

## **II-016 – COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA PARA O LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

### **André Lermontov<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Escola de Química da UFRJ. Mestre em Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ. Doutor em Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ. Superintendente de Tecnologia do Grupo Águas do Brasil S/A com mais de 25 anos de experiência em saneamento ambiental, tratamento de água e efluentes.

### **Rodrigo Cardinot Bento de Mello<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Mecânico pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Técnico de Automação Industrial pelo Instituto Federal Fluminense. Entusiasta de IOT, Trainee no Grupo Águas do Brasil, e atualmente Analista de Soluções em Automação.

### **Rodrigo Rodrigues Longo<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela FCT-UNESP. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Gerente de Pesquisa e Tecnologia no Grupo Águas do Brasil.

### **Rubia Nicz de Souza<sup>(4)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense. Trainee no Grupo Águas do Brasil, e atualmente, Analista de Sustentabilidade na Gerência de ESG atuando na Estratégia Ambiental do Grupo Águas do Brasil.

### **Thais Pirovane Miguel<sup>(5)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Estadual do Norte Fluminense, Mestranda na Área de Materiais Sustentáveis, com a tese "Avaliação da Pozolanicidade do Lodo de Estação de Tratamento de Água, Aplicado em Argamassas de Múltiplo Uso", também na Universidade Estadual do Norte Fluminense. Trainee no Grupo Águas do Brasil, e atualmente, Analista de Engenharia na Concessionária Águas de Niterói.

**Endereço<sup>(1-5)</sup>: Rua Marquês do Paraná, 110, Centro, Niterói – RJ – CEP: 24030-211 - Brasil - e-mails <sup>(1)</sup>:**  
andre.lermontov@grupoaguasdobrasil.com.br; <sup>(2)</sup>: rodrigo.mello@grupoaguasdobrasil.com.br; <sup>(3)</sup>:  
rodrigo.longo@grupoaguasdobrasil.com.br; <sup>(4)</sup>: rubia.nicz@grupoaguasdobrasil.com.br; <sup>(5)</sup>:  
thaispirovanem@gmail.com.

## **RESUMO**

A destinação do lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto é uma preocupação latente no ramo do saneamento, pois esse resíduo, de acordo com a PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), é considerado tóxico ao meio ambiente, devido a presença de contaminantes. A destinação majoritária desses resíduos atualmente, são aterros sanitários, contudo, mesmo sendo ambientalmente correta, não é uma destinação nobre, isso além dos custos de enviar esse resíduo para aterros, que vem aumentando exponencialmente. Uma característica importante desse resíduo, é o alto teor de matéria orgânica, por isso, apresenta nutrientes importantes para uso agrícola como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes, o que se mostra como um resíduo em potencial para aplicação de compostagem. A literatura mostra que essa aplicação para compostagem tem apresentado resultados satisfatórios, no qual o lodo, ao ser misturado com um material estruturante, passa por um processo de compostagem, e se obtém como produto final o chamado bio sólido. Assim sendo, o presente trabalho buscou diagnosticar a problemática do lodo proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) de concessões de uma empresa de saneamento, em termos de quantitativo e custos atuais e avaliar cenários de implementação de usinas de compostagem. No estudo, foram avaliados diferentes cenários, foi dimensionado um pátio de compostagem capaz de atender aos cenários e compôs-se um orçamento CAPEX e OPEX dos cenários estudados, comparando com a situação atual de destinação do lodo, e avaliando os pontos positivos e negativos da implementação de uma usina de compostagem. O trabalho concluiu que a implementação de uma usina local de compostagem é uma alternativa viável, uma vez que após

7 anos, o investimento terá payback, além de se configurar como uma destinação ambientalmente correta e mais nobre.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compostagem de Lodo; Estações de Tratamento de Esgoto; Biossólido.

## **INTRODUÇÃO**

O ciclo urbano da água corresponde a todas as fases de utilização da água desde o momento em que é captada e tratada, passando pela transformação em esgoto, o tratamento, até a devolução dos efluentes tratados em corpos hídricos.

Existem as mais diversas técnicas para o tratamento desses efluentes sanitários, o que há em comum entre os tratamentos utilizados atualmente, é a produção do lodo como resíduo sólido orgânico.

Com o Novo Marco do Saneamento, aprovado pela Lei nº 14.026/2020 a coleta e o tratamento de esgoto no Brasil se expandirá, em consequência disso, haverá o aumento da produção desse resíduo. Gera-se uma preocupação latente em empresas de saneamento, procurar a menor produção de lodo possível, adequando o tratamento e secagem desse resíduo, e a sua destinação final. De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, há uma estimativa de 1,6 milhões de toneladas de lodo produzidos por ano no Sudeste.

Em geral, esse lodo é destinado para aterros sanitários, que por mais que seja uma destinação ambientalmente correta, não é uma destinação nobre, uma vez que compromete o tempo de vida útil dos aterros, pois mesmo após o tratamento, o lodo ainda apresenta um alto teor de umidade. Isso implica em alta nos custos de destinação, que ano a ano vem aumentando exponencialmente os valores para receber esse lodo.

Uma característica importante desse resíduo, é o alto teor de matéria orgânica, além de apresentar nutrientes importantes para uso agrícola como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes, o que mostra como um potencial material para compostagem.

A compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO<sub>2</sub>, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (PROSAB, 2001).

A Resolução CONAMA nº 498/2020 autoriza a utilização do composto com lodo de esgoto, desde que os parâmetros sejam atendidos. O Planares possui a Meta 4 de recuperar 48,2% da massa total de RSU em âmbito nacional até 2040 e na sua Estratégia 22, possui a finalidade de incentivar municípios a adotar cobrança diferenciada para a massa de RSU encaminhada para disposição final.

A partir dessas análises, analisar a compostagem como alternativa para a destinação do lodo de esgoto das concessionárias do Grupo Águas do Brasil, se torna uma possível estratégia a ser adotada em prol da sustentabilidade.

## **OBJETIVO GERAL**

Avaliação de cenários para implantação de usina de compostagem visando processamento de lodo proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudar a problemática do lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto das concessionárias do Grupo Águas do Brasil em termos de quantitativo e custos atuais.
- Dimensionamento de usinas de compostagem (CAPEX e OPEX).
- Estabelecer comparação entre o cenário dimensionado e o cenário atual.

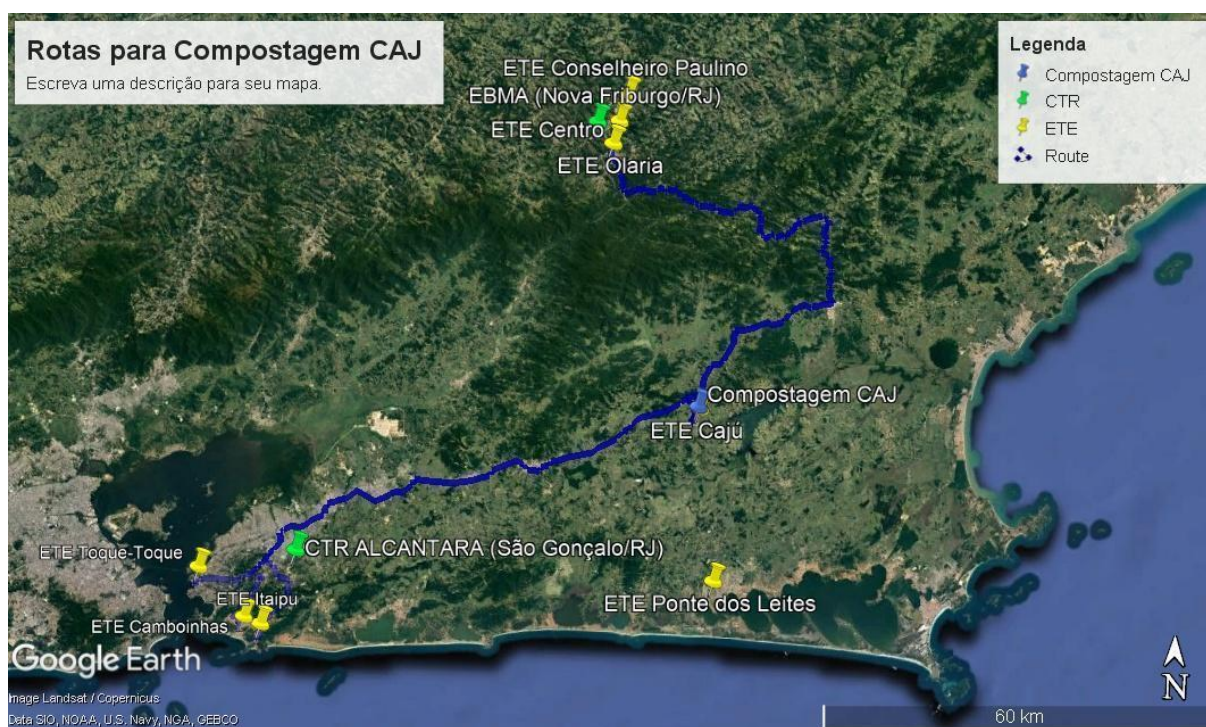
Para o dimensionamento do pátio de compostagem, foram estabelecidos quatro cenários, no qual se considerou as concessionárias com maior produção de lodo, que fossem geograficamente próximas, de forma que fosse logisticamente viável transportar o lodo para um ponto comum.

Para tanto, foi realizado um estudo da logística, levando em consideração o volume produzido em cada uma das estações de tratamento da concessão, as distâncias entre os atuais pontos de destinação das concessionárias e as respectivas distâncias para as possíveis localizações da composteira.

O estudo avaliou os seguintes cenários:

Composteira na cidade de Silva Jardim, na qual a concessionária Águas de Juturnaíba (CAJ) opera. CAJ possui um terreno ao lado da ETE Caju, e uma vez que a concessionária já conta com um ponto de compostagem na ETE Ponte dos Leites, de forma que pode aproveitar a poda da *wetland* para compostar junto ao lodo, o mesmo pode ser feito nesse cenário.

A ETE Caju possui uma lagoa para *wetland*, e pode ser aproveitada a poda para material estruturante da composteira. Para essa localização, em termos de logística, se considerou a Concessionária Águas de Niterói, sem o lodo da ETE Icaraí, e a Concessionária Águas de Nova Friburgo (CANF). A rota estudada está apresentada na Figura 1.

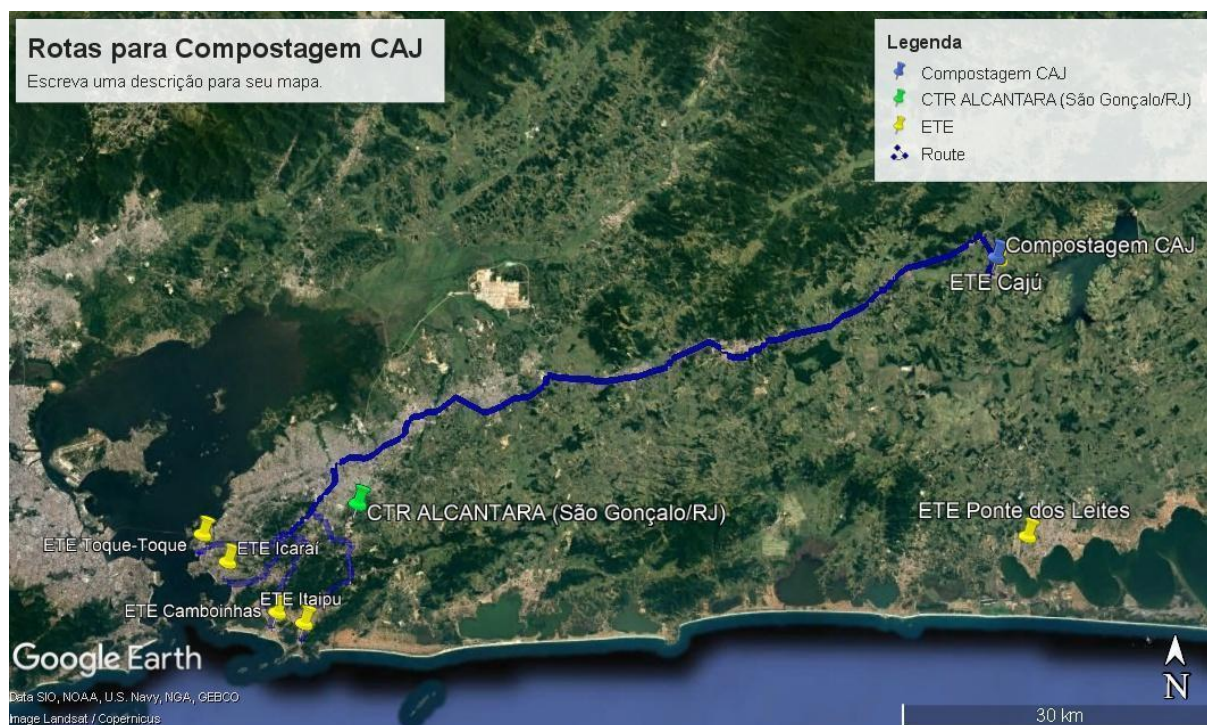


**Figura 1: Rota para compostagem no Cenário 1.**

- **Cenário 2**

Partindo da mesma premissa da área disponível na Concessionária Águas de Juturnaíba, o cenário 2 considera a composteira em Silva Jardim, recebendo o lodo da Concessionária Águas de Niterói, inclusive ETE Icaraí.





**Figura 2: Rota para compostagem no Cenário 2.**

- **Cenário 3**

Composteira central, com localização estratégica em termos de logística, sendo considerado o ponto ótimo para receber o lodo proveniente das Concessionárias Águas de Niterói, que corresponde a maior produção de lodo do Grupo, Águas de Nova Friburgo e Águas de Imperador.

Foram consideradas apenas essas três concessões, pois Águas de Juturnaíba já faz a compostagem do lodo produzido, e todas as outras concessionárias estão muito distantes, de forma que inviabilizaria o transporte do lodo para uma composteira central. As concessões mais distantes, como Águas do Paraíba e Águas de Agulhas Negras, que possuem espaço disponível para implementação de um pátio de compostagem, mudando alguns parâmetros do orçamento em questão, é possível compor um orçamento para cenários de composteira local, como já ocorre em CAJ.

Dessa maneira, foi realizado um estudo com as localizações de cada uma das estações de tratamento de esgoto produtoras de lodo e seus volumes e através do google Earth, foi encontrado o ponto mais otimizado para o transporte do lodo, que para o presente estudo, é a cidade de São Gonçalo, no estado do Rio de Janeiro, próximo ao CTR Alcântara, local onde já é realizada a destinação do lodo de CAN.

- **Cenário 4**

O quarto cenário considera as mesmas premissas do terceiro em termos de ponto estratégico para a logística mais otimizada, porém, desconsidera o lodo de CANF e CAI, e considera todo o volume do lodo produzido na Concessionária Águas de Niterói, inclusive da ETE Icaraí.

Portanto, de acordo com o estudo realizado, os cenários finais estabelecidos, para efeitos de cálculo e dimensionamento estão apresentados na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1: Cenários estudados.**

| Cenário | Localização        | Fontes de Lodo                   | Quantidade de lodo produzida ano 2021 (ton/ano) |
|---------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1       | Silva Jardim - CAJ | CAN (sem ETE Icaraí) e CANF      | 8953                                            |
| 2       | Silva Jardim - CAJ | CAN                              | 12520                                           |
| 3       | São Gonçalo        | CAN (sem ETE Icaraí), CANF e CAI | 9929                                            |
| 4       | São Gonçalo        | CAN                              | 12520                                           |

### Dimensionamento do Pátio de Compostagem

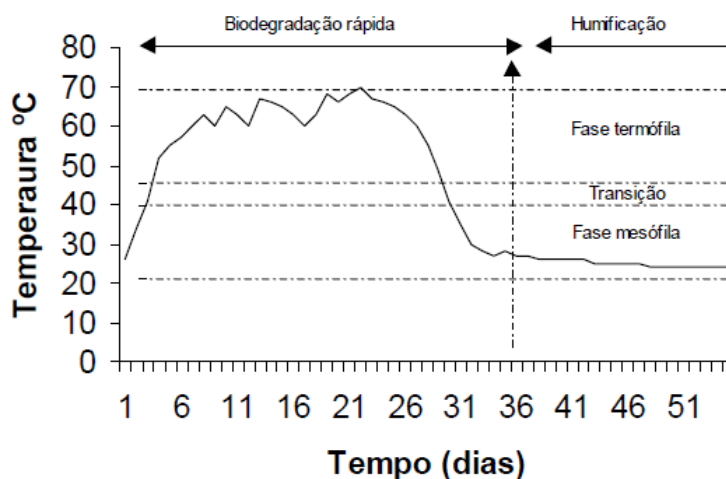
O dimensionamento do pátio de compostagem, teve como base o manifesto de transporte de resíduos (MTR) 2021 das concessionárias do Grupo Águas do Brasil.

Existem três principais sistemas para a compostagem, e o dimensionamento é realizado de acordo com o sistema escolhido. Para o presente projeto, foi fixado o sistema de leiras revolvidas, por ser o sistema mais simples.

Para efeitos de cálculo, foi considerado o cenário 3, que a priori, não considera a ETE Icaraí, devido a particularidade do lodo produzido, e cujo os parâmetros de relação Carbono/Nitrogênio são mais conservadores.

Portanto, considerando 9929 toneladas de lodo ao ano, a produção média de lodo por mês é de aproximadamente 840 toneladas. Calculando as médias semanais e diárias resulta em 207 ton/sem e 28 ton/dia. O dimensionamento da composteira foi realizado com a média diária.

Conforme a Figura 3 a seguir, retirada do manual prático para a compostagem de biossólidos, tem-se que o processo de biodegradação rápida, acontece nos primeiros 36 dias, enquanto o processo de humificação ocorre após esse período. Portanto, com base nessas informações, foi considerado um tempo T de 60 dias para que ocorra todo o processo de compostagem com o lodo.

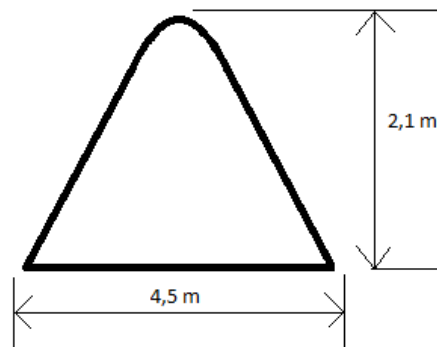


**Figura 3: Gráfico Temperatura x Tempo de Compostagem.**

O substrato deve apresentar uma relação Carbono/Nitrogênio em torno de 30. O lodo é um resíduo rico em nitrogênio, apresentando relação C/N entre 5,0 e 11,0. Ele necessita, portanto, de um resíduo complementar rico em carbono e pobre em nitrogênio, para que a mistura, criteriosamente determinada, apresente relação C/N em torno de 20 ou 30.

O resíduo estruturante não foi pré-fixado devido a questões de disponibilidade, parcerias e custos, que pode variar a escolha do material estruturante, e por consequência, afetar na proporção da leira. Por esse motivo, escolheu-se a situação mais desfavorável para o dimensionamento da composteira, podendo comportar, portanto o lodo para compostagem em uma proporção de até 1:5 – uma parte de lodo para 5 partes de material estruturante. Essa proporção pode ser alterada conforme o material escolhido, quanto mais rico em carbono o material for, menor a quantidade necessária, e por consequência, maior quantidade de lodo é capaz de admitir.

Quanto ao dimensionamento da leira, a altura e a largura máxima recomendada pela literatura, se encontra na Figura 4 a seguir:



**Figura 4: Dimensões da leira.**

Baseado nessas dimensões, é possível inferir que a área da seção da leira, se aproxima de um triângulo, de área 4,725 m². Com base nesses dados e tomando a massa específica dos resíduos orgânicos, adotada pelo Manual de Compostagem como 550 kg/m³ foi calculado o volume da leira de compostagem, de acordo com a equação:

$$V=M/d$$

Sendo,

M = a massa do composto em kg por dia

D = a massa específica em kg/m³

Que resultou em um volume de 305,45 m³ de composto por dia.

Com base nesses cálculos, é possível encontrar o comprimento necessário da leira para que seja capaz de compostar o lodo recebido.

$$\text{Volume da leira} = \text{Área da base} \times \text{comprimento}$$

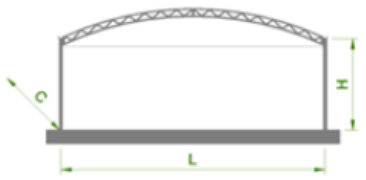
$$305,45 = 4,725 \times \text{comprimento}$$

$$\text{Comprimento} = 64,65 \text{ metros}$$

Portanto, é necessário um comprimento de 64,65 metros para compostar o lodo por dia. A área total necessária para o tempo previsto de compostagem é de 17454,55m² e o volume total encontrado para o tempo de compostagem é de 18327,27m³.

Para a operação da composteira, foi considerado 2 metros de distanciamento entre as leiras, conforme sugerido pelo Manual da Compostagem, e para movimentação do equipamento de revolvimento das leiras, mais 8 metros de comprimento para manobra.

Baseado nos cálculos, e com ajustes nas dimensões para fins de estrutura, foi proposto uma composteira com as dimensões da Figura 5 a seguir.

| Dimensões                  | ZannaTrel P Conjugada        | Unit. (m)                                             | Qtde. | Total (m) |  |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|-------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | Largura (L)                  | 11,00                                                 | 11    | 121,00    |                                                                                    |
|                            | Comprimento (C)              | 3,00                                                  | 71    | 213,00    |                                                                                    |
|                            | Área da estrutura (m2)       |                                                       |       | 25773,00  |                                                                                    |
|                            | Quantidade de estruturas     |                                                       |       | 1         |                                                                                    |
|                            | Área da estrutura total (m2) |                                                       |       | 25773,00  |                                                                                    |
|                            | Altura sob a calha (m) (H)   |                                                       |       | 5,10      |                                                                                    |
| Especificações estruturais | Colunas perimetrais          | Perfil U enrijecido 90 x 60 x 2,00 mm com reforços    |       |           |                                                                                    |
|                            | Colunas internas             | Perfil U enrijecido 90 x 60 x 2,00 mm com reforços    |       |           |                                                                                    |
|                            | Arcos                        | Arcos estruturados com 270 mm de altura               |       |           |                                                                                    |
|                            | Tirantes                     | Em aço 8,00 mm com esticadores olhal/olhal            |       |           |                                                                                    |
|                            | Galvanização                 | Conforme normas da ABNT 6323, e/ou ASTM A-153 e A-123 |       |           |                                                                                    |
|                            | Calhas internas              | Calhas em alumínio 175 x 100 mm                       |       |           |                                                                                    |
|                            | Portão de acesso             | Não consta                                            |       |           |                                                                                    |
| Revestimentos              | Fixação dos filmes           | Perfis de alumínio com molas                          |       |           |                                                                                    |
|                            | Cobertura                    | Filme leitoso nacional 150 micras                     |       |           |                                                                                    |
|                            | Elipses                      | Sem revestimento                                      |       |           |                                                                                    |
|                            | Frontais                     | Sem revestimento                                      |       |           |                                                                                    |
|                            | Lateral                      | Sem revestimento                                      |       |           |                                                                                    |
|                            | Muretas                      | Sem muretas                                           |       |           |                                                                                    |

**Figura 5: Proposta técnica que melhor atende o dimensionamento.**

De acordo com o dimensionamento realizado, fixou-se uma área de compostagem, com possibilidade de variar os parâmetros.

A capacidade máxima da composteira, baseado em todas as premissas, é de 168 toneladas/dia de composto, sendo que esse é o volume total suportado, entre lodo e material estruturante. Com a variação do material estruturante, é possível variar o volume diário de lodo, aumentando sua capacidade.

### Balanço de Massa

O balanço de massa deve fixar as proporções de combinação de lodo com o material estruturante, fornecendo assim parâmetros para o dimensionamento dos pátios de compostagem, áreas para recebimento de resíduos, estocagem e equipamentos necessários. Para cada cenário, foram consideradas proporções diferentes de acordo com a quantidade e tipo de lodo. A perda de massa considerada para o cálculo foi de 50% de redução.

- Cenário 1 - Proporção 1:5
- Cenário 2 - Proporção 1:3
- Cenário 3 - Proporção 1:5
- Cenário 4 - Proporção 1:3

Área de armazenagem, Estacionamento, Área Administrativa e Laboratórios

Também é necessário considerar uma área de armazenagem para o material estruturante, para a secagem do lodo, estacionamento para os equipamentos e caminhões, e também uma área para a administração local.

Para tanto, é necessário um projeto bem ajustado considerando todas as necessidades para a operação da compostagem.

Dado que o objetivo do atual projeto é fazer uma avaliação da viabilidade da implementação dos pátios, foi dimensionada uma área aproximada, apenas para efeitos de composição do orçamento CAPEX.

Prédio operacional (Laboratórios e Administração local): 700m<sup>2</sup>

Estacionamento de equipamentos: 2500m<sup>2</sup>

Área de armazenagem: 3500m<sup>2</sup>

Área de secagem do lodo ao sol/ área de transição: 10000m<sup>2</sup>

### Licenciamento Ambiental

O Decreto Nº 46.890/2019 dispõe sobre o Sistema Estadual de Licenciamento e demais Procedimentos de Controle Ambiental (SELCA) e dá as diretrizes necessárias para o licenciamento ambiental no estado do Rio de Janeiro. Para o projeto, foi realizada a simulação de enquadramento de classes no INEA para entendimento dos custos de licenciamento para instalação e operação da composteira.

Conforme a Figura 6, a Classe de Impacto estabelecida foi Classe 2D Baixo Impacto.



The screenshot shows the INEA 'Enquadramento de Classes' interface. It features a table with three columns: 'Porte', 'Potencial', and 'Classe de Impacto'. The first row contains the values 'Médio', 'Desprezível', and 'Classe 2D BAIXO IMPACTO'. Below the table is a blue button labeled 'Voltar'.

| Porte | Potencial   | Classe de Impacto       |
|-------|-------------|-------------------------|
| Médio | Desprezível | Classe 2D BAIXO IMPACTO |

Voltar

**Figura 6: Enquadramento de Classes INEA.**

A partir desta simulação, foram obtidos os valores constatados no orçamento para as licenças, de acordo com a NOP-INEA-02.R3 que estabelece os valores e critérios para os custos de análise e processamento dos requerimentos dos Instrumentos de controle ambiental.

### Dimensionamento de equipamentos - CAPEX

Para dimensionamento dos equipamentos necessários para a planta de compostagem foram considerados os seguintes processos:

- Recebimento de lodo e material estruturante;
- Moagem do material estruturante;
- Montagem das leiras de compostagem;
- Revolvimento das leiras (aeração);
- Retirada do bio sólido.

O processo se inicia no recebimento de materiais que se dá através do caminhão basculantes utilizado no transporte dos materiais, através do sistema de báscula o caminhão responsável pelo transporte do material estruturante dispõe o material na área operacional.

Esse material passa pelo processo de moagem e está pronto para ser agregado ao lodo na montagem das leiras, esse processo de transporte interno entre as áreas juntamente da montagem das leiras prismáticas fica de responsabilidade da pá carregadeira. Com as leiras devidamente organizadas se inicia o processo de compostagem, esse processo se dá de forma aeróbica, a fim de garantir a devida oxigenação do processo é necessário o revolvimento semanal (VideVerde) de todo o material em compostagem na planta. A retirada do



material compostado se dá novamente com o uso de pá carregadeira, em um processo contínuo onde há a constante entrada e saída de materiais a pá carregadeira pode intercalar sua atividade na planta entre montagem de leiras e retirada de compostado visto que por facilidade logística é interessante a proximidade da área de recebimento de materiais e de expedição de adubo orgânico.

Para dimensionamento dos equipamentos é importante focar na operacionalização da planta onde foram definidas as dimensões:

- Volume total de material recebido diariamente: 305,5m<sup>3</sup>
- Volume total do material na planta de compostagem: 18327m<sup>3</sup>
- Massa específica da leira 550kg/m<sup>3</sup>
- Comprimento da planta de compostagem 202m
- Largura da planta de compostagem 130m
- Perímetro da planta de compostagem 664m

Em contato com fornecedor especializado em equipamentos de compostagem (MaquinaSolo) foi apresentado o revolvedor mecânico SP-30 com capacidade de revolvimento de 1100m<sup>3</sup>/h sendo o menor modelo desse fornecedor, conforme a Figura 7 a seguir.

**Compostadores** | Acoplados ao Trator  
(revolvedores de leiras)



|                                              | SP-30   | SP-40    | SP-45    | SP-50     | SP-60     |
|----------------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| Potência do trator (hp)                      | 60 a 95 | 80 a 110 | 90 a 150 | 100 a 180 | 200 a 250 |
| Largura máx. da leira (m)                    | 3,4     | 4,4      | 4,9      | 5,4       | 6,4       |
| Altura do túnel (m)                          | 1,7     | 1,8      | 1,9      | 2         | 2,2       |
| Altura máxima da leira - túnel elevado - (m) | 2,2     | 2,3      | 2,4      | 2,5       | 2,7       |
| Capacidade nominal (m <sup>3</sup> /h)*      | 1100    | 1800     | 2100     | 2500      | 4000      |

\* Capacidade produtiva variável de acordo com o material processado.

**Figura 7: Revolvedores de leiras. Fonte: Catálogo MaquinaSolo.**

Considerando a frequência de revolvimento, a capacidade nominal do equipamento, o volume total em compostagem, e uma semana com 5 dias úteis, o tempo médio de utilização diária do equipamento fica em aproximadamente 3 horas e meia com uma pequena margem de mobilização e desmobilização. O mesmo fornecedor possui um picador de poda que pode ser utilizado no processo de moagem do material estruturante, o modelo considerado foi o H121, com capacidade nominal de 50m<sup>3</sup>/h, conforme a Figura 8 a seguir.

**Picadores de Madeira** | Linha Agrícola



|                                         | H102    | H121     | H145      | P160      |
|-----------------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Potência do trator (hp)                 | 40 a 70 | 80 a 120 | 140 a 200 | 200 a 300 |
| Abertura máxima de alimentação (mm)     | 310     | 480      | 695       | 760       |
| Capacidade nominal (m <sup>3</sup> /h)* | 30      | 50       | 125       | 200       |

\* Capacidade produtiva variável de acordo com o material processado.

**Figura 8: Picadores de Madeira. Fonte: Catálogo MaquinaSolo.**

Considerando o volume de recebimento diário, com a relação de material estruturante mais conservadora para moagem (5:1), é possível chegar a aproximadamente 5 horas diárias de utilização do picador de madeira. Ambos os equipamentos podem compartilhar o mesmo veículo trator motriz como forma de tração. Foi

pensado um trator de 90hp onde em contato com representantes de marcas consagradas foi informado que o consumo energético desse tipo de equipamento é muito variável, mas pode ser aproximado a 7L/h em regime de média potência, e 10L/h em regime de alta potência sem comprometer a vida útil do mesmo. Considerando que a poda urbana já é recebida desmembrada foi considerada para a trituração o regime de média potência, e para revolvimento das leiras o regime de alta potência, gerando um consumo diário de óleo diesel de 35,6L e 33,3L ao dia respectivamente.

Para montagem das leiras e retirada do material compostado foi considerada uma pá carregadeira CAT 914k, que pode ser equipada com uma pá de até 3,5m³ para aplicações em materiais com baixa massa específica, como é o caso de 550kg/m³, conforme a Figura 9 a seguir.



**Figura 9: Pá carregadeira CAT 914k. Fonte: CAT.**

Foi considerado que esse equipamento opera em regime de média/baixa potência, visto que, a cada ciclo de montagem de leira e retirada de material, a carga é recolhida e elevada duas vezes e o maior tempo de operação se dá apenas em deslocamento simples. Considerando um regime de operação ininterrupto (24 horas), o volume de recebimento de material diário é igual ao de expedição: a máquina precisa exercer 102 ciclos de atividades ao dia, ou seja, um ciclo a cada 14 minutos aproximadamente. Dado o perímetro da planta, e a velocidade de 10km/h da pá carregadeira, ela circula o perímetro da planta em 4 minutos, tendo os 10 minutos restantes para manobra, recolhimento de material e ajuste na montagem da leira. Em média baixa potência (7L/h) sobre o período de 24 horas o consumo de diesel da pá carregadeira fica em 168 litros por dia.

Para taxa de manutenção foi considerado o artigo da EMBRAPA Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas, de Edson Patto Pacheco, onde é apresentada a tabela de vida útil dos principais equipamentos agrícolas, conforme a Figura 10, para cálculo da manutenção anual das mesmas o autor dissolve o custo do equipamento ao longo de sua vida útil considerando esse valor anual como o necessário para boa conservação do equipamento.

| Equipamento                                  | Vida útil<br>(horas) | Vida útil<br>(anos) | Uso por ano<br>(horas/ano) |
|----------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|
| Tratores                                     | 10.000               | 10                  | 1.000                      |
| Arados                                       | 2.000                | 5                   | 400                        |
| Grades                                       | 2.000                | 5                   | 400                        |
| Escarificadores                              | 2.000                | 5                   | 400                        |
| Subsoladores                                 | 2.000                | 5                   | 400                        |
| Enxadas rotativas                            | 2.000                | 5                   | 400                        |
| Semeadoras de sementes miúdas                | 1.200                | 5                   | 240                        |
| Semeadoras de sementes graúdas (de precisão) |                      |                     |                            |
| Plantio direto                               | 1.200                | 5                   | 240                        |
| Plantio convencional                         | 1.200                | 5                   | 240                        |
| Cultivadores                                 | 2.000                | 5                   | 400                        |
| Pulverizadores                               | 1.200                | 5                   | 240                        |
| Colhedora de arrasto                         | 8.000                | 10                  | 800                        |
| Colhedora combinada automotriz               | 8.000                | 10                  | 800                        |
| Colhedora de forragem                        | 2.500                | 10                  | 250                        |
| Ceifadoras                                   | 2.000                | 10                  | 200                        |

**Figura 10: Tabela de vida útil dos principais equipamentos agrícolas. Fonte: EMBRAPA – Edson Patto Pacheco.**

Nesse estudo a pá carregadeira foi aproximada como trator tendo ambos a vida útil de 10 anos. O triturador e o revolvedor de leiras são equipamentos mais sensíveis e sujeitos a esforços de maior estresse, mas tendo em vista que a utilização de ambos se dá em períodos diários de 5 horas ou menos foi considerada também uma vida útil de 10 anos para ambos.

Logo foi considerada uma taxa de manutenção atual de 10% o valor do equipamento novo. Por sua vez, esse valor de equipamento novo foi levantado junto a fornecedores de mercado, e são apresentados na aba CAPEX do orçamento em anexo visto que sua aquisição é necessária.

#### **Dimensionamento de Mão de Obra – OPEX**

Para esse empreendimento torna-se necessária a contratação de um engenheiro agrônomo como responsável técnico do processo produtivo, e também supervisor de operação. O Revolvedor de leiras opera 3,5 horas por dia, e o triturador opera 5 horas por dia, ambos utilizam o mesmo trator motriz, somando os tempos de operação é possível contratar apenas um operador de máquina para operar ambos equipamentos, se fazendo necessária a contratação também de um ajudante de operação para auxiliar os processos, manobras, e troca de implementos.

Para operação 24 horas da pá carregadeira é necessária a contratação de três operadores de máquina para as etapas de montagem de leira e retirada do composto. Logo o total efetivo da folha de pagamento será:

- 1 engenheiro agrônomo;
- 4 operadores de máquina;
- 1 ajudante de operações.

Atividades como recursos humanos, suprimentos, e outras rotinas administrativas podem ser absorvidas pela SAAL sem grandes impactos nas atividades já exercidas.

#### **Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)**

Para o cálculo das emissões atuais de gases de efeito estufa, utilizou-se a planilha do GHG Protocol, principal ferramenta para cálculo de emissões. Nas emissões da destinação atual para aterro sanitário, o cálculo é realizado na aba de resíduos sólidos do escopo 3, onde é inserido o quantitativo de lodo de esgoto destinado para aterro sanitário. O ano inventariado utilizado foi 2021.

A ferramenta do GHG Protocol não possui um cálculo específico para as emissões de GEE de compostagem aeróbica. Desta forma, foi realizada uma estimativa com base na literatura, em que estabelece margens de emissões de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> para compostagem de lodo. Conforme a Figura 11 a seguir. Foram consideradas as médias das emissões das margens em cada gás.

**Table 1**  
GHGs emission in composting process.

| SL.No | Waste type                   | Amendment                            | Duration (Days) | Condition |       | CH <sub>4</sub>                     | N <sub>2</sub> O                  | CO <sub>2</sub>                   | Remarks                                                                                                                                                                                                                                       | References |
|-------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------|-------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1     | Chicken pig and dairy manure | Corrtalk (CS)                        | 28              | MC (%)    | 60    | 582.21 - 842.48 mg d <sup>-1</sup>  | 39.5-64.9 g d <sup>-1</sup>       | 62.56-119.22 g d <sup>-1</sup>    | Without CS treatments showed the higher values than CS treatments during the final composting. Negligible CH <sub>4</sub> emission towards the end of the process.                                                                            | [64]       |
|       |                              |                                      |                 | C/N       | 25    |                                     |                                   |                                   |                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| 2     | Sewage sludge and straw      | Bamboo biochar with bacterial agents | 29              | MC (%)    | 73.08 | 128.57 - 235.47 mg.kg <sup>-1</sup> | 0.127 - 0.163 mg.kg <sup>-1</sup> | 16.39 - 24.91 mg.kg <sup>-1</sup> | Inhibition of N <sub>2</sub> O emission due to presence of bacterial agents : <i>Alphaproteobacteria</i> and <i>Gammaproteobacteria</i> . <i>Actinobacteria</i> may restrict methanogen proliferation and minimise CH <sub>4</sub> emissions. | [118]      |
|       |                              |                                      |                 | pH        | 7.65  |                                     |                                   |                                   |                                                                                                                                                                                                                                               |            |

**Figura 11: Estimativa de emissões de GEE para compostagem. Fonte: Naushin, 2022.**

Ao considerar os valores para as emissões por kg de lodo, foi feita a conversão para as quantidades de lodo de cada cenário. Com isso, foi utilizada novamente a planilha do *GHG Protocol*, na aba de escopo 1 de resíduos sólidos, no “Relato de emissões de GEE estimadas a partir de outras ferramentas de cálculo” onde foi possível realizar a conversão dos gases para tCO<sub>2</sub>eq.

Após os cálculos para cada cenário com suas respectivas quantidades de lodo, para o cenário atual, as emissões de GEE estão entre 3.500 e 5.300 tCO<sub>2</sub>eq. Com a compostagem do lodo, há uma redução de emissões entre 70% e 80% de tCO<sub>2</sub>eq.

## Composição do Orçamento CAPEX e OPEX

### a. Documentação e Taxas de Licenciamento

Foram verificados dentro do Grupo Águas do Brasil, as licenças necessárias e custos para a criação de um novo CNPJ, assim como as possíveis taxas. Os valores foram baseados nos custos já existentes.

### b. Serviços Preliminares

Nesse item, foi considerado uma possível aquisição de terreno, cujo custo foi baseado na média de mercado entre as possíveis localizações da composteira. Também foi considerado todos os serviços iniciais de engenharia, projeto, topografia e sondagens, nivelamento e limpeza do terreno, montagem do canteiro de obras e ligações provisórias. Esses valores foram baseados na tabela EMOP 2022.

### c. Impermeabilização e Drenagem

Uma vez que a compostagem precisa ocorrer com certo grau de umidade, é necessária a impermeabilização do terreno, para evitar percolação de água capaz de contaminar o solo, além da drenagem, essencial em qualquer obra, para drenagem de águas pluviais. Esses custos também foram baseados na tabela EMOP 2022. Os quantitativos foram baseados no tamanho do pátio de compostagem.

### d. Locação de Obra

Foram considerados serviços para trabalho em altura, para a construção da estrutura metálica da estufa. Assim sendo, os custos de andaime e proteção foram considerados, de acordo com a tabela EMOP e SINAPI 2022.

### e. Infraestrutura

A infraestrutura foi baseada na melhor proposta da superestrutura orçada. Segundo a proposta técnica do fornecedor.

## Fixação da estrutura no solo:

Para fixação de cada coluna de sustentação da estrutura, será escavado um buraco médio de 30cm de diâmetro por 120cm de profundidade, onde as mesmas serão concretadas. Cada coluna terá 6,00m de comprimento, sendo que destes cerca de 15% será enterrado, e 5,10 m formarão o pé direito da estufa.



Por tratar-se de um comprimento bastante expressivo, haverá vários desníveis ao longo da estufa, portanto deverão ser instalados vários pontos de coletas intermediárias.

Baseado nessas especificações, os quantitativos foram calculados para os serviços de infraestrutura, baseados na tabela EMOP.

#### **f. Superestrutura**

A superestrutura da composteira, trata-se de uma estufa, conforme as Figuras 12 e 13. Para a composição desse custo, foram realizados orçamentos com fornecedores do grupo. A proposta que mais atendeu aos parâmetros de qualidade e custo, foi a empresa Zanatta, cujo orçamento final foi composto, incluindo mão de obra, com as seguintes especificações:

##### **Tratamento da estrutura:**

**Aço:** Os perfis utilizados serão fabricados com chapas de aço. Após a sua fabricação, todas as peças são galvanizadas em banho de zinco fundente, conforme normas da ABNT e/ou ASTM A-153 e ASTM A-123.

**Alumínio:** Serão utilizados perfis de alumínio extrudado de liga 6005 e tempera T5.

##### **Partes em aço da estrutura:**

Arcos estruturados de 270mm de altura em chapa 2mm, e tubos de reforço 30x40mm;

Perfis de frente em perfil dobrado tipo U enrijecido medindo 50x40x2mm;

Colunas internas em perfil dobrado tipo U enrijecido medindo 90x60x20mm em chapa de 2mm de espessura

##### **Fixação dos revestimentos:**

A fixação dos filmes deverá ser feita com mola de aço 2,10mm, encaixadas nas calhas de alumínio e demais peças já projetadas para esta fixação.

##### **Partes de alumínio da estrutura:**

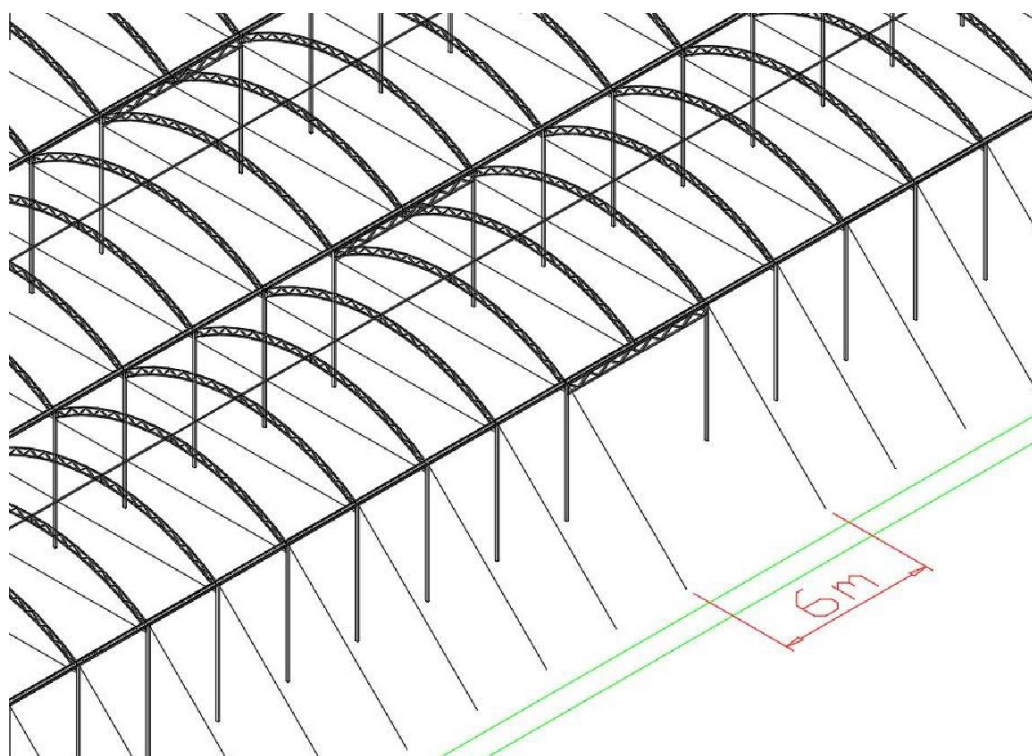
Calhas internas para escoamento da água, na altura do pé direito em perfis de alumínio 175x100mm; e calhas externas 150x90 mm.

Perfis de alumínio com base simples e dupla, para fixação das telas e filmes.

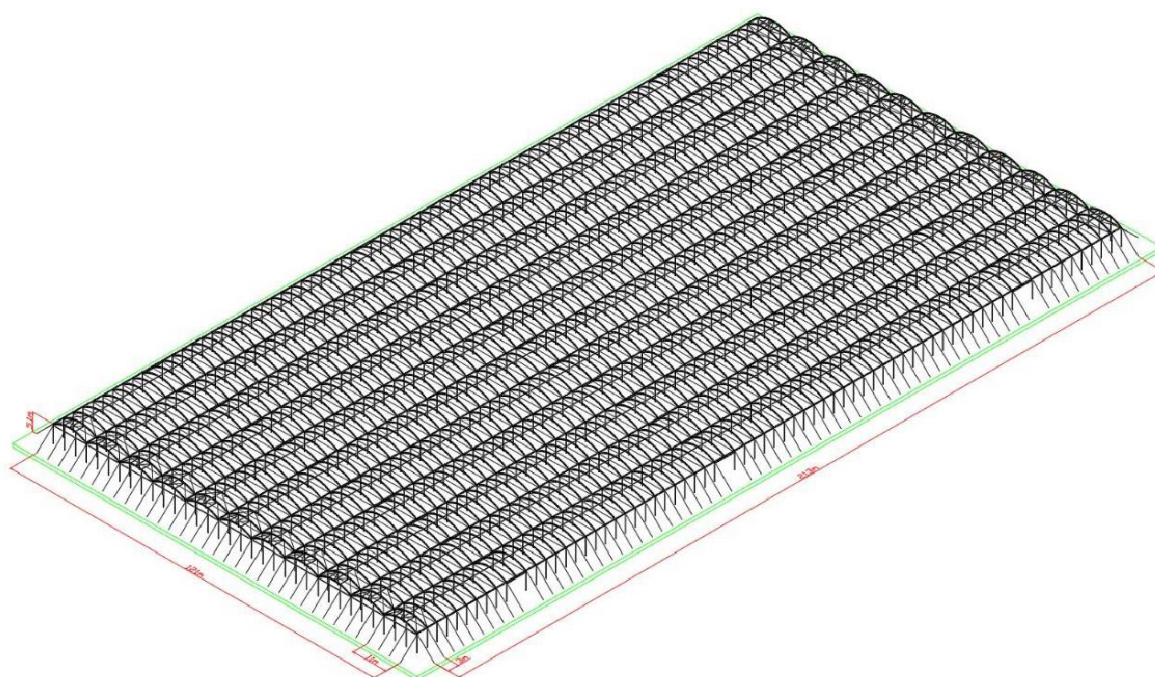
##### **Revestimentos:**

**Cobertura e Elipse:** Filme leitoso nacional 150 micras com tratamento AUV.

**Frontais e Laterais:** totalmente abertos.



**Figura 12: Projeto da Superestrutura – Estrutura metálica – Estufa.**



**Figura 13: Projeto da Superestrutura – Estrutura metálica – Estufa.**

#### **g. Mão de Obra**

Uma vez inclusa a mão de obra para a infra e supra estrutura da estufa, a mão de obra foi dimensionada para os serviços preliminares e complementares, considerando 220 horas mensais de cada profissional, com os custos de acordo com a EMOP.

#### **h. Serviços Complementares**

Foram considerados serviços complementares todas as estruturas do pátio de compostagem, além da área de compostagem propriamente dita. Isto é, área operacional, estacionamento, armazenagem, área de secagem do lodo, recebimento de material e deslocamento. Para o orçamento foram considerados custos que foram compostos a partir da tabela EMOP, com as dimensões aproximadas, consideradas no item dimensionamento.

#### **i. Iluminação e Energia**

Foram dimensionados para o pátio postes de energia e iluminação, incluindo instalações elétricas, baseados na tabela EMOP.

#### **j. Equipamentos Fixos**

Os equipamentos foram dimensionados de acordo com o item de dimensionamento de equipamentos, acima nesse documento. Os custos previstos de acordo com o orçamento de fornecedores.

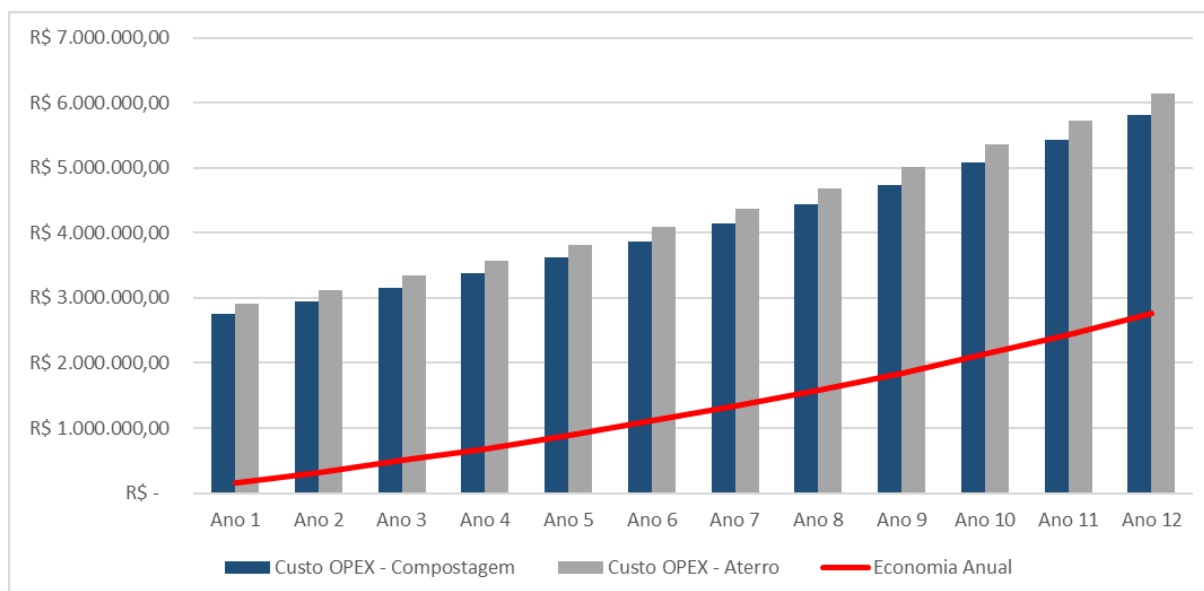
#### **k. Taxas**

Para efeitos de cálculo, foi considerado 2% do custo total da obra, direcionado para todas as outras possíveis taxas que venham a incidir sobre a construção da composteira. Essa consideração utilizou das premissas que o Grupo já utiliza em termos de taxas.

### **RESULTADOS**

#### **Comparativo de Custos – OPEX Destinação**

De acordo com a composição do orçamento, tem-se que o OPEX da composteira seria maior do que o opex atual. No entanto, quando se simula um cenário de aumento dos custos de destinação em aterro ao longo dos anos, os custos se igualam, compensando ao longo dos anos, conforme o Gráfico 1 a seguir.



**Gráfico 1: Comparativos de Custos OPEX.**

No entanto, esse cenário de custos considera apenas destinação atual e destinação para a composteira, apenas em números, desconsiderando o produto final, o biossólido.

#### **Biossólido Produzido**

Conforme o balanço de massa, encontrou-se a quantidade média de 2 mil toneladas de biossólido produzido por mês, a partir do processo de compostagem.

Esse composto é rico em nutrientes minerais e rico em coloides húmicos, que tem ação nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. O composto é um condicionador de solo, que atua benéficamente nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, além de fornecer nutrientes, o que o torna um composto de ação promissora para o mercado agrícola.

Baseado nessas informações, existem duas principais alternativas de destinação do biossólido produzido:

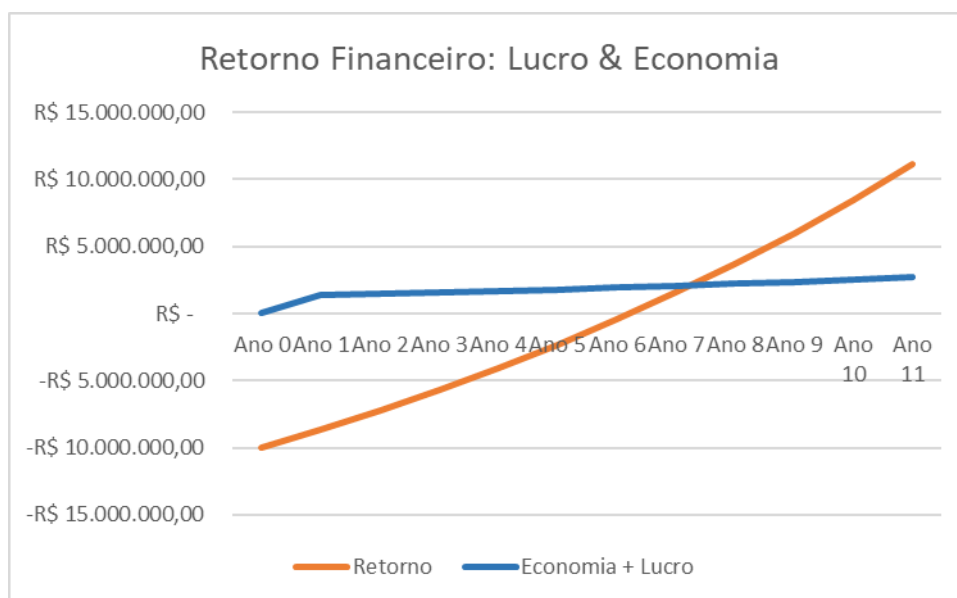
- Utilizar o composto em ações internas do Programa de Educação Ambiental do Grupo e iniciativas sociais;
- Venda do biossólido.

A partir do quantitativo produzido, aplicar somente a primeira alternativa pode trazer problemas de armazenagem, uma vez que o quantitativo é alto. No entanto, o cenário de venda se mostra como uma alternativa promissora, uma vez que geraria lucro, com *payback* do investimento, além dos benefícios intangíveis.

### Comparativo de Custos – Cenário de Venda

De acordo com o balanço de massa, e partindo do valor de venda de biossólido, encontrado no mercado, foi calculado o OPEX adicionando os itens necessários para um cenário de venda, e assim foi encontrado o possível lucro líquido anual.

Conforme o Gráfico 2, o cenário de venda é o cenário mais promissor, pois traria um *payback* do investimento dentro do ano sete, e após esse período, a composteira trabalharia sendo uma fonte de lucro para o Grupo.



**Gráfico 2: Retorno Financeiro: Lucro & Economia.**

### BENEFÍCIOS – TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS

Ter uma nova solução do lodo para mais concessionárias do Grupo Águas do Brasil vai em acordo com a Estratégia ESG (*Environmental, Social and Governance*), que tem como uma das suas ações “apresentar alternativas encontradas para a destinação do lodo e mensurar a geração de valor (redução de custos e geração de receitas)”.



Há o alinhamento com a Política de Sustentabilidade do GAB, que possui como um dos seus pilares a Segurança Hídrica e Mudanças Climáticas, que visa contribuir com a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas por meio da inovação e das melhores práticas, e da redução das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

A possibilidade de reconhecimento externo das práticas sustentáveis do Grupo para o setor de saneamento é outro benefício e proporciona uma ação de contribuição aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecido pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

### **Riscos**

Os riscos envolvidos se iniciam no transporte de lodo, contudo, esse risco já existe com o transporte do lodo para o aterro, sendo, um risco que se mantém.

Também existem os riscos de vetores e mau cheiro. De acordo com o manual da compostagem, é possível minimizar o problema de odor e tráfego, com um calendário conveniente de transporte e descarregamento de lodo, de forma que evite o armazenamento de grandes volumes de lodo na usina. Os revolvimentos, principalmente no início do processo, também devem ser feitos em dias de pouco vento, e uma vez que para o presente projeto será utilizado estufa, esse problema pode ser controlado.

O risco de odor também existe se o processo de compostagem não ocorrer corretamente, e por isso o controle das leiras se mostra tão importante, inclusive no processo final de maturação. Isso porque um composto instável, continua a se decompor rapidamente e se for estocado entrará em degradação anaeróbia liberando mau odor e até gases inflamáveis como metano e fosfina, capazes de criar combustão na massa de resíduos. Já um composto maturado pode ser estocado ou ensacado sem qualquer problema de odor ou liberação de gases. Seu odor é parecido com o de terra úmida e sua ação no solo não provoca efeitos fitotóxicos.

O risco de contaminação de águas do subsolo e carreamento do lodo pela erosão superficial da chuva, não é considerado nessa situação, pois o capex considera impermeabilização e sistema de drenagem.

O monitoramento dos metais pesados deve ser parte do controle de qualidade dos lodos e do composto final, porém, com exceção dos esgotos muito contaminados por efluentes industriais, dificilmente será um fator limitante para a compostagem e uso agrícola do composto obtido.

Também existe o risco de compostagem do lodo da ETE Icarai, pois a ETE é primária quimicamente assistida, sendo assim, o lodo possui alto índice de cloreto férrico, e não é conhecido o comportamento da compostagem desse resíduo. Assim sendo, é necessário realizar estudos complementares para entender como se comporta esse resíduo no processo de compostagem, com ensaios, caracterização do material e testes piloto.

### **CONCLUSÃO**

Conclui-se que a aplicação de uma usina de compostagem para o cenário com menor custo de operacionalização, resulta em diversos benefícios. Entre eles, destaca-se o retorno financeiro, uma vez que o investimento tem *payback* e gera lucro ao longo dos anos de pós implementação.

Também é possível destacar a redução das emissões de gases de efeito estufa e o alinhamento com as diretrizes do ESG tanto em relação à destinação alternativa mais sustentável do lodo, quanto em relação a redução de emissões atmosféricas e a contribuição com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

A implementação de uma usina de compostagem gera segurança operacional para as empresas, uma vez que o resíduo produzido passa a ser disposto e tratado de forma interna na própria organização, sem a dependência do aterro para a disposição final, haja vista o atual cenário dos aterros sanitário, que são uma preocupação na área do saneamento básico.

Além disso, a compostagem do lodo de esgoto fomenta a inovação na área do saneamento e incentiva novos projetos de alternativas para os resíduos do setor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.
2. BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, DF. 2022.
3. BRASIL. Resolução CONAMA 498, de 19 de agosto de 2020. Conselho Nacional de Meio Ambiente.
4. FEDERAL, CEF Caixa Econômica. MANUAL PRÁTICO PARA A COMPOSTAGEM DE BIODSÓLIDOS. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.
5. PACHECO, Edson Patto. Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000.
6. SILVA, Lucas Marques Soares et al. 203-DIMENSIONAMENTO DE USINA DE COMPOSTAGEM UTILIZANDO LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E COMPOSTOS ORGÂNICOS PROVENIENTES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ.
7. YASMIN, Naushin et al. *Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives*. Energy Nexus, p. 100092, 2022.