestão Aeróbia – lodo submetido a presença de oxigênio, com retenção mínima de 40 dias a 20°C ou 60 dias a 15°C;
- Digestão Anaeróbia – lodo submetido a ausência de oxigênio, por no mínimo 15 dias a 35°- 55°C ou 60 dias a 20°C;
- Estabilização com cal – adição suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12 durante no mínimo 2 horas;
- Secagem em leitos - de areia ou bacias pavimentadas, por no mínimo 3 meses;
- Compostagem - utilizando qualquer um dos métodos citados acima, contanto que a biomassa mantenha uma temperatura mínima de 40°C, por no mínimo 5 dias, com variações de 55°C, por 4 horas consecutivas durante o período.

A fim de tornar o lodo de esgoto seguro para aplicação em solo, é necessário realizar seu tratamento, para minimizar a presença de patógenos humanos como coliformes fecais, vírus e ovos de helmintos. É importante monitorar a quantidade desses organismos no lodo e no solo em que será aplicado (PAREDES FILHO, 2011).

3.2.1.3 Metais pesados

Os metais pesados são, majoritariamente, oriundos de efluentes industriais e podem ser facilmente removidos do lodo, havendo controle e monitoramento da fonte do esgoto recebido e do solo em que será aplicado (FERNANDES, 2016).

A presença de metais pesados em excesso pode ser prejudicial ao ambiente, pois podem se acumular nas plantas e na cadeia alimentar, podendo ser liberados a partir dos componentes orgânicos e minerais do solo (BETTIOL; CAMARGO, 2006b).

Para que possa ser utilizado na agricultura, o lodo de esgoto e/ou produtos derivados devem atender as concentrações máximas de metais pesados, seguindo

as diretrizes da Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Tabela 2 - Concentração máxima de metais pesados no lodo de esgoto ou produtos derivados.

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Resolução CONAMA nº 375 (2006).

3.2.1.4 Panorama geral

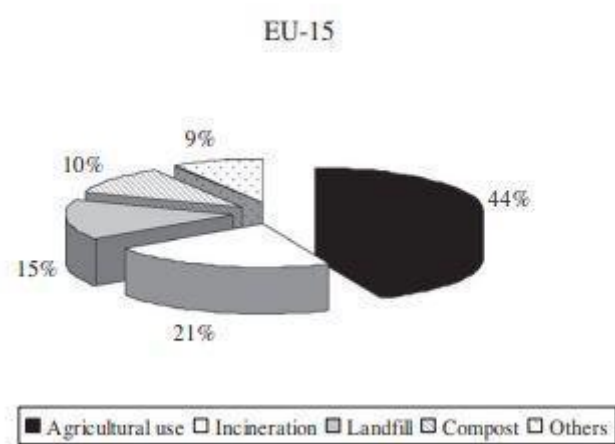
Os solos do Brasil apresentam uma acidez elevada e fertilidade limitada. Com isso, busca-se novas abordagens para recuperar o solo, melhorando suas características e restaurando suas condições (SOARES, 2005).

O lodo de esgoto, desde que devidamente higienizado e com baixo teor de metais pesados, pode desempenhar esse papel. Algumas das possíveis aplicações agrícolas do biossólidos são, a silvicultura, a floricultura, o paisagismo, e a produção de alimentos, contanto que atendam às diretrizes das normas vigentes (EPSTEIN, 2002). Países como os Canadá, Estados Unidos e os da União Europeia já aplicam o lodo ao solo há pelo menos vinte anos (FERNANDES, 2016).

Enquanto no Brasil apenas 3% de todo o lodo de esgoto gerado é aplicado na agricultura, nos Estados Unidos aproximadamente 65% desse material é usado para fins agrícolas. (PENSAMENTO VERDE, 2014).

O gráfico abaixo apresenta os métodos de disposição de lodo mais utilizados pelos 15 países mais desenvolvidos da União Europeia, denominados EU-15, no ano de 2005:

Gráfico 1 - Métodos de disposição de lodo no EU-15 para 2005.



Fonte: Adaptado de Kelessids e Stasinakis (2012).

3.2.2 COMPOSTAGEM

O processo de compostagem consiste na decomposição controlada de materiais orgânicos, promovida por microrganismos e reações físico-químicas. Por ser um processo majoritariamente aeróbico, a decomposição utiliza oxigênio para transformar o carbono do material orgânico em substâncias similares ao húmus do solo e de minerais (PAIGNÉ; GIRARDIN, 2004). Durante a compostagem, ocorre uma degradação biológica que resulta em energia, dióxido de carbono, água e calor (INÁCIO; MILLER, 2009).

A estabilização do composto é essencial para garantir que os patógenos sejam eliminados, exigindo-se condições ideais de umidade e revolvimento para

isso. Além disso, o processo de compostagem deve controlar a temperatura para garantir que ovos de helmintos, pequenos insetos, sementes e pragas relacionadas às plantas sejam removidos (FERNANDES, 2016).

O uso do composto orgânico traz muitos benefícios ao solo e ao meio ambiente por ser uma fonte de matéria orgânica e nutrientes, ajudar a elevar a CTC, aumentar a estabilidade do pH, tornar mais eficiente o uso de fertilizantes químicos, aumentar a presença de microrganismos no solo e suprimir a presença de patógenos. Além disso, há ganhos ambientais indiretos, como a redução da poluição hídrica, a extensão da vida útil de aterros sanitários e a diminuição da emissão de metano decorrente da disposição de lixo urbano (INÁCIO; MILLER, 2009).

A compostagem pode ser feita por meio de várias técnicas, incluindo compostagem por revolvimento de leiras, compostagem em leiras estáticas com aeração forçada, compostagem em sistemas fechados e compostagem em leiras estáticas com aeração natural (INÁCIO; MILLER, 2009).

De acordo com Andreoli, Lara e Fernandes (1999), na compostagem com revolvimento de leiras os resíduos são dispostos em seção triangular com 3,0 a 4,0 m de base e 1,5 a 2,0 m de altura. As leiras são dispostas em áreas abertas e aeração acontece pelo revolvimento feito por máquinas pás carregadeiras e revolvedoras.

Outro método de aeração, é a instalação de tubos perfurados na base da leira, como utilizado no sistema de leiras estáticas. Esse método, como o nome sugere, utiliza leiras que permanecem inertes por todo o processo, e a aeração se dá pela tubulação localizada abaixo dos resíduos.

Ambos os métodos que utilizam leiras são empregados na compostagem do lodo de esgoto proveniente da Estação de Esgoto de Jundiaí (ETEJ), cuja responsável pela operação é a Companhia Saneamento de Jundiaí (CSJ).

O indicador de que o composto está pronto é a estabilização da temperatura da leira, seja ela do tipo estática ou com revolvimento. Quando há aumento de temperatura, significa que ainda há atividade microbiológica em curso e a estabilização da temperatura indica que o processo de compostagem está completo (ANDREOLI, 1999).

Os fatores críticos, para garantir a eficiência do processo de decomposição e por consequência a qualidade do composto final, são: aeração, temperatura, pH, umidade, relação C/N e a adição de material estruturante (fonte de carbono). É

importante destacar que a relação entre os fatores estão interrelacionados, sendo assim, alterações em um podem impactar também nos demais (TEIXEIRA, 2012).

3.2.3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Área degradada pode ser definida como uma área cujas características originais foram significativamente alteradas por ação humana ou natural, e requer intervenção humana para recuperar seu estado inicial ou se aproximar dele (NOFFS, 2011).

Vários métodos em conjunto têm sido utilizados visando a recuperação de áreas degradadas, grande parte combina a adição de matéria orgânica, oriunda de diferentes fontes, e técnicas mecânicas que visam penetrar as camadas de solo compactadas (CAMPOS; ALVES, 2008).

De modo a trazer benefícios ambientais de forma indireta, dentre as diferentes fontes de matéria orgânica, destaca-se o lodo de esgoto, por ser um composto rico em matéria orgânica, macro e micronutrientes, no qual sua aplicação é utilizada para esta finalidade.

Nesta perspectiva, a utilização do lodo de esgoto no solo tem vários benefícios, tais como a formação de agregados, o que facilita a penetração do sistema radicular das plantas e o aumento da vida microbiana, aumento da resistência à erosão, capacidade de retenção de água, fornecimento de nutrientes e aumento do rendimento de matéria verde e seca (TSUTIYA, 2001).

Todavia vale destacar que ainda há carência de informações para orientar o uso seguro do lodo como condicionador de solos degradados. Sendo necessário realizar estudos que apontem a aplicabilidade segura desse resíduo, destacando seus benefícios para as propriedades físico-químicas do solo e para a fertilidade, bem como os impactos que essa aplicação pode causar (BERTON, 2000).

3.2.4 NORMAS PARA UTILIZAÇÃO DO LODO

A utilização do lodo em diferentes aplicações só pode ser feita seguindo critérios estabelecidos pelas normas vigentes, as quais definem a qualidade aceitável do material para determinada aplicação, assegurando que o mesmo esteja devidamente higienizado.

De acordo com a NBR 10004:2004, os resíduos sólidos são classificados em duas categorias de acordo com potencial risco ao meio ambiente e à saúde pública, sendo perigosos (Classe I) e não perigosos (Classe II). O lodo de esgoto está enquadrado na Classe I:

- Resíduos de Classe I – Perigosos; São aqueles que apresentam propriedades físicas, químicas ou infecto contagiosas. Podem provocar riscos à saúde pública, ao meio ambiente, quando descartado de forma inadequada. Exemplos: Óleo lubrificante usado ou contaminado, Óleo de corte e usinagem usado, Equipamentos descartados contaminados com óleo, Lodos de galvanoplastia, Lodos gerados no tratamento de efluentes líquidos de pintura industrial, efluentes líquidos ou resíduos originados no processo de preservação da madeira, Acumuladores elétricos a base de chumbo (baterias) e Lâmpada com vapor de mercúrio após o uso (fluorescente) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 3-4).

A resolução CONAMA nº 375/2006, de 29 de agosto de 2006, estabelece diretrizes e procedimentos para o uso de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário na agricultura. É obrigatório seguir esses critérios de aplicação do lodo de esgoto para fins agrícolas, sob pena de ser considerado crime ambiental ou estar sujeito a sanções em caso de não cumprimento.

Para isso foram estabelecidos critérios para a caracterização do lodo, considerando seu potencial agrônomo, a composição química, definida como a presença de substâncias orgânicas e inorgânicas, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e a estabilidade do material (CONAMA, 2006).

A utilização do lodo de esgoto como fertilizante orgânico foi regulamentada pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA) por meio das Instruções Normativas nº 25 de 23/07/2009 e nº 27 de 05/06/2006. O lodo de esgoto pode ser registrado como produto fertilizante orgânico composto classe D e a Instrução Normativa 27 estabeleceu limites de tolerância para metais pesados, coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* sp.

A Instrução Normativa nº 61 do MAPA, de 08 de Julho de 2020, estabeleceu uma nova classificação para fertilizantes orgânicos baseada nas matérias-primas utilizadas na sua produção, classificando o fertilizante produzido através de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto como Classe B.

4 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em quatro fases,:

- Na primeira procedeu-se a revisão bibliográfica acerca da temática de saneamento básico, no qual foram consideradas as palavras chave “tratamento de lodo, aplicação de lodo na agricultura, compostagem, aterro sanitário”, nas ferramentas de busca Scholar Google e Scopus.
- Na segunda fase foi realizado o levantamento de informações sobre a ETEJ e em seguida a preparação e seleção dos dados relevantes para a temática (área da estação, eficiência do tratamento de esgoto, capacidade de tratamento de esgoto, quantidade de lodo dragado e produção de torta seca), bem como imagens disponíveis no acervo da estação referentes a estrutura, maquinário e equipamentos utilizados nos processos. Além disso foi realizada a confecção de croqui de localização, através do software Google Earth, com a imagem da data de 28/02/2023 na escala e zoom de 400m.
- Já na terceira fase foi realizado o levantamento de campo, no período de Setembro a Dezembro de 2022, com visitas in loco, registros fotográficos e observação das condições ambientais da ETEJ. A fase final constitui-se da síntese das informações coletadas e elaboração do trabalho apresentado.

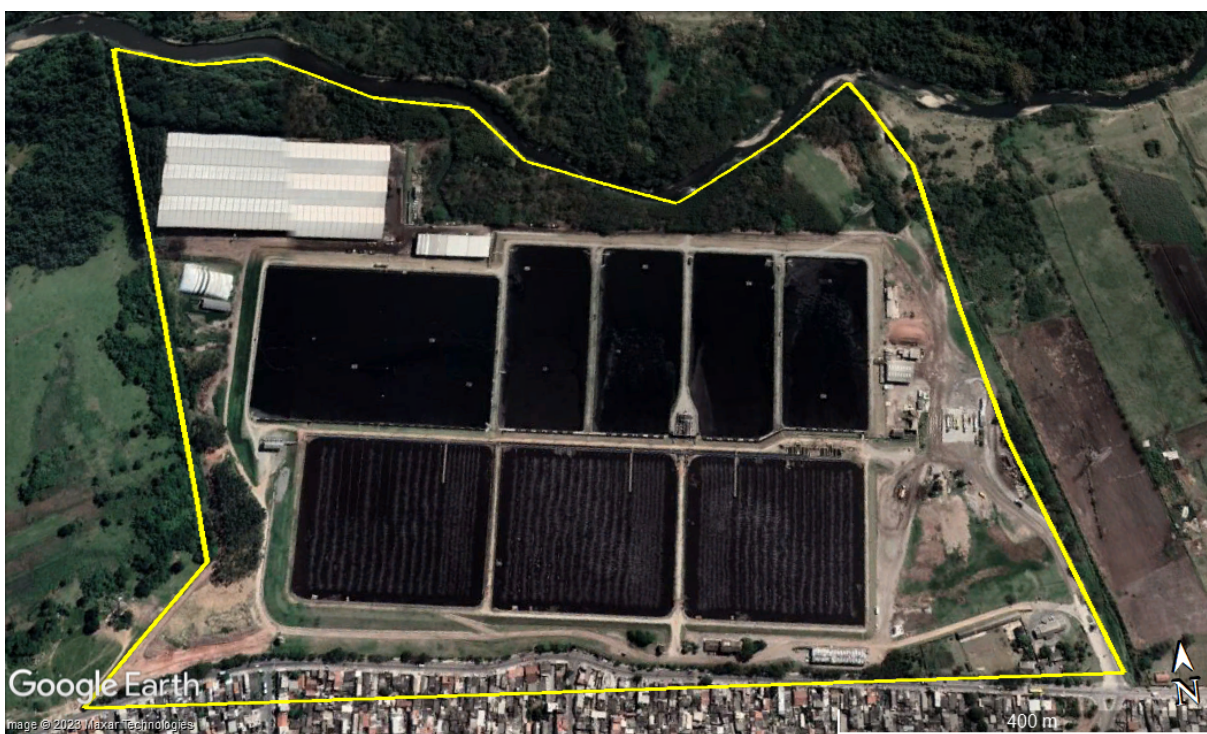
5 RESULTADOS

5.1 Área de estudo

5.1.1 A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE JUNDIAÍ - SP (ETEJ)

A Estação de Tratamento de Esgoto de Jundiaí (ETEJ), possui uma área de 598.700 m², e está localizada na estrada municipal do Varjão, 4520 - Jardim Novo Horizonte, no município de Jundiaí, Estado de São Paulo (Figura 1).

Figura 1 - Vista aérea ETEJ



Fonte: Google Earth, 2022

A ETEJ é a principal responsável pelo tratamento de esgoto doméstico de toda a população de Jundiaí, aproximadamente 426.935 habitantes segundo o IBGE.

De acordo com os dados publicados mensalmente no site da ETEJ o volume mensal médio de esgoto recebido é de 2.422.047 m³, com uma carga de DBO na entrada de 672 mg/L O₂. A eficiência média do tratamento em 2022, dada em remoção de carga orgânica, ficou em 96,2%.

O sistema de tratamento utilizado na ETEJ é simples e robusto, composto por lagoas de aeração com mistura completa seguida de lagoas de decantação. O esgoto bruto entra via emissário na estação e passa inicialmente por uma etapa de pré-tratamento, o gradeamento grosso e médio, onde ficam retidos os sólidos em suspensão grosseiros. Em seguida, o efluente passa pelo poço elevatório onde é recalcado para o ponto mais alto da estação, passando pelo desarenador e então adentrando as lagoas de aeração, onde começa o tratamento primário.

Nas lagoas aeradas a atividade dos microrganismos é estimulada com oxigênio difuso por membranas e ao digerirem a matéria orgânica se aglutinam formando flocos biológicos. Após o tempo de detenção necessário o esgoto em tratamento passa, por gravidade, para as lagoas de decantação, onde os flocos biológicos formados sedimentam e se depositam ao fundo das lagoas. No final das lagoas de decantação há uma cortina que retém os flocos que ainda não sedimentaram, restando apenas o esgoto tratado que é lançado de volta ao Rio Jundiáí.

Após todo o processo de tratamento, o lodo de esgoto gerado é dragado das lagoas de decantação e bombeado para o galpão de desidratação, onde é misturado com uma solução de polímero catiônico e submetido à centrifugação por Centrífugas Decanter (Figura 3). O lodo desidratado (torta seca), após atingir o teor de sólidos apropriado para o processo de compostagem, é acondicionado em caminhões que, uma vez cheios, transportam a torta seca para o galpão de compostagem.

De acordo com dados da ETEJ de 2022, a produção mensal média de torta de lodo, destinada ao galpão de compostagem, é de 2.557 ton, aproximadamente 85 ton/dia.

Figura 2 - Centrifuga Decanter *Alfalaval* Aldec



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 3 - Saída da centrífuga e disposição da torta seca nos caminhões



Fonte: Autoria própria, 2022.

5.1.2 GALPÃO DE COMPOSTAGEM

O tratamento do lodo na própria ETEJ entrou em operação em 2000, e inicialmente o lodo gerado passava apenas pelo processo de secagem, para sua aplicação como condicionador de solo.

No ano de 2007 foi construída a estufa de compostagem (Figura 5) onde o lodo desidratado (torta seca) é misturado com materiais agregantes como cascas de

frutas e legumes, podas de árvore bruta ou triturada, produtos alimentícios vencidos, restos de alimentos provenientes de restaurantes, supermercados, etc.

A área da estrutura era utilizada para a disposição dos resíduos em leiras, estáticas ou com revolvimento por máquinas. Porém, no ano de 2018, com a finalidade de aumentar a capacidade de tratamento dos resíduos foi construído o galpão de compostagem (Figura 6), com uma área coberta de 30.000 m². A estrutura do galpão atual é feita de pilares de concreto, armação em metal e cobertura de telhas pré fabricadas em concreto.

Figura 4 - Estufa de compostagem ETEJ



Fonte: Prefeitura de Jundiaí, 2017.

Figura 5 - Galpão de compostagem



Fonte: Autoria própria, 2022.

O processo de compostagem dos resíduos dispostos em leiras estáticas e com revolvimento ocorre da mesma forma e no mesmo local, diferenciando-se apenas pelo meio utilizado para aeração.

A adição de materiais estruturantes, que também servem como fonte de carbono, e demais insumos com alto valor agrônômico (calcário, cama-de-frango, resíduo de café, fertilizantes minerais e outros) é feita para mitigar a geração de maus odores no processo e aumentar a qualidade do produto final.

5.1.2.1 Compostagem aerada por revolvimento

A compostagem por meio de leiras com revolvimento mecânico é um processo simples, onde o lodo é disposto periodicamente nas leiras e as máquinas revolventes passam sobre estas promovendo a secagem e mistura do material estruturante.

As leiras seguem um padrão aproximado de 240 m de comprimento, 5 m de largura na base e 2 m de altura, e para a sua formação é necessária a dosagem correta de agregantes para a estruturação da massa de lodo em processo.

Devido ao grande volume de lodo e demais resíduos que são recebidos diariamente no galpão, equipamentos de linha média e pesada são utilizados no processo, como por exemplo pás carregadeiras (Figura 6), caminhões, tratores e revolventes (Figura 7). O operador posiciona o revolvedor sobre determinada leira e inicia o processo (Figura 8), em seguida começa o monitoramento de umidade e temperatura da leira revolvida.

Figura 6 - Pá carregadeira Volvo L60F



. Fonte: Acervo pessoal ,2022.

Figura 7 - Trator *John Deere* 6190 J e Revolvedor *Menart* SP-50



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Figura 8 - Revolvimento das leiras



Fonte: Tera Ambiental, 2023.

5.1.2.2 Compostagem com aeração forçada

A disposição dos resíduos em leiras estáticas é indicada majoritariamente para a digestão de resíduos que apresentem potencial geração de maus odores como produtos alimentícios fora da especificação, restos de legumes e verduras, resto de comida e lodo.

Os resíduos (materiais estruturantes, fonte de carbono e lodo) são dispostos em leiras de aproximadamente 30 m de comprimento, 5 m de largura na base e 3 m de altura, e são aerados por tubulações que ficam abaixo das leiras.

Sopradores industriais, periodicamente, fornecem a aeração necessária para o processo e, após o tempo mínimo de 50 dias e avaliação do técnico responsável (monitoramento de temperatura e umidade), a leira poderá seguir para o peneiramento.

5.1.3 PENEIRAMENTO

Caso apresentem as condições apropriadas, o material das leiras estáticas e revolvidas é direcionado para o processo de peneiramento. Uma vez peneirado, o

composto é empilhado e é feito o processo de amostragem para análise de parâmetros de qualidade do produto final e monitoramento de metais pesados e patógenos.

Os resultados obtidos são avaliados pelo técnico responsável e reportados ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

5.2 Análise da aplicação do lodo: Compostagem e Aterro Sanitário

A operação da ETEJ iniciou-se no ano de 1998 e por consequência o lodo gerado no processo de tratamento foi se acumulando desde então nas lagoas de decantação. A partir de 2002 esse resíduo começou a ser dragado e devido a não disponibilidade de aterros sanitários nas proximidades e a inviabilidade econômica de transportar esse material até outros aterros, a estação optou pelo processo de secagem para aplicação do mesmo como condicionador de solo.

Em razão da origem do composto, esgoto sanitário, os produtores agrícolas e outros possíveis interessados não estavam dispostos a pagar pelo material, o que obrigou a ETEJ a doar o lodo tratado, arcando com os custos do processo e de transporte até os agricultores.

Com o avanço de novos métodos e normas para aplicação do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto para fins agrícolas, a produção de adubo orgânico, através da compostagem, foi implementada, o que inaugurou uma nova oportunidade para a estação.

Os custos e despesas relacionados ao tratamento, anterior de secagem e atual de desidratação, e transformação em composto eram similares em comparação com a outra opção, que era a disposição em aterros sanitários.

Vale destacar que toda empresa geradora de resíduos é responsável pela sua destinação segura e adequada, portanto o gerenciamento do lodo produzido na ETE, de maneira a diminuir os seus impactos ambientais, é de responsabilidade da estação.

Para além da avaliação de custos, a escolha entre aplicação de lodo para fins agrícolas ou destinação final em aterros devem-se considerar aspectos técnicos, operacionais, ambientais e a qualidade do lodo, visando prioritariamente a garantia da saúde humana e do meio ambiente.

5.3 Aspectos operacionais: Aterro Sanitário

A destinação do lodo gerado no processo de tratamento de esgoto requer um tratamento prévio do resíduo para atender as diretrizes específicas de cada aplicação e os fatores operacionais. Em ambos os casos, compostagem ou aterro sanitário, o lodo deve passar por um processo de desidratação até atingir uma porcentagem de sólidos totais mínima exigida.

Os aterros mais próximos da ETEJ exigem, no mínimo, 20% de sólidos na composição do lodo para que possam receber o material. Por ser tratar de um material não estruturante, composto majoritariamente de líquido, para a sua disposição nas camadas diárias e intermediárias do aterro deve ser feita uma mistura do lodo com outros materiais sólidos em uma proporção que não prejudique a estabilização física do aterro no futuro, sendo essa dificuldade operacional um dos fatores que explica o alto custo para destinação do lodo em aterros.

Uma prática utilizada para transpor essa adversidade técnica é a utilização do lodo em camadas de cobertura, onde o material é misturado com solo e a mistura é aplicada na camada final, podendo contribuir para a redução na emissão de odores, controle de vetores e melhora na qualidade do lixiviado.

O transporte do lodo desidratado até os aterros mais próximos, Paulínia e Caieiras, é outro fator importante a ser considerado, isso porque a distância da ETEJ até os aterros sanitários é de 46,6 km e 57,4 km, respectivamente. Para o transporte desse material podem ser utilizados caminhões apropriados, sendo do tipo basculante, com capacidade de 15 a 20 ton/viagem, ou caminhões do tipo semirreboque, com capacidade de 20 a 25 ton/viagem. Considerando a produção média diária de lodo desidratado (85 ton), seriam necessários 5 caminhões basculantes e 4 do tipo semirreboque para a destinação do lodo até os aterros mais próximos, na cidade de Paulínia e Caieiras.

Neste sentido, tanto o tempo de percurso quanto o custo com transporte fatores relevantes para a destinação final do lodo, a opção da compostagem do resíduo se mostrou mais viável para a ETEJ, uma vez que os custos com processamento e disposição final representam mais da metade das despesas de uma ETE.

5.4 Aspectos operacionais: Compostagem

Para o processo de compostagem do lodo a ETEJ utiliza um valor mínimo de 18% de sólidos totais na composição do lodo. Esse valor foi parametrizado considerando os seguintes fatores operacionais: eficiência da compostagem; despesas com polímero catiônico e operação das centrífugas decanter (desidratação); produção de lodo desidratado; capacidade de desidratação; e capacidade de compostagem do lodo desidratado.

A operação do galpão de compostagem, como descrita anteriormente, está diretamente relacionada com a produção de torta seca no galpão de desidratação. A distância entre essas duas estruturas é de menos de 1 km, o que torna o transporte interno do resíduo de uma etapa pouco onerosa financeiramente.

Antes do ano de 2007, quando a ETEJ decidiu construir uma estufa de compostagem, o lodo passava apenas pelo processo de secagem e era doado para produtores rurais de diferentes localidades para utilização como condicionador de solo.

A alternativa da compostagem do material para produção de fertilizantes se mostrou como uma oportunidade de ganhos, onde os custos inerentes ao processo, desidratação, transporte e disposição do lodo foram aplicados para tornar o composto ao final do processo, um ativo financeiro para a empresa. Foram feitos investimentos iniciais em capacitação de colaboradores, maquinário, certificações e infraestrutura para que a ETEJ fosse habilitada a produzir fertilizante orgânico em sua planta.

Devido ao contato construído anteriormente com os produtores agrícolas, em conjunto com as certificações adquiridas, o volume de lodo gerado no processo de tratamento e, por consequência, o volume de material compostado e o recebimento de resíduos sólidos de diferentes fontes para agregar ao processo, os custos e despesas iniciais foram cobertos com um tempo de retorno mínimo.

A inauguração de uma nova frente operacional na ETEJ trouxe não só ganhos financeiros como também conhecimento técnico em uma área que se desenvolveu muito desde então, tornando a estação uma referência nacional na compostagem de resíduos sólidos para a produção de fertilizantes.

5.5 Aspectos Ambientais

O aspecto ambiental é a principal diferença entre os dois métodos de disposição do lodo. A disposição em aterros sanitários é, em última análise, um descarte do material e pode causar problemas como mau odor e contaminação do solo e água, em casos de vazamento. Em alguns países da Europa, por exemplo, a destinação final do lodo em aterros é proibida, e em outros o biossólido só é destinado para aterros em casos de não atingir a qualidade suficiente para aplicação agrícola.

Na ETEJ a disposição do lodo é feita de forma sustentável, visando diminuir os impactos ambientais, de modo que a eficiência do processo de compostagem colabora para a segurança na disposição do lodo, removendo agentes patogênicos e diminuindo o teor de metais pesados presente, além de agregar utilidade para o material ao invés de descartá-lo.

A compostagem faz com que o resíduo adquira utilidade e valor comercial, beneficiando tanto o vendedor que lucra ao comercializá-lo quanto o comprador do produto que se beneficia das propriedades orgânicas do lodo no seu uso agrícola. O material compostado na ETEJ, após passar pelo processo de beneficiamento, é comercializado com agricultores de todo o país, atuando na adubação de plantio e manutenção de grandes culturas, hortaliças e frutas.

Esse material compostado da ETEJ apresenta bons resultados como fertilizante. Um exemplo de aplicação ocorreu no município de Selvíria - MS, onde o material compostado da ETEJ foi aplicado em Latossolo, com a cultura do milho e, foi constatado o aumento significativo na concentração de micronutrientes (manganês, zinco, cobre e ferro), além da melhora nos parâmetros de desenvolvimento da planta, como altura da planta, diâmetro do caule, grãos por espiga dentre outros (PRATES, 2020).

Por outro lado, os aterros possuem capacidade finita e com o tempo tendem a ficar com menos espaço disponível, portanto a compostagem, transformando o lodo em um composto que auxilia na agricultura, faz a reciclagem de um material que disputaria espaço em aterros com outros resíduos sólidos. Neste sentido a ETEJ, ao compostar o lodo ao invés de destiná-lo para aterro sanitário, contribui prolongando a vida útil dos mesmos, de forma a garantir uma maior sustentabilidade ambiental.

A economia circular é um conceito que visa maximizar o uso de recursos e minimizar o impacto ambiental, baseando-se na preservação e regeneração de recursos naturais, na criação de sistemas econômicos resilientes e na criação de novos modelos de negócios e de consumo (ECONOMIA..., 2018).

A aplicação do lodo na agricultura é uma prática que se enquadra na economia circular, já que o bio sólido é transformado em fertilizante agrícola e volta ao início do ciclo produtivo. Sendo assim, evita o uso de fertilizantes minerais e aterros sanitários, contribuindo dessa forma para a produção agrícola, sem a necessidade de utilizar novos recursos e diminuindo os impactos negativos ao meio ambiente.

Além disso, a utilização do lodo possibilita agregar valor comercial ao resíduo, o que beneficia tanto produtor quanto consumidor, construindo assim uma relação econômica através de uma disposição sustentável.

6 CONCLUSÃO

A compostagem do lodo de esgoto gerado na estação de tratamento de esgoto de Jundiaí - ETEJ se apresentou, inicialmente, como a única alternativa economicamente viável considerando os custos de transporte e disposição do lodo em aterros sanitários, mesmo sem a comercialização do produto final no primeiro momento.

O investimento inicial necessário para a implantação do processo, em uma perspectiva de longo prazo, não se mostrou custoso, já que o novo mercado que se abriu com a venda do adubo orgânico produzido possibilitou o estabelecimento de uma nova frente de atuação na ETEJ, tornando-a referência nacional na compostagem de lodo de esgoto, e demais resíduos sólidos, para a produção de fertilizante.

Além disso, é evidente o benefício socioambiental para a ETEJ na realização da compostagem em contraposição a destinação final em aterros, uma vez que aterros sanitários são locais destinados a decomposição final de resíduos e buscam nesse processo contaminar o mínimo possível o ambiente em torno, controlando a emissão de odores e a contaminação do solo e corpos d'água. Por outro lado, a compostagem é capaz de transformar o lodo de esgoto e outros resíduos sólidos, trazendo utilidade e valor comercial para os resíduos ao produzir um material que enriquece o solo e beneficia o cultivo de diferentes culturas, o que é evidenciado pelos estudos realizados com o composto produzido na ETEJ.

Em termos ambientais não é novidade que a compostagem é mais vantajosa que a disposição em aterros, mas levando em conta a cadeia produtiva que se abre com a produção e comercialização do fertilizante orgânico, sob o ponto de vista econômico e social, a compostagem se mostra como uma alternativa mais rentável e sustentável a longo prazo – conforme analisado na estação de tratamento de esgoto de Jundiaí - ETEJ .

Dessa forma, a viabilidade econômica da mudança para uma nova alternativa de disposição do lodo de esgoto é uma preocupação crescente em todos os países, haja vista o aumento populacional e a redução na capacidade dos aterros sanitários, sendo assim, a compostagem, conforme apresentado no caso da ETEJ, se

apresenta como uma opção ambientalmente sustentável e economicamente atrativa para esse cenário.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, Cleverson Vitório et al. Aspectos Metodológicos. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar, Finep, 1999. cap.1, p. 33-35.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004:2004**. Disponível em: <<https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em 06 de Dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9648:1986**. Disponível em: <<https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-uberlandia/topicos-especiais-em-hidraulica-e-saneamento-opt-hidraulica-hidrologia-aplicada-e-saneamento-basico/nbr-9648-1986-estudos-de-concepcao-de-sistemas-de-esgoto-sanitario/14041644>>. Acesso em 06 de Dezembro de 2022

BERTON, R.S. **Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados**. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. (Eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Embrapa Meio Ambiente, I Jaguariúna-SP, p. 259-268, 2000.

BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. Lodo de esgoto: 115 impactos ambientais na agricultura. Embrapa meio ambiente. Jaguariúna, p. 17-24. 2006a.

BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto: Descrição do estudo**. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Embrapa meio ambiente. Jaguariúna, p.25-35, 2006b.

BRASIL.Ministério do Meio Ambiente.Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357.CONAMA: 17 de Março de 2005**. Disponível em:<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em 19 de Dezembro de 2022.

BRASIL.Ministério do Meio Ambiente.Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 375. CONAMA: 29 de Agosto de 2006**. Disponível em:<https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/legislacao_biosolido/res_conama37506-1.pdf>. Acesso em 19 de Dezembro de 2022.

BRASIL.Ministério do Meio Ambiente.Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430.CONAMA: 13 DE Maio de 2011**. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/01/RESOLU%C3%87%C3%83O-No-430-DE-13-DE-MAIO-DE-2011.pdf>>. Acesso em 19 de Dezembro de 2022.

CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C. **Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado**. Revista Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa, v.32, n.4. 2008.Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/hYRf5yBpRX4qkCYZBLwH4dg/?format=pdf&lang=pt>>.Acesso em 02 de Dezembro de 2022.

COMPANHIA SANEAMENTO DE JUNDIAÍ.Home - Cia de Saneamento.[2019].Disponível em: <<https://saneamento.com.br/>>.Acesso em 12 de Novembro de 2022.

ECONOMIA circular: o que é?.Campo Pequeno, Lisboa: **Start & Go** nº20, 2018.Disponível em: <<https://www.startandgo.pt/pubs/startgo20.pdf>>.Acesso em 04 de Março de 2023

EM JUNDIAÍ lodo do esgoto vira adubo para a agricultura. Jundiaí: Prefeitura de Jundiaí, 2017..Disponível em:<<https://jundiai.sp.gov.br/noticias/2017/07/19/em-jundiai-lodo-do-esgoto-vira-adubo-para-a-agricultura/>>.Acesso em 29 de Novembro de 2022.

EPSTEIN, E. **Land application of sewage sludge and biosolid**. EUA, 2002. 201 p.

GAMA-RODRIGUEZ, E. F; GAMA-RODRIGUEZ, A. C. **Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes**. In: SANTOS, G. A; SILVA, L. Z; CANELLAS, L. P; CAMARGO, F. A de O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, p.159-170, 2008.

HOPPE,HANS-HERMANN.**Uma breve história do homem:progresso e declínio**.São Paulo:LVM Editora,2018.

INÁCIO, C.T, MILLER, P.R.M. **Compostagem: Ciência e prática aplicadas a gestão de resíduos**. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 2009, p.156.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.**População estimada da cidade de Jundiaí (2021)**.Rio de Janeiro: IBGE,2021.Disponível em :<<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/jundiai.html>>.Acesso em 02 de Dezembro de 2022.

KELESSIDIS, A; STASINAKIS, A. S.. Comparative Study of the methods Used for Treatment and Final Disposal of Sewage Sludge in European Countries. **Waste management**, New York, 2012. vol. 32(6), p. 1186–1195.

Lei nº 14.026,de 15 de Julho de 2020.Atualiza o marco legal do saneamento básico.Brasília,DF, 15 de Julho de 2020.Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm#view>. Acesso em 19 de Dezembro de 2022.

MARTINS, Sara.**Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para uso na agricultura**.Dissertação de mestrado - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,Botucatu,2016.

METCALF,L.; EDDY,H.P. **Wastewater engineer treatment disposal, reuse**. 4. ed. New York: Hill Book, 2003, p.1819.

METCALF,L.; EDDY,H.P. **Wastewater engineering—treatment, disposal and reuse**. 3. ed. New York, USA: McGraw Hill; 1991.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 61 , de 08 de Julho de 2020**.Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dosfertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília, DF, 08 de Julho de 2020.Disponível em:<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>>.Acesso em 06 de Dezembro de 2022.

NOFFS, P.S.; GALLI, L.F. & GONÇALVES, J.C. **Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica: Uma experiência da CESP.São Paulo: Companhia Energética de São Paulo**, 2000. (Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, v. 3). Disponível em:<<https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/Recuperao%20de%20reas%20Degradadas%20da%20Mata%20Atlntica%20-%20Uma%20experincia%20da%20CESP%20Companhia%20Energctica%20de%20So%20Paulo.pdf>>. Acesso em 19 de Dezembro de 2022.

NUVOLARI, Ariovaldo.**Esgoto sanitário: coleta, transporte e reúso agrícola 2ª Edição**.São Paulo: Blucher, 2011.

PAIGNÉ, J.; GIRARDIN, P. **Environmental impacts on farm scale composting practices**. Water, Air and Soil Pollut. v.163, p.45-68, 2004.

PAREDES FILHO, M.V. **Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. Agroambiental**. 2011. p.73-80.

PENSAMENTO VERDE. **Tratamento de resíduos: entenda o uso do lodo de esgoto na agricultura**. 2014. Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br>>.Acesso em 27 de Dezembro de 2022.

PIMENTEL, Francisco,2012. **Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de esgoto em camada de cobertura de aterro sanitário**.

PRATES,A. R. et al.**Composted sewage sludge enhances soybean production and agronomic performance in naturally infertile soils (Cerrado region, Brazil)**.Agronomy 2020, 10, 1677Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/10/11/1677>>. Acesso em 09 de Março de 2023.
QIN LU, Z.L. He; STOFFELLA, P.J. Land Application of Biosolids in the USA: A Review.Hindawi Publishing Corporation.**Applied and Environmental Soil Science**, 2012. Article ID 201462 ,vol. 2012, p.11.

QUINTANA, N. R. G. **Análise econômica da aplicação de bio sólido na agricultura**. Dissertação de Mestrado (Área de concentração de energia na agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2006.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soils & Tillage Research**, n. 1-2, 1997. vol., p. 131-167.

RIGO, M. M. et. al. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Revista Gaia Scientia**, 2014. Vol. 8, p. 175-186. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278026813_Destinacao_e_reuso_na_agricultura_do_lodo_de_esgoto_derivado_do_tratamento_de_aguas_residuarias_domesticas_no_Brasil>.

ROCHA, Aristides. **Histórias do saneamento**. São Paulo: Blucher, 2018

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; THOMAZ-SOCCOL, V.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6, cap. 3, p. 69-121.

SOARES, E. M. B. **Impacto de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre os compartimentos de carbono orgânico em latossolo cultivado com milho**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2005.

SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C.V. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodos de esgoto: tratamento e disposição final**. UFMG. Belo Horizonte. 4ª Edição. p.13-16, 2010.

TEIXEIRA, Camilo. **Higienização de lodo de estação de tratamento de esgoto por compostagem termofílica para uso agrícola**. Dissertação de Mestrado (Agroecossistemas), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000 p.69-106.

TSUTIYA, M.T. **Características de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos**. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, A.P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J. (Ed.). **Bio sólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001, cap.4, p. 89-131.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.