

Memorial de Cálculo

# Projeto de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário

SAECIL de Leme

ETE Taquari Ponte

Abr/2026

## SUMÁRIO

1	Informações do empreendimento .....	1
2	Alternativa adotada .....	1
3	Memorial Descritivo .....	2
3.1	Tratamento Preliminar.....	2
3.2	Estação Elevatória de Esgoto (EEE).....	2
3.3	Decantador Primário.....	2
3.4	Filtro Aerado Submerso (FAS).....	2
3.5	Decantador secundário.....	3
3.6	Estação Elevatória para o filtro de areia.....	3
3.7	Filtro de areia .....	3
3.8	Destinação do lodo .....	4
3.9	Sistema de desinfecção.....	5
4	Memorial de cálculo .....	6
4.1	Determinação da vazão do sistema.....	6
4.2	Resumo dos parâmetros de projeto .....	6
4.3	Gradeamento .....	7
4.4	Estação Elevatória de Esgoto (EEE).....	7
4.5	Decantador Primário.....	9
4.6	Filtro Aerado Submerso (FAS).....	10
4.7	Decantador Secundário .....	14
4.8	Estação Elevatória para o filtro de areia.....	14
4.9	Filtro de Areia.....	15
4.10	Produção de lodo na ETE .....	16
4.11	Sistema de desinfecção.....	17

## 1 Informações do empreendimento

A Estação de tratamento de esgoto a ser instalada, tem por objetivo atender a demanda da ETE Taquari Ponte, localizada em Leme/SP.

## 2 Alternativa adotada

Para determinação da vazão de projeto, foram consideradas a vazão média de 114 m<sup>3</sup>/dia e máxima de 205,63 m<sup>3</sup>/dia.

O sistema proposto neste projeto será composto por 1 módulo capaz de atender a uma vazão média de até 114 m<sup>3</sup>/dia, e compreenderá os seguintes equipamentos:

- Caixa gradeamento;
- Estação Elevatória de Esgoto Bruto;
- Decantador primário;
- Filtro aerado submerso (FAS);
- Decantador secundário;
- Estação elevatória para o filtro de areia;
- Filtro de areia;
- Tanque de lodo.

### 3 Memorial Descritivo

#### 3.1 Tratamento Preliminar

##### 3.1.1 Gradeamento

A caixa gradeamento é composta por uma placa perfurada com inclinação de 60°, permitindo a retenção de sólidos grosseiros.

Estima-se a composição do material retido: 30% papéis, 10% trapos e panos, 20% materiais diversos e 40% material volátil.

#### 3.2 Estação Elevatória de Esgoto (EEE)

As Estações Elevatórias de Esgotos (EEE) são utilizadas para recalque do efluente bruto até o decantador primário, onde se dá o início do tratamento biológico do efluente.

O projeto visa limitar a entrada de esgoto no decantador primário, para que a vazão máxima recomendada ao bom funcionamento do sistema não seja excedida.

#### 3.3 Decantador Primário

A primeira etapa do tratamento se dá no decantador primário, cuja finalidade é a de remover sólidos sedimentáveis presentes no esgoto, tornando-o apto para a etapa do tratamento biológico, por meio do processo de sedimentação. Além disso, o decantador primário recebe e acumula o lodo proveniente do compartimento do decantador secundário, para posterior retirada e destinação.

#### 3.4 Filtro Aerado Submerso (FAS)

O filtro aerado submerso (FAS) é um sistema de tratamento aeróbio que utiliza meio suporte (ou material recheio) para crescimento dos microrganismos responsáveis pela remoção da matéria orgânica presente no esgoto.

O FAS é fabricado em PRFV e possui material recheio do tipo anel pall, com área específica de 191 m<sup>2</sup>/m.

O projeto do FAS foi elaborado considerando uma redução de carga orgânica (DBO) no decantador primário de 25%.

### 3.5 Decantador secundário

O decantador secundário é a terceira etapa de tratamento e tem por função promover a separação do lodo formado que tenha se desprendido do tratamento biológico e esteja suspenso no efluente.

O lodo sedimentado é retornado para o decantador primário, onde é acumulado. Essa recirculação é realizada por meio de sistema de airlift, sem a utilização de bombas ou dispositivos elétricos.

No decantador secundário será realizada a dosagem de coagulante (PAC ou cloreto férrico), para atuar na remoção de fósforo do efluente.

### 3.6 Estação Elevatória para o filtro de areia

A Estação Elevatória será utilizada para recalque do efluente até o filtro de areia, onde se dá o início ao polimento final do efluente.

### 3.7 Filtro de areia

O sistema de filtração tem o objetivo de reter os flocos formados no processo anterior. Os filtros são constituídos de camadas de areia ou de areia e antracito, suportadas por cascalho com diferentes granulometrias.

Propõe-se o uso de um filtro rápido de fluxo descendente, no qual o efluente é introduzido na parte superior por uma tubulação perfurada e percola através do meio filtrante, cujo peso específico é de 2,6 g/cm<sup>3</sup> e características granulométricas conforme NBR 12216:1992: Areia para filtros rápidos de camada filtrante dupla:

- Tamanho efetivo: de 0,45 a 0,55 mm;
- Coeficiente de uniformidade de 1,4 a 1,6;
- Espessura mínima: 0,50 m;

O Filtro possui em seu fundo tubulações perfuradas que recebem a água filtrada e encaminham a uma tubulação central de saída.

O fundo falso adotado no equipamento requer uma camada suporte adicional, que é constituída por seixos rolados, colocados em camadas sucessivas, umas sobre as outras, de forma a possibilitar a transição entre o tamanho dos grãos do leito filtrante e o tamanho dos orifícios do fundo falso. A espessura das camadas:

- Areia: 0,50 m;
- Material suporte: 0,60 m;
- Borda livre: 1,05 m;
- H Total: 2,15 m.

Após a saturação dos filtros é feita a retrolavagem, que consiste em injetar água no sentido contrário, proporcionando a expansão do leito filtrante e realizando a limpeza a contra fluxo. O efluente desse processo é então encaminhado para a elevatória, aonde se junta com o efluente bruto que vai para o decantador primário.

### 3.8 Destinação do lodo

Todo sistema de tratamento de efluentes tem como resíduo o lodo gerado dentro dos processos de redução e remoção da carga orgânica do efluente bruto. Dependendo do tamanho e do modelo do sistema utilizado, o lodo pode ser acumulado no próprio equipamento e posteriormente descartado.

No caso do sistema proposto, o adensamento é realizado em um reservatório de lodo, permitindo a retirada por caminhão a vácuo, com destinação adequada feita por empresa devidamente licenciada no Órgão Ambiental.

### 3.9 Sistema de desinfecção

Embora o sistema de tratamento de esgoto projetado tenha elevada eficiência, a concentração de coliformes totais no efluente que deixa o reator aeróbio ainda é superior ao limite permitido fazendo necessária a adoção de medidas com a finalidade de reduzir a contagem de coliformes, como a adição de um sistema de desinfecção na ETE, antes do descarte final do efluente no corpo hídrico receptor.

A desinfecção pode ser feita através de um tanque de contato com dosagem de cloro, no formato de chicanas ou do tipo circular com a entrada e saída opostas, para reduzir problemas com curto circuito hidráulico.

Nesse projeto a desinfecção será por cloração e será realizada no reservatório dos filtros de areia.

## 4 Memorial de cálculo

### 4.1 Determinação da vazão do sistema

A determinação da vazão do sistema é realizada a partir da quantidade de contribuintes individuais, ou seja, da população atendida, que pode ser limitada a um bairro, uma cidade ou um empreendimento industrial ou comercial e do valor da contribuição, que varia em função da característica do empreendimento e da condição social do contribuinte.

### 4.2 Resumo dos parâmetros de projeto

- Os parâmetros de entrada adotados são:

Parâmetros	Valores
DQO (mg/L)	700
DBO (mg/L)	350
Carga nitrogenada (mg/L)	40
Fósforo total (mg/L)	8
Sólidos suspensos totais (mg/L)	350
Temperatura (°C)	15 a 35
pH	7

- Os parâmetros de saída adotados são:

Parâmetros	Valores
DQO (mg/L)	50
DBO (mg/L)	25
Carga nitrogenada (mg/L)	3,7
Fósforo total (mg/L)	<0,1
Sólidos suspensos totais (mg/L)	10
Temperatura (°C)	15 a 35
pH	7

Estimativa de vazão		
Vazão média	114	m <sup>3</sup> /dia
	4,7	m <sup>3</sup> /h
	1,3	l/s
Vazão máxima horária	205	m <sup>3</sup> /dia
	8,5	m <sup>3</sup> /h
	2,4	l/s
Vazão mínima	57	m <sup>3</sup> /dia
	2,37	m <sup>3</sup> /h
	0,66	l/s
Concentração adotada	350	mg/l
Carga orgânica adotada	39,9	kg/dia
Eficiência estimada	93%	

#### 4.3 Gradeamento

##### 4.3.1 Caixa gradeamento

Será utilizada caixa gradeamento com placa perfurada, com o objetivo de reter os sólidos grosseiros.

#### 4.4 Estação Elevatória de Esgoto (EEE)

##### 4.4.1 Determinação da vazão da bomba de recalque

A bomba de recalque é determinada a partir da vazão média do empreendimento, portanto a vazão da bomba será:

Vazão da bomba de recalque		
$Q_b = 1,8 \times Q_{med}$		
Q <sub>med</sub> - vazão média esgoto	4,75	m <sup>3</sup> /h
Fator da bomba	1,80	
Q <sub>b</sub> - vazão da bomba	8,55	m <sup>3</sup> /h

## 4.4.2 Determinação do volume e altura útil

<b>Volume útil mínimo</b>		
$V = \frac{(Q_b \times T)}{4}$		
Q <sub>b</sub> - vazão da bomba	8,55	m <sup>3</sup> /h
T - tempo de ciclo	0,17	h
V - volume útil	0,36	m <sup>3</sup>

<b>Altura útil mínima da elevatória</b>		
$V = \pi r^2 \times H$		
V - volume útil	0,36	m <sup>3</sup>
R - raio da elevatória	0,75	m
H - altura útil	0,20	m

## 4.4.3 Determinação do volume útil da EEE

<b>Volume da elevatória</b>		
$V = \pi r^2 \times H$		
R - raio da elevatória	0,75	m
H - altura útil adotada	0,50	m
V - volume útil	0,88	m <sup>3</sup>

Para escolha da bomba de recalque será considerada a perda de carga do sistema e a vazão do projeto. Portanto, a bomba escolhida deve possuir as seguintes características.

<b>Dimensionamento bomba de recalque</b>		
Vazão de recalque	8,55	m <sup>3</sup> /h
Pressão de serviço	10	mca

#### 4.5 Decantador Primário

O tratamento biológico inicia-se pelo decantador primário.

##### 4.5.1 Determinação da área superficial

<b>Área superficial mínima</b>		
$A_{sup} = \frac{Q_{máx}}{TAS\ máx}$		
Q <sub>máx</sub> .h - vazão máxima horária	205,19	m <sup>3</sup> /dia
TAS - taxa de aplicação superficial	60,00	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia
A <sub>sup</sub> - área superficial mínima	3,42	m <sup>2</sup>

<b>Área superficial utilizada</b>		
$TAS = \frac{Q_{máx, h}}{A_{sup}}$		
Q <sub>máx</sub> .h - vazão máxima horária	205,19	m <sup>3</sup> /dia
A <sub>sup</sub> - área superficial adotada	5,05	m <sup>2</sup>
TAS - taxa de aplicação superficial	40,63	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia

##### 4.5.2 Tempo de detenção hidráulica

<b>Tempo de detenção hidráulica média no decantador</b>		
$TDH = \frac{V}{Q_{med}}$		
V - volume útil	11,58	m <sup>3</sup>
Q <sub>med</sub> - vazão média	4,75	m <sup>3</sup> /h
TDH - tempo de detenção	2,44	horas

<b>Tempo de detenção hidráulica (máx.hr) no decantador</b>		
$TDH = \frac{V}{Q_{máx, h}}$		
V - volume útil	11,58	m <sup>3</sup>
Q <sub>máx</sub> .h - vazão máxima horária	8,55	m <sup>3</sup> /h
TDH - tempo de detenção	1,35	horas

#### 4.6 Filtro Aerado Submerso (FAS)

A seguir podem ser verificados os cálculos do dimensionamento do Filtro Aerado Submerso, que contará com volume de material recheio necessário para remoção da carga orgânica e para nitrificação.

##### 4.6.1 Determinação do volume mínimo do meio suporte

Considerando a carga orgânica volumétrica e a taxa de aplicação superficial, o volume mínimo do leito filtrante pode ser determinado.

<b>Determinação do volume pela carga orgânica volumétrica</b>		
$V = \frac{C_{afluente}}{C_v DBO}$		
Eficiência a montante considerada	25%	
C afluente - carga afluente ao FAS	29,92	kg DBO/dia
Cv DBO - carga orgânica volumétrica	1,80	kg DBO/m <sup>3</sup> .dia
V - volume mínimo do meio suporte	16,62	m <sup>3</sup>

<b>Determinação do volume pela taxa de aplicação superficial</b>		
$A_s = \frac{C_{apl}}{T_x}$		
C apl - carga orgânica aplicada	29,92	kg DBO/dia
Tx - taxa de aplicação superficial	0,015	kg DBO/m <sup>2</sup> .dia
As - área superficial necessária	1994,93	m <sup>2</sup>
Área superficial do material suporte	191,40	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
V - volume mínimo do meio suporte	10,42	m <sup>3</sup>

<b>Determinação do volume para nitrificação</b>		
$V = \frac{CN \times Q_{med}}{gN}$		
CN - Concentração de nitrogênio	40,0	mg/l
Taxa de aplicação	1,0	gN/m <sup>2</sup>
Área de material suporte	4561,92	m <sup>2</sup>
$V = \frac{\text{Área suporte}}{\text{Área do material suporte}}$		
Área suporte	4561,92	m
Área superficial do material recheio	191,4	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
V - volume mínimo do meio suporte	23,83	m <sup>3</sup>

Considerando o volume pela taxa de aplicação superficial e o volume necessário para nitrificação, será utilizado o volume de 34,25 m<sup>3</sup>.

<b>Determinação do comprimento mínimo</b>		
$C = \frac{V}{A \text{ semicirc}}$		
V - volume mínimo do meio suporte	34,25	m <sup>3</sup>
A semicirc - área do semicírculo	7,75	m
C - comprimento mínimo	4,42	m

<b>Determinação volume total</b>		
$V = A \text{ semicirc} \times C$		
C - comprimento adotado	5,45	m
A semicirc - área do semicírculo	7,75	m
V - volume material recheio	34,25	m <sup>3</sup>
V - volume útil FAS	42,24	m <sup>3</sup>

#### 4.6.2 Vazão de Ar

A vazão de ar é determinada em função da carga aplicada no sistema.

<b>Parâmetros adotados para cálculo do sistema de aeração por ar difuso</b>		
Requisito de oxigênio (RO) - rem DBO	1	kgO <sub>2</sub> /kgDBO
Requisito de oxigênio (RO) - nitrificação	4,57	kgO <sub>2</sub> /kgN
Coeficiente de vazão de pico (c)		1,4
α – Para nitrificação		0,7
α – Para remoção de DBO		0,65
β		0,95
Conc. Saturação de OD em água a 20°C	9,02	mg/L
Conce. De OD no esgoto (CI)	3	mg/L
Tranferência de oxigênio por metro (η <sub>0</sub> )	0,04	% em decimal
Temperatura de entrada do ar no soprador (T1)	20	°C
Pressão de entrada no ar (P1)	1	kgf/cm <sup>2</sup> abs
Umidade relativa do ar (RH)	0,6	%
Pressão parcial de vapor (Pv)	0,02	kgf/cm <sup>2</sup>
Perdas estimadas	1	m
Altitude adotada	620	m
Temperatura média do mês mais frio do ano (T)	20	°C

<b>Necessidade de oxigênio</b>		
$N_{O_2}(médica) = C_{DBO} * RO$		
Carga de DBO afluente	29,92	kg DBO/dia
Taxa oxigênio/kg DBO aplicada	1,0	kg O2/kg DBO apl
Carga de NTK afluente	4,56	kg NTK/dia
Taxa oxigênio/kg NTK aplicada	4,6	kgO2/kgN
Necessidade de oxigênio	50,6	kg O2/dia
Necessidade de oxigênio	2,11	kg O2/hora
<b>Concentração de saturação de OD em função da temperatura (Cs)</b>		
$C_S = 14,652 - 0,41022 * T^2 - 0,000077774 * T^3$		
Concentração de saturação de OD	9,02	mgOD/l
<b>Concentração de saturação de OD em função da altitude (fH)</b>		
$f_H = 1 - \frac{H}{9450}$		
Concentração de OD		0,93
<b>Taxa de transferência de oxigênio padrão para difusores de ar</b>		
$\lambda = \frac{\beta * f_H * C_S - Cl}{C_S(20^\circ)} * \alpha * \theta^{T-20}$		
Taxa de transferência de oxigênio para difusores		0,39
<b>Rendimento da transferência de oxigênio</b>		
$\eta = \eta_o * \lambda * h_{útil}$		
Altura útil	3,20	m
Rendimento da transferência de oxigênio		0,05
<b>Demanda de ar</b>		
$M_{ar} = \frac{N_{O_2}}{\eta * 0,232}$		
Demanda de ar	182,81	kg ar/hora
<b>Vazão de ar</b>		
$Q_{ar} = \frac{M_{ar}}{\rho_{ar}}$		
Densidade do ar ( $\rho_{ar}$ )	1,2	kg/m <sup>3</sup>
Vazão de ar	152,34	st m <sup>3</sup> ar/hora

<b>Vazão dos sopradores</b>		
$Q_s = Q_{ar} * \left( \frac{273}{273 + T_1} \right) * \left( \frac{P1 - (RH * Pv)}{1,033} \right)$		
Vazão de ar soprador	135,76	N m <sup>3</sup> ar/hora
Pressão necessária	4,20	m

Será utilizado compressor de ar com vazão de 136 m<sup>3</sup>/hora.

#### 4.6.3 Produção de lodo no reator aeróbio

<b>Produção de lodo</b>		
$Plodo = Y \times C_{apl}$		
Y - coeficiente de crescimento	0,70	kg SST/kg DBO
C apl - carga orgânica aplicada	29,92	kg DBO/dia
Plodo - produção de lodo	20,95	kg/dia

## 4.7 Decantador Secundário

<b>Área superficial mínima</b>		
$TAS = \frac{Q_{med}}{A_{sup}}$		
Q <sub>med</sub> - vazão média	114,00	m <sup>3</sup> /dia
TAS - taxa de aplicação superficial	24,00	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .dia
A <sub>sup</sub> - área superficial mínima	4,75	m <sup>2</sup>

<b>Área superficial utilizada</b>		
$TAS = \frac{Q_{med}}{A_{sup}}$		
Q <sub>med</sub> - vazão média	114,00	m <sup>3</sup> /dia
A <sub>sup</sub> - área superficial adotada	6,24	m <sup>2</sup>
TAS - taxa de aplicação superficial	18,27	m

<b>Tempo de detenção hidráulica no decantador</b>		
$TDH = \frac{V}{Q_{med}}$		
V - volume útil	12,48	m <sup>3</sup> /h
Q <sub>med</sub> - vazão média	4,75	m <sup>3</sup> /h
TDH - tempo de detenção	2,63	horas

No decantador secundário será realizada a dosagem de coagulante (cloreto férrico ou PAC), para atuar na remoção de fósforo do efluente.

## 4.8 Estação Elevatória para o filtro de areia

<b>Volume da EEE para o filtro de areia</b>		
$V = Q_{máx,h} \times t$		
Q <sub>máx,h</sub> - vazão máxima horária	8,55	m <sup>3</sup> /h
t - tempo de contato adotado	0,25	horas
V - volume mínimo	2,14	m <sup>3</sup>
V - volume útil adotado	4,15	m <sup>3</sup>

## 4.9 Filtro de Areia

<b>Área superficial mínima</b>		
$A = \frac{Q}{TAS}$		
Q - vazão média	114,0	m <sup>3</sup> /dia
TAS - taxa de aplicação superficial	75	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia
A - área do filtro	1,52	m <sup>2</sup>

<b>Área superficial utilizada</b>		
$TAS = \frac{Q}{Área}$		
Q - vazão média	114,0	m <sup>3</sup> /dia
Diâmetro do filtro	2,00	m
Área	3,14	m <sup>2</sup>
Área necessária	1,52	m <sup>2</sup>
TAS - taxa de aplicação superficial por filtro	36,30	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia

## 4.9.1 Sistema de retrolavagem do filtro

<b>Dimensionamento do sistema de retrolavagem</b>		
Velocidade acensional	0,7	m/min
Área do filtro	3,14	m <sup>2</sup>
Tempo de retrolavagem	10	min
Volume de água para retrolavagem	20,42	m <sup>3</sup>
Vazão de retrolavagem	122,52	m <sup>3</sup> /h
Diâmetro do reservatório	3,0	m
Altura útil do reservatório	3,5	m
Volume do reservatório	24,74	m <sup>3</sup>

## 4.10 Produção de lodo na ETE

<b>Volume de lodo no sistema</b>		
$V_{lodo} = \frac{M_{lodo}}{D_{lodo} \times \text{teor de solidos}}$		
Mlodo - massa de lodo produzida	20,95	kg/dia
Dlodo - densidade do lodo	1020,0	kg/m <sup>3</sup>
Teor de sólidos do lodo	1%	
V lodo - volume por módulo	2,05	m <sup>3</sup> /dia
V lodo - volume total	2,05	m <sup>3</sup> /dia

## 4.10.1 Tanque de Lodo

<b>Volume do Reservatório de lodo</b>		
$V = \pi r^2 \times H$		
R - raio do reservatório	1,25	m
H - altura útil	3,0	m
V - volume do reservatório	14,73	m <sup>3</sup>

<b>Retirada mensal do lodo</b>		
V - volume do reservatório	14,73	m <sup>3</sup> /mês
Período de acúmulo	8	dias
Estimativa mensal de retiradas	4	retiradas

Considerando um adensamento de até 2% do lodo no tanque de lodo, pode-se estimar duas retiradas mensais de lodo.

#### 4.11 Sistema de desinfecção

É necessário realizar a desinfecção do efluente para reduzir a carga de patógenos presentes no efluente.

##### 4.11.1 Volume mínimo do tanque de contato

<b>Volume mínimo do tanque de contato</b>		
$V = Q_{m\acute{a}x, h} \times t$		
Q <sub>máx.h</sub> - vazão máxima horária	8,55	m <sup>3</sup> /h
t - tempo de contato adotado	0,25	horas
V - volume mínimo	2,14	m <sup>3</sup>

A desinfecção será realizada no reservatório de retrolavagem dos filtros.