

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

---

**DANIEL ROSSONI ROCHA**

**USINA PARA COMPOSTAGEM DE LODO BIOLÓGICO PROVENIENTE DA  
ETE MATO GRANDE, EM CANOAS:**  
Dimensionamento e Análise Técnico-Financeira da Implantação de uma Usina de  
Compostagem de Lodo na Estação de Tratamento de Esgoto Mato Grande, na  
Cidade de Canoas, Rio Grande do Sul

Porto Alegre

2021

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

---

**DANIEL ROSSONI ROCHA**

**USINA PARA COMPOSTAGEM DE LODO BIOLÓGICO PROVENIENTE DA  
ETE MATO GRANDE, EM CANOAS:**

Dimensionamento e Análise Técnico-Financeira da Implantação de uma Usina de Compostagem de Lodo na Estação de Tratamento de Esgoto Mato Grande, na Cidade de Canoas, Rio Grande do Sul

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina de Almeida Silva

Porto Alegre  
2021

**Daniel Rossoni Rocha**

**USINA DE COMPOSTAGEM NA ETE MATO GRANDE, EM CANOAS:**  
Dimensionamento e Análise Técnico-Financeira da Implantação de uma Usina de  
Compostagem de Lodo na Estação de Tratamento de Esgoto Mato Grande, na  
Cidade de Canoas, Rio Grande do Sul

Trabalho de Conclusão, apresentado a  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte das exigências para a obtenção  
do título de Engenheiro Ambiental.

**Porto Alegre, 24 de Novembro de 2021.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina de Almeida Silva

---

Prof. Dr. Antônio Domingues Benetti

---

Prof. Dr. Gino Roberto Gehling

“A todos amigos e familiares que foram incentivo para minha chegada até este momento.”

## **AGRADECIMENTOS**

Deixo aqui meus agradecimentos a todos que passaram pelo meu caminho, e deixaram sua marca, durante a minha jornada de graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, desde os meus colegas nas disciplinas no Campus do Vale, Campus da Saúde, Campus Centro, até chegar as cadeiras do Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

A toda equipe do Laboratório de Obras Hidráulicas e aos professores, que me deram oportunidade de aprender no campo da pesquisa científica. A empresa júnior Mandala Soluções em Engenharia Ambiental por promover o meu desenvolvimento pessoal e de muitos alunos, além de gerar oportunidades na participação de projetos, onde pude adquirir e aplicar conhecimentos na prática.

A todos amigos dentro curso de engenharia ambiental, em especial, aqueles que tive a oportunidade de manter maior contato no DAEAmb, e que me acompanharam por todo o caminho sinuoso e cheio de surpresas que a graduação oferece. Aos meus supervisores e colegas de estágio na ILV Assessoria Técnica Ambiental e Biota-Geom Planejamento e Consultoria Ambiental pela oportunidade, confiança e aprendizado e ao meu orientador de estágio Prof Dr Fernando Mainardi Fan pelos conselhos e aprendizados. Também agradeço a todos professores da UFRGS que tive a honra de aprender em sala de aula, visitas técnicas e aulas práticas. Em especial a minha orientadora Prof Dra Maria Cristina de Almeida Silva pela paciência, atenção e mentoria, essencial na elaboração deste trabalho.

A toda equipe Ambiental Metrosul pela parceria, oportunidade e confiança, fundamentalmente, na figura da Coordenadora de Meio Ambiente Fernanda Cenci, que sempre se mostrou aberta a contribuir seja com o fornecimento de dados ou com o compartilhamento acerca do tema da compostagem.

Por fim, agradeço a meus pais e a minha família pelo suporte e aos amigos de longa data, Jota Junior e Thiago Tamanchievicz pela parceria de mais de 18 anos, sempre presentes nas horas boas e nas horas ruins.

“Não existem problemas ambientais, existem apenas  
sintomas ambientais de problemas humanos”

***Robert Gilman***

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo dimensionar uma Usina de Compostagem por leiras revolvidas (Windrow) de lodo biológico na ETE por Lodos Ativados Mato Grande, no município de Canoas (RS), além de realizar uma análise financeira e de impacto socioambiental da implantação da Usina. O lodo é o principal resíduo produzido nas Estações de Tratamento de Esgoto e sua destinação final pode representar grande parte do custo operacional de um sistema de tratamento. Para isso, foram calculados a produção de lodo da ETE e obtidos dados junto ao setor de operações da empresa, para estimar o tamanho do galpão a ser implantado. Dessa forma, foi possível perceber que a implantação da Usina de Compostagem terá um investimento inicial de R\$ 1.095.865,00, porém trará retorno financeiro em 40 meses, pois o custo fixo mensal diminuiu consideravelmente, já que o lodo que antes era encaminhado ao aterro de Nova Santa Rita, será transformado em composto, trazendo redução de custos a Ambiental Metrosul na operacionalização deste resíduo e benefícios a comunidade onde a empresa atende, com um produto fertilizante que poderá ser usado na agricultura familiar, melhorando os resultados das colheitas, além de fechar o ciclo de nutrientes do solo. A ETE Mato Grande está em processo de expansão, para atender a população de Canoas e seu crescimento por mais de 30 anos, dessa forma novos módulos da Usina de Compostagem podem ser feitos, com um custo de R\$ 790.115,00 e um payback de cerca de 28 meses.

**PALAVRAS – CHAVE:** Compostagem. Estação de Tratamento de Esgoto. Lodo biológico. Payback.

## **ABSTRACT**

The present paper aims to design a Composting Plant by windrows (Windrow) of biological sludge in the WWTP by activated sludge, Mato Grande, in Canoas, Rio Grande do Sul and carrying out a financial and socio-environmental impact analysis of the plan's implementation. Sludge is the central residue produced in the Wastewater Treatment Plants, and its final destination can represent a large part of the operational cost of a treatment system. For this, the activated sludge production was calculated, and data were obtained from the company's operations sector to estimate the shed size to be implemented. Thus, it was possible to see that the implementation of the Composting Plant will have an initial investment of BRL 1,095,865.00. It will bring a financial return in 40 months, as the monthly fixed cost has considerably decreased since the previously sent sludge to the Nova Santa Rita landfill will be transformed into compost. This alternative will bring cost savings to Ambiental Metrosul in the operation of this waste and benefit the community the company serves, with a fertilizer product that can be used in family farming, improving harvest results, and closing the soil nutrient cycle. The WWTP has been expanding to serve the population of Canoas and its growth for over 30 years. Thus, new Composting Plant modules implantation is suggested, with a cost of R\$ 790,115.00 and a payback of around 28 months.

**KEYWORDS:** Biological sludge. Composting. Payback. Wastewater treatment station



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do Tratamento Lodos Ativados Convencional.....	16
Figura 2 - Esquema do Tratamento Lodos Ativados Aeração Prolongada.....	17
Figura 3 - Esquema do Tratamento Lodos Ativados Reatores por Batelada .....	17
Figura 4 - Esquema genérico de compostagem do lodo .....	23
Figura 5 - Exemplo de máquina com revolvedor de leiras .....	23
Figura 6 - Exemplo de sistema de compostagem de leiras estáticas aeradas .....	24
Figura 7 - Reatores de compostagem de (a) fluxo vertical e (b) fluxo horizontal .....	25
Figura 8 - Fases de temperatura do processo de compostagem convencional.. .....	27
Figura 9 - Montagem dos 3 protótipos de leira da ETE Mato Grande. ....	41
Figura 10 - Area de Estudo: ETE Mato Grande, Canoas - RS .....	43
Figura 11 - Localização das etapas da ETE Mato Grande .....	45
Figura 12 - Fluxograma processo de compostagem. ....	46
Figura 13 - Dimensões da leira .....	50
Figura 14 - Revolvedor de leira móvel.....	54
Figura 15 - Croqui da usina de compostagem.....	58
Figura 16 - Projeção de mais módulos de Usina de Compostagem.....	59
Figura 17 - Fertilizante a base de lodo de ETE. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de lodo dos diferentes tipos de tratamento de esgoto .....	18
Tabela 2 - Classificação de tipos de biossólidos .....	19
Tabela 3 - Restrições de Locais para Biossólidos Classe B.....	19
Tabela 4 - Etapas do Tratamento Convencional de Lodo .....	20
Tabela 5 – Alternativas de Destinação Final do Lodo de ETE .....	21
Tabela 6 - Características e resíduos vegetais utilizados como materiais estruturantes .....	26
Tabela 7 - Tempo e Temperatura para Higienização dos Resíduos durante a Compostagem .....	31
Tabela 8 - Processos para obtenção de biossólido Classe A. ....	32
Tabela 9 - Processos para obtenção de biossólido Classe B. ....	33

Tabela 10 - Valores máximos permitidos de substâncias no bio sólido a ser destinado em solos. ....	34
Tabela 11 - Taxa anual e carga acumulada máxima de substâncias em solo com bio sólido Classe 2. ....	34
Tabela 12 - Documentos e Informações para Registro do Estabelecimento e Produto .....	35
Tabela 13 - Classificação de fertilizantes de acordo com a matéria-prima .....	37
Tabela 14 – Parâmetros básicos dos fertilizantes orgânicos de Classe D .....	37
Tabela 15 – Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes .....	38
Tabela 16 - Lodo do leite de secagem utilizado para a realização dos protótipos de compostagem.....	40
Tabela 17 - Parâmetros obtidos em bibliografia para estimativa de lodo produzido .	46
Tabela 18 - Parâmetros fornecidos pela Ambiental Metrosul .....	47
Tabela 19 - Custos para disposição em aterro sanitário .....	52
Tabela 20 - Atividades Licenciáveis FEPAM. Fonte CONSEMA 372/2005.....	53
Tabela 20 - Gastos com estrutura, equipamentos e estudos ambientais necessários para implantação da Usina de Compostagem.....	54
Tabela 21 – Payback da instalação de Usina de Compostagem .....	61
Tabela 22 – Payback da instalação de novo módulo da Usina de Compostagem ....	62
Tabela 23 - Parâmetros recomendados para análise periódica de qualidade do composto.....	63

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	14
2.1. Objetivo Geral .....	14
2.2. Objetivos Específicos .....	14
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	14
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
4.1. Sistemas de Tratamento de Esgoto por Lodos ativados .....	15
4.2. Lodo de ETE, Biossólido e seu destino final .....	18
4.3. Compostagem de Lodo de ETE .....	22
4.3.1. Métodos de Compostagem.....	23
4.4. Considerações sobre Projetos de Compostagem .....	25
4.4.1. Dimensionamento de Leiras .....	25
4.4.2. Relação Carbono/Nitrogênio .....	26
4.4.3. Temperatura .....	26
4.4.4. Umidade .....	27
4.4.5. Aeração ou Revolvimento.....	27
4.4.6. pH.....	28
4.4.7. Patogênicos e Metais pesados.....	28
4.5. Viabilidade econômica .....	28
4.5.1. Despesas transporte e destino final para aterros .....	29
4.5.2. Custos de implantação da usina de compostagem e sua operação.....	29
4.5.3. <i>Payback</i> .....	29
4.6. Legislação Ambiental .....	30
4.6.1. Resolução CONAMA 481/2017 .....	30
4.6.2. CONAMA 498/2020 .....	31
4.6.3. Decreto Federal 4954/2004 .....	35

4.6.4.	Instrução Normativa 25/2009(MAPA) .....	36
4.6.5.	Instrução Normativa 27/2006 (MAPA) .....	38
4.7.	Sustentabilidade Ambiental.....	39
4.7.1.	Estudos Prévios.....	39
<b>5.</b>	<b>MÉTODOS E MATERIAIS</b> .....	<b>42</b>
5.1.	Área de Estudo .....	42
5.2.	O processo de compostagem .....	43
5.3.	Dimensionamento da usina de compostagem .....	46
5.3.1.	O Lodo Gerado e o Material Estruturante.....	46
5.3.2.	Dimensionamento das Leiras e do Galpão.....	49
5.4.	Payback .....	51
5.4.1.	Despesas aterro sanitário.....	51
5.4.2.	Custo de implantação da Usina de Compostagem.....	52
5.5.	Levantamento da demanda da região pelo composto .....	55
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>55</b>
6.1.	Classificação e quantificação de lodo gerado .....	55
6.2.	Usina de Compostagem.....	57
6.3.	Payback .....	60
6.3.1.	Implantação da Usina de Compostagem para Capacidade Atual da ETE Mato Grande.....	60
6.3.2.	Implantação da Usina de Compostagem para Ampliação da ETE Mato Grande.....	61
6.4.	Controle de Qualidade do Lodo/Composto .....	62
6.5.	Destino final do composto .....	63
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>65</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>66</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de tratamento de esgoto por lodo ativado são muito empregados. No Brasil, são cerca de 407 estações de tratamento de esgoto desse tipo, e são utilizados principalmente devido seu pequeno espaço exigido para atender grandes populações, em comparação com os sistemas de lagoas. O sistema por lodos ativados possui alta eficiência de remoção de DBO entre 85 e 95%, remoção de agentes patogênicos e dos nutrientes fósforo e nitrogênio, porém como desvantagem, apresenta elevada produção de lodo. (ANA, 2017)

O lodo das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é o principal resíduo gerado nos processos de tratamento do efluente sanitário, estudos apontam que essa parte da operação pode representar cerca de 60% do custo operacional de uma ETE (Fernandes, 2012). As principais alternativas de destino final desses lodos no mundo incluem sua disposição em aterros sanitários, incineração e disposição oceânica. Contudo, devido ao seu alto teor de nutrientes e sua destinação muito mais sustentável, cada vez mais vem sendo analisado e aplicado o processo de compostagem, para posterior utilização como fertilizante na agricultura.

A compostagem é um processo de degradação biológica do material orgânico por microorganismos, que consiste na homogeneização do bio sólido com o material estruturante. O produto então passa por processo de maturação, aonde o composto estabiliza suas características, produzindo um material final estável.

A compostagem pode ser realizada por 3 métodos diferentes: os sistemas de leiras revolvidas, onde a leira é revolvida mecanicamente ou de forma manual; o sistema de leiras aeradas, onde o ar é insuflado ou aspirado das leiras ou sistema fechado (reator biológico), onde o composto é controlado dentro de uma câmara que cria um fluxo de ar vertical ou horizontal (Von Sperling, 2012). Os parâmetros mais importantes na operação de uma Usina de Compostagem, segundo Metcalf (2016), são o formato das leiras, a relação Carbono/Nitrogênio (C/N) e o material estruturante, a temperatura, o pH, a umidade e a aeração ou revolvimento. É importante destacar que devido a origem do tipo de resíduo é necessário que análises laboratoriais sejam feitas, principalmente referente a metais pesados e organismos patogênicos.

A viabilidade econômica da implantação de uma Usina de Compostagem necessita de uma análise estrutural física e operacional, sendo necessário avaliar desde a

produção de lodo até o destino final do composto gerado. O custo mensal de transporte e destinação final em aterros é alto, a Usina de Compostagem visa acabar com esse custo periódico e ainda gerar um produto com muitos nutrientes para agricultura. Por isso é importante a realização do *payback*, uma análise financeira, estimando o período de retorno necessário para recuperar o investimento inicial.

Assim, esse trabalho propôs o dimensionamento de uma Usina de Compostagem a partir da estimativa de lodo biológico gerado na ETE Mato Grande. Este projeto trará uma redução de custos na operação da Ambiental Metrosul, além de ter um grande potencial de retorno socioambiental, já que poderá fechar o ciclo de nutrientes do processo e trazer um produto de qualidade agrícola à comunidade que a empresa está inserida.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

O presente Trabalho de Conclusão visa dimensionar e realizar a análise técnica financeira da implantação de uma usina de compostagem de lodo aeróbio excedente do processo de lodos ativados, e desaguado em leitos de secagem, da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mato Grande, no município de Canoas.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Dimensionamento da usina para compostagem: a partir da produção de lodo podem ser dimensionados a Usina para Compostagem ETE Mato Grande, em Canoas.
- Avaliação técnica e econômica: estimar custos de investimento e despesas operacionais do processo, além de analisar o *payback* a partir do que é despendido atualmente pela Ambiental Metrosul.
- Comparativo da disposição em aterro x compostagem: Realizar comparativo socioambiental, trazendo os impactos ambientais da disposição de lodo de ETE em aterros sanitários *versus* realização de compostagem.

## 3. JUSTIFICATIVA

O estudo busca apresentar uma melhoria na disposição dos resíduos gerados pelas estações de tratamento de esgoto por lodos ativados, bem como uma forma de, a médio prazo, reduzir as despesas financeiras e os gastos energéticos que a Ambiental Metrosul possui com o transporte e a disposição desses resíduos em aterros sanitários. Além disso, a implantação da usina de compostagem visa trazer a criação de um produto com alto valor nutricional para insumos agrícolas e desenvolvimento de fertilizantes.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Sistemas de Tratamento de Esgoto por Lodos ativados

O Sistema de Tratamento de Esgoto por lodos ativados é um processo biológico, em que os efluentes sanitários são misturados com a biomassa ativa, agitados e aerados em tanques de aeração. Após a aeração, o efluente misturado ao lodo passa por decantadores, onde o sólido é separado por sedimentação. Certa parte desse lodo é reencaminhado para o processo de tratamento e a outra parcela é encaminhada para o destino final. A primeira vez da utilização do processo de tratamento de efluente por lodos ativados data do ano de 1913, na Inglaterra. (Jordão e Pessoa, 2014).

Segundo Von Sperling (2002), o processo de tratamento por lodos ativados pode ter variações, entre as mais utilizadas estão as classificações quanto a idade do lodo e quanto ao fluxo do tratamento. Porém, essas variações deste tipo de sistema de tratamento possuem elementos em comum, como o bombeamento do esgoto domiciliar no início do sistema, tratamento preliminar, em que o efluente é submetido às etapas de gradeamento, para retirada dos sólidos grosseiros, e desarenação, para remoção de areia, medição de vazão, tanque de aeração e a disposição direta no corpo receptor. Cabe ressaltar que os materiais sólidos removidos do efluentes no tratamento preliminar são descartados como lodo, porém não fazem parte dos processos de compostagem. As Figura 1, 2 e 3 apresentam os 3 tipos de sistemas de lodos ativados mais utilizados, bem a descrição das principais características de cada tipo de sistema de tratamento, a seguir.

- Tratamento Lodos Ativados Convencional: O sistema convencional é utilizado para um alto rendimento em reduzida área de instalação, possui um tratamento primário de remoção de sólidos (decantador primário), ou seja, parte do lodo é retirado antes da entrada no tanque de aeração, reduzindo o requerimento de disponibilidade de oxigênio dissolvido e, assim, a necessidade de aeração e o volume do tanque de aeração. A idade do lodo é geralmente entre 4 e 10 dias e o tempo de detenção hidráulica entre 6 e 8 horas. O lodo desse processo ainda requer uma etapa de estabilização, devido à sua elevada concentração matéria orgânica. (Von Sperling, 2002). A Figura 1 apresenta o fluxograma do Tratamento por Lodos Ativados



Convencional, apresentando seus principais processos e destacando sua principal característica, a presença do decantador primário.

### Aeração convencional

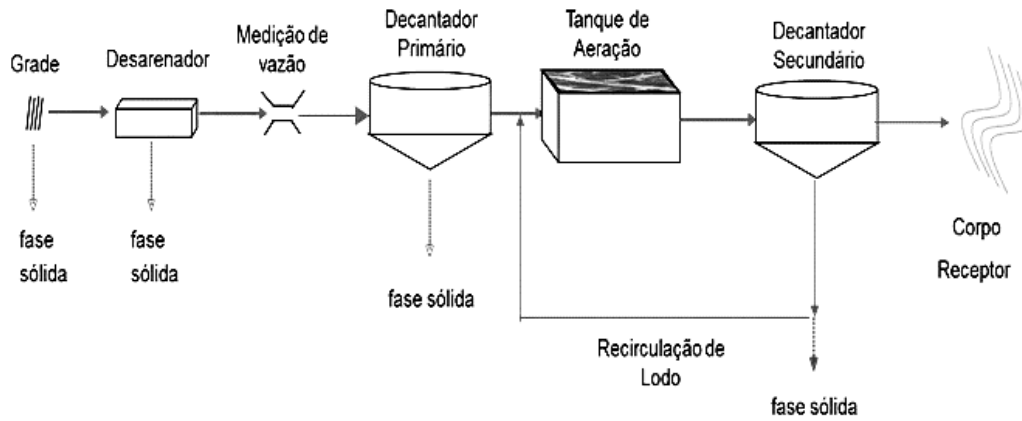


Figura 1 - Esquema do Tratamento Lodos Ativados Convencional. Fonte: Von Sperling (2002)

- Tratamento Lodos Ativados Aeração Prolongada: Segundo Von Sperling (2002), o sistema de aeração prolongada é caracterizado pelo controle da idade do lodo entre 18 e 30 dias, aumentando a quantidade de microrganismos no sistema. Nessa condição, o decantador primário não é utilizado, já que a estabilização do lodo é feita dentro dos tanques, devido ao ambiente formado, auxiliando no processo de destino final. Esse processo é recomendado para uma boa nitrificação e uma efetiva remoção de DBO, porém exige maior área e maior consumo de energia, quando comparado ao sistema convencional. A Figura 2 apresenta o fluxograma do Tratamento por Lodos Ativados Aeração Prolongada, apresentando seus principais processos.

## Aeração prolongada

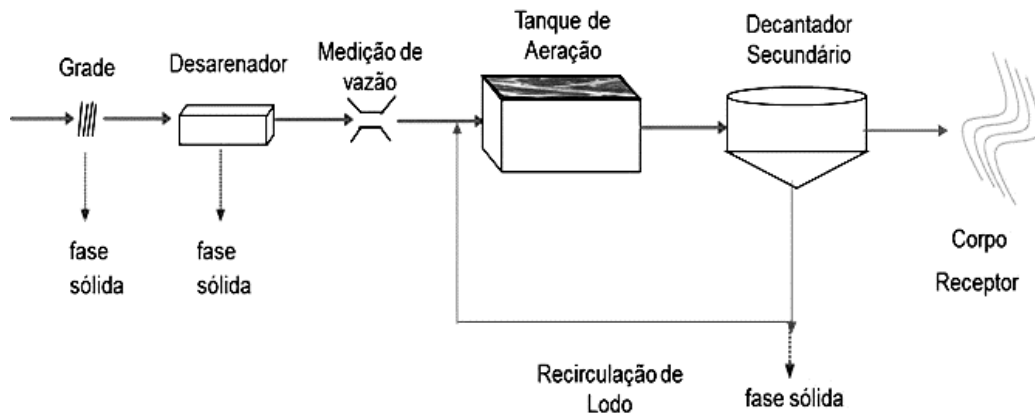


Figura 2 - Esquema do Tratamento Lodos Ativos Aeração Prolongada. Fonte: Von Sperling (2002)

- Tratamento Lodos Ativos Reatores por Batelada: O tratamento por batelada se diferencia por não possuir decantadores primário e secundário e não realizar recirculação do lodo, já que todo processo ocorre dentro dos tanques de aeração, de forma cíclica, e depois disposto no corpo receptor, conforme Figura 3. Basicamente, todo o processo ocorre dentro do tanque, consistindo nas etapas enchimento do tanque, reação, sedimentação, e por fim a retirada do sobrenadante e repouso.

## Batelada

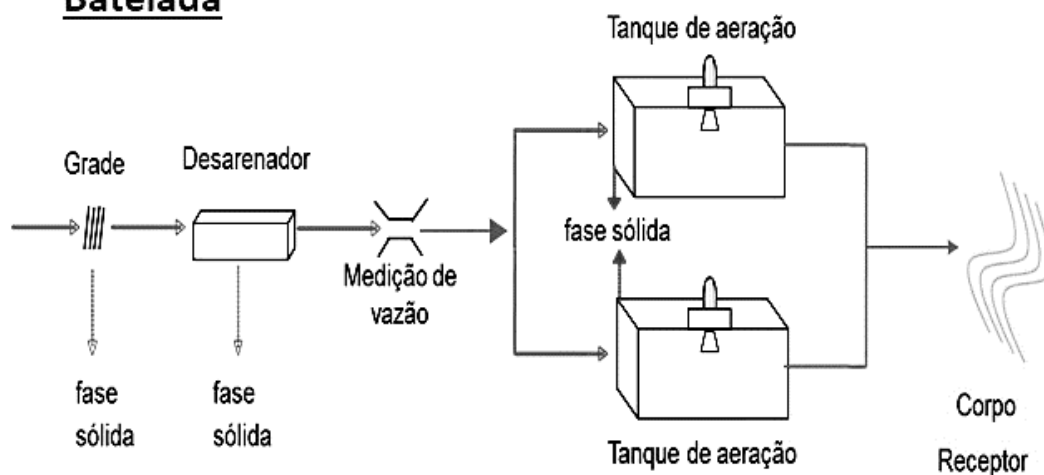


Figura 3 - Esquema do Tratamento Lodos Ativos Reatores por Batelada. Fonte: Von Sperling, (2002)

## 4.2. Lodo de ETE, Biossólido e seu destino final

O lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é um resíduo sólido de composição variável, rico em matéria orgânica, que é separado da fase líquida nos processos de tratamento de esgoto através da decantação. Em sistemas aerados, a produção é de 17,5 Kg/ano de lodo seco por habitante ou 23.979 Kg/dia de lodo pastoso, com 20% de matéria sólida, para cada 100.000 habitantes (FERNANDES, 2012). Já segundo Pedroza (2010), são gerados entre 150 e 220 mil toneladas de lodo com baixa umidade por ano, destacando-se que à época da publicação, somente 30% da população urbana possuía esgoto tratado. É importante destacar que diferentes tipos de tratamento geram diferentes quantidades de lodo produzido, como é possível visualizar na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção de lodo dos diferentes tipos de tratamento de esgoto

<b>Tipo de Tratamento</b>	<b>Quantidade de Lodo Produzido (m<sup>3</sup>/hab.ano)</b>
Lagoa facultativa primária	0,037
Lagoa facultativa	0,03 – 0,08
Lodos ativados convencionais	1,1 – 1,5
Lodos ativados (aeração prolongada)	0,7 – 1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	0,7 - 1,5
Filtro biológico (baixa carga)	0,4 – 0,6
Filtro biológico (alta carga)	1,1 – 1,5
Reator anaeróbio de manta de lodo	0,07 – 0,10
Fossa séptica – filtro anaeróbio	0,07 – 0,10

Fonte: Fernandes (2012).

É importante destacar que os sistemas de aeração prolongada não geram lodo primário e geram menos lodo secundário do que outros tipos de tratamento. Além disso, esse tipo de tratamento dispensa a estabilização desse material sólido, pois seu excedente já está num processo avançado de estabilização. (Von Sperling, 2002)

O lodo de ETE se diferencia do biossólido, pois o primeiro é o material produzido no tratamento primário, secundário ou avançado de esgoto, sem processos de redução de patógenos ou vetores, já o biossólido é o lodo que passa por algum processo de estabilização, trazendo a possibilidade de reutilização do resíduo do tratamento. Para que o lodo seja considerado um biossólido ele deve atender aos critérios químicos e microbiológicos conforme resolução CONAMA 498/2020, no

Brasil, e o regulamento 40 da CFR da Agência Americana de Proteção Ambiental (US EPA). Na Tabela 2 estão os parâmetros que o bio sólido deve atender para ser classificado como classe A ou classe B (Metcalf, 2016)

Tabela 2 - Classificação de tipos de bio sólidos

<b>BIOSSÓLIDOS</b>	
<b>CLASSE A</b>	<b>CLASSE B</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; 1000 NMP de coliformes termotolerantes / g de lodo seco</li> <li>• &lt; 3 NMP de Salmonela / 4g de bio sólido</li> <li>• Atender limites para poluentes e reduzir vetores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; 2x10<sup>6</sup> NMP de coliformes termotolerantes / g de lodo seco</li> <li>• Atender limites para poluentes e reduzir vetores</li> </ul>

Fonte: adaptado de Metcalf (2016)

Os bio sólidos classe B possuem contaminantes que ponderam sua utilização direta no solo, seja no plantio, seja na pastagem ou no uso direto. A Tabela 3 apresenta os principais cuidados que devem ser tomados na disposição final, segundo o US EPA (1995) e CONAMA 498/2020, respectivamente.

Tabela 3 - Restrições de Locais para Bio sólidos Classe B

<b>RESTRIÇÕES DE LOCAIS PARA BIOSSÓLIDOS CLASSE B</b>		
<b>Locais</b>	<b>US EPA(1995)</b>	<b>CONAMA 498/2020</b>
<b>Cultivo de alimentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultura acima do solo: contato com o bio sólido, só pode ser colhida após 14 meses da aplicação.</li> <li>• Cultura abaixo do solo: contato há 4 meses ou mais com o bio sólido, só pode ser colhida após 20 meses da aplicação.</li> <li>• Abaixo do solo: contato há menos de 4 meses com o bio sólido, só pode ser colhida após 38 meses da aplicação.</li> <li>• A grama cultivada não deve ser colhida por um ano após a aplicação do bio sólido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É proibida a utilização de bio sólido Classe B no cultivo de produtos alimentícios que possam ser consumidos crus.</li> <li>• Não aplicar o bio sólido 4 meses antes do período de colheita em produtos que não sejam consumidos crus.</li> </ul>
<b>Pastagem de animais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A alimentação dos animais só pode ser realizada após 30 dias da aplicação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não aplicar o bio sólido 2 meses antes do pastejo.</li> <li>• Não aplicar o bio sólido 4 meses antes da colheita de forrageiras</li> </ul>

<b>Contato público</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de exposição (parques, campos de futebol) devem ser restringidas por 1 ano após aplicação dos bio sólidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar a aplicação após a colheita.</li> <li>• Sem restrições para aplicação em florestas plantadas, recuperação de solos e áreas degradadas.</li> </ul>
------------------------	--	---

Fonte: adaptado de US EPA(1995) e CONAMA 498/2020

O tratamento convencional de lodo gerado nas ETE deve ser considerado como parte integrante do processo de tratamento de efluentes. Entre os subprodutos estão o material gradeado, a areia, a espuma, o lodo primário e o secundário, sendo o lodo o material de maior volume produzido e, por isso, de maior importância. (Metcalf, 2016) As principais etapas do tratamento de lodo, seus objetivos e as tecnologias disponíveis para cada etapa, são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Etapas do Tratamento Convencional de Lodo

ETAPA	OBJETIVO	TECNOLOGIA UTILIZADA
Adensamento	Remoção de umidade (volume)	Adensadores por gravidade, flotadores por ar dissolvido, centrifugas e filtros prensa
Estabilização	Remoção da matéria orgânica (sólidos voláteis)	Digestão anaeróbia ou aeróbia, alcalinização química e secagem térmica
Desidratação	Redução da umidade (volume)	Leitos de secagem, centrífugas, prensas desaguadoras e filtros prensa

Fonte: adaptado de Von Sperling (2002)

O destino final do lodo é um dos principais problemas dos sistemas de tratamento de esgoto, pois envolve estudos quanto ao condicionamento, estabilização, desidratação, transporte e reuso. Outros fatores importantes a se considerar são os riscos e impactos ambientais no processo, o transporte do lodo, além de todos aspectos econômicos envolvidos. (Jordão e Pessoa, 2014)

Os principais aspectos a se conhecer para analisar a forma e o local do destino final do lodo da ETE são:

- Quantidade de lodo gerado: é necessário conhecer a quantidade total de lodo produzido e a velocidade dessa produção para que seja dimensionado o local.
- Caracterização do lodo gerado: A classe de enquadramento do lodo influencia diretamente no plano de destinação do resíduo. Principalmente em destinações com contato direto ou indireto com seres vivos.

- Presença de efluente industrial: o efluente industrial limita a destinação do lodo, pois pode contaminar o resíduo com substâncias perigosas
- Características especiais químicas, físicas, biológicas e geomecânicas: O lodo pode reagir com sua destinação, por isso é importante avaliar a sua composição, bem como a estabilidade do local de destino.

Após ponderados os aspectos acima descritos combinados com as leis e a cultura do local, pode ser definido o local de destino final, do lodo gerado. São apresentados na Tabela 5, os principais destinos para o lodo de ETE e suas características, que variam de disposição em aterros sanitários, passando por incineração, lançamento no oceano, uso agrícola, construção civil e até mesmo reaproveitamento na indústria.

Tabela 5 – Alternativas de Destinação Final do Lodo de ETE

<b>DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DE ETE</b>	
Aterros sanitários	Disposição mais comum. ETEs que produzem muito lodo, podem ter problemas com espaço para armazenagem, já que o espaço em aterro é finito, e custo.
Incineração	Utilizado em outros países, quando bem controlado pode ser uma ótima alternativa para a destinação de lugares que não possuem vasta área territorial.
Lançamento no oceano	Uma das primeiras formas de destinação final do lodo, porém muito prejudicial a fauna e flora oceânica.
Uso agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação direta no solo e em áreas de reflorestamento</li> <li>• <b>Compostagem</b></li> <li>• Restauração de áreas degradadas</li> </ul>
Uso na construção civil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricação de produtos cerâmicos (telhas, tubos, tijolos)</li> <li>• Produção de agregados</li> <li>• Cinzas de lodo calcinado no processo de fabricação do cimento</li> </ul>
Reaproveitamento Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aproveitamento do lodo em processos ou até mesmo na recirculação de outras ETEs por lodos ativados para melhoria da eficiência.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002)

### **4.3. Compostagem de Lodo de ETE**

A compostagem é um processo de degradação biológica do material orgânico, produzindo um material final estável. O processo pode ser aplicado ao lodo ou ao biossólido estabilizado, porém ao se aplicar ao biossólido há menor emissão de odores e uma redução de 40% na área da unidade de compostagem. (MetCalf, 2016).

Enquanto o material orgânico do lodo de ETE é compostado, a temperatura do material aumenta pela presença dos microorganismos e sua digestão, passando pela fase mesófila, de 15 °C a 40 °C, podendo atingir a faixa termófila de 50 °C a 70°C. Esta faixa de temperatura provoca a destruição de patógenos e vetores presente no lodo por microorganismos, como bactérias e fungos, formando um produto orgânico rico, assim como o húmus. A transformação da matéria orgânica é resultante da ação combinada de microrganismos, como bactérias, actinomicetas, leveduras e fungos. Segundo Fernandes & Silva (1999) inicialmente há um forte crescimento dos microrganismos mesófilos. Com a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos diminui e os microrganismos termófilos proliferam com mais intensidade. A população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos

De forma simples, conforme o fluxograma da Figura 4, o processo de compostagem consiste na homogeneização do biossólido com o material estruturante (resíduos de madeira, folhas, resíduos vegetais, pneus triturados), sendo posteriormente disposto em leiras ou reatores, devendo ser revolvidos periodicamente. O produto então passa por processo de maturação, aonde o composto estabiliza suas características, e então passa por um processo de peneiramento, podendo se aproveitar o retido como material estruturante, para que então possa ser ofertado (Fernandes, 2012).

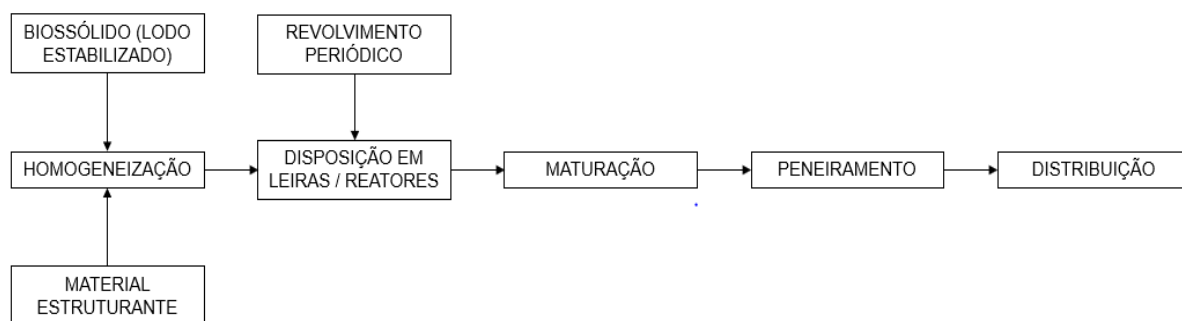


Figura 4 - Esquema genérico de compostagem do lodo (Adaptado de Fernandes, 2012)

### 4.3.1. Métodos de Compostagem

O processo de compostagem para grandes quantidades de resíduos pode ser desenvolvido através de três técnicas, que se diferenciam principalmente pela forma de aeração, e são descritas a seguir.

- Sistema de leiras revolvidas (*windrow*) – no sistema de leiras revolvidas, o resíduo é disposto em leiras e revolvido de forma manual ou mecanicamente para que o bioestabilizado seja aerado pela convecção e difusão do ar. Esse revolvimento pode ser realizado por implementos agrícolas traçados por tratores agrícolas, conforme apresentado na Figura 5 ou equipamentos que se deslocam sobre a leira.



Figura 5 - Exemplo de máquina com revolvedor de leiras (Maquina Solo, 2021)



- Sistema de leiras estáticas aeradas (*static pile*) – A Figura 6 apresenta um esquema do método de leiras estáticas aeradas, onde o resíduo é colocado sobre uma tubulação que insufla ou aspira o ar no composto, não havendo revolvimento mecânico. Para garantir a permeabilidade do ar por toda a leira, o tamanho do material deve ser o mais homogêneo possível.

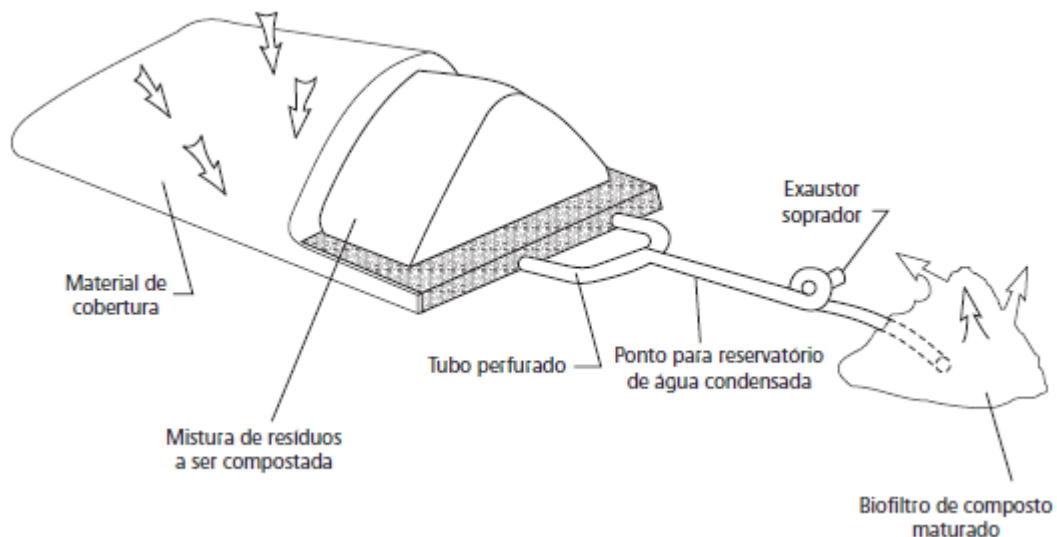


Figura 6 - Exemplo de sistema de compostagem de leiras estáticas aeradas (Fonte: Andreoli, 2001).

- Sistemas fechados ou reatores biológicos (*In-vessele*) – Em sistemas fechados, o resíduo é colocado em uma câmara de ar, onde é possível controlar os parâmetros do processo de compostagem, o material pode ser compostado utilizando fluxo vertical, horizontal ou ainda em bateladas. A Figura 7 apresenta esquema de sistemas fechado com fluxo vertical e fluxo horizontal.

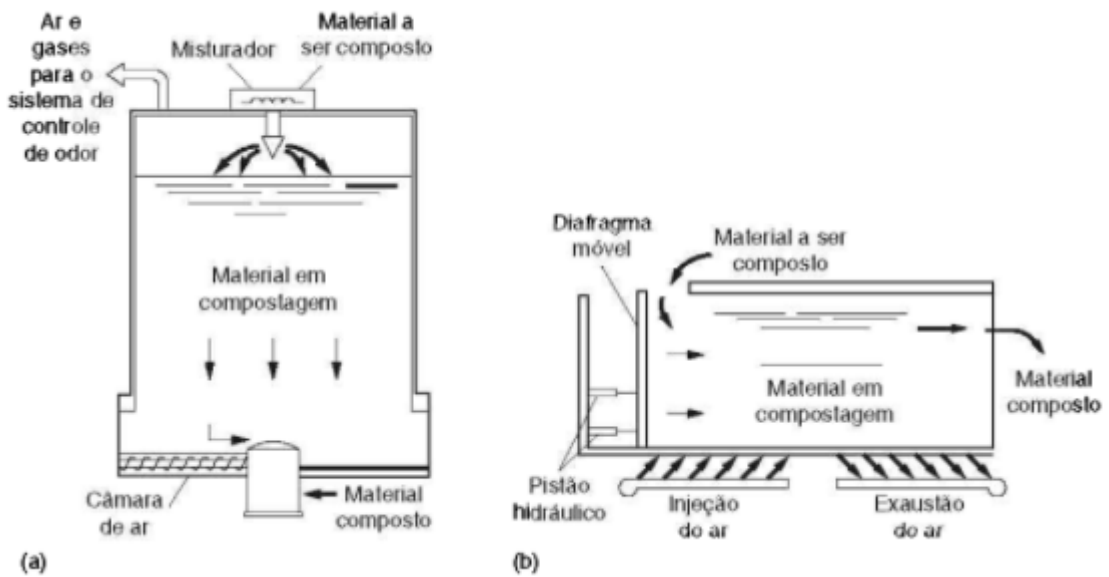


Figura 7 - Reatores de compostagem de (a) fluxo vertical e (b) fluxo horizontal (fonte: Metcalf, 2016)

#### 4.4. Considerações sobre Projetos de Compostagem

O bom funcionamento do processo de compostagem vai depender de diversos fatores que devem ser considerados na etapa de dimensionamento e monitorados para que a qualidade do produto gerado seja condizente com o destino que se queira se aplicar.

##### 4.4.1. Dimensionamento de Leiras

Segundo Metcalf (2016), o lodo estabilizado misturado ao material estruturante deve ser disposto em leiras com altura entre 1,00 a 2,00 metros e largura de 2,00 a 4,50 metros. O espaçamento entre leiras depende das características do equipamento de revolvimento empregado, como é o caso do trator com revolvente que exige ao menos um espaçamento de 3,00 metros para passagem do equipamento.

Segundo Kuter (1995), durante a compostagem, as leiras devem ser revolvidas no mínimo três vezes por semana, essa ação tem entre seus objetivos:

- Aerar o bio-sólido em compostagem;
- Aumentar a porosidade do meio, que sofre uma compactação natural devido ao peso;
- Homogeneizar a mistura;

- Expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, auxiliando na desinfecção;
- Reduzir a granulometria dos resíduos;
- Diminuir o teor de umidade do composto

#### 4.4.2. Relação Carbono/Nitrogênio

O equilíbrio dos substratos é caracterizado pela relação entre o Carbono e o Nitrogênio (C/N), pois os microrganismos necessitam do primeiro como fonte de energia e do segundo para o processo de síntese proteica. A relação C/N inicial ótima do substrato deve se situar em torno de 25, porém ela pode variar de 20 a 70 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato. (Metcalf, 2016)

A falta de nitrogênio e a falta de carbono limitam a atividade microbiológica. Se a relação C/N for muito baixa pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Contudo, se a relação C/N for muito elevada, os microrganismos não terão Nitrogênio suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado

O lodo é um material rico em nitrogênio, apresentando relação C/N entre 5 e 11, necessitando, portanto, de complementação de algum outro tipo de material que seja rico em carbono e pobre em nitrogênio, para que a mistura apresente um ponto ótimo de relação C/N. Na Tabela 6 são apresentadas características dos principais materiais estruturantes utilizados no processo de compostagem.

Tabela 6 - Características e resíduos vegetais utilizados como materiais estruturantes

Resíduo estruturante	pH	% água	SF/ST (%)	P %	N %	C %	C/N
Resíduo de poda de árvore	6,9	30	9	0,09	1,1	51	46
Bagaço de cana de açúcar	3,7	20 - 40	3	0,10	0,20	47	235
Serragem de madeira	8,0	30	2	0,50	0,10	49	490
Sabugo de milho	7,5	10	7	0,30	0,40	46	115
Palha de trigo	7,5	6	5	0,50	0,50	43	86
Cascas de café	5,1	10	5	0,08	1,20	46	38

Fonte: Fernandes (1999) apud Silva e Fernandes (1998).

#### 4.4.3. Temperatura

A compostagem aeróbia pode ocorrer tanto em regiões de temperatura termofílica (45°C a 85°C) como mesofílica (25°C a 43°C), conforme Figura 8. A elevação da temperatura auxilia na eliminação de microrganismos patogênicos e,

além disso, alguns estudos relatam que até 65°C a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica aumenta. Após atingir essa temperatura pode haver um decréscimo da atividade biológica, tornando mais longo o processo de compostagem. (FERNANDES, 2012). Segundo Andreolli (1999), a temperatura é um indicador de atividade microbiológica, conforme o autor, se ao revolver as leiras não houver desprendimento de calor, o composto chega ao nível de estabilização, e pode ser considerado como pronto para destinação.

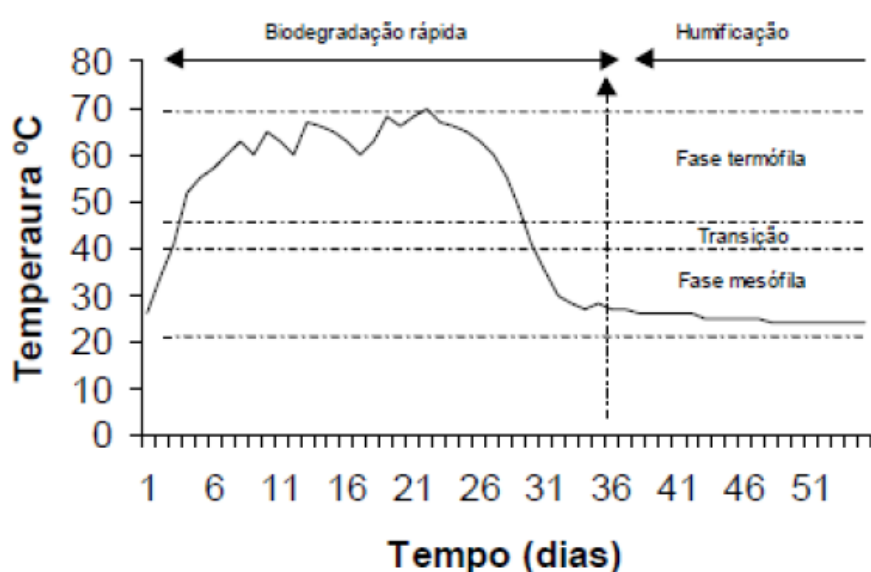


Figura 8 - Fases de temperatura do processo de compostagem convencional. Fonte: MetCalf (2016).

#### 4.4.4. Umidade

Segundo Fernandes (2012), o teor ideal de umidade do composto está entre 50 e 60%, e pode ser ajustado através da composição de mistura do composto e ao adicionar água ao processo. É importante destacar que valores maiores que 65% de umidade podem acarretar zonas anaeróbias, prejudicando o processo de compostagem. Já se o teor de umidade for menor que 40%, pode ser inibida a atividade biológica da leira, bem como sua biodegradabilidade.

#### 4.4.5. Aeração ou Revolvimento

O revolvimento das leiras é um importante procedimento na compostagem, já que se trata do processo que promove a aeração do sistema aeróbio, sendo fundamental para os microrganismos na oxidação da matéria orgânica. A falta de

oxigênio (O<sub>2</sub>) pode se tornar um fator limitante quando a demanda é elevada, podendo prolongar o ciclo da compostagem e tornar o ambiente anaeróbio. (Fernandes, 2012). É indicado que a leira seja revolvida 3 vezes por semana, porém a observação dos parâmetros operacionais pode fazer com que esse revolvimento aumente ou diminua (Kuter apud Fernandes, 2012).

#### **4.4.6. pH**

O controle de pH da compostagem deve ser realizado durante todo o processo, diariamente. A mistura do composto com o material estruturante deve apresentar pH entre 6,0 e 9,0, e para atingir as condições ideais de decomposição anaeróbia, o pH deve ser mantido entre 7,0 e 7,5, caso o pH estiver fora desses intervalos, pode haver inibição da atividade microbiana. (Metcalf, 2016).

Conforme Fernandes (2012), se a relação C/N da mistura for adequada aos valores citados anteriormente, o pH não é um fator de preocupação do processo. Além disso, o pH do efluente sanitário é próximo a 7,0, logo o processo de compostagem do lodo oriundo do processo de tratamento biológico se desenvolve satisfatoriamente, mesmo quando misturado com serragem ou resíduos de podas de árvores.

#### **4.4.7. Patogênicos e Metais pesados**

O correto manejo do processo de compostagem (proporções, temperatura, umidade) inativa a ação de bactérias e fungos com capacidade de geração de doenças. Mesmo se tratando de sistemas de tratamento de esgoto domiciliares, muitas vezes há contaminações com metais pesados, advindos de descartes industriais irregulares. Por isso, o monitoramento periódico de metais pesados é extremamente importante para evitar que o produto final ultrapasse as concentrações limite impostas pelas normas ambientais. (Metcalf, 2016).

### **4.5. Viabilidade econômica**

Segundo Fernandes (2012), a correta gestão do resíduo de uma estação de tratamento de esgoto é um problema ambiental e sanitário relevante e que, em alguns casos, chega a representar até 60% do custo operacional de uma ETE. A implantação de uma Usina de Compostagem dentro de uma ETE necessita de uma análise

estrutural física e operacional, em que deve ser considerada desde a caracterização do efluente e do lodo até o destino final do composto.

As despesas com o tratamento do lodo variam com seu destino. Em sistemas de lodos ativados com reciclo de lodo, deve ser descartado somente o lodo excedente. Na disposição em aterro, se considera basicamente os custos com despesas em transporte e o valor cobrado pelos aterros, que devem ter seu terreno preparado para receber o material.

#### **4.5.1. Despesas transporte e destino final para aterros**

Os custos com transporte e o custo de destinação são a maior parte dos gastos na disposição de lodo em aterros. Destaca-se que o volume de lodo descartado pode variar durante os meses do ano, e depende de parâmetros como a vazão de entrada, temperatura, concentração de sólidos do efluente e até mesmo da forma como a ETE é operada.

#### **4.5.2. Custos de implantação da usina de compostagem e sua operação**

Os custos de investimento são basicamente compostos pelos equipamentos a serem utilizados; pelos materiais de manuseio (bombas, retroescavadeiras, tratores e implementos agrícolas); os gastos com obras civis da instalação da Unidade de Compostagem (piso, cobertura impermeável e sistema de drenagem); e os gastos com instalações elétricas.

#### **4.5.3. Payback**

O payback é uma análise financeira, que estima o período de retorno necessário para recuperar um investimento, o principal objetivo é avaliar quanto tempo o aporte irá demorar para trazer retorno financeiro ou redução de gastos equivalente ao valor investido. (Ross, 2008)

No presente trabalho, o *payback* será calculado utilizando um comparativo entre os gastos atuais de transporte e disposição do lodo de ETE em aterros sanitários e o custo de implantação e operação da usina de compostagem do lodo biológico, considerando somente a doação do produto, descartando num primeiro momento, uma possível venda do produto. Porém, é importante destacar que, dependendo de

estudos futuros, o produto gerado pode apresentar potencial mercadológico na região, podendo diminuir o tempo de *payback*, caso seja colocado à venda.

## **4.6. Legislação Ambiental**

As Resoluções CONAMA apresentadas são relacionadas a destinação de lodo e do composto gerado a partir do biossólido. Também são apresentados os Decretos Federais e Instruções Normativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que traçam normas gerais e padrões para a destinação do biossólido como fertilizante.

### **4.6.1. Resolução CONAMA 481/2017**

“Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências.”

A Resolução CONAMA 481/2017 permite a compostagem de lodo de ETE, mediante autorização prévia do órgão ambiental, desde que durante o processo seja garantido um período mínimo, necessário para redução de agentes patogênicos. Para que isso seja garantido, é exigido a medição de temperatura ao menos uma vez ao dia. É dever do empreendedor manter um relatório de controle de temperatura e operação do sistema, que deve ser disponibilizado ao órgão ambiental responsável.

O composto deve ter uma relação C/N menor ou igual a 20:1, que deve ser medido de acordo com as metodologias do MAPA ou outros métodos internacionais aceitos, não se aplicando quando o composto for utilizado como substrato para plantas, condicionador de solo ou matéria-prima de outros fertilizantes. Para o composto ser produzido, comercializado e utilizado no solo como insumo agrícola deverá atender o que estabelece a legislação pertinente e aos padrões de qualidade do MAPA.

O artigo 10 apresenta os requisitos mínimos para prevenção e controle ambiental, entre eles:

- Medidas de minimização de lixiviados e emissão de odores, evitando a produção de chorume;

- Proteção do solo através da impermeabilização de base e sistemas de coleta, manejo e tratamento dos líquidos gerados;
- Sistema de recepção de resíduos orgânicos, garantindo controle de líquidos, odores, vetores, entre outros;
- Adoção de medidas de isolamento e sinalização da área, sendo proibido o acesso de pessoas não autorizadas e animais;
- Controlando o tipo e característica do resíduo a ser compostado;
- Controle da destinação final adequada dos resíduos sólidos e líquidos gerados pela unidade de compostagem.
- Em caso de solos permeáveis, o monitoramento das águas subterrânea da área ocupada pelo empreendimento.

Na Tabela 7 são demonstrados o tempo necessário recomendado e as faixas de temperatura para higienização dos resíduos, em sistemas de compostagem abertos e fechados pela Resolução CONAMA 481/2017.

Tabela 7 - Tempo e Temperatura para Higienização dos Resíduos durante a Compostagem

SISTEMA DE COMPOSTAGEM	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (dias)
SISTEMAS ABERTOS	> 55	14
	> 65	3
SISTEMAS FECHADOS	> 60	3

Fonte: Adaptado de CONAMA 481/2017

#### 4.6.2. CONAMA 498/2020

“Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bioestabilizado em solos, e dá outras providências.”

Segundo a CONAMA 498/2020, o bioestabilizado a ser destinado para uso agrícola, pode ser classificado em Classe A ou Classe B, de acordo com os parâmetros definidos. O bioestabilizado é chamado de Classe A, quando atende ao limite máximo de  $10^3$  Escherichia coli / g de ST ou quando é proveniente de algum dos



processos de redução de patógenos descritos na Tabela 8, atendendo aos parâmetros operacionais.

Tabela 8 - Processos para obtenção de biossólido Classe A.

PROCESSO	REQUISITOS		
	Regime	Aplicação	Requisitos
Alternativa 1: Lodo que atende aos regimes A, B, C e D, em relação a tempo (dias) e temperatura (°C).	A	Lodo com teor de ST igual ou maior que 7%	A temperatura do lodo deve ser igual ou superior a 50°C por no mínimo 20 minutos.
	B	Lodo com ST igual ou maior que 7%, com pequenas partículas, aquecido por meio do contato entre gases ou líquidos imiscíveis.	A temperatura do lodo deve ser igual ou superior a 50°C por no mínimo 15 segundos.
	C	Lodo com teor de ST menor que 7%	Aquecido de, no mínimo, 15 segundos até 30 minutos.
	D	Lodo com teor de ST menor que 7%	A temperatura do lodo deve ser igual ou superior a 50°C por no mínimo 30 minutos de contato.
Alternativa 2: Lodo tratado por processos com valor elevado de pH e temperatura.	O pH deve estar acima de 12, por pelo menos 72 horas, temperatura acima de 50°C, por 12 horas e secagem do lodo de esgoto sanitário por exposição ao ar, no caso de materiais que permaneçam com teor de ST maior que 50%, após 72 horas da mistura do material alcalino.		
Alternativa 3: Lodo tratado em regime de tempo x temperatura ou de pH e temperatura elevados que não atendem as anteriores	Os parâmetros de controle operacional do processo de tratamento podem ser utilizados como indicadores da produção de biossólido classe A, não sendo mais necessário caracterizar o lodo tratado em termos de ovos de helmintos.		
Alternativa 4: Lodo tratado em processo não especificado	Aplicada a biossólido aplicados em lotes. Presença de ovos viáveis de helmintos deverá ser menor que 1 por grama de sólido total (g de ST).		
Alternativa 5: Lodo tratado em processos de redução adicional de patógenos	a) compostagem confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55°C) ou com revolvimento das leiras (15 dias a 55°C, com revolvimento mecânico durante 5 dias, ao longo dos 15 dias do processamento);		
	b) secagem térmica direta ou indireta para reduzir o teor de água no lodo de esgoto a menos de 10%, devendo a temperatura de lodo		

	<p>superar 80°C, em contato com o lodo de esgoto, no momento da descarga do secador, ser superior a 80°C;</p> <p>c) tratamento térmico pelo aquecimento do lodo de esgoto sanitário, na forma líquida, a 180°C por 30 minutos;</p> <p>d) digestão aeróbia termofílica a ar ou oxigênio, com tempos de residência de 10 dias, sob temperaturas de 55 a 60°C;</p> <p>e) processos de irradiação com raios beta a dosagens mínimas de 1 megarad a 20°C, ou com raios gama na mesma intensidade e temperatura, a partir de isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137;</p> <p>f) processos de pasteurização, pela manutenção do lodo de esgoto a uma temperatura mínima de 70°C, por mínimo de 30 minutos.</p>
Alternativa 6: Lodo tratado em um processo de redução adicional de patógenos.	O lodo de esgoto sanitário é tratado por um outro processo, comprovadamente equivalente a um processo de redução adicional de patógenos e aceito pelo órgão ambiental competente.

Fonte: Adaptado de CONAMA 498/2020

O biossólido é classificado como Classe B, quando atende ao limite máximo de  $10^6$  *Escherichia coli* / g de ST ou quando é proveniente de um dos processos de redução de patógenos descritos na Tabela 9, com a devida demonstração de atendimento dos respectivos parâmetros operacionais.

Tabela 9 - Processos para obtenção de biossólido Classe B.

PROCESSO	REQUISITOS
Alternativa 1: Lodo tratado em um processo de redução significativa de patógenos.	a) digestão aeróbia, com retenções mínimas de 40 dias, sob temperatura de 20°C ou por 60 dias, sob temperatura de 15°C;
	b) secagem em leitos de areia ou em bacias, pavimentadas ou não, cobertas ou não, até atingir teor de sólidos mínimo de 60%;
	c) digestão anaeróbia por um período mínimo de 15 dias a 35-55°C ou de 60 dias a 20°C;
	d) compostagem por qualquer um dos métodos citados anteriormente, desde que a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40°C, durante 5 dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de 4 horas sucessivas durante este período;
	e) estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado a 12, por um período mínimo de 2 horas.

Alternativa 2: Lodo tratado em um processo equivalente aos de redução significativa de patógenos.	O lodo de esgoto sanitário é tratado por um outro processo, equivalente a um processo de redução significativa de patógenos
---	---

Fonte: Adaptado de CONAMA 498/2020

Para aplicação em solos, o bioossólido deverá ser classificado em Classe 1 ou Classe 2, de acordo com os valores máximos permitidos de substâncias químicas, conforme determinado pela CONAMA 498/2020 e apresentado na Tabela 10, não podendo ser ultrapassados em qualquer das amostras analisadas.

Tabela 10 - Valores máximos permitidos de substâncias no bioossólido a ser destinado em solos.

Substâncias Químicas	Valor Máximo permitido no bioossólido (mg/kg ST)	
	CLASSE 1	CLASSE 2
Arsênio	41	75
Bário	1300	1300
Cádmio	39	85
Chumbo	300	840
Cobre	1.500	4.300
Cromo	1.000	3.000
Mercúrio	17	57
Molibdênio	50	75
Níquel	420	420
Selênio	36	100
Zinco	2.800	7.500

Fonte: CONAMA 498/2020.

O bioossólido Classe 2 somente poderá ser aplicado em solos, sejam eles áreas degradadas ou não, se a taxa máxima anual e a carga máxima acumulada de substâncias químicas não exceder os limites apresentados pela CONAMA 498/202 na Tabela 11.

Tabela 11 - Taxa anual e carga acumulada máxima de substâncias em solo com bioossólido Classe 2.

Substâncias químicas	Taxa máxima anual (kg/ha.ano)	Carga máxima acumulada (kg/ha)	
		Solos de áreas degradadas	Solos de áreas não degradadas
Arsênio	2	20	41

Bário	13	130	260
Cádmio	1,9	19	39
Cromo	150	1500	3000
Cobre	75	750	1500
Chumbo	15	150	300
Mercúrio	0,85	8,5	17
Molibdênio	0,65	6,5	13
Níquel	21	210	420
Selênio	5	50	100
Zinco	140	1400	2800

Fonte: CONAMA 498/2020.

### 4.6.3. Decreto Federal 4954/2004

O Decreto Federal 4954/2004, alterado pelo Decreto 8384/2014 e pelo Decreto 8059/2013 estabelecem as normas gerais sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. É de responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, incluindo os produtos gerados a partir da compostagem do lodo biológico de ETE.

O artigo 5º cita que o registro desses produtos é realizado por unidades de estabelecimento autorizados pelo MAPA e tem validade de 5 anos, podendo ser renovado por iguais períodos, desde que solicitado com antecedência de 30 a 60 dias do vencimento. A Tabela 12 apresenta as informações e documentos necessários para solicitar o registro do estabelecimento e do produto gerado a partir do composto

Tabela 12 - Documentos e Informações para Registro do Estabelecimento e Produto

REGISTRO	INFORMAÇÕES E DOCUMENTOS
<b>Estabelecimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nome empresarial e endereço do estabelecimento</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instrumento social e alterações contratuais registradas no órgão competente, onde deverá constar endereço e competência para exercer a atividade</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inscrições federal, estadual e municipal</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registro nos Conselhos de Engenharia ou de Química</li> </ul>

	• Licença ou autorização, expedida pelo órgão ambiental
	• Especificação das atividades, instalações, equipamentos e capacidade operacional do estabelecimento
	• Nome, tipo e natureza física dos produtos e origem das matérias-primas
	• Descrição dos processos de preparação dos produtos
	• Descrição do sistema de identificação do produto
	• Identificação do profissional habilitado à prestação de assistência técnica
	• Descrição de métodos de controle de qualidade que garantam a oferta de produtos conformes e seguros para o uso proposto
	• Prova da existência de laboratório habilitado, cadastrados no MAPA, para o controle de qualidade químico, físico e biológico
<b>Produto</b>	• Nome empresarial, CNPJ, endereço, número de registro e classificação do estabelecimento no MAPA;
	• Nome do produto e sua classificação;
	• Matérias-primas;
	• Carga ou veículo ou aditivo ou micro-organismo e suporte
	• Garantias do produto

Fonte: Decreto Federal 4954/2004

No artigo 15º, é apresentado o cadastro de produto novo, e as exigências de realização de relatório técnico-científico conclusivo, emitido por órgão brasileiro de pesquisa oficial ou credenciado, atestando a viabilidade e eficiência, estabelecidos pelo MAPA, para o uso agrícola com testes de até 3 safras agrícolas. Atendendo aos requisitos exigidos pelo MAPA, é emitido um registro temporário de 2 anos, tempo que deve ser utilizado para apresentar comprovante de publicação do relatório técnico-científico conclusivo em revista científica com classificação Qualis/Capes na área de ciências agrárias com nível mínimo B2.

A empresa deve contar com assistência técnica de profissional habilitado, cadastrado no MAPA, e com anotação do conselho de classe que terá responsabilidade solidaria junto a empresa produtora quanto a qualquer infração cometida.

#### **4.6.4. Instrução Normativa 25/2009(MAPA)**

“Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos

fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.”

Segundo a Instrução Normativa (IN) 25/2009, os fertilizantes podem ser classificados conforme a origem de sua matéria-prima, de Classe A até Classe D, como é o caso dos fertilizantes a base de composto de lodo de ETE, como apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Classificação de fertilizantes de acordo com a matéria-prima

CLASSE	DEFINIÇÃO
A	Matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, sem metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura
B	Matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, em que metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura
C	Matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura
D	<b>Matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.</b>

Fonte: Adaptado de Instrução Normativa 25/2009

A IN 25/2009 define que para o registro dos produtos classe D deverá ser informada a origem das matérias-primas, os nutrientes, carbono orgânico, assim como os teores de elementos potencialmente tóxicos, agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas ou outros contaminantes, respeitando os parâmetros básicos dos fertilizando conforme Tabela 14. A Instrução Normativa também exige que se apresente a licença ambiental de operação ou manifestação do órgão do meio ambiente aprovando o uso destes materiais na agricultura.

Tabela 14 – Parâmetros básicos dos fertilizantes orgânicos de Classe D

PARAMETROS	MISTO/COMPOSTO CLASSE D
Umidade (%)	<b>máx 70,0</b>
Nitrogênio Total (mg/L)	<b>mín 0,5</b>
Carbono orgânico (mg/L)	<b>mín 15,0</b>

pH	<b>mín 6,0</b>
Relação C/N	<b>máx 20,0</b>

Fonte: Adaptado de Instrução Normativa 25/2009

Os fertilizantes somente poderão ser comercializados para consumidores finais, mediante recomendação técnica firmada por engenheiro agrônomo ou engenheiro florestal, devendo constar na embalagem ou rotulo do produto. Deve ser mantido o controle da destinação destes produtos à disposição da fiscalização pelo prazo mínimo de 180 dias.

É importante destacar que a IN 25/2009 faz restrições ao uso de fertilizantes Classe D, instruindo a aplicação somente através de equipamentos mecanizados e utilizando Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Além disso, também proíbe o uso em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes, culturas inundadas, bem como outras culturas que a parte comestível entre em contato com o solo.

#### **4.6.5. Instrução Normativa 27/2006 (MAPA)**

A IN 27/2006 foi republicada em 2016 e refere-se às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas, conforme a Tabela 15. As empresas que produzem fertilizantes devem fazer controles periódicos desses parâmetros, os resultados analíticos tem uma tolerância limite de 30% dos valores definidos na norma.

Tabela 15 – Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>VALOR MÁXIMO ADMITIDO</b>
Arsênio (mg/kg)	20,00
Cádmio (mg/kg)	3,00
Chumbo (mg/kg)	150,00
Cromo hexavalente (mg/kg)	2,00
Merúrio (mg/kg)	1,00
Níquel (mg/kg)	70,00
Selênio (mg/kg)	80,00

Coliformes Termotolerantes (NMP/g de matéria seca)		1000,00
Ovos viáveis de helmintos (nº em 4g sólidos totais)		1,00
Salmonella sp		Ausência em 10g de matéria seca
Materiais Inertes	Vidros, plásticos e metais > 2,0mm	0,5% na massa seca
	Pedras > 5,0mm	5,0% na massa seca

Fonte: Adaptado do Anexo V da IN 27/2006

## 4.7. Sustentabilidade Ambiental

Além de reduzir os custos a médio/longo prazo, o processo de compostagem traz sustentabilidade aos sistemas de tratamento de esgoto, pois evita a necessidade da ocupação de espaço de aterros para destinação dos resíduos e devolvem ao solo nutrientes necessários para diversas culturas de forma gradual, contribuindo para o ciclo ecológico. O composto gerado no processo, respeitando as limitações citadas na legislação, pode ser utilizado em agricultura familiar, reduzindo custos aos pequenos agricultores e trazendo um excelente resultado agrônômico às colheitas.




### 4.7.1. Estudos Prévios

No início do ano de 2021 foram realizados os primeiros estudos para realização da compostagem do lodo da ETE Mato Grande. O principal objetivo foi avaliar o processo de compostagem e o composto resultante, de forma a explorar uma destinação alternativa ao lodo da ETE, que hoje é disposto em aterro sanitário.

Primeiramente, foram coletadas três amostras de lodo oriundos do decantador secundário e que estavam dispostos nos leitos de secagem ao ar livre. Conforme Tabela 16 foram utilizadas três amostras com lodos em estágios diferentes de secagem, e por conseguinte em níveis diferentes de estabilização.



Tabela 16 - Lodo do leito de secagem utilizado para a realização dos protótipos de compostagem.

<p>LODO 1</p>		<p>Umidade= 90,8%                  Carbono= 12,1%                  Nitrogênio= 4,4%                  Relação C/N= 2,75</p>
<p>LODO 2</p>		<p>Umidade= 91,9%                  Carbono= 11,8%                  Nitrogênio= 3,5%                  Relação C/N= 3,37</p>
<p>LODO 3</p>		<p>Umidade= 88,7%                  Carbono= 24,4%                  Nitrogênio= 4,3%                  Relação C/N= 5,67</p>

Com essas amostras de lodo, foram montadas três pequenas leiras misturando lodo da ETE com serragem de madeira sem tratamento químico, comprada em uma



agropecuária comum. Segundo Correa et al (2007), a serragem tem uma relação C/N de aproximadamente 400 e uma umidade baixa, de cerca de 9%, favorecendo o processo de formação do composto.

O espaço utilizado para o processo de compostagem tinha, aproximadamente, 5,00m x 7,00m, e estava localizado logo abaixo da câmara de chegada de esgoto na ETE Mato Grande. O espaço era coberto e cercado, protegendo as leiras de intempéries. Além disso, o solo era recoberto parte por pisos de azulejos e parte por brita, sendo necessário a impermeabilização do solo por lonas.

As três leiras foram montadas entre o final de fevereiro e início de março, intercalando o lodo de ETE com a serragem de madeira, utilizando duas camadas de lodo, iniciando e finalizando com a serragem. A Leira 1 possuía 0,45 m<sup>3</sup> (0,32 m<sup>3</sup> de serragem e 0,13 m<sup>3</sup> de lodo), a Leira 2 possuía 1,00 m<sup>3</sup> (0,53 m<sup>3</sup> de serragem e 0,47 m<sup>3</sup> de lodo) e a Leira 3 tem 0,98 m<sup>3</sup> (0,58 m<sup>3</sup> de serragem e 0,40 m<sup>3</sup> de lodo). Foram instalados termômetros digitais com haste de metal nas leiras para medir a temperatura interna e externa. A Figura 9 apresenta a montagem de leira a esquerda e as três leiras já formadas a direita.



Figura 9 - Montagem dos 3 protótipos de leira da ETE Mato Grande.

A relação C/N das leiras iniciou entre 60 e 80, devido ao desprendimento do dióxido de carbono. A aeração foi controlada através de revolvimentos semanais utilizando uma pá. A umidade era observada pela consistência do composto quando era revolvido, quando a amostra aparentava estar muito seca, era levemente umedecida com mangueira d'água. A temperatura era registrada 3 vezes ao dia durante todo o período de compostagem.

O final da operação das leiras foi na metade de junho de 2021, quando foram coletadas amostras do composto e enviadas para laboratório, para analisar os seguintes parâmetros, conforme CONAMA 498/2020: *Escherichia coli*, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco.

O protótipo de compostagem de lodo de ETE juntamente com serragem de madeira como material estruturante, serviu para avaliar o comportamento do resíduo nesse tipo de processo, além de avaliar o resultado final nos parâmetros exigidos por legislação. As temperaturas exigidas para a compostagem não foram atingidas, porém as amostras apresentaram valores de parâmetros adequados conforme comparação realizada com padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 498/2020. Também foi verificada redução de patógenos necessária para a produção de biossólido com o fim de aplicação no solo, o que pode ser justificado pelo pequeno tamanho da leira.

Dessa forma, concluiu-se que o lodo da ETE Mato grande é um resíduo orgânico que possui potencial de ser compostado e apresentar resultados satisfatórios, porém com outras proporções de leira e composições de insumos. Para uma análise definitiva, o biossólido proveniente de lodo de esgoto deverá ser avaliado quanto ao seu potencial agrônomo para verificar sua capacidade de devolução de nutrientes ao solo. A partir disso, o biossólido pode ser aplicado em diferentes culturas, pastagens e em recuperação de solos e áreas degradadas, entre outros.

## **5. MÉTODOS E MATERIAIS**

### **5.1. Área de Estudo**

A área de estudo foi definida no terreno da Estação de Tratamento de Esgoto Mato Grande, da CORSAN, no município de Canoas, Rio Grande do Sul, operada atualmente pela Ambiental Metrosul, parceria público-privado do saneamento. A ETE tem capacidade descrita em Licença de Operação (LO) de 260L/s, atendendo, atualmente, cerca de 150.000 pessoas. Conforme Figura 10, o local possui um grande espaço disponível para montagem do galpão de compostagem, que serviria como projeto piloto para outras unidades da Ambiental Metrosul.

## LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO MATO GRANDE, CANOAS - RS

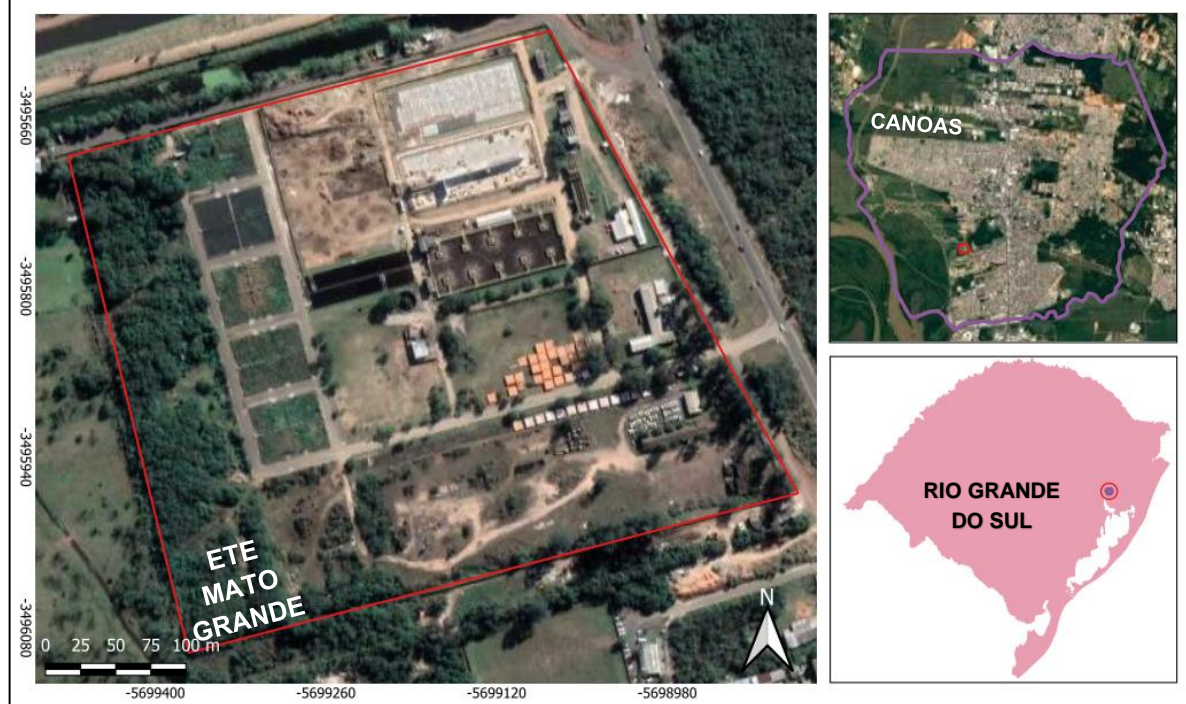


Figura 10 - Area de Estudo: ETE Mato Grande, Canoas - RS

Destaca-se que no momento, a ETE Mato Grande passa por um processo de expansão que aumentará sua capacidade de tratamento para 965L/s. Dessa forma a ETE possuirá um potencial de tratamento de esgoto de toda a cidade de Canoas e sua expansão nos próximos 30 anos. A expansão do atendimento trará uma maior produção de lodo, portanto é importante analisar a Usina de Compostagem dimensionada como um módulo, e propor a possibilidade de sua expansão.

### 5.2. O processo de compostagem

O sistema de tratamento de esgotos na ETE Mato Grande inicia a partir do bombeamento do efluente do município de Canoas, através da estação de bombeamento de esgoto (EBE). Logo após é submetido ao tratamento preliminar, que consiste em gradil de sólidos grosseiros, desarenador de sólidos finos e medidor de vazão calha Parshall. Ao final da etapa inicial, o efluente é encaminhado ao tanque de aeração do processo de lodo ativado.

O tanque de aeração possui volume de operação de 27.000 m<sup>3</sup> e vazão máxima de 260 L/s. A aeração é realizada por até 10 aeradores do tipo fixo e vazão média de 0,15 m<sup>3</sup>/s, que podem ser acionados dependendo dos parâmetros operacionais

analisados no esgoto afluyente. O tempo de permanência do esgoto no tanque de aeração é de cerca de 30 horas, e nessa etapa é inserido cerca de 45mg/L cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) para remoção do fósforo(P). Posteriormente, o efluente é direcionado para o decantador secundário, onde o sólido e o efluente tratado passam por um processo de separação mecânica.

Certa parte do lodo, que tem cerca de 90% de umidade, conforme os estudos prévios realizados, é recirculado ao tanque de aeração, já outra parte desse lodo formado é direcionado para os 5 leitos de secagem que podem armazenar cerca de 600m<sup>3</sup> de lodo (50,00m x 40,00m x 0,30m). O lodo permanece nestes dispositivos por um intervalo de 20 a 30 dias para adensamento e desidratação, até atingir o nível de lodo seco, com uma umidade ótima de 60 a 70%. Após isso, atualmente, o lodo é removido do leito de secagem e transportado por caminhões caçamba até o aterro sanitário Classe I, IIA e IIB, da Multti Serviços, localizado em Nova Santa Rita, Rio Grande do Sul.

A proposta do estudo é que, após ser removido do leito de secagem, o lodo seja transportado até o espaço das leiras dentro do galpão através de uma retroescavadeira que intercalará o lodo e o material estruturante, camada por camada, até chegar as dimensões determinadas. A Figura 11 indica a localização de todas as etapas do tratamento de esgoto e a alternativa de disposição de lodo da ETE.



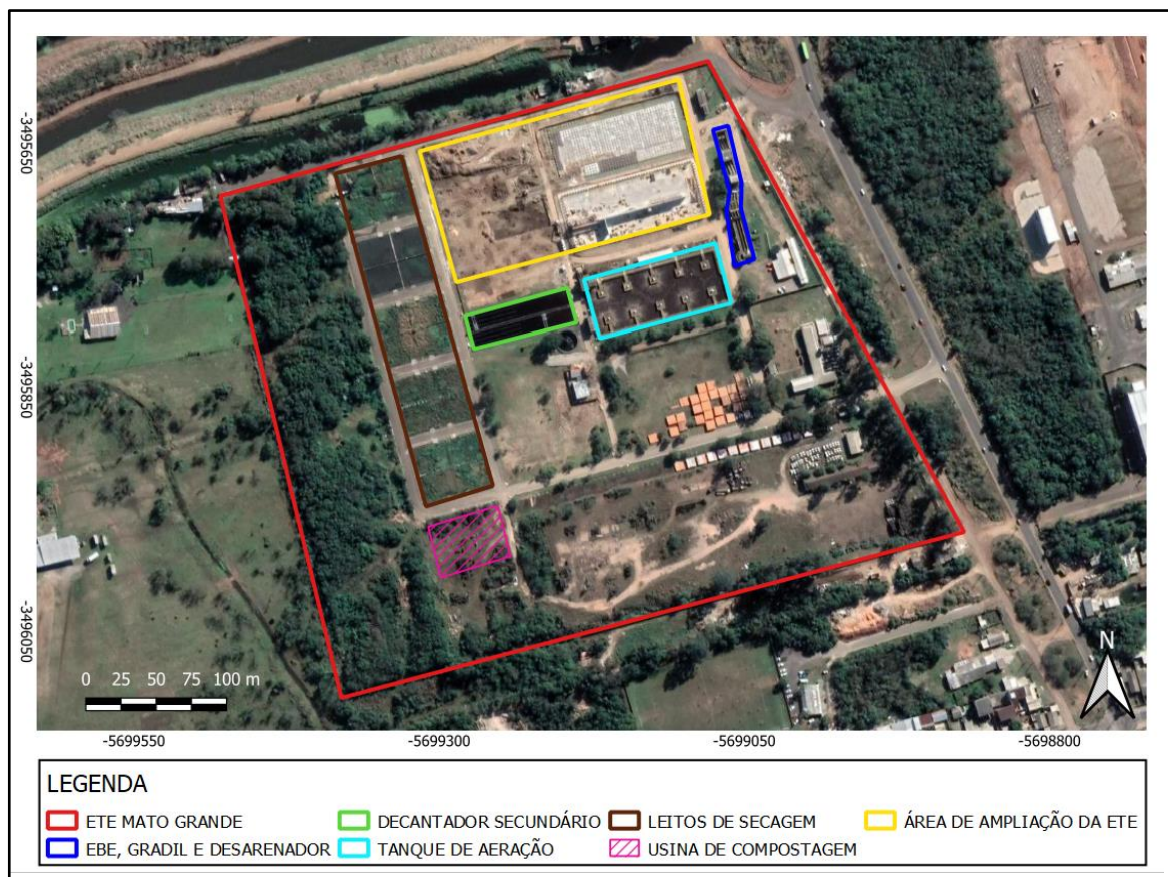


Figura 11 - Localização das etapas da ETE Mato Grande

Uma vez dispostas em leiras e misturadas ao material estruturante, o material é retido cerca de 28 dias, sendo umedecido diariamente e revolvido 3 vezes por semana (Kuter apud Fernandes, 2012). Durante o processo de compostagem é fundamental que sejam controlados alguns parâmetros, como umidade e temperatura, através de aparelho digital com sonda metálica, e pH, utilizando pHmetro, demanda que será suprimida pelo laboratório da própria ETE Mato Grande. Ao estabilizar a temperatura, o composto está pronto, logo, deve ser transportado para o tanque de armazenagem de composto, onde pode ser retirado para uso. A Figura 12 apresenta o fluxograma do processo de compostagem.

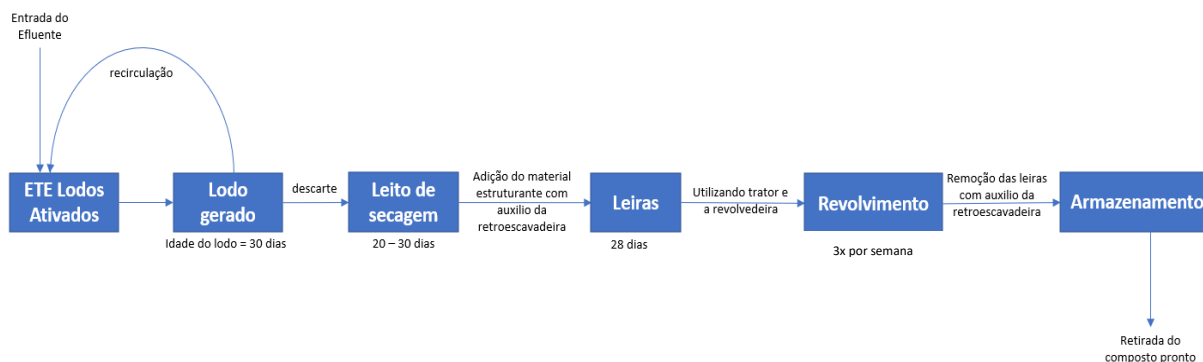


Figura 12 - Fluxograma processo de compostagem.

### 5.3. Dimensionamento da usina de compostagem

O dimensionamento da Usina de Compostagem foi realizado utilizando como base cálculos para estimar a quantidade de lodo gerado, conforme equações descritas por Jordão e Pessoa (2014). Foram utilizados valores diretos, adaptados à realidade da ETE, mas obtidos em bibliografia conhecida e dados fornecidos pela parceria público-privada da CORSAN, a Ambiental Metrosul.

#### 5.3.1. O Lodo Gerado e o Material Estruturante

O primeiro passo da análise do lodo é a sua caracterização referente à classe de resíduo, conforme descrito pela NBR 10004/2014. De acordo com a norma, de acordo com a característica do resíduo, é realizada classificação quanto à sua periculosidade, sendo Classe I resíduo perigoso e Classe II resíduo não perigoso, que pode ser subdividido em II-A (inerte) ou II-B (não-inerte).

Atualmente, não é realizado a quantificação do lodo produzido pela ETE Mato Grande, por isso, será estimada a produção de lodo do sistema de lodo ativado, considerando a idade do lodo, produção líquida, recirculação e descarte do lodo. Para isso, alguns parâmetros serão fixados com base na referência bibliográfica consultada, conforme demonstrado na Tabela 17

Tabela 17 - Parâmetros obtidos em bibliografia para estimativa de lodo produzido

Parâmetro	Valor utilizado	Referência
Y = Coeficiente de produção celular (mg SSV/mg DBO)	0,80	Jordão e Pessoa (2014)
$R_{SSV/SST}$ = Relação SSV/SST afluente ao Tanque de Aeração	0,75	Von Sperling (2012)

$TS$ = Teor de Sólidos para lodo seco (%)	25	MetCalf (2015)
$\gamma$ = Peso específico do lodo ( $\text{kg/m}^3$ )	1000	Jordão e Pessoa (2014)
$k_d$ = Taxa de Respiração Endógena ( $d^{-1}$ )	0,05	Von Sperling (2012)
$f_b$ = fração biodegradável	0,67	Von Sperling (2012)
$\theta_c$ = idade do lodo (dias)	20	Jordão e Pessoa (2014)

Porém outros dados serão informados pelo corpo técnico da Ambiental Metrosul, conforme mostrado na Tabela 18, para o cálculo do lodo gerado que irá para o leito de secagem e posteriormente para as leiras da Usina de Compostagem.

Tabela 18 - Parâmetros fornecidos pela Ambiental Metrosul

Parâmetro	Valor a ser utilizado	Referência
$S_o$ = concentração da DBO afluente ( $\text{mg/L}$ )	110	Ambiental Metrosul (2021)
$S_e$ = concentração da DBO efluente ( $\text{mg/L}$ )	10	Ambiental Metrosul (2021)
$Q$ = vazão média da ETE ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )	19008,86	Ambiental Metrosul (2021)
$V_{TA}$ = volume do tanque de aeração ( $\text{m}^3$ )	27.000,00	Ambiental Metrosul (2021)

O coeficiente de produção celular específico observado ( $Y_{obs}$ ) é calculado pela correção através da autooxidação das células, ou seja, a fração das células dos organismos que será destruída na fase endógena. Segundo Jordão e Pessoa (2014), este coeficiente é calculado através da relação entre o coeficiente de produção celular ( $Y$ ), que é a fração da matéria orgânica sintetizada em novas células correspondente a um aumento de massa de organismos, a Taxa de Respiração Endógena ( $k_d$ ), a Fração Biodegradável ( $f_b$ ) e a idade do lodo ( $\theta_c$ ), conforme mostra (1).

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1+k_d \times f_b \times \theta_c} \quad (1)$$

Onde,

$Y_{obs}$  = coeficiente de produção celular específica observada, corrigido pela autooxidação ( $\text{mg SSV/mg DBO}$ )

$Y$  = coeficiente de produção celular ( $\text{mg SSV/mg DBO}$ )

$k_d$  = Taxa de Respiração Endógena ( $d^{-1}$ )

$f_b$  = Fração Biodegradável

$\theta_c$  = Idade do lodo (dias)



A produção final do lodo líquido ( $\Delta X$ ) corresponde ao ganho devido a fase de síntese dos organismos menos a perda devido a fase de respiração endógena, e é uma relação entre o coeficiente de produção celular específica observada ( $Y_{obs}$ ), a diferença entre as concentrações de DBO afluente ( $S_o$ ) e DBO efluente ( $S_e$ ), através de (2).

$$\Delta X = Y_{obs} \times (S_o - S_e) \times Q \quad (2)$$

Onde,

$\Delta X$  = produção final do lodo líquido (kg SV/dia)

$S_o$  = concentração da DBO afluente

$S_e$  = concentração da DBO efluente

$Q$  = vazão da ETE(m<sup>3</sup>/dia)

Para o cálculo do Volume do lodo a ser descartado ( $V_L$ ), é preciso obter a densidade do lodo seco, dessa forma, utilizando (3), que corresponde a densidade de lodo ativado, uma equação empírica apresentada por Arleu (2014), que depende do Teor de Sólidos (TS) do resíduo da ETE foi possível obter o valor desejado.

$$\rho = 0,0034 * TS + 0,9685 \quad (3)$$

Onde,

$\rho$  = densidade do lodo seco (g/mL)

$TS$  = Teor de Sólidos (%)

Após obter o valor produção líquida de lodo ( $\Delta X$ ) e calcular a densidade do lodo seco a partir do Teor de Sólidos (TS), é necessário calcular o volume de lodo seco a ser descartado ( $V_L$ ). A equação (4) demonstra que o  $V_L$  é obtido a partir do quociente entre o produto de  $\Delta X$  e a Relação de Sólidos Suspensos Voláteis e os Sólidos Suspensos Totais ( $R_{SSV/SST}$ ) pelo produto de Teor de Sólidos(TS), densidade do lodo seco ( $\rho$ ) e peso específico do lodo ( $\gamma$ )

$$V_L = \frac{\Delta X * R_{SSV/SST}}{TS * \rho * \gamma} \quad (4)$$

Onde,

$V_L$  = volume de lodo seco a ser descartado (m<sup>3</sup>/dia)

$R_{SSV/SST}$  = Relação SSV/SST afluente ao TA

$TS$  = Teor de Sólidos

$\rho$  = densidade do lodo seco (g/mL)

$\gamma$  = peso específico do lodo (kg/m<sup>3</sup>)

Para corroborar a afirmativa inicial é necessária a verificação da idade do lodo, para conferir se o lodo escolhido inicialmente está coerente, utiliza-se (5), que faz uma relação entre o Volume do tanque de aeração e produção.

$$\theta_c = \frac{V_{TA}}{\left(\frac{\Delta X}{R_{SSV}}\right) \frac{SST}}{SST} \quad (5)$$

Onde,

$V_{TA}$  = volume do tanque de aeração (m<sup>3</sup>)

O material estruturante a ser utilizado será fornecido através de uma parceria junto a prefeitura de Canoas, que fornecerá podas de árvores já trituradas oriundas dos serviços prestados ao município, já que a prefeitura não possui local adequado para dispor esse resíduo. Conforme citado no estudo realizado anteriormente, o lodo disposto no leito de secagem da ETE Mato Grande possui relação C/N de 5,67 e as podas de árvore são ótimos materiais estruturantes, possuindo geralmente um pH neutro, relação C/N próxima a 46 e umidade aproximada de 30%. Dessa forma, para que se atinja uma mistura ideal para realização da compostagem, com relação C/N de aproximadamente 25, será necessária uma mistura de 1:1 em relação ao lodo retirado do leito de secagem.

Para que não haja problemas com a umidade do resíduo estruturante, será utilizado o mesmo espaço da Usina de compostagem para abrigar o material. Dessa forma ao compor o galpão da Usina, é importante que se reserve um espaço equivalente a um mês de utilização de material estruturante.

### **5.3.2. Dimensionamento das Leiras e do Galpão**

O sistema de revolvimento escolhido para o projeto é o de leiras revolvidas (*windrow*), utilizando revolvimento mecânico para a convecção e difusão do ar entre o

composto. O dimensionamento das leiras e do galpão é dependente da quantidade de lodo produzido, da quantidade de material estruturante e do maquinário de revolvimento que irá atender a leira dimensionada. Utilizando o que foi proposto por Metcalf (2016), e respeitando as características do maquinário de revolvimento orçado, serão adotadas três leiras (N) com 1,50m de altura (H) e 3,00m de largura (B), conforme Figura 13.

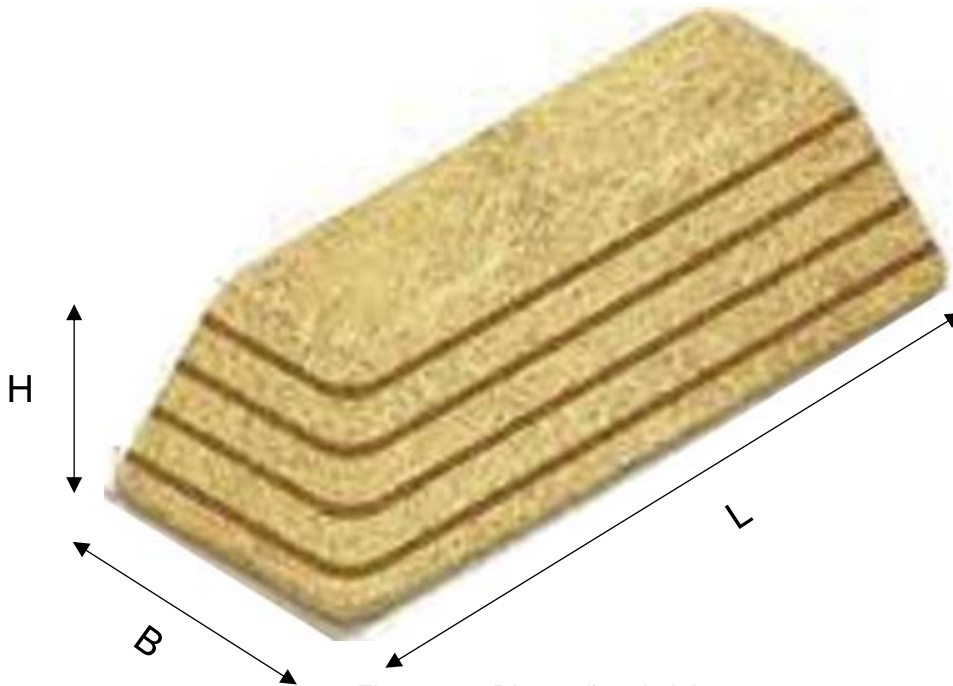


Figura 13 - Dimensões da leira

Entre as leiras deve haver espaçamento suficiente para que haja passagem das máquinas de revolvimento e das retroescavadeiras que transportarão o composto. O tempo médio de compostagem é de 28 dias, dessa forma, é possível definir o comprimento total das leiras da Usina de Compostagem, utilizando (6). (adaptado de Sousa et al, 2016)

$$L = \frac{2}{B \times h} \times V \times \frac{1}{N} \quad (6)$$

Onde,

L = comprimento da leira (m)

B = largura da base leira (m)

h = largura da leira (m)

V = volume do lodo + material estruturante(m<sup>3</sup>)

N = número de leiras

É importante também que seja reservado um espaço para o armazenamento do composto, enquanto o resíduo não recebe seu destino final, e para o armazenamento do resíduo estruturante. Como a duração do processo tende a ser de cerca de 28 dias, um espaço para armazenamento de 1 mês foi dimensionado para proteger o composto até seu destino final.

Para calcular as dimensões do galpão da Usina de Compostagem é importante que sejam avaliadas todas as estruturas que precisam estar cobertas e protegidas contra intempéries, que, fundamentalmente, serão as três leiras, a retroescavadeira, a estrutura de armazenamento do material estruturante e a armazenagem do composto pronto. Para movimentação e deslocamento das máquinas e dos operadores, cada uma das estruturas deverá ter espaçamento de 3 metros.

#### **5.4. Payback**

O *payback* da implantação da Usina de Compostagem na ETE Mato Grande foi calculado considerando as despesas mensais atuais da Ambiental Metrosul com o destino para aterros sanitários, e os gastos para implantação e operação da Usina de Compostagem. O cálculo do Tempo de Retorno (TR) de investimento será calculado através do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), que é um índice que tem como objetivo calcular o valor presente de uma sucessão de pagamentos futuros, deduzindo uma taxa de custo de capital. O *payback*, em meses, será obtido a partir do momento em que (7) apresentar valores positivos.

$$VPL = \left( \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} \right) - CI \quad (7)$$

Onde,

VPL = Valor Presente Líquido no último período (n) de capitalização em R\$;

t = enésimo período de tempo de capitalização, em meses;

n = número de períodos de tempo (t) de capitalização

FC = Fluxo de Caixa (economia), em R\$;

CI = Custo de Investimento (investimento), em R\$

TMA = Taxa Mínima de Atratividade mensal, em %

Para calcular a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi considerada Taxa de Juros Selic, que atualmente é 7,75% ao ano. Como a estimativa que queremos obter

é, em meses, é necessário que seja a Taxa SELIC anual seja convertida em mensal, através de (8).

$$i_M = \sqrt[12]{(1 + i_A)} - 1 \quad (8)$$

Onde,

$i_M$  = Taxa de juros mensal (%)

$i_A$  = Taxa de juros anual (%)

#### 5.4.1. Despesas aterro sanitário

As despesas mensais de destinação do lodo de ETE para aterro sanitário é composto pelos custos de transporte de caminhão, em m<sup>3</sup>, até o aterro sanitário de Nova Santa Rita e o custo de disposição que o aterro cobra para a destinação, conforme Tabela 19.

Tabela 19 - Custos para disposição em aterro sanitário

Despesa mensais	Valor (R\$)	Empresa
Transporte ao aterro (m <sup>3</sup> )	R\$ 29,00	JE Pereira Transportes
Disposição no aterro (m <sup>3</sup> )	R\$ 180,00	Multti Serviços Tecnologia Ambiental LTDA

Os valores utilizados foram fornecidos pela Ambiental Metrosul. Como os dois itens são variáveis através do Volume do Lodo Descartado ( $V_L$ ), a soma do produto do  $V_L$ , em m<sup>3</sup>, e a soma dos custos com transporte e disposição, em reais, através de (9).

$$\text{Despesa mensal aterro} = (\text{Transporte ao aterro} + \text{Disposição no aterro}) * V_L \quad (9)$$

#### 5.4.2. Custo de implantação da Usina de Compostagem

O cálculo de implantação da usina de compostagem deve considerar todos os gastos que o empreendimento terá, desde os gastos com estudos ambientais, até os gastos com a estrutura do galpão e com maquinário.

- Estudos e Projetos Ambientais: A implantação da Usina de Compostagem necessitará de licenciamento, seja municipal, através da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA) Canoas, ou estadual, através da FEPAM. Portanto, será necessário a apresentação de projeto arquitetônico e executivo, além de estudos de monitoramento de fauna e flora. Segundo

a CONAMA 372/2018, se o galpão tiver uma capacidade menor que 150 t/mês de lodo de ETE, não é necessário a licença pela FEPAM, ficando a cargo do município a regularização, conforme Tabela 20.

Tabela 20 - Atividades Licenciáveis FEPAM. Fonte CONSEMA 372/2005

Descrição	Potencial poluidor	Porte					Excepcional
		Não incidência	Mínimo	Pequeno	Médio	Grande	
Compostagem de resíduo industrial classe IIa (t/mês)	Médio	até 150	150 a 300	300 a 500	500 a 3000	3000 a 6000	demais

- **Estrutura:** Para o cálculo da implantação da estrutura, foi realizado orçamento para montagem de um galpão sem paredes, porém coberto com material translúcido para aproveitar a luz solar e auxiliar na manutenção da temperatura. O orçamento do galpão também inclui piso impermeável, instalações elétricas e sistema de drenagem de água da chuva que será direcionado para um reservatório que será utilizado tanto para umidificação das leiras como nos tanques de água dos caminhões de hidrojateamento para limpezas e desobstruções da rede coletora de esgoto.
- **Equipamentos necessários:** As leiras que serão montadas no processo de compostagem serão pesadas e extensas, inviabilizando o revolvimento manual adequado. Por isso, é necessário a aquisição de equipamento de revolvimento do solo, como o orçado para a realização deste *payback* e que é apresentado na *Figura 14*.

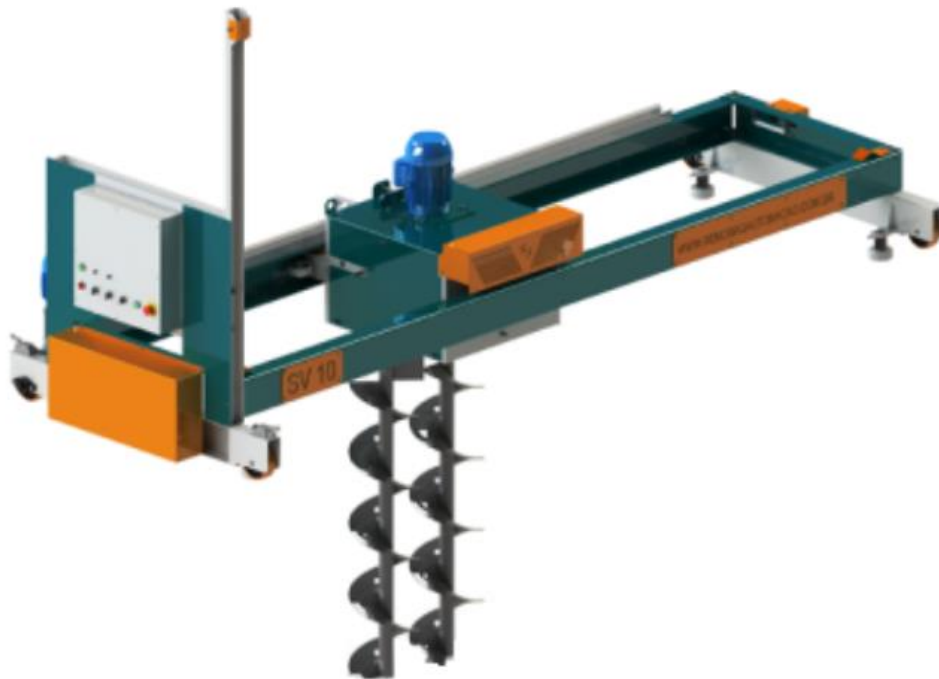


Figura 14 - Revolvedor de leira móvel (Fonte: Renomaq)

Para realização da análise financeira foram realizados orçamentos e consultas a empresas de engenharia, obtendo os valores descritos na Tabela 21.

Tabela 21 - Gastos com estrutura, equipamentos e estudos ambientais necessários para implantação da Usina de Compostagem

<b>Equipamento</b>	<b>Valor orçado</b>	<b>Empresa</b>
Projeto Ambiental (arquitetônico e executivo)	R\$ 95.300,00	New Engenharia
Galpão (m <sup>2</sup> )	R\$ 350,00	LM Construções
Implemento de Revolvimento de Leira SV10 + Frete	R\$ 82.315,00	Renomaq
Retroescavadeira 4x4	R\$ 305.750,00	PesaCat

A equação (10) apresenta o cálculo de investimento para instalação de Usina de Compostagem, incluindo estudos ambientais para licenciamento, valores de maquinário, como retroescavadeira e o implemento de revolvimento de leira, além do preço do galpão, em m<sup>2</sup>, que varia de acordo com seu dimensionamento.

$$\text{Investimento UC} = \text{Projeto ambiental} + \text{revolvedor} + \text{retroescavadeira} + (\text{Área do galpão}) * 350 \quad (10)$$

## **5.5. Levantamento da demanda da região pelo composto**

Os nove municípios que a Ambiental Metrosul atende fazem parte de uma Região que apresenta forte pressão da área urbana sobre a área rural, tendo somente 2,41% de contribuição da agricultura no seu PIB. Apesar de possuir um potencial agrícola classificado como médio-baixo região produz arroz, frutas, flores e culturas típicas da agricultura familiar (milho, aves, suínos, leite, verduras, temperos).

O projeto, além de reduzir custos com a disposição de lodo e destinar o resíduo para um final mais sustentável, tem como objetivo trazer um retorno para a sociedade em que está inserida, dessa forma, o composto será doado para atender as demandas agrícolas dos municípios de atendimento da Ambiental Metrosul. Posteriormente, devido seu alto potencial fertilizante, é viável a análise mercadológica do produto, já que existem produtos semelhante que são vendidos no mercado agropecuário.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Classificação e quantificação de lodo gerado**

O lodo de esgoto sanitário foi previamente definido como Classe II - não-perigoso pois tem origem conhecida, não está presente no Anexo A (Resíduos perigosos de fontes não específicas) e B (Resíduos perigosos de fontes específicas) da NBR 10004/2004 e não possui inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Após análise laboratorial, foi possível classificar o lodo como classe II-A, pois ultrapassou os limites de solubilização para o ferro (Fe) estabelecido pela NBR 10.004/2004 (0,673mg/L contra 0,3mg/L). Isso se deve ao fato de o efluente receber 45 mg/L de cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) para a coagulação do fósforo.

Para reclassificar o lodo como Classe II B, será necessária uma investigação detalhada das cargas de ferro afluentes (esgoto bruto e coagulante) e efluentes (esgoto tratado e lodo) através do Balanço Hídrico e de Cargas de Fe na ETE, para avaliar o impacto da dosagem do cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) usado para a precipitação do fósforo (P) e estudar alternativas de substituição deste coagulante metálico.



O primeiro passo para realização da estimativa de volume de descarte de lodo foi o cálculo de  $Y_{obs}$ . A partir dos parâmetros estimados para o caso da ETE Mato Grande através da referência bibliográfica, realizou-se estimativa inicial da idade do lodo é 20 dias, o coeficiente  $Y$  é igual a 0,80 mg SSV/mg DBO e o  $k_d$  é  $0,05 d^{-1}$ , resultando num valor tabelado de  $f_b$  igual a 0,67. Desta forma, aplicando equação (1), temos que

$$Y_{obs} = \frac{0,80}{1+0,05 \times 0,67 \times 20} ,$$

resultando num valor de  $Y_{obs}$  de 0,48 mg SSV/mg DBO.

Obtido o coeficiente de produção celular observado, corrigido pela autooxidação, é possível calcular  $\Delta X$ . Os dados de concentração de DBO do afluente ( $S_o$ ), concentração de DBO do afluente ( $S_e$ ) e vazão da ETE (Q) foram obtidos através de informações informadas pelo Ambiental Metrosul, e valem respectivamente 110,71 mg/L, 10,46mg/L e 239.47 L/s ou 20.690,21 m<sup>3</sup>/dia. Aplicando esses valores na equação (2), temos que

$$\Delta X = 0,48 \times (110,71 - 10,46) \times 20.690,21 ,$$

resultando num valor de produção líquida de lodo igual a 993,70 kg SV/dia.

É importante destacar que a concentração de DBO do afluente é baixa para os padrões de efluentes domésticos, isso se deve a contribuições de redes pluviais no Sistema de Esgotamento Sanitário de Canoas. A Ambiental Metrosul tem desenvolvido junto com seu corpo técnico, campanhas de cunho informativo e testes de verificação de contribuições clandestinas de rede pluvial nas redes de esgoto para informar os contribuintes da correta destinação de cada sistema. A diminuição das contribuições pluviais na rede cloacal tende a representar um aumento na concentração DBO no sistema e uma menor vazão, aumentando a qualidade do lodo gerado.

A densidade do lodo seco ( $\rho$ ), foi calculada através da equação (3) do estudo de equações empíricas de Arleu (2014), dessa forma, utilizando o Teor de Sólidos(TS) de 25% para lodos secos obtidos no leito de secagem em sistemas de tratamento por lodos ativados aeração prolongada, foi possível obter

$$\rho = 0,0034 * 0,25 + 0,9685,$$

resultando num valor de 1,054g/mL. Com a equação anterior, temos todas as variáveis para obter a Vazão de lodo a ser descartado ( $V_L$ ), através da equação (4), ou seja

$$V_L = \frac{993,70 * 0,75}{0,25 \times 1,054 \times 1000}$$

Assim, obtém-se um valor de 5,03 m<sup>3</sup>/dia ou 150,92 m<sup>3</sup>/ mês. Este valor condiz com as estimativas do corpo técnico das operações da ETE da Ambiental Metrosul, em torno de 5 t/dia.

Para realizar a conferência da idade do lodo, estimada em um primeiro momento como 20 dias, utilizou-se a equação (5), onde temos  $V_{TA}$  igual a 27.000,00 m<sup>3</sup>,  $\Delta X$  igual 993,70 kg SV/dia e  $R_{SSV}$  igual a 0,75. Dessa forma foi possível obter um  $\theta_c$  de 20,38 dias, se aproximando muito com o valor estimado inicialmente de 20 dias.

## 6.2. Usina de Compostagem

Conforme calculado anteriormente, a vazão de lodo descartado pela ETE é igual a 150,92 m<sup>3</sup>/mês. Ao aplicar essa vazão de descarte junto a quantidade de material estruturante, na proporção 1:1, e as dimensões pré-definidas de altura igual 1,50m e base de 3,00m nas 3 leiras na equação (6), temos que

$$L = \frac{2}{3,00 \times 1,50} \times 301,84 \times \frac{1}{3},$$

assim encontra-se o resultado do comprimento de cerca de 45,00 metros para cada uma das leiras.

Além disso, para o cálculo do tamanho do galpão da Usina de Compostagem, é necessário considerar os armazenamentos de material estruturante e de composto pronto. Conforme citado anteriormente, sugere-se o armazenamento do equivalente a cerca de 1,5 mês de produção da Compostagem, ou seja, cerca de 225m<sup>3</sup> para o material estruturante e cerca de 450m<sup>3</sup> para o composto pronto. As dimensões de cada tanque de armazenagem foram feitas utilizando a altura das leiras, 1,50m e as dimensões de 13,70 x 11,00 para o armazenamento do material estruturante e 27,30 x 11,00 para o composto pronto.

Respeitando um espaçamento mínimo de 3,00m de distância entre qualquer uma das estruturas, chegou-se as dimensões de 35,00 metros de largura por 50,00 metros de comprimento, totalizando 1750,00 m<sup>2</sup>. A Figura 15 apresenta o croqui da área da Usina de Compostagem, que ainda demonstra o sistema de drenagem do local, que deve ter 1% de inclinação para bom funcionamento.

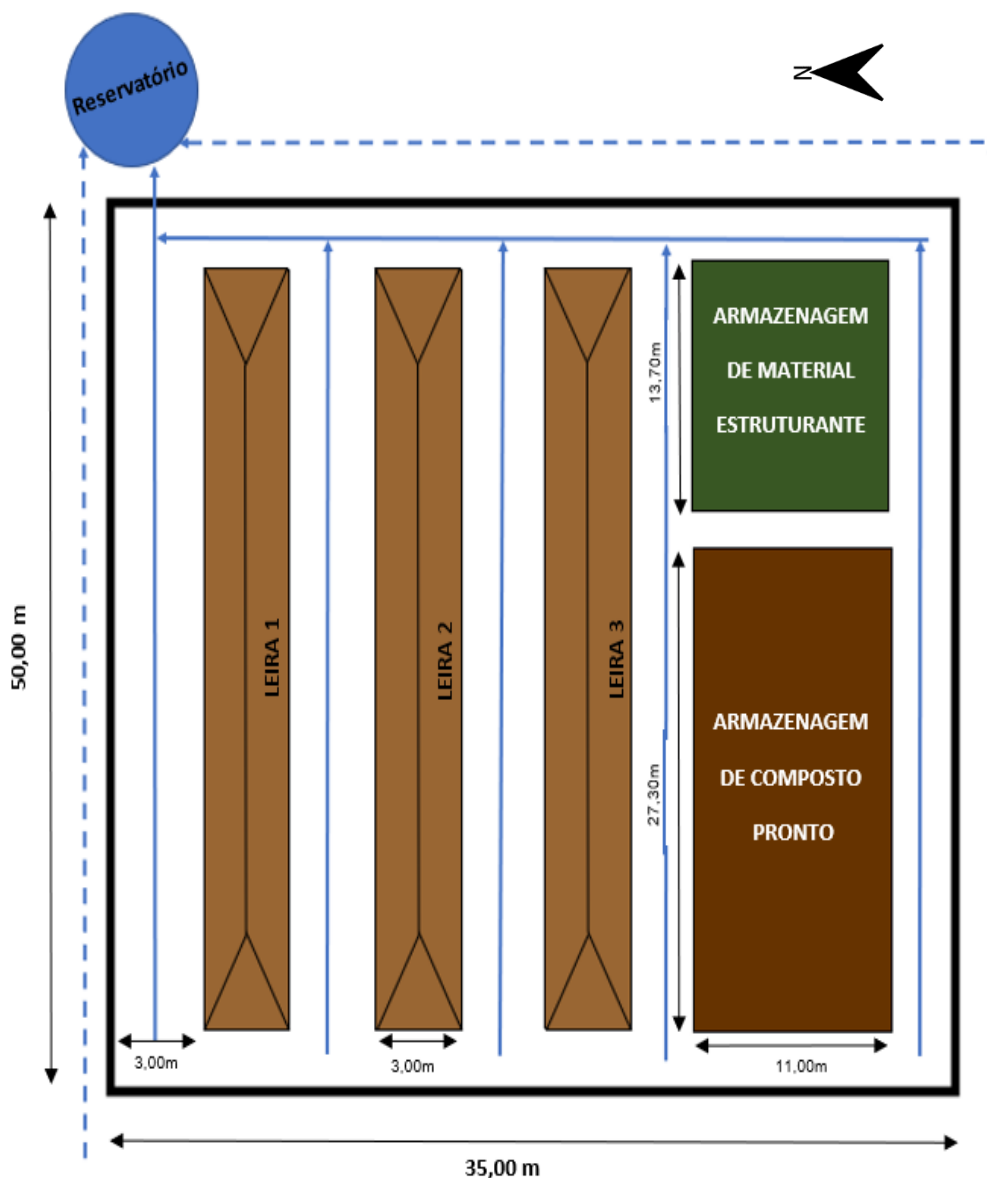


Figura 15 - Croqui da usina de compostagem

O galpão irá possuir área coberta por lona translúcida e piso de concreto de 25cm, usinado e aditivado com impermeabilizante. Sugere-se também a instalação de um reservatório para captação de água da chuva e da drenagem devido à grande área que o galpão da Usina de Compostagem ocupa. O estudo de dimensionamento desse reservatório deve ser alvo de próximos estudo sobre a área, já que poderá ter

inúmeras funções, como utilização na própria usina de compostagem e no abastecimento de caminhões hidrojato para desobstrução de rede e limpeza de ruas.

Porém com a expansão da ETE Mato Grande está previsto que a vazão da ETE aumente em cerca de 3 vezes, e com isso a produção de lodo também aumenta. Dessa forma podem ser construídas pelo menos outros 2 módulos semelhantes ao da Figura 15, se os outros parâmetros se mantiveram. O local ideal de construção é ao sul dos tanques de secagem da ETE, pelo espaço para uma futura expansão da Usina de Compostagem inicial, conforme Figura 16, além de manter a proximidade dos leitos para facilitar o transporte do material. Apesar de a norte, da futura Usina de Compostagem, já existir estrada para acesso, é importante que seja construída infraestrutura para todo o entorno, a fim de deslocamentos de maquinário da usina e de caminhões para coletar o composto.



Figura 16 - Projeção de outros módulos para Usina de Compostagem

## 6.3. Payback

### 6.3.1. Implantação da Usina de Compostagem para Capacidade Atual da ETE Mato Grande

Ao estimar um cenário somente com a Usina de Compostagem projetada inicialmente, foram obtidos os valores da Tabela 22. Como, nesse primeiro momento, a Usina de Compostagem tem uma produção de cerca de 150,00 t/mês, a operação dispensa a existência de licença estadual FEPAM, como determina a Resolução CONSEMA 372/2005 da FEPAM. Contudo, a fim de realizar mais estudos na área, irão ser realizados estudos ambientais para caracterização do local.

A equação (9) apresenta as despesas mensais em relação a disposição em aterros sanitários, como vazão de lodo pra descarte é de 150,92 m<sup>3</sup>/mês e custo de R\$ 209,00 por m<sup>3</sup> (R\$180,00 de disposição para a empresa Multti serviços Tecnologia Ambiental e R\$29,00 para a empresa JE Pereira Transportes), resultando em despesa total mensal de R\$ 31.541,73, que será nosso Fluxo de Caixa no cálculo de payback.

Já os investimentos para implantação se dividem em 3 partes, gastos com infraestrutura que dependem do tamanho do galpão, conforme calculado serão 1750,00m<sup>2</sup> para construção de toda a parte estrutura, elétrica, impermeabilização do solo e drenagem. De acordo com o orçamento realizado pela empresa LM Construções, o custo é de R\$350,00 para cada m<sup>2</sup>, totalizando R\$ 612.500,00.

Os equipamentos também foram orçados, e totalizaram cerca de R\$ 388.065,00 (R\$ 305.750,00 da retroescavadeira e R\$ 82.315,00 do revolvedor de leiras). Além disso, considerou-se investimento com os estudos ambientais que foram orçados em cerca de R\$ 95.300,00.

Aplicando estes valores na equação (10),

$$\text{Investimento UC} = 95.300,00 + 388.065,00 + 1750 * 350,$$

obtemos um Custo de Investimento igual a R\$ 1.095.865,00, que será utilizado nos cálculos de payback.

Para o cálculo do VPL para estimativa do payback em meses, é necessário transformar a Taxa Mínima Atrativa anual em mensal, utilizando a equação (8) e a Taxa SELIC para o cálculo, temos

$$i_M = \sqrt[12]{(1 + 0,075)} - 1,$$

Obtendo um valor de Taxa Mínima Atrativa mensal igual a 0,62%. Dessa forma podemos aplicar os resultados encontrados anteriormente para a o cálculo de payback da Usina de Compostagem, através da obtenção do tempo de retorno pelo VPL.

A Tabela 22 mostra os VPL's através de diferentes tempos de retorno, considerando as despesas mensais e investimentos necessários para implantação da Usina de Compostagem, como infraestrutura, equipamentos e estudos ambientais. Como podemos observar, a partir do 40º mês, a implantação da usina começa a dar retorno econômico.

Tabela 22 – Payback da instalação de Usina de Compostagem

Tempo (meses)	VPL	Tempo (meses)	VPL	Tempo (meses)	VPL
0	-R\$ 1,095,865.00	15	-R\$ 646,700.34	30	-R\$ 237,550.94
1	-R\$ 1,064,599.27	16	-R\$ 618,220.02	31	-R\$ 211,607.88
2	-R\$ 1,033,527.44	17	-R\$ 589,916.31	32	-R\$ 185,825.70
3	-R\$ 1,002,648.28	18	-R\$ 561,788.13	33	-R\$ 160,203.40
4	-R\$ 971,960.62	19	-R\$ 533,834.37	34	-R\$ 134,740.00
5	-R\$ 941,463.26	20	-R\$ 506,053.97	35	-R\$ 109,434.50
6	-R\$ 911,155.03	21	-R\$ 478,445.84	36	-R\$ 84,285.93
7	-R\$ 881,034.75	22	-R\$ 451,008.92	37	-R\$ 59,293.31
8	-R\$ 851,101.25	23	-R\$ 423,742.14	38	-R\$ 34,455.68
9	-R\$ 821,353.38	24	-R\$ 396,644.45	39	-R\$ 9,772.07
10	-R\$ 791,789.98	25	-R\$ 369,714.81	40	R\$ 14,758.46
11	-R\$ 762,409.91	26	-R\$ 342,952.16	41	R\$ 39,136.87
12	-R\$ 733,212.04	27	-R\$ 316,355.47	42	R\$ 63,364.11
13	-R\$ 704,195.24	28	-R\$ 289,923.72	43	R\$ 87,441.10
14	-R\$ 675,358.38	29	-R\$ 263,655.88	44	R\$ 111,368.79
<b>TR = 40 meses</b>					

### 6.3.2. Implantação da Usina de Compostagem para Ampliação da ETE Mato Grande

A ampliação da ETE e do sistema de Canoas causará um aumento da produção de lodo, para isso será necessário a construção de ao menos outros dois módulos iguais ao primeiro. Para ampliação da Usina de Compostagem em módulos, seriam aplicados os mesmos cálculos do capítulo anterior, porém sem aquisição de nova

retroescavadeira, pois um equipamento conseguiria suprir a demanda de mais módulos.

Dessa forma, teríamos um Custo de Investimento de R\$ 790.115,00 por módulo de Usina de Compostagem. Para essa estimativa, as despesas mensais com aterro sanitário foram mantidas em R\$ 31.541,73 por mês. Assim resultaria em *payback* de pouco mais de 28 meses, quando realizado cálculo do VPL, utilizando o novo Custo de Investimento, porém se mantendo a TMA e o FC. A Tabela 23 apresenta os VPL's através de diferentes tempos de retorno. Da mesma forma que observamos anteriormente, a partir do 28º mês, a implantação da usina começa a dar retorno econômico.

Tabela 23 – Payback da instalação de novo módulo da Usina de Compostagem

Tempo (meses)	VPL	Tempo (meses)	VPL	Tempo (meses)	VPL
0	-R\$ 790,115.00	11	-R\$ 456,659.91	22	-R\$ 145,258.92
1	-R\$ 758,849.27	12	-R\$ 427,462.04	23	-R\$ 117,992.14
2	-R\$ 727,777.44	13	-R\$ 398,445.24	24	-R\$ 90,894.45
3	-R\$ 696,898.28	14	-R\$ 369,608.38	25	-R\$ 63,964.81
4	-R\$ 666,210.62	15	-R\$ 340,950.34	26	-R\$ 37,202.16
5	-R\$ 635,713.26	16	-R\$ 312,470.02	27	-R\$ 10,605.47
6	-R\$ 605,405.03	17	-R\$ 284,166.31	28	R\$ 15,826.28
7	-R\$ 575,284.75	18	-R\$ 256,038.13	29	R\$ 42,094.12
8	-R\$ 545,351.25	19	-R\$ 228,084.37	30	R\$ 68,199.06
9	-R\$ 515,603.38	20	-R\$ 200,303.97	31	R\$ 94,142.12
10	-R\$ 486,039.98	21	-R\$ 172,695.84	32	R\$ 119,924.30
<b>TR = 28 meses</b>					

#### 6.4. Controle de Qualidade do Lodo/Composto

O processo de compostagem precisa atender alguns parâmetros de controle para que a qualidade do composto seja atendida. Para isso deve ser medido e controlado, diariamente, os seguintes parâmetros: pH, temperatura e odor.

É recomendado que seja avaliados alguns parâmetros periodicamente, a fim de atestar a qualidade do processo de compostagem e perigo da utilização para os seres vivos. Na Tabela 24 são apresentados os parâmetros recomendados para aferição de fertilizantes classe D, conforme IN 27/2006, além de parâmetros complementados por Fernandes (2012).



Tabela 24 - Parâmetros recomendados para análise periódica de qualidade do composto

pH	Potássio total	Teor de sólidos totais, fixos e voláteis
Nitrogênio total	Cálcio total	Coliformes termotolerantes
Carbono total	Magnésio total	Metais pesados (As, Cd, Hg, Pb, Ni, Cr, Se, Zn e Cu)
Ferro	Enxofre total	Materiais inertes (vidros plásticos, metais e pedras)
Fósforo total;	Sódio total	Ovos e larvas de helmintos viáveis

Fonte: Fernandes (2012) e IN 27/2006

São cerca de 1811,00 toneladas de composto gerado por ano, dessa forma deverão ser realizadas análises semestrais dos parâmetros de valor fertilizante, cinzas, metais e sanidade), anterior a safra de verão e outra anterior a safra de inverno. (Von Sperling, 2012).

## 6.5. Destino final do composto

O destino final do composto nesse primeiro momento serão as comunidades de agricultura familiar dos municípios de atuação da Ambiental Metrosul e algumas hortas comunitárias. Atualmente a Ambiental Metrosul atua em 9 municípios da região metropolitana (Alvorada, Viamão, Cachoeirinha, Gravataí, Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, Guaíba e Eldorado do Sul).

Apesar de majoritariamente industrial, o município de Canoas cada vez mais vem incentivando seu setor agropecuário, atualmente são 70 famílias, nos bairros Mato Grande, próximo a ETE, e Estância Velha, que sobrevivem dessa forma e geram cerca de 260 toneladas de alimentos por mês e 7 hortas comunitárias, que envolvem cerca de 200 produtores. As principais culturas são: alface, tomate, espinafre, couve, beterraba, nabo, temperos verdes, como alecrim, tomilho, cebolinha, manjeriço, hortaliças, além de frutíferas e alguns animais.

A maior parte dos alimentos produzidos terá como destino o Programa de Aquisição Alimentar (PAA), a Central de Abastecimento (CEASA), restaurantes, supermercados, estabelecimentos comerciais e feiras da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico, Turismo e Inovação (SMDETI).

Outro projeto que demonstrou interesse em contar com o composto que será gerado na ETE Mato Grande, é o SEMEAR, em Cachoeirinha, que há 12 anos promove a utilização de espaços para plantio comunitário. Participam desse projeto cerca de 160 famílias, atendendo os bairros Bom Princípio, Moradas do Bosque,



Jardim do Bosque e Granja Esperança. As principais culturas que as famílias plantam são: milho, aipim, feijão, arroz, batata doce, hortaliças e frutíferas.

O composto também pode ter consumidores de outro perfil: produtores de mudas, empresas de jardinagem, outros agricultores ou cooperativas. Após o desenvolvimento de um produto mais refinado, como fez a Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo (SABESP), em parceria com a Universidade Estadual Paulista (UNESP), com o fertilizante Sabesfértil (Figura 17) será possível a realização de eventos práticos, feiras orgânicas, onde os consumidores possam ter contato direto com as possibilidades de uso do produto



Figura 17 - Fertilizante a base de lodo de ETE. Fonte: Sabesp (2021)

A implantação da Usina de Compostagem e sua atividade, nos anos de atuação da PPP entre Ambiental Metrosul e CORSAN, poderão resultar em pelo menos, mais de 60.000 toneladas de lodo de ETE que deixarão de ir para aterros sanitários, desperdiçando o potencial agrícola de ciclagem de nutrientes que os lodos possuem. A Usina irá evitar o envio de lodo a aterro sanitários, trazendo benefícios a população quando gerenciado de forma correta.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi feito utilizando uma estimativa de lodo gerado pela ETE Mato Grande, pois hoje na Estação de Tratamento não é quantificada a produção diária ou mensal de lodo. A estimativa realizada depende de uma série de parâmetros, que não puderam ser calculadas, restando a utilização de dados bibliográficos diretos. Recomenda-se a partir deste trabalho, que a produção de lodo seja quantificada, a fim de realizar um ajuste fino do dimensionamento do processo de compostagem.

O desenvolvimento deste estudo possibilitou analisar a implantação da Usina de Compostagem na ETE Mato Grande através de seu dimensionamento, resultando num galpão de 1.750m<sup>2</sup>, contendo 3 leiras e 2 tanques de armazenagem (um para o material estruturante e outro para o composto formado). Além da realização de análise financeira, pelo método de payback através do VPL, que demonstrou a viabilidade econômica da usina de compostagem, que tem como investimento, um valor inicial de R\$ 1.095.865,00 e apresentou tempo de retorno de investimento de aproximadamente 40 meses. É importante destacar, o impacto que o composto poderá gerar nas comunidades que fazem parte da área de atuação da Ambiental Metrosul, que se beneficiarão de um fertilizante com elevado teor de nutrientes. A ETE Mato Grande está em processo de expansão para atender a população de Canoas e seu crescimento por mais de 30 anos, com a vazão triplicando, maiores quantidade de lodo serão gerados. Dessa forma novos módulos da Usina de Compostagem podem ser feitos, com um custo unitário de R\$ 790.115,00 e payback de cerca de 28 meses.

Sugere-se para estudos futuros a análise da utilização de água de reuso em comparação a utilização da água de captação de água da chuva e drenagem para umidificar as leiras. A captação de água aparenta apresentar um ótimo potencial, devido à área de drenagem do galpão, porém a água de reuso confere a estação de tratamento, a possibilidade de um sistema fechado e circular.

Em um segundo momento, com um aumento na produção e uma possível ampliação da Usina de Compostagem, além do potencial e da demanda do mercado, o composto pode ser vendido como um fertilizante classe D, podendo ainda reduzir o payback de implantação do sistema. Para isso é importante que seja realizada uma pesquisa de mercado e que a análise do composto seja consolidada, assim o produto poderá ser vendido como fertilizante biológico.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2017.
- ANDREOLI, C. V.; PINTO, M. Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgotos sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos. 273p. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2001.
- ANDREOLI, C. V. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- ARLEU, T. R & LIMA, M. & SANTOS, P. & COELHO, G. (2014). Determinação da densidade de diferentes tipos de lodo de esgoto em relação ao teor de sólidos totais.
- BERGI, R.S. Compostagem como alternativa à disposição final de resíduos sólidos orgânicos do saneamento em pequenos municípios
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. Resolução nº 375, 29 de agosto de 2006. Ministério do Meio Ambiente. 2006.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. Resolução nº 481, 03 de outubro de 2017. Ministério do Meio Ambiente. 2017.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. Resolução nº 498, 19 de agosto de 2020. Ministério do Meio Ambiente. 2020.
- CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução nº 372, 11 de fevereiro de 2005. Secretaria Estadual do Meio Ambiental do Rio Grande do Sul. 2005.
- CORRÊA, Rodrigo S.; FONSECA, Yone MF; CORRÊA, Anelisa S. Produção de bio-sólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 4, p. 420-426, 2007.
- FERNANDES, F.; SILVA, SMCP. Manual Prático para Compostagem de Biossólidos. 1999. 2012.

- GADELHA, Bernardo Saba et al. Estudo de viabilidade econômica da compostagem de lodo de esgoto para utilização como fertilizante agrícola.
- IWAKI, Gheorge. Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs. Tratamento de Água, 2021. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-et-es/>. Acesso em: 20 de outubro, 2021.
- JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Sanitários. 7ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 1087p. 2014.
- MAQUINA SOLO. Compostadores (Revolvedor de Leiras). Maquina Solo, 2021. Disponível em: <https://maquinasolo.com.br/compostadores-revolvedor-de-leiras/>. Acesso em: 15 de outubro, 2021.
- MARTINS, Sara Fernandes. Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para uso na agricultura. 2016.
- METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. McGraw Hill Brasil, 2015.
- PEDROZA, M.M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. Revista Liberato. v.11, n.16, p. 89-188, jul/dez. 2010. Disponível em: Acesso em: 10 mar 2013. 08h25.
- ROSS, S.A.; WESTERFIELD, R.; JORDAN, B.D. Administração Financeira. 8. Ed. São Paulo: Editora, 2008.
- SOUSA, D. T.; JUNIOR, A. F. S.; SANTOS, M. S. F.; SIMOES, A. S. Proposta de tratamento de resíduo orgânico por meio da compostagem – Estudo de caso no restaurante universitário da Universidade Federal do Piauí. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2016
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule, 1995. Washington: Office of Wastewater Management, EPA/832-B-93-005, 1995. 195p.
- VON SPERLING, Marcos. Lodos ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002
- VON SPERLING, Marcos. Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002