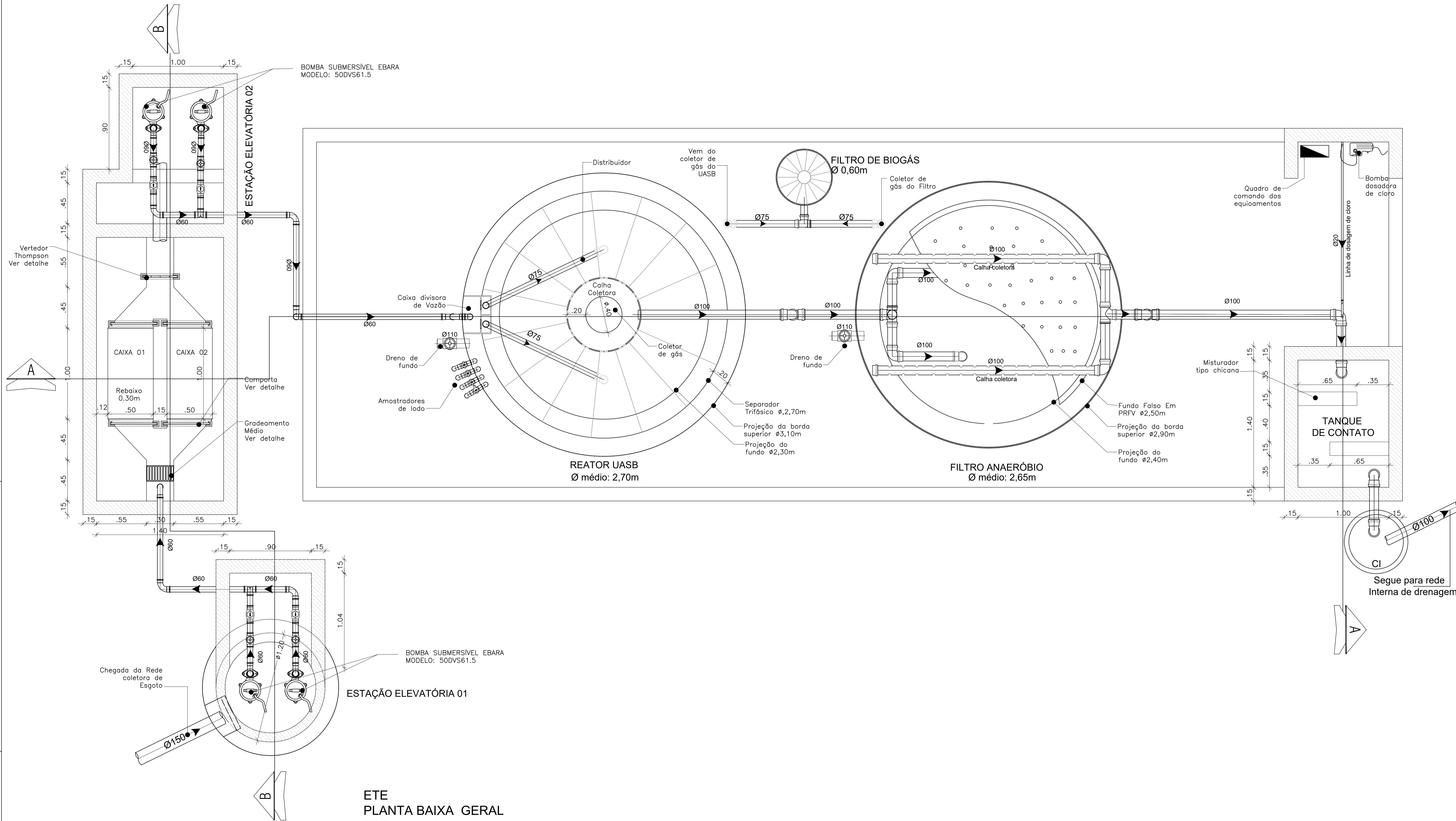


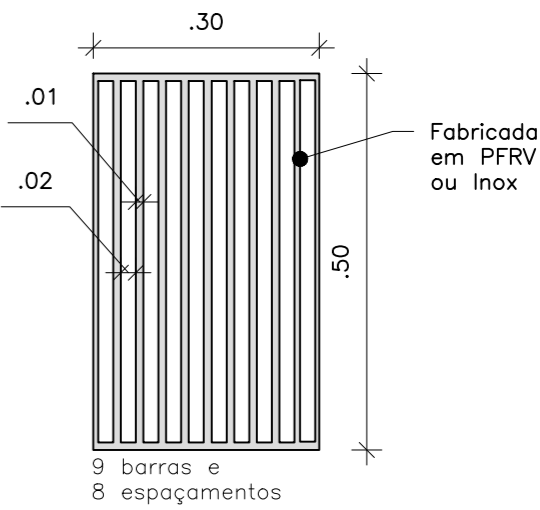
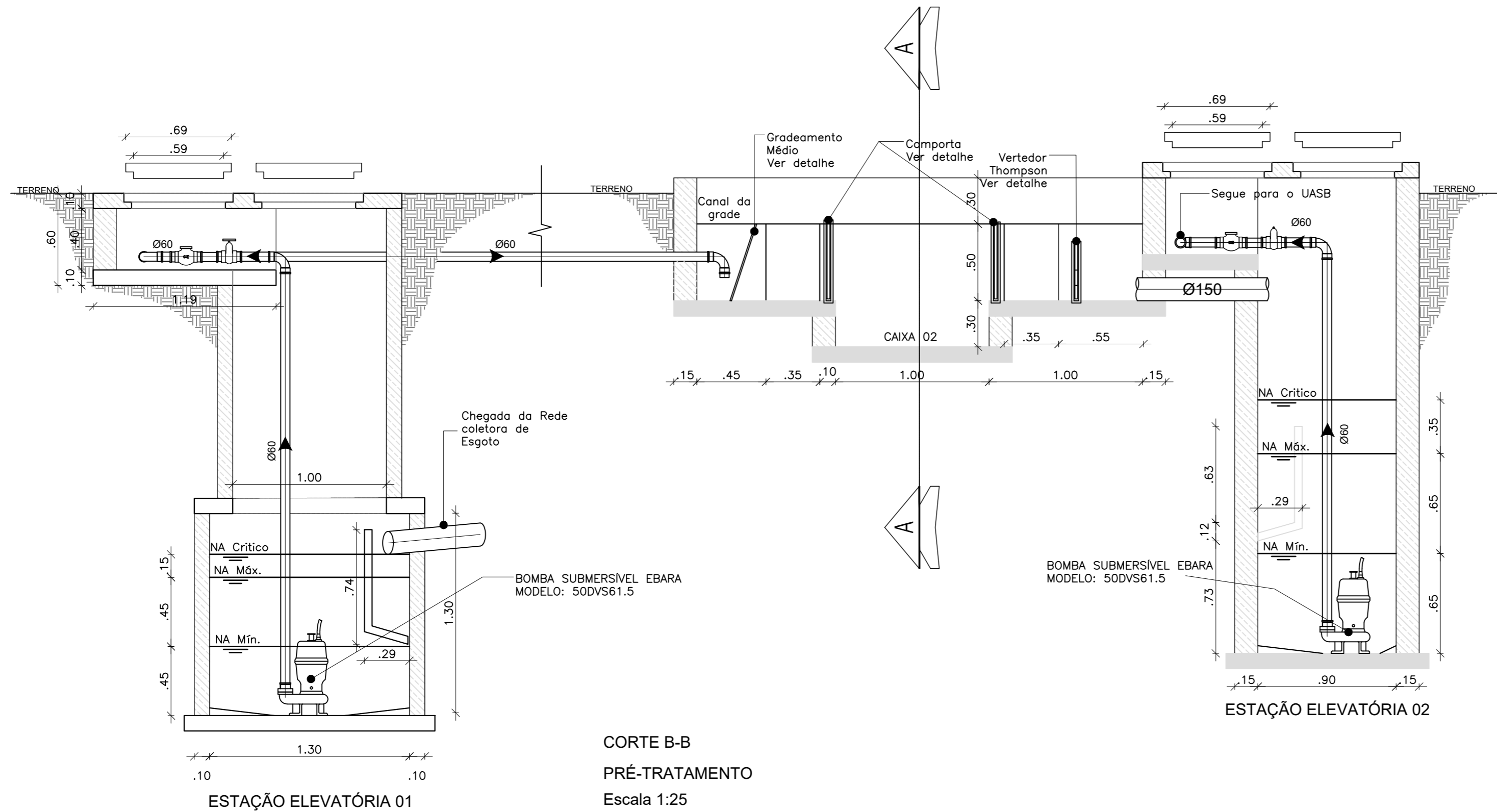
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
VISTA SUPERIOR  
ESCALA: 1:50

PROJETO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
PLANTA DE LOCAÇÃO DA ESTAÇÃO

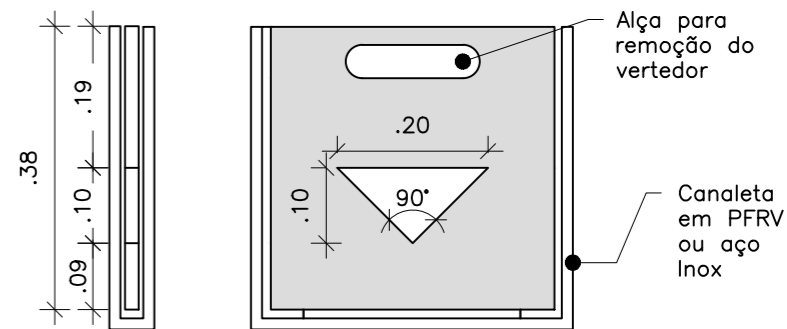
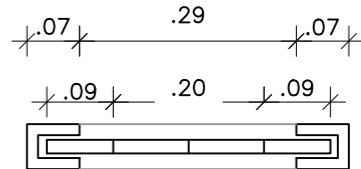
EMPREENDIMENTO: SUPERINTENDÊNCIA DA POLÍCIA FEDERAL		
ENDEREÇO: AV. JÚLIO CÉSAR COM AV. ALM. BARROSO	MUNICÍPIO: BELÉM/PA	ESCALA DO PROJETO: INDICADA
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: RODRIGO HONÓRIO ENGENHEIRO CIVIL	Nº DO REGISTRO DE CLASSE: 1702735958/PA	ASSINATURA:
ESPAÇO PARA APROVAÇÃO	REVISÃO Nº: 00	PRANCHA 01   04
	DATA DO PROJETO: 09/11/2020	
	DISCIPLINA: ESGOTO	



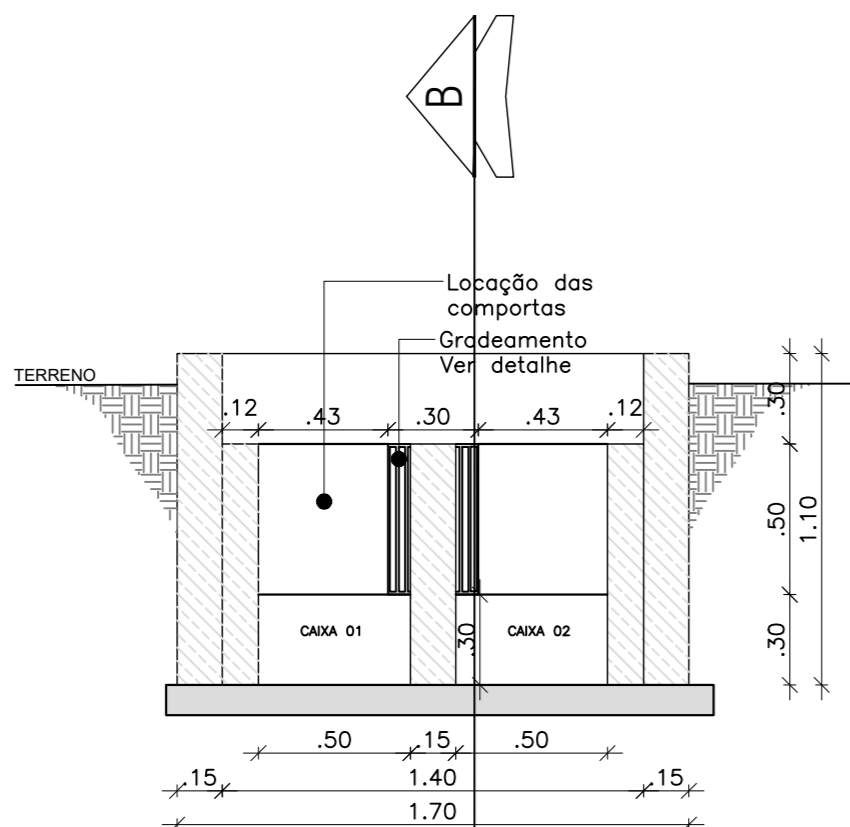
PROJETO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PLANTA BAIXA GERAL DA ESTAÇÃO		
EMPENDIMENTO:		
SUPERINTENDÊNCIA DA POLÍCIA FEDERAL		
ENDERÇO:	MUNICÍPIO:	ESCALA DO PROJETO:
AV. JÚLIO CÉSAR COM AV. ALM. BARROSO	BELÉM/PA	INDICADA
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:	Nº DO REGISTRO DE CLASSE:	ASSINATURA:
RODRIGO HONÓRIO	1702735958/PA	
ENGENHEIRO CIVIL		
ESPAÇO PARA APROVAÇÃO	REVISÃO Nº:	PRANCHA
	00	
	DATA DO PROJETO:	
	09/11/2020	
	DISCIPLINA:	
ESGOTO		



GRADEAMENTO  
TIPO MÉDIO  
Escala 1:10

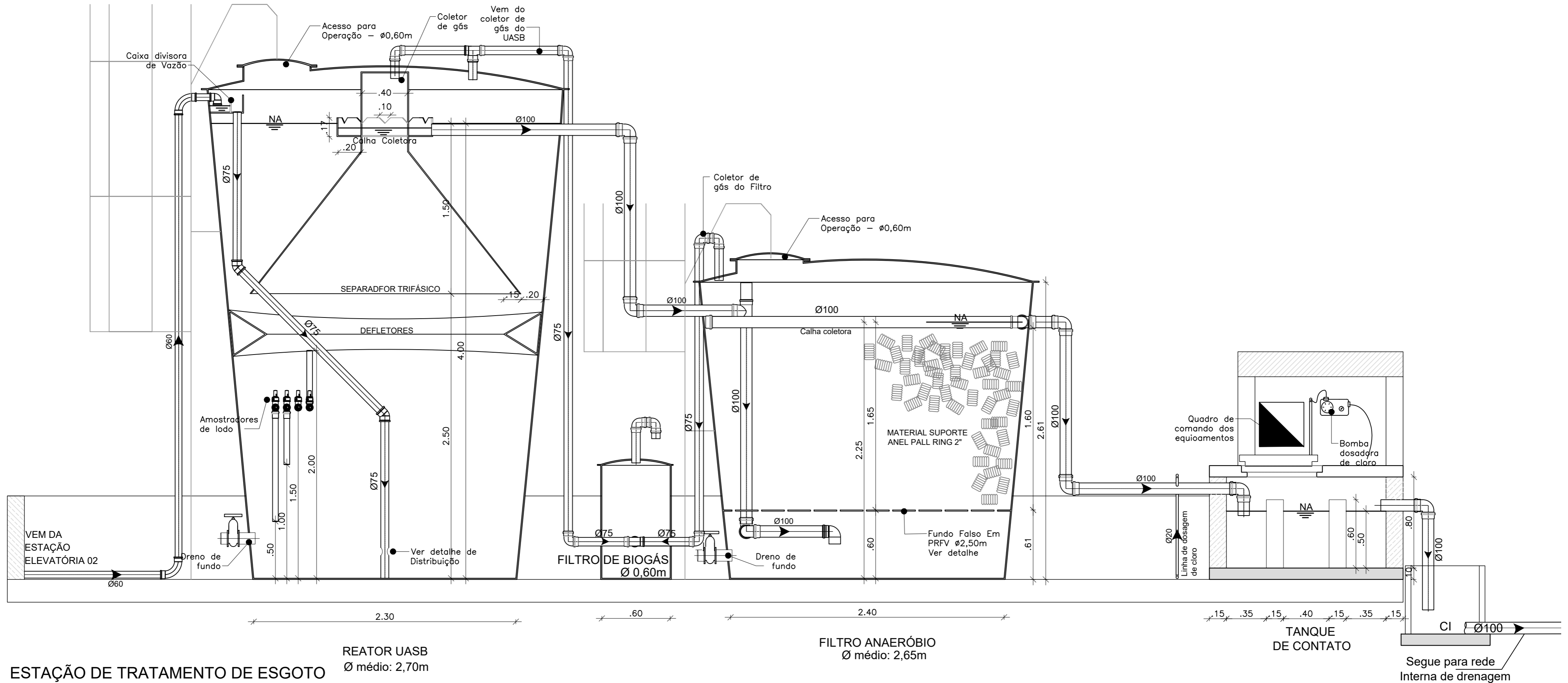


MEDIDOR DE VAZÃO  
VERTEDOURO THOMPSON  
Escala 1:10

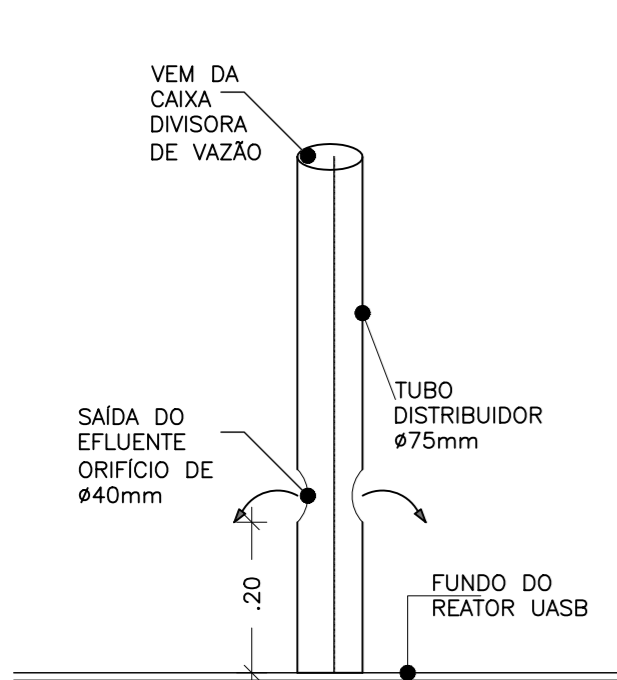


COMPORTA DE OPERAÇÃO  
MANTEM UMA CAIXA INOPERANTE  
Escala 1:10

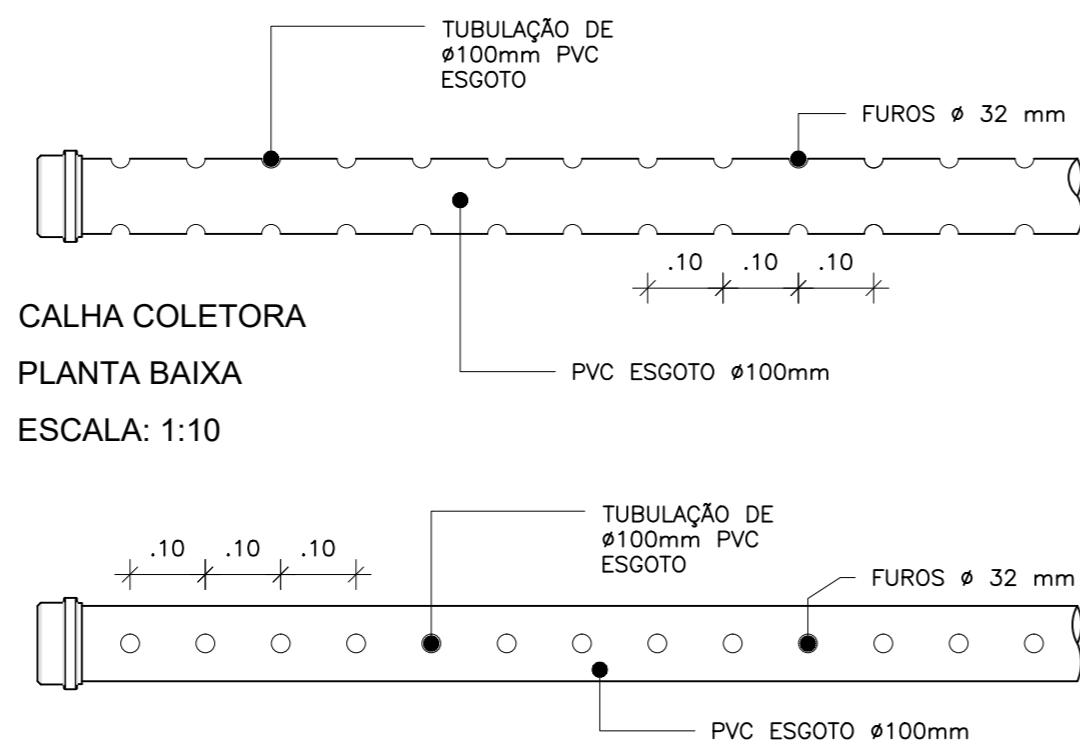
PROJETO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PLANTA BAIXA		
EMPREENDIMENTO:		
SUPERINTENDÊNCIA DA POLÍCIA FEDERAL		
ENDEREÇO:	MUNICÍPIO:	ESCALA DO PROJETO:
AV. JÚLIO CÉSAR COM AV. ALM. BARROSO	BELÉM/PA	INDICADA
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:	Nº DO REGISTRO DE CLASSE:	ASSINATURA:
RODRIGO HONÓRIO	1702735958/PA	
ENGENHEIRO CIVIL	REVISÃO Nº:	PRANCHA 03   04
	00	
	DATA DO PROJETO:	
	09/11/2020	
	DISCIPLINA:	
	ESGOTO	



ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
CORTE A-A  
ESCALA: 1:25

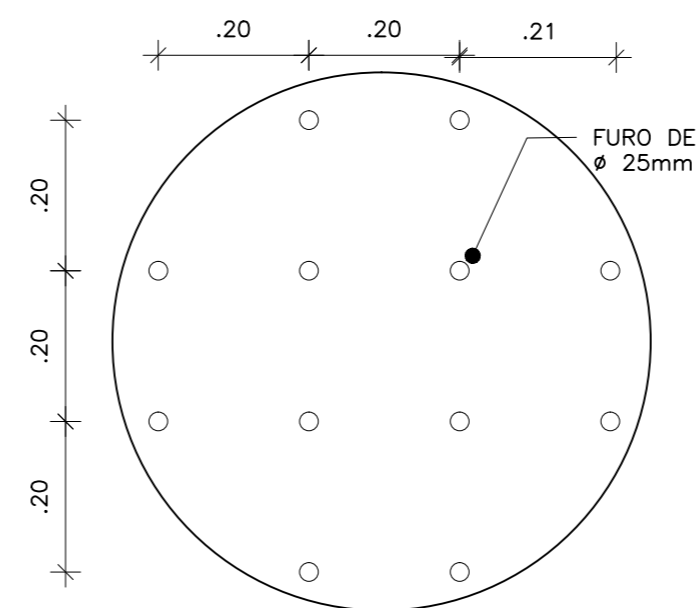


DISTRIBUIÇÃO DO EFLUENTE  
ESCALA: 1:10



CALHA COLETORA  
PLANTA BAIXA  
ESCALA: 1:10

CALHA COLETORA  
VISTA LATERAL  
ESCALA: 1:10



DETALHE FUNDO FALSO  
ESCALA: 1:10

PROJETO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PLANTA BAIXA		
EMPREENDIMENTO:		
SUPERINTENDÊNCIA DA POLÍCIA FEDERAL		
ENDEREÇO:	MUNICÍPIO:	ESCALA DO PROJETO:
AV. JÚLIO CÉSAR COM AV. ALM. BARROSO	BELÉM/PA	INDICADA
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:	Nº DO REGISTRO DE CLASSE:	ASSINATURA:
RODRIGO HONÓRIO	1702735958/PA	
ENGENHEIRO CIVIL	REVISÃO Nº:	PRANCHA 04   04
ESPAÇO PARA APROVAÇÃO	00	
	DATA DO PROJETO:	
	09/11/2020	
	DISCIPLINA:	
	ESGOTO	

**SUPERINTENDÊNCIA DA POLÍCIA  
FEDERAL  
SEDE BELÉM/PA**



**PROJETO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO  
DE EFLUENTES**

---

**MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO**

Rodrigo Honório  
Engenheiro Civil  
CREA 1702735958/PA

**BELÉM  
NOVEMBRO/2020**



## SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO .....	3
2.	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	4
3.	MEMORIAL JUSTIFICATIVO .....	4
4.	MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO .....	5
4.1.	Vazões de Projeto .....	5
4.2.	Qualidade do Efluente Bruto .....	7
4.3.	Vertedor Thopsom .....	8
4.4.	Gradeamento .....	8
4.5.	Caixa de Areia .....	13
4.6.	Estação Elevatória de Efluentes .....	16
4.7.	Reator UASB .....	21
4.8.	Filtro Anaeróbio .....	40
4.9.	Desinfecção .....	48
4.10.	Tratamento de Subprodutos .....	53
4.11.	Sistema de Automação .....	54
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	55

## 1. APRESENTAÇÃO

O presente documento consiste no memorial descritivo e de cálculo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) a ser implantada na Sede da Superintendência da Polícia Federal, localizada na Av. Almirante Barroso, nº 4466 - bairro: Souza – Belém/PA.

Tendo em vista que o local de instalação do empreendimento não dispõe de cobertura de rede coletora de esgoto, o efluente produzido será tratado e, posteriormente, direcionado para rede de drenagem pluvial do município.

Sendo assim, o projeto teve o objetivo de atender os requisitos mínimos exigidos pela Secretaria de Saneamento de Belém – SESAN, responsável pela gestão da rede de drenagem pluvial da cidade. Como referência, utilizou-se, principalmente, recomendações as diretrizes dispostas na Instrução Normativa Nº 001/2018, o qual dispõe sobre o licenciamento de lançamento de águas pluviais e/ou esgoto no sistema de drenagem urbana do município de Belém. Além disso, foram utilizados as recomendações das seguintes normas:

ABNT NBR 12.209/2011 – Elaboração de projetos hidráulico- sanitário de estações de tratamento de esgoto;

ABNT NBR 12.208/2020 – Projeto de estação de bombeamento ou de estação elevatória de esgoto — Requisitos;

ABNT NBR 13.969/97 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação;

Resolução CONAMA Nº 357/2005 - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Resolução CONAMA Nº 430/2011 - "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA."

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A nova Sede da Superintendência da Polícia Federal, objeto deste projeto, será localizada na Av. Almirante Barroso, nº 4466 - bairro: Souza – Belém/PA., sob as coordenadas geográficas 1°25'22,10"S e 48°27'03,41"O. Sua localização faz parte da Região Hidrográfica Tocantins -Araguaia, mais especificamente na Bacia Hidrográfica do Una, tendo como canal principal de drenagem desta bacia o canal do Una, que dista, aproximadamente, 3,04 km do empreendimento. Ademais, sua área construída será de 12.962,17 m<sup>2</sup> e possuirá em torno de 300 funcionários e, em média, 50 visitantes diários, de acordo com informações do contratante.

## 3. MEMORIAL JUSTIFICATIVO

A concepção adotada para o sistema de tratamento de efluentes da Sede da Superintendência da Polícia Federal no Pará é composta, basicamente, por sistema de retenção de sólidos grosseiros, desarenador, medidor de vazão, estação elevatória, tratamento secundário e desinfecção, os quais serão abordados a seguir.

Para o sistema de retenção de sólidos grosseiros, foram avaliadas, como alternativas, o sistema de peneiras, centrífugas e gradeamentos, optando-se pela última por apresentar eficiência satisfatória, menor custo de implantação, maior facilidade operacional, além de ser uma tecnologia consolidada na região.

Os mesmos critérios nortearam a seleção das alternativas para os demais componentes do tratamento preliminar, onde foram avaliados, para o sistema de desarenação, o sistema aerado e a caixa de areia do tipo canal, optando-se pela segunda, e, para o sistema de medição de vazão, a medição com medidores eletrônicos (ultrassônicos e magnéticos) e não eletrônicos, por meio de vertedouros ou calha parshall, optando-se pela segunda opção.

Tendo em vista a referida Instrução Normativa (IN) nº 001/2018 da Secretaria Municipal de Saneamento – SESAN/PMB, que exige eficiência mínima de 85% de eficiência na remoção de DBO e a adoção de Reator UASB, o tratamento biológico será composto pelo referido reator e um filtro anaeróbio. Como critério para seleção de tecnologias para pós-tratamento, utilizou-se a eficiência requerida, demanda de área, demanda de energia elétrica, complexidade operacional e produção de lodo. Frente a esses quesitos, avaliou-se os sistemas de filtro aerado submerso + decantador secundário e filtro anaeróbio. Tendo em vista que ambas as alternativas atendiam o critério de eficiência

mínima e demandavam ocupação de área, adotou-se o sistema de reatores anaeróbios por apresentar menor produção de lodo e não necessitar de energia elétrica, além de apresentar menor complexidade operacional.

Para seleção do método de desinfecção, foram adotados os critérios de custo de implantação e operação, disponibilidade de mão de obra especializada para operação e manutenção e grau de complexidade operacional. Os sistemas avaliados foram a cloração, ozonização e ultravioleta. Frente aos critérios adotados, a alternativa adotada foi a cloração, por apresentar maior viabilidade.

#### **4. MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO**

O sistema proposto para o tratamento dos esgotos da Sede da Superintendência da Polícia Federal no Pará, é composto por tratamento físico, biológico e químico, também denominado, tratamento preliminar, secundário e terciário, respectivamente. Assim, o tratamento de efluentes do referido empreendimento terá capacidade de atender 300 funcionários e 50 visitantes por dia, com produção per capita de 50 L/hab.dia, totalizando 17.500 L/dia. Ademais, seu dimensionamento considerou a concentração, no efluente bruto, de DBO = 900 mg/L e DQO = 1800 mg/L, sendo esses resultados primários calculados a partir dos dados fornecidos pela contratante, bem como de acordo com a NBR 12.209/2011. O sistema conta com etapas de tratamento preliminar, secundário e terciário, os quais serão detalhados a seguir.

O memorial de cálculo tem o objetivo de descrever os cálculos efetuados durante o dimensionamento do sistema proposto. É importante para que o projeto seja executado plenamente, bem como, para um melhor entendimento quando forem necessárias alterações ou gestão do projeto por outro profissional.

Desse modo, neste memorial descritivo e de cálculo estarão detalhados todos os cálculos de dimensionamento das unidades de tratamento de efluentes, sendo eles o preliminar composto de gradeamento e desarenador (caixa de areia) e medidor de vazão, o secundário, composto por reator anaeróbio UASB e filtro anaeróbio, e o terciário que é a etapa de desinfecção do efluente clarificado e, por fim, a estação elevatória.

##### **4.1. Vazões de Projeto**

Para determinação das vazões de projeto, foram adotados os parâmetros dispostos na tabela 1 abaixo.

**Tabela 1** – Parâmetros de determinação de vazões.

Parâmetro	Valor	Unidade
Número de funcionários	300	hab
Número de visitantes	50	hab/dia
População de projeto	350	hab/dia
Per capita esgoto (q)	50	L/hab.dia
Coeficiente de variação máxima diária (K1)	1,2	-
Coeficiente de variação máxima horária (K2)	1,5	-
Coeficiente de variação mínima diária (K3)	0,5	-

**A) Vazão mínima**

Com o objetivo de determinar a Vazão mínima de projeto, faz-se uso da equação 1 a seguir.

$$Q_{min} = \frac{(P_{projeto} \times q \times K_3)}{86400}$$

Onde:

População de projeto ( $P_{projeto}$ );

Per capita de esgoto (q);

Coeficiente de vazão mínima diária ( $K_3$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se

$$Q_{min} = 0,101 \text{ L/s}$$

**B) Vazão média**

Com o objetivo de determinar a Vazão média de projeto, faz-se uso da equação 2 a seguir.

$$Q_{med} = \frac{(P_{projeto} \times q)}{86400}$$

Onde:

População de projeto ( $P_{projeto}$ );

Per capita de esgoto ( $q$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Q_{med} = 0,203 \text{ L/s}$$

### C) Vazão máxima

Com o objetivo de determinar a Vazão máxima de projeto, faz-se uso da equação 3 a seguir.

$$Q_{max} = (Q_{med} \times K_1 \times K_2)$$

Onde:

Vazão média ( $Q_{med}$ );

Coefficiente de vazão máxima horária ( $K_2$ );

Coefficiente de vazão máxima diária ( $K_1$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Q_{max} = 0,365 \text{ L/s}$$

Após a estimativa de todas as vazões necessárias, fez-se a tabela 2 abaixo, condensando todas vazões que serão utilizadas no dimensionamento de todas as etapas do tratamento.

**Tabela 2** – Vazões mínima, média e máxima para dimensionamento do sistema.

Vazão	L/d	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /h
Mínima	8750,00	0,00010	8,750	0,365
Média	17500,00	0,00020	17,500	0,729
Máxima	31500,00	0,00036	31,500	1,313

## 4.2. Qualidade do Efluente Bruto

### A) Demanda Bioquímica de Oxigênio Afluente

A DBO afluente ( $S$ ) é considerada como a DBO total (solúvel + particulada) devido ao fato dos sólidos em suspensão orgânicos, responsáveis pela DBO particulada,

serem convertidos em sólidos dissolvidos, por meio da ação das bactérias no meio. A concentração adotada foi de 900 mg/L, a partir do parâmetro de 45 g DBO/hab.dia estimado pela NBR 12.209/2011 em caso de ausência da determinação de tal parâmetro através de análise laboratorial.

### **B) Demanda Química de Oxigênio Afluente**

Enquanto que a DQO está relacionada com a oxidação bioquímica da matéria orgânica (realizada por microrganismos), a DQO afluente ( $S_0$ ) não somente engloba essa parcela, mas tudo o que é susceptível de demandas de oxigênio, em particular os sais minerais oxidáveis (VON SPERLING, 1996a; JORDÃO; PESSOA, 1995). A concentração de DQO adotada foi de 1.800 mg/L, a partir do parâmetro de 90 g DBO/hab.dia estimado pela NBR 12.209/2011 em caso de ausência da determinação de tal parâmetro através de análise laboratorial.

### **4.3. Vertedor Thopsom**

Medidor de Vazão do tipo Thompson baseia-se em um estreitamento de canal no formato de “V” para medir a vazão. A água, ao passar por este estreitamento em V, possibilita o cálculo da vazão em tempo real, proporcionado pela razão entre da altura da água e dimensões da canaleta.

Utiliza-se a equação seguinte para se medir a vazão na estação:

$$Q = 1,4 \times H^{\frac{5}{2}}$$

Onde:

Vazão em m<sup>3</sup>/s (Q);

Altura da lâmina d'água);

### **4.4. Gradeamento**

São dispositivos de retenção e remoção de resíduos sólidos grosseiros, os quais são constituídos por barras de ferro ou aço paralelas, posicionadas transversalmente no canal de chegada de esgoto na estação de tratamento, sendo alocada de forma perpendicular ou inclinada, dependendo do dispositivo de remoção do material retido. As grades devem permitir o escoamento dos esgotos sem produzir grandes perdas de carga. A escolha da grade para o projeto desta ETE foi obtida por meio da tabela 5 abaixo.

**Tabela 5** – Dimensões adotadas para cada tipo de grade.

Tipos	Espaçamento (mm)	Seção (mm)	Seção (pol)
Grossa	40 – 100	9,5 x 50	3/8 x 2
		9,5 x 63,5	3/8 x 2 1/2
		12,7 x 38,1	1/2 x 1 1/2
		12,7 x 50	1/2 x 2
Média	20 – 40	7,9 x 50	5/16 x 2
		9,5 x 38,1	3/8 x 1 1/2
		9,5 x 50	3/8 x 2
		6,4 x 38,1	5/16 x 1 1/2
Fina	10 - 20	7,9 x 38,1	3/8 x 1 1/2
		9,5 x 38,1	

A grade escolhida foi a Média com as dimensões listadas a seguir para continuar o seu dimensionamento na tabela 6 abaixo.

**Tabela 6** – Grade escolhida e suas dimensões.

Tipo	Média
Espaçamento	20
Espessura	9,8
Espaçamento (a)	0,0200 m
Espessura (t)	0,00980 m

Segundo a NBR 12.209/2011, no dimensionamento das grades de barras a velocidade máxima através da grade para a vazão final é de 1,20 m/s.

#### A) Área útil

Com o objetivo de determinar a Área útil, faz-se uso da equação a seguir.

$$A_U = Q_{m\acute{a}x} \times V_{m\acute{a}x}$$

Onde:

Vazão em m<sup>3</sup>/s (Q<sub>máx</sub>);

Velocidade máxima (V<sub>máx</sub>).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

---

$$A_u = 0,00030 \text{ m}^2$$

**B) Eficiência da grade**

Com o objetivo de determinar a Eficiência da grade, faz-se uso da equação 10 a seguir.

$$E = \left( \frac{a}{a + t} \right) \times 10$$

Onde:

Espaçamento entre as barras em cm (a);

Espessura da barra em cm (t).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$E = 67,11 \%$$

**C) Seção total da grade**

Com o objetivo de determinar a Seção da grade, faz-se uso da equação 11 a seguir.

$$S_{grade} = \frac{A_u}{\left( \frac{E}{100} \right)}$$

Onde:

Área útil em m<sup>2</sup> (A<sub>U</sub>);

Eficiência (E).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$S_{grade} = 0,0005 \text{ m}^2$$

**D) Largura da grade**

Com o objetivo de determinar a Largura da grade, faz-se uso da equação a seguir.

$$L_{grade} = \frac{S_{grade}}{H_{m\acute{a}x}}$$

Onde:

Seção da grade (S<sub>grade</sub>);

Altura máxima (H<sub>máx</sub>).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$L_{grade} = 0,023 \text{ m}$$

A largura adotada será um valor exequível em projeto, desse modo, será o seguir:

$$L_{grade} = 0,30 \text{ m}$$

### **E) Velocidade no canal da grade**

Com o objetivo de determinar a Velocidade no canal da grade, faz-se uso da equação a seguir.

$$V_0 = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{S_{grade}}$$

Onde:

Seção da grade ( $S_{grade}$ );

Vazão máxima ( $Q_{m\acute{a}x}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_0 = 0,81 \text{ m/s}$$

### **F) Números de barras (Nb) e número de espaçamentos (Ne)**

Com o objetivo de determinar os números de barras e números de espaçamentos, faz-se uso das equações a seguir.

$$N_b = \frac{L_{grade} - a}{a + t}$$

Onde:

Largura da grade ( $L_{grade}$ );

Espaçamento entre as barras em cm ( $a$ );

Espessura da barra em cm ( $t$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$N_b = 9 \text{ barras}$$

$$N_e = N_b + 1$$

Onde:

Número de barras ( $N_b$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$N_e = 8 \text{ espaçamentos}$$

### G) Perda de carga limpa ( $H_f$ limpa)

Com o objetivo de determinar a perda de carga limpa, faz-se uso da equação a seguir.

$$Hf_{limpa} = \left[ \frac{(V_{m\acute{a}x}^2 - V_0^2)}{(1,4 \times 9,81)} \right]$$

Onde:

- Vazão máxima ( $Q_{m\acute{a}x}$ );
- Velocidade no canal da grade ( $V_0$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Hf_{limpa} = 0,058 \text{ m}$$

### H) Perda de carga suja ( $H_f$ suja)

Com o objetivo de determinar a perda de carga suja, faz-se uso da equação 17 a seguir.

$$Hf_{suja} = \left\{ \frac{[2 \times (V_{m\acute{a}x}^2 - V_0^2)]}{(1,4 \times 9,81)} \right\}$$

Onde:

Velocidade máxima ( $V_{m\acute{a}x}$ );

Velocidade no canal da grade ( $V_0$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Hf_{suja} = 0,16 \text{ m}$$

### I) Borda livre adotada

$$Borda \text{ livre} = 0,30 \text{ m}$$

**J) Altura da grade**

Com o objetivo de determinar a altura da grade, faz-se uso da equação a seguir.

$$H_{grade} = H_{m\acute{a}x} + Hf_{limpa} + Hf_{suja}$$

Onde:

Altura máxima ( $H_{m\acute{a}x}$ );

Perda de carga limpa ( $Hf_{limpa}$ );

Perda de carga suja ( $Hf_{suja}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$H_{grade} = 0,48 \text{ m}$$

Adotou-se a altura de 0,50 m.

**4.5. Caixa de Areia**

É uma unidade destinada a reter areia e outros detritos minerais inertes e pesados que se encontram no efluente. No presente projeto, o desarenador possuirá uma configuração de canais de limpeza manual e nesses canais as partículas são conduzidas em suspensão junto ao fundo, logo, a quantidade de material em suspensão depende do grau de turbulência nos canais. A decantação ocorrerá pela alteração do regime dinâmico no efluente, assim é mantida uma velocidade constante para que as partículas sejam depositadas. Para iniciar o dimensionamento da Caixa de Areia serão necessários os dados de entrada alistados na tabela 7 abaixo.

**Tabela 7** – Dados de entrada para o dimensionamento.

Intervalo de Limpeza	Velocidade	Concentração
30 dias	0,3 m/s	0,03 L <sub>A</sub> /m <sup>3</sup> <sub>E</sub>

**A) Área mínima da caixa de areia**

Com o objetivo de determinar a área mínima da caixa de areia, faz-se uso da equação a seguir.

$$A_{ca} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{V_h}$$

Onde:

Vazão máxima ( $Q_{m\acute{a}x}$ );

Velocidade do fluxo horizontal do esgoto ( $V_h$ ).

Segundo a NBR 12.209/2011, no caso de desarenador de fluxo horizontal e seção retangular (tipo canal), a velocidade de escoamento deve ser compreendida entre 0,25 e 0,4 m/s. Para o projeto será utilizado  $V_h = 0,3 \text{ m/s}$ .

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{ca} = 0,0012 \text{ m}^2$$

#### **B) Comprimento mínimo calculado**

Com o objetivo de determinar o comprimento mínimo calculado, faz-se uso da equação a seguir.

$$C_{ca} = [22,5 \times (H_{m\acute{a}x} - Z)]$$

Onde:

Altura máxima ( $H_{m\acute{a}x}$ );

Distância entre o fundo da calha e fundo da caixa de areia ( $z$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$C_{ca} = 0,225 \text{ m}.$$

Adotou-se o comprimento de 1,0 m por ser uma dimensão exequível o qual facilitará a limpeza e manutenção do desarenador.

#### **C) Largura mínima calculada**

Com o objetivo de determinar a largura mínima, faz-se uso da equação a seguir.

$$L_{ca} = \frac{A_{ca}}{H_{m\acute{a}x} - Z}$$

Onde:

Área da caixa de areia ( $A_{ca}$ );

Altura máxima ( $H_{m\acute{a}x}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$L_{ca} = 0,12 \text{ m}$$

Vale ressaltar que se adotou a  $L = 0,50 \text{ m}$  por ser uma dimensão exequível o qual facilitará a limpeza e manutenção do desarenador.

#### D) Área real da caixa

Com o objetivo de determinar a área real da caixa, faz-se uso da equação a seguir

$$A_{ca \text{ real}} = C_{adotado} \times L_{adotada}$$

Onde:

Comprimento adotado ( $C_{adotado}$ );

Largura adotada ( $L_{adotada}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{ca \text{ real}} = 0,5 \text{ m}^2$$

#### E) Taxa de escoamento superficial

Com o objetivo de determinar a taxa de escoamento superficial, faz-se uso da equação a seguir.

$$TES_{ca} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{C_{ca \text{ adotado}} \times L_{ca \text{ adotada}}}$$

Onde:

Vazão máxima ( $Q_{m\acute{a}x}$ );

Comprimento da caixa de areia adotado ( $C_{ca}$ );

Largura da caixa de areia adotada ( $L_{ca}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$TES_{ca} = 63 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

Ressalta-se que a TES não está de acordo com o recomendando pela NBR 12.209/2011 (entre 600 a 1300  $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ) uma vez que foram adotados as dimensões exequíveis em substituição as calculadas.

**F) Produção de areia**

Com o objetivo de determinar a quantidade de areia gerada, faz-se uso da equação a seguir.

$$V_{Areia} = X_{areia} \times Q_{méd}$$

Onde:

Areia retida em relação ao percentual de esgoto tratado ( $X_a$ );

Vazão média ( $Q_{méd}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_a = 0,001 \frac{m^3_{areia}}{d}$$

**G) Altura de rebaixo da caixa de areia ( $H_a$ )**

Com o objetivo de determinar a altura de rebaixo da caixa de areia, faz-se uso da equação a seguir.

$$H_a = \left[ \frac{V_{areia}}{(C_{ca adotado} \times L_{ca adotada})} \right] \times T_L$$

Onde:

Quantidade de areia gerada ( $V_a$ );

Comprimento da caixa de areia adotado ( $C_{ca}$ );

Largura da caixa de areia adotada ( $L_{ca}$ );

Tempo de limpeza para retirar de areia da caixa ( $T_L$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$H_a = 0,30 \text{ m}$$

**4.6. Estação Elevatória de Efluentes**

É uma unidade que encaminha os efluentes, por meio de bombeamento até a rede coletora de esgoto ou até uma Estação de Tratamento de Esgoto. A unidade conta com bombas hidráulicas (1+1) e tanques que aumentam a pressão do líquido em um sistema de captação ou distribuição da água limpa ou proveniente de efluentes e esgotos. Desse modo, o acionamento será realizado por meio de sensor de nível, o qual possibilitará

bombear água e/ou efluentes de áreas mais baixas para sistemas de tratamento que estão em um nível mais elevado.

A Estação Elevatória será formada por um poço de sucção úmido, bomba submersa responsável por levar o esgoto até o local desejado, barrilete e recalque

O poço úmido é responsável pelo acúmulo do esgoto em um determinado período de tempo suficiente para se obter uma lâmina mínima de esgoto visando o bom funcionamento do conjunto moto-bomba, lembrando que o esgoto deve ficar detido o menor tempo possível.

No mesmo conta com diversas instalações em seu interior, como por exemplo, a parede de dissipação, onde a mesma é responsável por atenuar a velocidade de chegada do esgoto para que o mesmo não atinja a bomba diretamente e distribuição uniforme do volume do esgoto no poço, conforme se exposto nas peças gráficas em anexo.

A bomba utilizada para o presente projeto é do tipo submersível, sendo do modelo Ebara 50DVS61.5, conforme consta na especificação anexo a este memorial.

No barrilete são encontrados tubulações e conexões, do tipo flange-flange. No recalque serão encontrados tubulações, peças e acessórios, e outros introduzidos para que ocorra o transporte do esgoto de modo adequado. Tais peças foram especificadas nas peças gráficas em anexo.

A bomba deverá possuir vazão de recalque de no máximo 25% da vazão máxima.

- **Vazão de Recalque**

O dimensionamento da Estação Elevatória de Efluentes (EEE) tem, como primeira etapa, a determinação da Vazão de Recalque, que deve ser igual ou superior a vazão máxima do sistema. Tendo em vista que a vazão máxima, determinada anteriormente, é de 1,131 m³/h, adotou-se 1,131 m³/h como vazão de recalque.

#### **A) Volume Mínimo do Poço de Sucção**

O Volume Mínimo do poço de sucção é determinado por meio da equação abaixo, exposta abaixo.

$$V_{Min} = \frac{T \times Q_{Rec}}{4}$$

Onde:

- Volume Mínimo ( $V_{Mín}$ );
- Tempo de Ciclo (T);
- Vazão média ( $Q_{Rec}$ ).

Adotando-se a recomendação da literatura e especificação técnica dos fabricantes de sistemas de bombeamento, o Tempo de Ciclo será de 10 minutos. Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{Mín} = \frac{10 \times 0,00036 \times 60}{4}$$
$$V_{Mín} = 0,054 \text{ m}^3$$

### **B) Volume Adotado do Poço de Sucção**

Para determinação do volume adotado do poço de sucção, deve-se proceder a determinação de seu formato e lâmina d'água mínima no poço de sucção. Com isso, adotou-se o formato cilíndrico para o poço e nível d'água mínimo de 0,45 m. Ressalta-se que esse valor foi confirmado após a determinação da bomba de recalque, que exige, apenas, submersão de 0,45m. Ademais, deve-se determinar a faixa de operação do sistema, o qual será de 0,45 m. De posse desses dados, a Área Mínima do poço de sucção é determinado por meio da equação abaixo.

$$A = \frac{Vmín}{FO}$$

Onde:

- Área (A);
- Volume mínimo ( $V_{mín}$ );
- Faixa de Operação (FO);

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A = \frac{0,054}{0,45}$$
$$A = 0,12 \text{ m}^2$$

De posse da área mínima, determina-se o diâmetro mínimo do poço, que resultou em 0,39 m. Tendo em vista a viabilidade de serviços operacionais na unidade, adotou-se

o diâmetro de 1,2 metros, resultando em uma área de  $1,13 \text{ m}^2$ . Tal valor de área, aliado a lâmina d'água formada pela lâmina d'água mínima acrescida da Faixa de Operação ( $0,45 + 0,45 = 0,90 \text{ m}$ ), resulta em um volume efetivo de  $1,02 \text{ m}^3$ , superior ao Volume Mínimo de  $0,054 \text{ m}^3$ .

### **C) Tempo de Detenção Hidráulico**

Segundo o item 3.3 da NBR-12.208/1992, o Tempo de Detenção Hidráulico (TDH) deve ser inferior a 30 minutos para vazão média, logo, tal condição foi verificada por meio da divisão entre o Volume Adotado pela Vazão Média, resultando em um TDH de 83,76 minutos, atendendo a referida norma.

### **D) Diâmetro de Recalque e Sucção**

O diâmetro da tubulação de recalque foi determinado por meio da fórmula de Bresse, com coeficiente de Bresse (K) igual a 1,2. Tal metodologia resultou em um diâmetro de 53,67 mm, logo, adotou-se 60 mm. Após essa etapa, a velocidade para este diâmetro foi determinada, resultando em  $0,127 \text{ m/s}$ , atendendo ao intervalo de recomendação da NBR 12.209/2011, de 0,6 a  $3 \text{ m/s}$ . Com isso em vista, adotou-se 60 mm como diâmetro de sucção.

### **E) Cotas de Projeto**

- Cota do terreno: 0,0 m;
- Cota de alimentação da EEE: -1,98 m;
- Cota do nível crítico: -1,98 m;
- Cota do nível máximo: -2,35 m;
- Cota do nível mínimo: -2,95 m;
- Cota do fundo do poço de sucção: - 3,4 m;
- Cota de lançamento de recalque: + 7,45 m

### **F) Perda de Carga**

- Perda de Carga Localizada

A tabela abaixo apresenta as peças hidráulicas presentes na sucção, barrilete e linha de recalque da EEE, assim como seus respectivos coeficientes de perda de carga.

PERDA DE CARGA LOCALIZADA			
Peça	Nº	K	Nº * K
União - 50 mm - PVC	1,00	0,40	0,40
Curva de 90° - 50 mm - PVC	4,00	0,40	1,60
V.R H - 50 mm - PVC	1,00	2,50	2,50
VGA - 50 mm - PVC	1,00	0,20	0,20
TSL - 50 mm - PVC	2,00	1,30	2,60
TSB - 50 mm - PVC	2,00	1,80	3,60
ST - 50 mm - PVC	1,00	1,00	1,00
Total			11,90

Onde:

- VRH = Válvula de Retenção Horizontal
- VGA = Válvula de Gaveta Aberto
- TSL - Tê de Saída de Lado
- TSB - Tê de Saída Bilateral
- ST - Saída de Tubulação

A partir de tal metodologia, quantificou-se a perda de carga igual 0,6 mca.

- Perda de Carga Distribuída

Para determinação da Perda de Carga Distribuída, adotou-se os seguintes parâmetros:

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA			
Viscosidade Cinemática a 20°C		8,04E-07	m²/s
Número de Reynolds		6,33E+07	-
Rugosidade Absoluta		0,10	mm
Coeficiente de Atrito		0,01	-
Comprimento da linha		14,28	m

Por fim, a perda de carga distribuída é de 0,5 mca. Com isso, a perda de carga total é de 1,1 mca. Aliado a altura geométrica, determina-se a altura manométrica de 9 mca.

#### **G) Seleção de Bomba de Recalque**

A partir da vazão de recalque de 1,131 m<sup>3</sup>/h (vazão máxima) e altura manométrica de aproximadamente 9 mca, procedeu-se a escolha da bomba de recalque. A bomba selecionada foi o modelo 50DVS61.5, da fabricante Ebara. Suas curvas de funcionamento e ficha técnica encontra-se em anexo.

#### **4.7. Reator UASB**

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) é um reator anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência. Normalmente, o reator UASB é utilizado em processos primários para a estabilização da matéria orgânica inicial. É utilizado tanto em Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário quanto em Estação de Tratamento de Efluentes Industriais. O reator possui unidade de câmara de digestão, separador trifásico, zona de transição, zona de sedimentação e, por fim, zona de coleta de gás. O princípio dos reatores é dividir o esgoto bruto em três fases (separador trifásico), ou seja, a fase líquida, gasosa e sólida. A fase líquida é o efluente líquido que sai após o seu tratamento, com eficiência aproximada de 60% a 80% de remoção de DBO (VON SPERLING, 1996). Já a fase gasosa é o biogás gerado no processo anaeróbio, que é comumente queimado para evitar o mau cheiro por causa do gás metano. Por fim, a fase sólida é o lodo mais pesado gerado no compartimento de digestão (CHERNICHARO, 1997).

O dimensionamento do reator UASB em questão, assim como os parâmetros de projeto, foi baseado na NBR 12.209/2011.

#### **A) Carga orgânica Demanda Bioquímica de Oxigênio do afluente (CO<sub>DBO</sub>)**

A carga orgânica do afluente representa a quantidade, em massa, de matéria orgânica que está presente no esgoto e que deverá ser tratada no reator UASB diariamente.

Com o objetivo de determinar a carga orgânica do afluente DBO, faz-se uso da equação 26 a seguir.

$$CO_{DBO} = Q_{méd} \times \left( \frac{DBO_{af}}{1000} \right) \quad \text{Eq. 26}$$

Onde:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio afluente ( $DBO_{af}$ );
- Vazão média ( $Q_{méd}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$CO_{DBO} = 17500 \times \left( \frac{900}{1000} \right)$$
$$CO_{DBO} = 15,79 \frac{KgDBO}{d}$$

### B) Carga orgânica Demanda Química de Oxigênio do afluente ( $CO_{DQO}$ )

Com o objetivo de determinar a carga orgânica do afluente DQO, faz-se uso da equação 27 a seguir.

$$CO_{DQO} = Q_{méd} \times \left( \frac{S_0}{1000} \right) \quad \text{Eq. 27}$$

Onde:

- Demanda Química de Oxigênio afluente ( $S_0$ );
- Vazão média ( $Q_{méd}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$CO_{DQO} = 17500 \times \left( \frac{1800}{1000} \right)$$
$$CO_{DQO} = 31,50 \text{ KgDQO/d}$$

### C) Volume do UASB requerido por módulo

Para o cálculo de volume do reator adotou-se o Tempo de Detenção Hidráulica ( $TDH = 6 \text{ h}$ ) e  $N_{módulos} = 1 \text{ unidade}$ . Com o objetivo de determinar o volume do UASB requerido por módulo, faz-se uso da equação 28 a seguir.

$$Vol_{UASB} = \left( \frac{Q_{méd}}{N_{módulos}} \right) \times TDH \quad \text{Eq. 28}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{\text{méd}}$ );
- Tempo de Detenção Hidráulica (TDH);
- Números de módulos do reator ( $N_{\text{módulos}}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Vol_{UASB} = \left( \frac{0,729}{1} \right) \times 6$$
$$Vol_{UASB} = 4,375 \text{ m}^3$$

#### D) Área total do UASB requerida por módulo

Segundo a NBR 12.209/2011 a profundidade útil total dos reatores tipo UASB deve estar entre 4 – 6 m, para o projeto, adotou-se  $H_{UASB} = 4,0 \text{ m}$ . Com o objetivo de determinar a área total do UASB requerida por módulo, faz-se uso da equação 29 a seguir.

$$A_{MÓDULO} = \left( \frac{Vol_{UASB}}{H_{UASB}} \right) \quad \text{Eq. 29}$$

Onde:

- Volume do módulo do UASB ( $Vol_{UASB}$ );
- Altura útil do tanque completo ( $H_{UASB}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{MÓDULO} = \left( \frac{4,375}{4,0} \right)$$
$$A_{MÓDULO} = 1,09 \text{ m}^2$$

#### E) Dimensões do UASB circular

Para o cálculo das dimensões do reator UASB circular, é necessário definir um diâmetro que será de  $D_{ADOTADO} = 2,3 \text{ m}$ .

- **Área**

Com o objetivo de determinar a área do UASB, faz-se uso da equação 30 a seguir.

$$A_{UASB} = \left( \frac{\pi \times D_{adotado}^2}{4} \right) \quad \text{Eq. 30}$$

Onde:

- Diâmetro adotado para o reator (D).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{UASB} = \left( \frac{\pi \times 2,3^2_{adotado}}{4} \right)$$
$$A_{UASB} = 4,15 \, m^2$$

- **Volume**

Com o objetivo de determinar o volume do UASB, faz-se uso da equação 31 a seguir.

$$V_{UASB} = A_{UASB} \times H_{UASB} \quad \text{Eq. 31}$$

Onde:

- Área do reator ( $A_{UASB}$ );
- Altura útil do tanque completo ( $H_{UASB}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{UASB} = 4,15 \times 4,0$$
$$V_{UASB} = 16,62 \, m^3$$

## F) Tempo de Detenção Hidráulica do UASB

Com o objetivo de determinar o Tempo de Detenção Hidráulica do UASB, faz-se uso da equação 32 a seguir.

$$TDH_{UASB} = \left( \frac{V_{UASB}}{\frac{Q_{méd}}{N_{módulos}}} \right) \quad \text{Eq. 32}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{méd}$ );
- Volume do reator ( $V_{UASB}$ );
- Números de módulos do reator ( $N_{módulos}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$TDH_{UASB} = \left( \frac{16,62}{\frac{0,729}{1}} \right)$$

$$TDH_{UASB} = 22,79 \text{ h}$$

Segundo a NBR 12209/2011 o TDH para a vazão média, considerando a temperatura média do esgoto e o volume total, deve ser igual ou superior a 6 h para temperatura do esgoto superior a 25°C.

### G) Carga Hidráulica Volumétrica (CHV)

Com o objetivo de determinar a Carga Hidráulica Volumétrica do UASB, faz-se uso da equação 33 a seguir.

$$CHV = \left( \frac{\frac{Q_{méd}}{N_{módulos}}}{V_{UASB}} \right) \quad \text{Eq. 33}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{méd}$ );
- Volume do reator ( $V_{UASB}$ );
- Números de módulos do reator ( $N_{módulos}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$CHV = \left( \frac{\frac{17,50}{1}}{16,62} \right)$$

$$CHV = 1,05 \frac{m^3}{m^3 \cdot d}$$

### H) Carga Orgânica Volumétrica (COV) de DQO

A carga orgânica volumétrica é a quantidade, em massa, de matéria orgânica que chega, diariamente, no reator por metro cúbico do mesmo (Kg DQO/m³ x dia). Com o objetivo de determinar a Carga Orgânica Volumétrica de DQO do UASB, faz-se uso da equação 34 a seguir.

$$COV_{DQO} = CO_{DQO} x \left( \frac{S_0}{1000} \right) \quad \text{Eq. 34}$$

Onde:

- Carga orgânica de Demanda Química de Oxigênio do afluente ( $CO_{DQO}$ );
- Demanda Química de Oxigênio afluente ( $S_0$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$COV_{DQO} = 31,50 x \left( \frac{1800}{1000} \right)$$
$$COV_{DQO} = 17,5 \text{ KgDQO/d}$$

### I) Carga Orgânica Volumétrica (COV) de DBO

Com o objetivo de determinar a Carga Orgânica Volumétrica de DBO do UASB, faz-se uso da equação 35 a seguir.

$$COV_{DBO} = CO_{DBO} x \left( \frac{DBO_{af}}{1000} \right) \quad \text{Eq. 35}$$

Onde:

- Carga orgânica de Demanda Bioquímica de Oxigênio do afluente ( $CO_{DBO}$ );
- Demanda Bioquímica de Oxigênio afluente ( $DBO_{af}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$COV_{DBO} = 15,75 x \left( \frac{900}{1000} \right)$$
$$COV_{DBO} = 17,50 \text{ KgDBO/d}$$

### J) Área separador trifásico

Nesta etapa, calculou-se a Área separador (Aseparador) necessária para obter a área de passagem ( $A_p$ ), para isso adotou-se o diâmetro do separador trifásico  $D_{ADOTADO} = 2,36 \text{ m}$ . Com o objetivo de determinar a Área do separador trifásico do UASB, faz-se uso da equação 36 a seguir.

$$A_{separador} = \left( \frac{\pi x D_{adotado}^2}{4} \right) \quad \text{Eq. 36}$$

Onde:

- Diâmetro adotado para o reator (D).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{separador} = \left( \frac{\pi \times 2,36^2}{4} \right)$$
$$A_{separador} = 4,37 \text{ m}^2$$

### K) Área de passagem

Com o objetivo de determinar a Área de passagem, faz-se uso da equação 37 a seguir.

$$A_p = A_{UASB} - A_{separador} \quad \text{Eq. 37}$$

Onde:

- Área do reator ( $A_{UASB}$ );
- Área do separador ( $A_{separador}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_p = 6,07 - 4,37$$
$$A_p = 1,70 \text{ m}^2$$

### L) Velocidades de passagem

#### • Verificação para vazão média

Com o objetivo de determinar a velocidade de passagem para a vazão média, faz-se uso da equação 38 a seguir.

$$V_{pQmed} = \left( \frac{Q_{med}}{A_p \times N_{módulos}} \right) \quad \text{Eq. 38}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{med}$ );
- Área de passagem ( $A_{passagem}$ );
- Números de módulos do reator ( $N_{módulos}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{pQmed} = \left( \frac{0,729}{1,70 \times 1} \right)$$
$$V_{pQmed} = 0,43 \text{ m/h}$$

Segundo a NBR 12.209/2011 a velocidade de passagem no compartimento de digestão para o de decantação deve ser igual ou inferior a 2,5 m/h para vazão média.

- **Verificação para vazão máxima**

Com o objetivo de determinar a velocidade de passagem para a vazão máxima, faz-se uso da equação 39 a seguir.

$$V_{pQmáx} = \left( \frac{Q_{máx}}{A_p \times N_{módulos}} \right) \quad \text{Eq. 39}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{máx}$ );
- Área de passagem ( $A_{passagem}$ );
- Números de módulos do reator ( $N_{módulos}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{pQmáx} = \left( \frac{1,313}{1,70 \times 1} \right)$$
$$V_{pQmáx} = 0,22 \text{ m/h}$$

Segundo a NBR 12.209/2011 a velocidade de passagem no compartimento de digestão para o de decantação deve ser igual ou inferior a 4,0 m/h para vazão máxima.

## **M) Velocidades ascensionais**

- **Verificação para vazão média**

Com o objetivo de determinar a velocidade ascensional para a vazão média, faz-se uso da equação 40 a seguir.

$$V_{aQmed} = \left( \frac{Q_{med}}{A_{UASB} \times N_{módulos}} \right) \quad \text{Eq. 40}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{med}$ );
- Área do reator ( $A_{UASB}$ );
- Números de módulos do reator ( $N_{módulos}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{aQmed} = \left( \frac{0,729}{4,15 \times 1} \right)$$

$$V_{aQmed} = 0,18 \text{ m/h}$$

Segundo a NBR 12.209/2011 a velocidade ascensional no compartimento de digestão deve ser igual ou inferior a 0,7 m/h para vazão média.

- **Verificação para vazão máxima**

Com o objetivo de determinar a velocidade ascensional para a vazão máxima, faz-se uso da equação 41 a seguir.

$$V_{aQmáx} = \left( \frac{Q_{máx}}{A_{UASB} \times N_{módulos}} \right) \quad \text{Eq. 41}$$

Onde:

- Vazão máxima ( $Q_{máx}$ );
- Área do reator ( $A_{UASB}$ );
- Números de módulos do reator ( $N_{módulos}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{aQmáx} = \left( \frac{1,313}{4,15 \times 1} \right)$$

$$V_{aQmáx} = 0,32 \text{ m/h}$$

Segundo a NBR 12209/2011 a velocidade ascensional no compartimento de digestão deve ser igual ou inferior a 1,2 m/h para vazão máxima.

## **N) Zona de Decantação**

Nesta etapa, calculou-se o Área do coletor de gases (Acoletor) com o intuito de determinar a Área de Decantação ( $A_d$ ), bem como o Volume de decantação ( $V_d$ ) que são necessários para atender os parâmetros de Taxa de Aplicação Superficial - TAS, disposta na norma supracitada.

---

- **Área do coletor de gases**

Para o cálculo é necessário definir um diâmetro para o coletor que será o  $D_{ADOTADO} = 0,40 \text{ m}$ . Com o objetivo de determinar a área do coletor de gases, faz-se uso da equação 42 a seguir.

$$A_{coletor} = \left( \frac{\pi \times D_{adotado}^2}{4} \right) \quad \text{Eq. 42}$$

Onde:

- Diâmetro adotado para o reator (D).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{coletor} = \left( \frac{\pi \times 0,40^2}{4} \right)$$
$$A_{coletor} = 0,13 \text{ m}^2$$

- **Área de decantação**

Com o objetivo de determinar a área de decantação, faz-se uso da equação 43 a seguir.

$$A_d = A_{UASB} - A_{coletor} \quad \text{Eq. 43}$$

Onde:

- Área do reator ( $A_{UASB}$ );
- Área do coletor de gases ( $A_{coletor}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_d = 4,15 - 0,13$$
$$A_d = 4,03 \text{ m}^2$$

- **Volume de decantação**

Segundo a NBR 12.209/2011 a profundidade útil mínima do compartimento de decantação deve ser de  $H_{zona \text{ de decantação}} = 1,5 \text{ m}$ , sendo pelo menos 0,30 m com parede vertical. As paredes inclinadas do compartimento de decantação devem ter inclinação igual ou superior a  $50^\circ$ . Com o objetivo de determinar o volume de decantação, faz-se uso da equação 44 a seguir.

---

$$V_d = A_d \times H_{\text{zona de decantação}} \quad \text{Eq. 44}$$

Onde:

- Área de decantação ( $A_d$ ).
- Altura da zona de decantação ( $H_{\text{zona de decantação}}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_d = 4,03 \times 1,5$$

$$V_d = 6,04 \text{ m}^3$$

- **Taxa de Aplicação Superficial (TAS)**

Com o objetivo de determinar a taxa de aplicação superficial, faz-se uso da equação 45 a seguir.

$$TAS = \left( \frac{Q_{\text{máx}}}{A_{de}} \right) \quad \text{Eq. 45}$$

Onde:

- Vazão máxima ( $Q_{\text{máx}}$ );
- Área de decantação ( $A_d$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$TAS = \left( \frac{1,313}{4,03} \right)$$

$$TAS = 0,33 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Conforme disposto na NBR 12.209/2011 o TAS no compartimento de decantação deve ser igual ou inferior  $1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ .

**O) Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)**

- **Verificação para vazão média**

Com o objetivo de determinar o tempo de detenção hidráulica para a vazão média, faz-se uso da equação 46 a seguir.

$$TDH = \left( \frac{V_d}{Q_{\text{méd}}} \right) \quad \text{Eq. 46}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{\text{méd}}$ );
- Volume de decantação ( $V_d$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$TDH = \left( \frac{6,04}{0,729} \right)$$
$$TDH = 8,29 \text{ h}$$

Segundo a NBR 12209/2011 o TDH no compartimento de decantação deve ser igual ou inferior a 1,5 m/h para vazão média.

- **Verificação para vazão máxima**

Com o objetivo de determinar o tempo de detenção hidráulica para a vazão máxima, faz-se uso da equação 47 a seguir.

$$TDH = \left( \frac{V_d}{Q_{\text{max}}} \right) \quad \text{Eq. 47}$$

Onde:

- Vazão máxima ( $Q_{\text{máx}}$ );
- Volume de decantação ( $V_d$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$TDH = \left( \frac{6,04}{1,313} \right)$$
$$TDH = 4,60 \text{ h}$$

Segundo a NBR 12209/2011 o TDH no compartimento de decantação deve ser igual ou inferior a 1,0 m/h para vazão máxima.

## **P) Sistema de Distribuição**

Esta etapa do dimensionamento consiste na determinação do Número de Distribuidores (Nd) de esgoto que cada módulo de UASB terá. Em função do tipo de lodo e Carga Orgânica Volumétrica (COV), é possível determinar a Área de Influência ( $A_i$ ) de cada distribuidor de esgoto e, a partir desta área, calcular o número de distribuidores necessários em cada módulo de reator.

Desse modo, sabe-se que a concentração do lodo do projeto é de 1020 kgSST/m<sup>3</sup>, sendo assim, o lodo em questão é classificado como denso e flocofútil. Além disso, baseando-se na  $COV_{DBO} = 3,01 \text{ KgDBO/d}$ , a  $A_i$  de cada distribuidor deve estar entre 2 e 3 m<sup>2</sup>, logo, adotou-se  $A_i = 3 \text{ m}^2$  com o objetivo de utilizar o menor número possível.

- **Número de distribuidores calculados por módulo**

Com o objetivo de determinar o número de distribuidores, faz-se uso da equação 48 a seguir.

$$N_d = \left( \frac{A_{UASB}}{A_i} \right) \quad \text{Eq. 48}$$

Onde:

- Área do reator ( $A_{UASB}$ );
- Área de influência ( $A_i$ ).
- 

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$N_d = \left( \frac{4,15}{3} \right)$$
$$N_d = 1,38 \text{ distribuidores}$$

Número de distribuidores adotados por módulo, será:

$$N_d = 2 \text{ distribuidores}$$

- **Verificação da área de influência para o n° de distribuidores**

Com o objetivo de determinar a área de influência após a identificação do número de distribuidores, faz-se uso da equação 49 a seguir.

$$A_i = \left( \frac{A_{UASB}}{N_d} \right) \quad \text{Eq. 49}$$

Onde:

- Área do reator ( $A_{UASB}$ );
- Números de distribuidores ( $N_d$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_i = \left( \frac{4,15}{2} \right)$$

$$A_i = 2,08 \text{ m}^2$$

### Q) Estimativa de remoção de DBO e DQO

A estimativa de remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) são determinadas em função do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) mencionado anteriormente.

#### • DQO

Com o objetivo de determinar a estimativa de remoção de DQO, faz-se uso da equação 50 a seguir.

$$E_{DQO} = 100 \times \{1 - [0,68 \times (TDH^{-0,35})]\} \quad \text{Eq. 50}$$

Onde:

- Tempo de Detenção Hidráulica (TDH).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$E_{DQO} = 100 \times \{1 - [0,68 \times (22,79^{-0,35})]\}$$

$$E_{DQO} = 77,23 \%$$

#### • DBO

Com o objetivo de determinar a estimativa de remoção de DBO, faz-se uso da equação 51 a seguir.

$$E_{DBO} = 100 \times \{1 - [0,7 \times (TDH^{-0,55})]\} \quad \text{Eq. 51}$$

Onde:

- Tempo de Detenção Hidráulica (TDH).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$E_{DBO} = 100 \times \{1 - [0,7 \times (22,79^{-0,55})]\}$$

$$E_{DBO} = 85,34 \%$$

Valores adotados

$$E_{DQO} = 75 \%$$

$$E_{DBO} = 85 \%$$

**R) DQO afluente (S)**

Em posse da eficiência do reator, assim como da DQO e DBO do afluente, é possível estimar as prováveis concentrações de matéria orgânica no efluente do tratamento secundário. Com o objetivo de determinar a DQO afluente, faz-se uso da equação 52 a seguir.

$$S = S_0 - \left[ \frac{E_{DQO} \times S_0}{100} \right] \quad \text{Eq. 52}$$

Onde:

- Demanda Química de Oxigênio afluente ( $S_0$ );
- Eficiência de remoção de DQO ( $E_{DQO}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$S = 1800 - \left[ \frac{75 \times 1800}{100} \right]$$
$$S = 450 \text{ mg/L}$$

**S) DBO afluente (DBO<sub>af</sub>)**

Com o objetivo de determinar a DBO afluente, faz-se uso da equação 53 a seguir.

$$DBO_{Ef} = DBO_{Af} - \left[ \frac{E_{DBO} \times DBO_{Af}}{100} \right] \quad \text{Eq. 53}$$

Onde:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio afluente ( $DBO_{Af}$ );
- Eficiência de remoção de DBO ( $E_{DBO}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$DBO_{Ef} = 900 - \left[ \frac{85 \times 900}{100} \right]$$
$$DBO_{Ef} = 135 \text{ mg/L}$$

**T) Estimativa da produção de biogás**

Tendo em vista que o reator UASB é um reator biológico anaeróbio, em seu interior, há formação de biogás, em sua maioria na forma de gás metano. Com o intuito

de escolher a melhor destinação para o mesmo, sua produção deve ser estimada, em massa e volume. Para os cálculos adotou-se  $Y_{obs} = 0,21 \text{ KgDQO lodo/KgDQO aplicado}$ .

- **Carga de metano produzida**

Com o objetivo de determinar a carga de metano produzida no tratamento, faz-se uso da equação 54 a seguir.

$$DQO_{CH_4} = \left( \frac{Q_{med}}{N_{módulos}} \right) \times \left\{ \left[ \left( \frac{S_0}{1000} \right) - \left( \frac{S}{1000} \right) \right] - [Y_{obs} \times \left( \frac{S_0}{1000} \right)] \right\} \quad \text{Eq. 54}$$

Onde:

- Demanda Química de Oxigênio afluente ( $S_0$ );
- Demanda Química de Oxigênio efluente ( $S$ );
- Coeficiente de produção de sólidos em termos de DQO ( $Y_{obs}$ );
- Vazão média ( $Q_{med}$ );
- Números de módulos do reator ( $N_{módulos}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$DQO_{CH_4} = \left( \frac{17500}{1} \right) \times \left\{ \left[ \left( \frac{1800}{1000} \right) - \left( \frac{450}{1000} \right) \right] - [0,21 \times \left( \frac{1800}{1000} \right)] \right\}$$
$$DQO_{CH_4} = 17,01 \text{ Kg DQO}_{CH_4}/dia$$

- **Fator de correção para a temperatura de projeto [K(T)]**

Com o objetivo de determinar o fator de correção para a temperatura de projeto, faz-se uso da equação 55 a seguir.

$$K_T = \left[ \frac{(P \times K)}{R \times (273 + T)} \right] \quad \text{Eq. 55}$$

Onde:

- Pressão atmosférica (P);
- DQO correspondente a 1 mol de  $CH_4$  (K);
- Constante dos gases (R);
- Temperatura (T).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$K_T = \left[ \frac{(1 \times 64)}{0,08206 \times (273 + 27)} \right]$$

$$K_T = 2,60 \text{ KgDQO}/m^3$$

- **Produção volumétrica de metano**

Com o objetivo de determinar a produção volumétrica de metano, faz-se uso da equação 56 a seguir.

$$Q_{CH_4} = \left( \frac{DQO_{CH_4}}{K_T} \right) \quad \text{Eq. 56}$$

Onde:

- Carga de metano produzida ( $DQO_{CH_4}$ );
- Fator de correção para temperatura de projeto ( $K_T$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Q_{CH_4} = \left( \frac{17,01}{2,60} \right)$$
$$Q_{CH_4} = 6,54 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- **Produção de biogás**

Com o valor de produção de metano, é possível estimar a produção total de biogás no tratamento secundário. Para o objetivo de determinar a produção de biogás, faz-se uso da equação 57 a seguir.

$$Q_{biogás} = \left( \frac{Q_{CH_4}}{0,75} \right) \quad \text{Eq. 57}$$

Onde:

- Produção volumétrica de metano ( $Q_{CH_4}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Q_{biogás} = \left( \frac{6,54}{0,75} \right)$$
$$Q_{biogás} = 8,72 \text{ m}^3/\text{dia}$$

### U) Coletor de gás

Conforme mencionado anteriormente, todo biogás gerado no reator anaeróbio deve ser coletado e encaminhado para sua destinação final. Para dimensionar o sistema de coleta de gases, deve-se adotar um diâmetro para o coletor que será de  $D_{ADOTADO} = 0,4 \text{ m}$ .

#### • Área

Com o objetivo de determinar a área, faz-se uso da equação 58 a seguir.

$$A_{\text{coletor de gás}} = \left[ \left( \frac{\pi \times D_{\text{adotado}}^2}{4} \right) \right] \times N_{\text{modulos}} \quad \text{Eq. 58}$$

Onde:

- Diâmetro adotado para o coletor de gás (D);
- Números de módulos ( $N_{\text{módulos}}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{\text{coletor de gás}} = \left[ \left( \frac{\pi \times 0,4^2}{4} \right) \right] \times 1$$
$$A_{\text{coletor de gás}} = 0,13 \text{ m}^2$$

### V) Taxa de liberação de biogás ( $V_g$ )

Com o objetivo de determinar a taxa de liberação de biogás, faz-se uso da equação 59 a seguir.

$$V_g = \left( \frac{Q_{\text{biogás}}}{24 \times A_{\text{coletor de gás}}} \right) \quad \text{Eq. 59}$$

Onde:

- Produção de biogás ( $Q_{\text{biogás}}$ );
- Área do coletor de gás ( $A_{\text{coletor de gás}}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_g = \left( \frac{6,54}{24 \times 0,13} \right)$$

$$V_g = 2,89 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$$

### W) Produção de lodo

Em todo tratamento biológico, é produzido lodo, incluindo no reator UASB, uma vez que o mesmo produz lodo em seu processo de estabilização da matéria orgânica presente no esgoto bruto, logo, é necessário estimar a geração de lodo com o objetivo de dimensionar corretamente o sistema de tratamento.

- **Produção total de lodo gerada no UASB ( $P_{UASB}$ )**

Para o cálculo de produção total do lodo fora utilizado o Coeficiente de Produção de sólidos  $Y_{UASB} = 0,18 \text{ KgSST}/d$ . Com o objetivo de determinar a produção total de lodo gerada no UASB, faz-se uso da equação 60 a seguir.

$$P_{UASB} = Y_{UASB} \times CO_{UASB} \quad \text{Eq. 60}$$

Onde:

- Coeficiente de produção de sólidos ( $Y_{UASB}$ );
- Carga Orgânica de DQO ( $CO_{UASB}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$P_{UASB} = 0,18 \times 31,50$$
$$P_{UASB} = 5,67 \text{ KgSST}/d$$

- **Volume total de lodo gerado no UASB ( $Ql_{UASB}$ )**

Para o cálculo de produção total do lodo fora utilizado o Coeficiente de Produção de sólidos  $g_{UASB} = 1020 \text{ KgSST}/m^3$  e  $C_{UASB} \% = 4\%$ . Com o objetivo de determinar o volume de lodo gerado no UASB, faz-se uso da equação 61 a seguir.

$$Ql_{UASB} = \left[ \frac{P_{UASB}}{g_{UASB} \times \left( \frac{C_{UASB} \%}{100} \right)} \right] \quad \text{Eq. 61}$$

Onde:

- Produção total de lodo gerado no UASB ( $P_{UASB}$ );
- Densidade do lodo no UASB ( $g_{UASB}$ );

- Concentração esperada para o lodo de descarte ( $C_{UASB}\%$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Ql_{UASB} = \left[ \frac{5,67}{1020 \times \left( \frac{4}{100} \right)} \right]$$
$$Ql_{UASB} = 0,14 \text{ m}^3/d$$

#### 4.8.Filtro Anaeróbio

O filtro anaeróbio consiste em um reator biológico onde o efluente é depurado por meio de microrganismos anaeróbios, dispersos tanto no espaço vazio do reator quanto nas superfícies do meio filtrante. O efluente entra na parte inferior do filtro e atravessa o leito em um fluxo ascendente. Por isso o leito é afogado, ou seja, os vazios são preenchidos com o efluente. Na superfície do material de enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos, que também se agrupam, na forma de flocos ou grânulos, nos interstícios deste material. O fluxo através do meio filtrante, e do lodo ativo, é o que confere a alta eficiência aos filtros anaeróbios.

##### A) Volume útil requerido por módulo

De acordo com Gonçalves et. al (2001) nos estudos do Programa em Saneamento Básico (PROSAB), verificou-se que os filtros anaeróbios conseguem produzir efluentes que se enquadram aos padrões de lançamento, em termos de DBO, operando com TDH de 4 a 10h. Por isso, será adotado o  $TDH = 5 \text{ h}$  e  $N_{módulos} = 1 \text{ unidade}$ . Com o objetivo de determinar o volume útil requerido, faz-se uso da equação 62 a seguir.

$$V_{\text{útil}} = \left( \frac{Q_{\text{méd}}}{N_{\text{módulos}}} \right) \times TDH \quad \text{Eq. 62}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{\text{méd}}$ );
- Número de módulos ( $N_{\text{módulos}}$ );
- Tempo de Detenção Hidráulica (TDH).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{\text{útil}} = \left( \frac{0,729}{1} \right) \times 5$$

$$V_{\text{útil}} = 3,65 \text{ m}^3$$

**B) Área total requerida por módulo**

Com o objetivo de determinar a área total, faz-se uso da equação 63 a seguir.

$$A_{\text{total módulo}} = \left( \frac{V_{\text{útil}}}{TDH} \right) \quad \text{Eq. 63}$$

Onde:

- Volume útil do filtro ( $V_{\text{útil}}$ );
- Tempo de Detenção Hidráulica (TDH).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{\text{total módulo}} = \left( \frac{3,65}{5} \right)$$
$$A_{\text{total módulo}} = 0,73 \text{ m}^2$$

**C) Diâmetro mínimo do Filtro Anaeróbio**

Com o objetivo de determinar o diâmetro mínimo, faz-se uso da equação 64 a seguir.

$$D_{\text{mínimo}} = \sqrt{\left( \frac{A_{\text{total módulo}} \times 4}{\pi} \right)} \quad \text{Eq. 64}$$

Onde:

- Área total de cada módulo ( $A_{\text{total módulo}}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$D_{\text{mínimo}} = \sqrt{\left( \frac{0,73 \times 4}{\pi} \right)}$$
$$D_{\text{mínimo}} = 0,96 \text{ m}$$

**D) Área do filtro anaeróbio calculada**

Após obter o  $D_{\text{mínimo}}$ , é necessário adotar um diâmetro com a finalidade de obter a área total do filtro, logo  $D = 2,40 \text{ m}$ . Com o objetivo de determinar a área do filtro, faz-se uso da equação 65 a seguir.

$$A_{filtro} = \left( \frac{\pi \times D_{adotado}^2}{4} \right) \quad \text{Eq. 65}$$

Onde:

- Diâmetro adotado (D).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_{filtro} = \left( \frac{\pi \times 3^2}{4} \right)$$
$$A_{filtro} = 4,52 \text{ m}^2$$

#### E) Altura útil do filtro anaeróbio por módulo

Para obter altura útil são necessários outros valores que serão arrolados na tabela 8 abaixo.

**Tabela 8** – Variáveis necessárias para obter a altura útil do filtro

Variável	Valor
Altura do fundo falso adotada (H <sub>f.f</sub> )	0,60 m
Altura do leito filtrante adotada (H <sub>l.f</sub> )	1,60 m
Altura entre a canaleta e o leito filtrante (H <sub>c e l.f</sub> )	0 m
Altura da canaleta adotada (H <sub>c</sub> )	0,1 m

Com o objetivo de determinar a altura útil do filtro, faz-se uso da equação 66 a seguir.

$$H_{\text{útil módulo}} = H_{f.f} + H_{l.f} + H_{c e l.f} + H_c \quad \text{Eq. 66}$$

Onde:

- Altura do fundo falso adotada (H<sub>f.f</sub>);
- Altura do leito filtrante adotada (H<sub>l.f</sub>);
- Altura entre a canaleta e o leito filtrante (H<sub>c e l.f</sub>);
- Altura da canaleta adotada (H<sub>c</sub>).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$H_{\text{útil módulo}} = 0,60 + 1,60 + 0 + 0,1$$
$$H_{\text{útil módulo}} = 2,21 \text{ m}$$

**F) Volume útil do filtro anaeróbio calculado**

Com o objetivo de determinar o volume útil do filtro, faz-se uso da equação 67 a seguir.

$$V_{\text{útil}} = A_{\text{filtro}} \times H_{\text{útil módulo}} \quad \text{Eq. 67}$$

Onde:

- Área útil do filtro ( $A_{\text{filtro}}$ );
- Altura útil do módulo ( $H_{\text{útil módulo}}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{\text{útil}} = 4,52 \times 2,21$$

$$V_{\text{útil}} = 9,95 \text{ m}^3$$

**G) Altura total do filtro anaeróbio por módulo**

Após obter o  $H_{\text{útil módulo}}$ , é necessário adotar uma altura da borda livre com finalidade de obter a altura total do filtro, logo  $H_{b.l} = 0,40 \text{ m}$  e a Espessura da laje do fundo falso é de  $0,02 \text{ m}$ . Com o objetivo de determinar altura total do filtro, faz-se uso da equação 68 a seguir.

$$H_{\text{total}} = H_{\text{útil módulo}} + H_{b.l} \quad \text{Eq. 68}$$

Onde:

- Altura da borda livre ( $H_{b.l}$ );
- Altura útil do módulo ( $H_{\text{útil módulo}}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$H_{\text{total}} = 2,21 + 0,4$$

$$H_{\text{total}} = 2,61 \text{ m}$$

**H) Volume útil do filtro anaeróbio adotado**

$$V_{\text{útil}} = 9,95 \text{ m}^3$$

## I) Sistema de distribuição

O cálculo de número de distribuidores necessita da Área de influência dos distribuidores, logo, será de  $A_i = 3 \text{ m}^2$ .

### • Número de distribuidores necessários por módulo

Com o objetivo de determinar o número de distribuidores necessários, faz-se uso da equação 69 a seguir.

$$N_d = \left( \frac{A_{\text{filtro}}}{A_i} \right) \quad \text{Eq. 69}$$

Onde:

- Área do filtro ( $A_{\text{filtro}}$ );
- Área de influência ( $A_i$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$N_d = \left( \frac{4,52}{3} \right)$$
$$N_d = 1,51 \text{ unidades}$$

Número de distribuidores adotados por módulo

$$N_d = 2 \text{ unidades}$$

### • Verificação da área de atuação real de um distribuidor

Com o objetivo de determinar a área de atuação de um distribuidor após a obtenção dos números de distribuidores, faz-se uso da equação 70 a seguir.

$$A_d = \left( \frac{A_{\text{filtro}}}{N_d} \right) \quad \text{Eq. 70}$$

Onde:

- Área do filtro ( $A_{\text{filtro}}$ );
- Número de distribuidores ( $N_d$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$A_d = \left( \frac{4,52}{2} \right)$$

---

$$A_d = 2,26 \text{ m}^2$$

**J) Velocidade ascensional**

Com o objetivo de determinar a velocidade ascensional, faz-se uso da equação 71 a seguir.

$$V_a = \left( \frac{Q_{méd}}{A_{filtro} \times N_{módulos}} \right) \quad \text{Eq. 71}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{méd}$ );
- Área do filtro ( $A_{filtro}$ );
- Número de distribuidores ( $N_d$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_a = \left( \frac{0,729}{4,52 \times 1} \right)$$
$$V_a = 0,16 \text{ m/h}$$

**K) Taxa de aplicação hidráulica superficial**

Com o objetivo de determinar a taxa de aplicação hidráulica superficial, faz-se uso da equação 72 a seguir.

$$THS = \left( \frac{\frac{Q_{méd}}{N_{módulos}}}{A_{filtro}} \right) \quad \text{Eq. 72}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{méd}$ );
- Área do filtro ( $A_{filtro}$ );
- Número de distribuidores ( $N_d$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$THS = \left( \frac{\frac{31,5}{1}}{4,52} \right)$$
$$THS = 6,96 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

De acordo com Gonçalves et. al (2001) nos estudos do Programa em Saneamento Básico (PROSAB), os filtros atendem os padrões de lançamento estabelecidos em resoluções, em termos de DBO e sólidos em suspensão, se operarem com THS de 6 a 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d.

#### L) Carga Orgânica Volumétrica (COV)

Com o objetivo de determinar a carga orgânica volumétrica, faz-se uso da equação 73 a seguir.

$$COV_{DBO} = \left( \frac{Q_{med}}{N_{módulos}} \right) \times \left[ \frac{\left( \frac{DBO_{Af}}{1000} \right)}{V_{útil}} \right] \quad \text{Eq. 73}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{med}$ );
- Demanda Química de Oxigênio Afluente ( $DBO_{Af}$ );
- Número de distribuidores ( $N_d$ );
- Volume útil ( $V_{útil}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$COV_{DBO} = \left( \frac{31,5}{1} \right) \times \left[ \frac{\left( \frac{135}{1000} \right)}{9,95} \right]$$
$$COV_{DBO} = 0,237 \frac{KgDBO}{m^3.d}$$

De acordo com Gonçalves et. al (2001) nos estudos do Programa em Saneamento Básico (PROSAB), os filtros atendem os padrões de lançamento estabelecidos em resoluções, em termos de DBO, se operarem com COV de 0,15 a 0,50 kgDBO/m<sup>3</sup>.d considerando o volume total do filtro.

#### M) Eficiência de Remoção de DBO

Com o objetivo de determinar a eficiência de remoção de DBO, faz-se uso da equação 74 a seguir.

$$E = \{100 \times 1 - [0,87 \times (TDH^{-0,5})]\} \quad \text{Eq. 74}$$

Onde:

- Tempo de Detenção Hidráulica (TDH).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$E = \{100 \times 1 - [0,87 \times (5^{-0,5})]\}$$
$$E = 61,09 \%$$

#### N) DBO efluente do filtro anaeróbio

Com o objetivo de determinar a DBO efluente do filtro, faz-se uso da equação 75 a seguir.

$$DBO_{Ef} = DBO_{Af} - \left[ \left( \frac{E}{100} \right) \times DBO_{Af} \right] \quad \text{Eq. 75}$$

Onde:

- Eficiência de Remoção de DBO (E);
- Demanda Química de Oxigênio Afluente ( $DBO_{Af}$ );
- Demanda Química de Oxigênio Afluente ( $DBO_{Ef}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$DBO_{Ef} = 135 - \left[ \left( \frac{61,09}{100} \right) \times 135 \right]$$
$$DBO_{Ef} = 52,53 \text{ mg/L}$$

#### O) Eficiência total da estação de tratamento

Com o objetivo de determinar a eficiência total da ETE, faz-se uso da equação 76 a seguir.

$$E_{total} = (DBO_{Af} - DBO_{Ef}) \times 100 \quad \text{Eq. 76}$$

Onde:

- Eficiência de Remoção de DBO (E);
- Demanda Química de Oxigênio Afluente ( $DBO_{Af}$ );
- Demanda Química de Oxigênio Afluente ( $DBO_{Ef}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$E_{total} = ((900 - 52,53)/900) \times 100$$

$$E_{total} = 94,16 \%$$

#### 4.9.Desinfecção

Consiste em extinguir total ou parcialmente as bactérias e os demais organismos patogênicos presentes no efluente tratado. Desse modo, o processo que será utilizado é o de cloração, onde será adicionado cloro líquido ao efluente tratado em um tanque de contato cilíndrico e bomba dosadora de produto químico a base de cloro, o qual atuará diretamente nestes patogênicos, penetrando em suas células presentes na massa líquida reagindo com suas enzimas, destruindo-as. Após a cloração, o efluente final é encaminhado para o sistema de drenagem pluvial do município, o sistema será composto por Tanque de Contato, Bomba dosadora eletromagnética - modelo 633, da série Invikta da fabricante Seko – e reservatório de produto químico de 200 litros.

##### A) Tanque de Contato

- **Volume útil requerido**

O Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) requerida é de  $TDH = 30 \text{ min}$  e a altura adotada é de  $H = 0,5 \text{ m}$ . Com o objetivo de determinar o volume útil do tanque, faz-se uso da equação 77 a seguir.

$$V_{\text{útil}} = Q_{\text{med}} \times \left( \frac{TDH}{60} \right) \quad \text{Eq. 77}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{\text{med}}$ );
- Tempo de Detenção Hidráulica (TDH).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$V_{\text{útil}} = 0,729 \times \left( \frac{30}{60} \right)$$

$$V_{\text{útil}} = 0,3645 \text{ m}^3$$

- **Dimensões**

O tanque de Contato será do tipo prismático retangular, medindo 1,4 m de comprimento e 1,0 m de largura, possuindo duas chicanas para melhorar o contato do efluente com o cloro.

- **Volume adotado**

Com o objetivo de determinar o volume após adotar o diâmetro do tanque, faz-se uso da equação 79 a seguir.

$$V_{adotado} = L \times C \times H \quad \text{Eq. 79}$$

Onde:

- Largura (L);
- Comprimento (C);
- Altura (H).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$\begin{aligned} V_{adotado} &= 1,40 \times 1,0 \times 0,5 \\ V_{adotado} &= 0,70 \, m^3 \end{aligned}$$

- **Verificação de TDH para vazão média**

Com o objetivo de determinar o TDH para a vazão média, faz-se uso da equação 80 a seguir.

$$TDH_{adotado} = \left( \frac{V_{adotado}}{Q_{med}} \right) \times 60 \quad \text{Eq. 80}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{med}$ );
- Volume adotado ( $V_{adotado}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$\begin{aligned} TDH_{adotado} &= \left( \frac{0,70}{0,729} \right) \times 60 \\ TDH_{adotado} &= 57,61 \, min \end{aligned}$$

Segundo a NBR 12.209/2011 qualquer que seja a forma de desinfecção com composto à base de cloro, com exceção do dióxido de cloro, o TDH deve ser superior ou igual a 30 minutos para vazão média.

- **Verificação de TDH para Vazão máxima**

Com o objetivo de determinar o TDH para a vazão máxima, faz-se uso da equação 81 a seguir.

$$TDH_{adotado} = \left( \frac{V_{adotado}}{Q_{m\acute{a}x}} \right) \times 60 \quad \text{Eq. 81}$$

Onde:

- Vazão média ( $Q_{m\acute{a}x}$ );
- Volume adotado ( $V_{adotado}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$TDH_{adotado} = \left( \frac{0,70}{1,313} \right) \times 60$$
$$TDH_{adotado} = 31,98 \text{ min}$$

Segundo a NBR 12209/2011 qualquer que seja a forma de desinfecção com composto à base de cloro, com exceção do dióxido de cloro, o TDH deve ser superior ou igual a 15 minutos para vazão máxima.

## **B) Demanda de cloro**

Com o objetivo de determinar a Demanda de Cloro Ativo (DCA), em kg/dia, faz-se necessário algumas informações listadas na Tabela 9 a seguir.

**Tabela 9** – Informações necessárias para o cálculo de DCA

Variável	Valor
Concentração de cloro (Dicloro)	60 %
Concentração de cloro ativo	5 mg/L
Tempo de funcionamento	24 h/dia

Com o objetivo de determinar a Demanda de Cloro Ativo (DCA), em kg/dia, faz-se uso da equação 82 a seguir.

$$DCA = (Q \times 1000) \times TF \times \frac{CCA}{10^6} \quad \text{Eq. 82}$$

Onde:

- Vazão de Projeto ( $Q_{med}$ );

- Tempo de Funcionamento (TF);
- Concentração de Cloro Ativo (CCA).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$DCA = (0,762 \times 1000) \times 24 \times \frac{5}{10^6}$$

$$DCA = 0,09 \frac{kg}{dia}$$

Logo, constata-se que, para adição de 1 mg/L de Cloro Ativo (CA), a Demanda de Cloro Ativo (DCA) será de 0,09 kg/dia ou 2,70 kg/mês, considerando 30 dias de operação por mês.

### C) Demanda de Produto Químico

Com o objetivo de determinar a Demanda de Produto Químico (DPQ), em kg/dia, faz-se uso da equação 83 a seguir.

$$DPQ = \frac{DCA}{PPQ} \quad \text{Eq. 83}$$

Onde:

- Demanda de Cloro Ativo (DCA);
- Produto Químico Utilizado: Dicloroisocianurato de Sódio 60%
- Pureza do Produto Químico (PPQ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$DPQ = \frac{0,09}{0,600} = 015 \text{ kg/dia}$$

Logo, constata-se que, para adição de 1 mg/L de Cloro Ativo (CA), a demanda de Dicloroisocianurato de Sódio 60% será de 0,15 kg/dia ou 4,5 kg/mês, considerando 30 dias de operação por mês.

### D) Demanda de Solução Sanitizante

Com o objetivo de determinar a Demanda de Solução Sanitizante, em L/dia, faz-se uso da equação 84 a seguir.

$$DSS = \frac{DPQ}{CSS} \quad \text{Eq. 84}$$

Onde:

- Demanda de Produto Químico (DPQ);
- Concentração da Solução Sanitizante (CSS).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$DSS = \frac{0,09}{0,02} = 4,50 \text{ L/dia}$$

Logo, constata-se que, para adição de 1 mg/L de Cloro Ativo (CA), a demanda de Solução Sanitizante será de 4,50 L/dia, ou 135 L/mês, considerando 30 dias de operação por mês.

Com o objetivo de determinar a Demanda de Solução Sanitizante ( $DSS^*$ ), em ml/L (mililitro de solução sanitizante por litro de água), faz-se uso da equação 85 a seguir.

$$DSS^{LL} = \frac{DSS^*}{Q \times TF} \quad \text{Eq. 85}$$

Onde:

- Demanda de Solução Sanitizante (DSS);
- Vazão de Projeto ( $Q_{med}$ );
- Tempo de Funcionamento (TF).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$DSS^{LL} = \frac{4,5 \times 1000}{0,762 \times 24 \times 1000} = 0,24 \text{ ml/L}$$

Com o objetivo de determinar o intervalo máximo de reposição, faz-se uso da equação 86 a seguir.

$$I = \frac{V_{reservatório}}{DSS} \quad \text{Eq. 86}$$

Onde:

- Demanda de Solução Sanitizante (DSS);
- Volume do reservatório de solução sanitizante ( $V_{\text{reservatório}}$ ).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$I = \frac{0,70}{4,5}$$
$$I = 0,15 \text{ dia}$$

Com o objetivo de determinar a vazão de adição da solução sanitização, faz-se uso da equação 87 a seguir.

$$Q = \frac{DSS}{TF} \quad \text{Eq. 87}$$

Onde:

- Demanda de Solução Sanitizante (DSS);
- Tempo de Funcionamento (TF).

Aplicando os valores acima, obtém-se:

$$Q = \frac{4,5}{24}$$
$$Q = 0,18 \text{ L/h}$$

#### 4.10. Tratamento de Subprodutos

##### A) Subprodutos Gasosos

O tratamento de efluentes resulta na produção e emissão diversos gases, os quais possuem diversas denominações, podendo ser gases odorantes como o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amônia e compostos orgânicos voláteis; Gases de efeito estufa (GEE), tais como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e, por fim, poluentes atmosféricos em geral, tais como os gases que são provenientes da queima do biogás como o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), principalmente.

Com esse cenário em vista, a estação conta com um filtro de biogás de  $1 \text{ m}^3$ , dotado de leito filtrante de  $0,6 \text{ m}^3$  de Carvão Ativado Granular, responsável pela adsorção dos

gases produzidos durante a operação da ETE. Ressalta-se que a unidade será pressurizada por meio de dois exaustores de uso alternado.

### **B) Subprodutos Sólidos**

Os subprodutos sólidos que podem ser gerados na ETE são os resíduos gradeados, areia, detritos, gordura, espuma e lodo, os quais não foram contemplados no escopo do projeto, logo, a remoção, destinação final e tratamento se dará por meio de caminhão limpa-fossa ou sistema de tratamento local.

### **4.11. Sistema de Automação**

O sistema de automação é centralizado em quadro elétrico, detentor de seletoras para comandos liga-desliga, automático-manual e determinação de unidade operante, alarme de sinalização de defeitos, sinalização de operação e reles auxiliares. Como componentes elétricos, a estação conta com bombas de recalque, bombas dosadoras e exaustores, que terão seu regime de funcionamento detalhado a seguir.

#### **A) Bombas de Recalque**

As bombas apresentam função “Automático” e “Manual” e modo de seleção de “Bomba 1” e “Bomba 2”. No modo automático, as bombas funcionarão de forma alternada, com dois níveis de acionamento e um de desarme, sendo esses o nível mínimo, o qual desarma a bomba em funcionamento; nível máximo, que aciona uma das bombas, de forma alternada; e, por fim, o nível crítico, responsável por acionar as duas bombas em paralelo, aumentando a vazão de recalque e evitando transbordos. Como medidor de nível, será utilizado o sensor do tipo boia de 25 A, com recomendação das marcas Schneider e WEG.

#### **B) Bomba Dosadora**

A bomba dosadora apresenta função “Automático” e “Manual”, onde, no primeiro regime, o acionamento da bomba dosadora ocorrerá em conjunto com o das bombas submersíveis, de forma a dosar produto químico sempre que houver fluxo de esgoto no Tanque de Contato.

---

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme exposto ao longo do memorial, o sistema fora projetado para eficiência global de 85% de remoção de DBO e, para garantir tal nível de remoção, é imprescindível que a equipe de manutenção do Grupo Mateus garanta a adequada operação, controle e monitoramento da ETE.

Tendo em vista que o empreendimento conta com caixas de gordura em seu sistema de instalações prediais, recomenda-se que as unidades sejam devidamente dimensionadas e operadas, garantindo sua adequada eficiência. Tal medida é primordial para limitar a concentração de óleos e graxas no afluente da estação em, no máximo 110 mg/L, conforme recomendado por Metcalf & Eddy (2003). Em contrapartida, durante a operação do sistema, deve-se acompanhar a concentração do parâmetro e verificar seus impactos no sistema, de forma a identificar a necessidade de adoção de concentração máxima mais restritiva.

Com o objetivo de garantir a plena operação do sistema de tratamento durante a falta de energia elétrica do empreendimento, recomenda-se que a ETE seja interligada ao gerador do empreendimento.

Por fim, ressalta-se que, durante a fase de concepção do projeto, a SESAN/Belém através da IN 001/2018 se manifesta negativamente acerca da utilização de by-pass na entrada do sistema, sendo assim, a presente ETE não dispõe de by-pass.