

Esta unidade, tem a função de reter os sólidos inertes com densidade maior que a água. Esta medida, evita a abrasão nos equipamentos e nas tubulações, assim como, obstruções e acúmulo desnecessários nas unidades subsequentes (poço de sucção, DARFA, Filtro biológico e Decantador Secundário além do Tanque de Cloração).

Adotaremos um desarenador duplo (caixa de areia) com calha Parshall instalada á montante do poço de sucção, com intuito de regularizar a velocidade e propiciar uma boa decantação da areia, a calha também será usada como medidor de vazão do esgoto na estação.

A largura da caixa de areia é dada por:

$$b = Q_{\text{máx.}} / (h_{\text{máx.}} \times v)$$

onde:

$$Q_{\text{máx.}} = \text{vazão máxima afluyente} = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{\text{máx.}} = \text{altura da lâmina líquida para } Q_{\text{máx.}} = 0,112 \text{ m}$$

$$v = \text{velocidade de escoamento adotada} = 0,30 \text{ m/s}$$

$$b = 0,003 / (0,112 \times 0,30)$$

$$b = 0,089 \text{ m, adotar } b = 0,30 \text{ m}$$

Velocidade resultante para a vazão máxima

$$v = Q_{\text{máx.}} / S$$

$$Q_{\text{máx.}} = \text{vazão máxima afluyente} = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = \text{seção de escoamento} = (0,112 \times 0,30) = 0,0336 \text{ m}^2$$

$$v = 0,003 \text{ m}^3/\text{s} / 0,0338 \text{ m}^2$$

$v = 0,09 \text{ m/s}$ – A velocidade para a vazão máxima, encontra-se abaixo de $0,40 \text{ m/s}$, atendendo, portanto, a norma NBR 12.209.

Comprimento da Caixa (L)

O comprimento da caixa será dado pela fórmula:

$$L = 22,50 \times h_{\text{máx.}}$$

$$h_{\text{máx.}} = \text{altura da lâmina de esgoto para vazão máxima} = 0,112 \text{ m}$$

Logo:

$$L = 22,5 \times 0,112 \text{ m}$$

$$L = 2,52 \text{ m,}$$

$$\text{adotar } L = 2,55 \text{ m}$$

Taxa de escoamento superficial

A taxa de escoamento superficial na caixa(I) é dada por:

$$I = Q_{\text{máx.}} / (L \times b)$$

$$Q_{\text{máx.}} = 0,003 \text{ m}^3/\text{s} - 259,20 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$L = 2,55 \text{ m}$$

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

$$I = 259,20 / (2,55 \times 0,30)$$

$$I = 338,82 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{xdia}$$

O valor obtido, não atende ao intervalo de 600 a 1300 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdia}$, recomendado pela NBR



12.209.

Desta forma necessitamos reduzir o tamanho do canal para possibilitar o atendimento da norma. O comprimento do canal deverá ser de 2,00 metros e a largura 0,20 m, com isto teresmos:

L = 1,40 m e largura l = 0,30 m

$I = 259,20 / (1,40 \times 0,30) = 617,14 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$, atendendo portanto a norma.

Quantidade de material retido na caixa de areia, será dado pela fórmula:

$M_f = Q_{\text{méd.}} \times R$, onde:

$Q_{\text{méd.}}$ = vazão média afluyente diária – 163,68 m³/dia

R = taxa de retenção na caixa – 0,00004

$M_f = 163,68 \times 0,00004$

$M_f = 0,00654 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume de acumulação

O volume de acumulação da caixa de areia é dado por:

$V_{\text{acuml.}} = i \times M_f$

i = intervalo de limpeza (adotado) = 20,00 dias

M_f = volume diário de material retido = 0,00654 m³/dia

$V_{\text{acuml.}} = 20,00 \times 0,00654 \text{ m}^3/\text{dia}$

$V_{\text{acuml.}} = 0,131 \text{ m}^3$

Profundidade necessária da caixa

A profundidade necessária para a sedimentação do material é calculada a partir da fórmula:

$h_{\text{nec.}} = V_{\text{acuml.}} / (b \times L)$

$V_{\text{acuml.}}$ = volume de acumulação = 0,131 m³

L = comprimento da caixa de areia = 1,40 m

b = largura da caixa de areia = 0,30 m

$h_{\text{nec.}} = 0,131 / (1,40 \times 0,30)$

$h_{\text{nec.}} = 0,312 \text{ m}$ – adotar altura = 0,40 m

Caixa de areia constituída por 2 (dois) canais de 0,30 m de largura, profundidade 0,40 m e comprimento 1,40 m

Definição da Calha: Adotaremos para a vazão requerida a calha tipo 3”

Q Mín. = 0,80 l/s

Q Máx. = 53,80 l/s

Garganta (W) = 0,0762

Expoente (n) = 1,547

Coefficiente(k) = 0,176



Definição da Calha Parshall

Para o cálculo das alturas máxima, média e mínimas, tem-se (Azevedo Netto, 1998):

$$H = (Q/k)^{1/n};$$

Onde:

H = altura da lâmina de água em metro

Q = Vazão Afluente (m³/s)

k = Coeficiente a adotar para a $W = 3'' = 0,176$

n = Coeficiente a adotar para a $W = 3'' = 1,547$

$$Q_{\text{mín.}} = 1,89 \text{ l/s} - 0,00189 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx.}} = 3,00 \text{ l/s} - 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{\text{mín.}} = (0,00189 / 0,176)^{1/1,547} = 0,0534 \text{ m}$$

$$H_{\text{máx.}} = (0,0030 / 0,176)^{1/1,547} = 0,0720 \text{ m}$$

O rebaixo no medidor Parshall será dado pela seguinte fórmula

$$Z = (Q_{\text{máx}} \times H_{\text{mín.}} - Q_{\text{mín.}} \times H_{\text{máx.}}) / (Q_{\text{máx.}} - Q_{\text{mín.}})$$

$$Z = (0,0030 \times 0,0534 - 0,00189 \times 0,0720) / (0,0030 - 0,00189)$$

$$Z = 0,00002412 / 0,00111$$

$$Z = 0,0217 \text{ m}$$

A altura da lâmina líquida antes do rebaixo (h) será determinada na fórmula:

$$h = H - z$$

$h_{\text{mín.}}$ = altura da lâmina para vazão mínima

$h_{\text{máx.}}$ = altura da lâmina para vazão máxima

$$h_{\text{mín.}} = 0,0534 - 0,0217 = 0,0317 \text{ m}$$

$$h_{\text{máx.}} = 0,0720 - 0,0217 = 0,0503 \text{ m}$$

7.2 Estação Elevatória - EEE-03 (FINAL)

7.2.1 Gradeamento

$$- Q_{\text{Máx.}} = 38,70 \text{ m}^3/\text{h} \approx 0,01075 \text{ m}^3/\text{s}$$

Eficiência (E)

$$- \text{Espessura das barras (t)} = 10 \text{ mm}$$

$$- \text{Espaçamento entre as barras (a)} = 15 \text{ mm}$$

$$- E = a/(a+t) = 20 / (20 + 10) = 0,6667 / 66,67\%$$

Área Útil (Au) da grade



- Velocidade adotada (V) = 0,60 m/s

- $A_u = Q_{Q_{\text{máx.}}h}/V = 0,01075 \text{ (m}^3/\text{s)} / 0,60 \text{ (m/s)} = 0,0179 \text{ m}^2$

Área Total da Grade (A_t)

- $A_t = A_u/E = 0,0179/0,6667 = 0,0268 \text{ m}^2$

Comprimento do canal

O comprimento do canal de acesso à grade (C) é dado por :

$C = (Q_{\text{máx.}} \cdot \text{Hor.} \times t) / A_t$, onde:

$Q_{\text{máx.}} \text{ Hor.} = 0,01075 \text{ m}^3/\text{s}$

$A_t = 0,007 \text{ m}^2$

$t = 3,0 \text{ s}$

$C = 0,01075 \times 3 / 0,0268$

$C = 1,20 \text{ m}$

Largura teórica do canal

A largura teórica do canal de acesso à grade (b) é dada por:

$b = A_t / H_{\text{máx.}}$, logo:

$H_{\text{máx.}} = 0,112 \text{ m}$ (75% de 150 mm)

$A_t = 0,0268 \text{ m}^2$

$b = 0,0268 / 0,112$

$b = 0,239 \text{ m}$ adotar $b = 0,300 \text{ m}$

Número de barras da grade

$N = b / (e + a)$, onde:

$b = 300 \text{ mm}$, $e = 10 \text{ mm}$ e $a = 15 \text{ mm}$

$N = 300 / (10 + 15) = 12,00 \text{ und}$

$N = 12 \text{ barras}$

Largura real do canal (B)

A largura real do canal de acesso à grade será dada por (B):

$B = N \times e + (N-1) \times a + a$

Onde $N = 12 \text{ barras}$, $e = 10 \text{ mm}$, $a = 15 \text{ mm}$

$B = (12 \times 10 + (12 - 1) \times 15 + 15) / 1000$

$B = 0,45 \text{ m}$

Velocidade através da grade

$V = Q_{\text{máx.}} \text{ Hor.} / (B \times h \times E)$

$V = 0,01075 / (0,450 \times 0,112 \times 0,6667)$



$$V = 0,32 \text{ m/s}$$

Velocidade na grade considerando 50% de obstrução

$$V = 2 \times 0,32 \text{ m/s}$$

$V = 0,64 \text{ m/s}$ (a velocidade referente a vazão final, com 50% de obstrução na grade, encontra-se abaixo de 1,20 m/s, atendendo, portanto, a norma NBR 12.208.

Perda de carga na grade (h_f) é dada por:

$$h_f = 1,43 \times (V^2 - v^2) / 2 \times g, \text{ onde:}$$

$V =$ velocidade através da grade 50% obstruída = 0,64 m/s;

$v =$ velocidade a montante da grade = $V \times E = 0,43 \text{ m/s}$; (0,64 x 0,6667)

$g =$ aceleração da gravidade = 9,81 m/s².

Para a grade com 50% de obstrução temos:

$$h_f = \text{perda de carga na grade} = 0,0164 \text{ m}$$

$$h_f = \text{perda de carga adotada} = 0,050 \text{ m}$$

Comprimento da grade (X)

O comprimento será dado por:

$$X = (h_{\text{máx.}} + h_f + D + f) / \text{sen}\theta$$

Onde:

$h_{\text{máx.}} =$ altura da lâmina líquida de esgoto = 0,112 m (75% de 150 mm)

$h_f =$ perda de carga na grade = 0,050 m

$D =$ diâmetro de entrada da tubulação – 0,150 m

$f =$ folga adotada – 0,10 m

$$X = (0,112 + 0,05 + 0,15 + 0,10) / \text{sen}45^\circ$$

$$X = 0,58$$

$X = 0,60 \text{ m}$ adotar

Grade (0,45 x 0,60 x 12 barras de 10 x 15 mm)

7.2.2 Caixa De Areia (Desarenador)

Esta unidade, tem a função de reter os sólidos inertes com densidade maior que a água. Esta medida, evita a abrasão nos equipamentos e nas tubulações, assim como, obstruções e acúmulo desnecessários nas unidades subsequentes (poço de sucção, DARFA, Filtro biológico e Decantador Secundário além do Tanque de Cloração).

Adotaremos um desarenador duplo (caixa de areia) com calha Parshall instalada á montante do poço de sucção, com intuito de regularizar a velocidade e propiciar uma boa decantação da areia, a calha também será usada como medidor de vazão do esgoto na estação.

A largura da caixa de areia é dada por:



$$b = Q_{\text{máx.}} / (h_{\text{máx.}} \times v)$$

onde:

$$Q_{\text{máx.}} = \text{vazão máxima afluyente} = 0,01075 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{\text{máx.}} = \text{altura da lâmina líquida para } Q_{\text{máx.}} = 0,112 \text{ m}$$

$$v = \text{velocidade de escoamento adotada} = 0,30 \text{ m/s}$$

$$b = 0,01075 / (0,112 \times 0,30)$$

$$b = 0,32 \text{ m, adotar } b = 0,35 \text{ m}$$

Velocidade resultante para a vazão máxima

$$v = Q_{\text{máx.}} / S$$

$$Q_{\text{máx.}} = \text{vazão máxima afluyente} = 0,01075 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = \text{seção de escoamento} = (0,112 \times 0,35) = 0,0392 \text{ m}^2$$

$$v = 0,01075 \text{ m}^3/\text{s} / 0,0392 \text{ m}^2$$

$v = 0,27 \text{ m/s}$ – A velocidade para a vazão máxima, encontra-se abaixo de $0,40 \text{ m/s}$, atendendo, portanto, a norma NBR 12.209.

Comprimento da Caixa (L)

O comprimento da caixa será dado pela fórmula:

$$L = 22,50 \times h_{\text{máx.}}$$

$$h_{\text{máx.}} = \text{altura da lâmina de esgoto para vazão máxima} = 0,112 \text{ m}$$

Logo:

$$L = 22,5 \times 0,112 \text{ m}$$

$$L = 2,52 \text{ m,}$$

$$\text{adotar } L = 2,55 \text{ m}$$

Taxa de escoamento superficial

A taxa de escoamento superficial na caixa(I) é dada por:

$$I = Q_{\text{máx.}} / (L \times b)$$

$$Q_{\text{máx.}} = 0,01075 \text{ m}^3/\text{s} - 928,80 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$L = 2,55 \text{ m}$$

$$b = 0,45 \text{ m}$$

$$I = 928,80 / (2,55 \times 0,45)$$

$$I = 809,41 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$$

O valor obtido, atende ao intervalo de 600 a 1300 $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$, recomendado pela NBR 12.209.

Quantidade de material retido na caixa de areia, será dado pela fórmula:

$$M_f = Q_{\text{méd.}} \times R, \text{ onde:}$$

$$Q_{\text{méd.}} = \text{vazão média afluyente diária} - 516,00 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$R = \text{taxa de retenção na caixa} - 0,00004$$

$$M_f = 516,00 \times 0,00004$$

$$M_f = 0,02064 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Volume de acumulação



O volume de acumulação da caixa de areia é dado por:

$$V_{\text{acuml.}} = i \times M_f$$

i = intervalo de limpeza (adotado) = 15,00 dias

M_f = volume diário de material retido = 0,3096 m³/dia

$$V_{\text{acuml.}} = 15,00 \times 0,02064 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_{\text{acuml.}} = 0,3096 \text{ m}^3$$

Profundidade necessária da caixa

A profundidade necessária para a sedimentação do material é calculada a partir da fórmula:

$$h_{\text{nec.}} = V_{\text{acuml.}} / (b \times L)$$

$V_{\text{acuml.}}$ = volume de acumulação = 0,3096 m³

L = comprimento da caixa de areia = 2,55 m

b = largura da caixa de areia = 0,45 m

$$h_{\text{nec.}} = 0,3096 / (2,55 \times 0,45)$$

$$h_{\text{nec.}} = 0,2698 \text{ m} - \text{adotar altura} = 0,40 \text{ m}$$

Caixa de areia constituída por 2 (dois) canais de 0,45 m de largura, profundidade 0,40 m e comprimento 2,55 m

Definição da Calha: Adotaremos para a vazão requerida a calha tipo 3"

$$Q_{\text{Mín.}} = 0,80 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{Máx.}} = 53,80 \text{ l/s}$$

$$\text{Garganta (W)} = 0,0762$$

$$\text{Expoente (n)} = 1,547$$

$$\text{Coeficiente(k)} = 0,176$$

Definição da Calha Parshall

Para o cálculo das alturas máxima, média e mínimas, tem-se (Azevedo Netto, 1998):

$$H = (Q/k)^{1/n};$$

Onde:

H = altura da lâmina de água em metro

Q = Vazão Afluente (m³/s)

k = Coeficiente a adotar para a $W = 3'' = 0,176$

n = Coeficiente a adotar para a $W = 3'' = 1,547$

$$Q_{\text{mín.}} = 5,97 \text{ l/s} - 0,00597 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx.}} = 10,75 \text{ l/s} - 0,01075 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$H_{\text{mín.}} = (0,00597 / 0,176)^{(1/1,547)} = 0,112 \text{ m}$$

$$H_{\text{máx.}} = (0,01075 / 0,176)^{(1/1,547)} = 0,164 \text{ m}$$

O rebaixo no medidor Parshall será dado pela seguinte fórmula

$$Z = (Q_{\text{máx.}} \times H_{\text{mín.}} - Q_{\text{mín.}} \times H_{\text{máx.}}) / (Q_{\text{máx.}} - Q_{\text{mín.}})$$

$$Z = (0,01075 \times 0,112 - 0,00597 \times 0,164) / (0,01075 - 0,00597)$$

$$Z = 0,00022492 / 0,00478$$

$$Z = 0,04705 \text{ m}$$

A altura da lâmina líquida antes do rebaixo (h) será determinada na fórmula:

$$h = H - z$$

$h_{\text{mín.}}$ = altura da lâmina para vazão mínima

$h_{\text{máx.}}$ = altura da lâmina para vazão máxima

$$h_{\text{mín.}} = 0,1120 - 0,04705 = 0,065 \text{ m}$$

$$h_{\text{máx.}} = 0,1640 - 0,04705 = 0,117 \text{ m}$$

8.0 ETE – Estação De Tratamento De Esgoto

O distrito do Jordão em Sobral-Ce possuirá uma população estimada em **3.490** pessoas. Sendo assim, como premissa básica para a concepção do sistema de tratamento, será adotada uma tecnologia de tratamento que, além de garantir o cumprimento dos padrões de lançamento para efluentes tratados, também proporcione uma operação confiável, sem qualquer tipo de incômodo para os residentes na localidade, após o tratamento, o destino final do esgoto tratado, será o lançamento no córrego existente na mesma localidade.

8.1 Apresentação Do Tratamento

O objetivo primordial do tratamento para o esgoto do sistema em questão será reduzir a concentração de sólidos em suspensão, material orgânico, compostos nitrogenados, fosfatados e organismos patogênicos. Com este objetivo, é proposto o tratamento principal dos esgotos através de **Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)**, seguido de tratamento secundário com **Decantador Secundário e Filtro Aerado Submerso (BAS)**. O sistema propõe-se remover matéria orgânica e sólidos em suspensão, a taxas variando de 85% a 90%, remoção de nitrogênio a taxa de 65% (através da fase anóxica no BAS), bem como 35% de fósforo (a ser adsorvido no leito dos reatores). As remoções ocorrerão através de tratamento biológico e físico, seguido por desinfecção com cloro, através de dosadoras de cloro, para eliminação de patogênicos, antes da disposição. Além disto também será necessário um pré Tratamento através de gradeamento visando a retirada de objetos grosseiros presentes no esgoto seguida de desarenação, para reter os

sólidos inorgânicos sedimentáveis, evitando que entrem nas unidades de tratamento biológico, isto ocorrerá antes da estação elevatória final a ser construída na área da ETE. A tecnologia anaeróbia, já consolidada na América Latina (em especial no Brasil), se destaca pela sua eficiência na remoção de matéria orgânica (DBO/DQO) e sólidos suspensos (SST). Dentre as variantes da tecnologia, temos os **reatores anaeróbios de fluxo ascendente através de leito de lodo** que apresentam grandes vantagens:

- Curto tempo de detenção ocasionando pequenos volumes e áreas;
- Produzem pouco lodo, e este é estabilizado;
- Baixo consumo de energia (apenas para recalque do efluente ao reator);
- Requerem construção e operação simples;
- O controle de odores é mais facilmente controlado (o biogás produzido é expulso por apenas um ponto do reator);
- Baixo custo de manutenção.

Ao serem acrescentados os Biofiltros Aerados Submersos com recheio de peças plásticas (tratamento aeróbio) recebendo o efluente dos reatores anaeróbios, objetiva-se a remoção de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e sólidos suspensos remanescentes. Podemos identificar importantes vantagens na aplicação do sistema anaeróbio/aeróbio, entre elas:

- A redução significativa da concentração de material orgânico e dos sólidos em suspensão no afluente do reator anaeróbio gera uma carga orgânica menor a tratar no filtro aeróbio, reduzindo desta maneira, suas dimensões;
- A quantidade de lodo estabilizado será muito menor num sistema anaeróbio/aeróbio pois a produção de lodo por unidade de massa de material orgânico é muito menor num sistema anaeróbio que num sistema aeróbio. Além disso, o lodo estabilizado no reator anaeróbio tem uma concentração muito maior, o que facilita sua manipulação até seu descarte na ETE (por exemplo, o leito de secagem);
- Como consequência da remoção de grande parte da carga orgânica na parte anaeróbia do sistema, a demanda de oxigênio na parte aeróbia se reduz, de modo que se precisa menos energia para a aeração, se compararmos com um sistema aeróbio tratando sozinho. Outro fator que contribui para uma redução da demanda de energia é o fato que o reator anaeróbio funciona como um tanque de equalização de maneira que a concentração do material orgânico que passa para a parte aeróbia é muito menor do que no afluente, exigindo assim menos energia para o processo aeróbio.



Conforme dito, para o sistema anaeróbio aplicado ao sistema em questão, seguido da decantação e filtro aerado, espera-se remoção com grande eficiência de matéria orgânica e sólidos em suspensão presentes no esgoto, chegando a atingir até 90%; desde que seja garantida uma boa operação da ETE. Entretanto, para uma remoção mais completa e eficiente de patogênicos, é sugerido o processo de desinfecção química com cloro, onde o efluente passa por um tanque de contato onde, em seu interior, é adicionada a solução de cloro preparada no kit dosador. Este tipo de tratamento representa as tecnologias mais recentes e eficazes para o tratamento de esgotos sanitários, apresentando resultados positivos do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico).

8.2 Aspectos Construtivos Dos Reatores

Para a ETE do **Distrito do Jordão** são propostos reatores confeccionados em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV). O uso do PRFV permite reatores de menor peso, mas com grande durabilidade frente ao ambiente agressivo gerado pelo esgoto, que reduz a vida útil das ETE's construídas com material convencional. Além disso, pode-se implantar a ETE por etapas, devido aos módulos padrões existentes.

8.3 Descrição Do Tratamento

O esgoto passa inicialmente pelo tratamento primário, onde serão removidos objetos grosseiros, através do gradeamento. Na sequência, o esgoto gradeado passa na caixa de areia para em seguida ser destinado a estação de elevatória de esgoto sanitário para ser recalcado ao reator anaeróbio. Na caixa de areia, serão retidos os sólidos pesados, os sólidos inertes decantam, evitando a entrada de sólidos inertes na zona de tratamento dos reatores - DARFA, o que prejudica o processo de digestão anaeróbia, uma vez que toma o lugar do lodo.

O afluente, ao atingir o topo do reator, passa por uma caixa divisora de vazão, de onde partem diversas tubulações que conduzem o esgoto até o fundo do reator, garantindo uma distribuição equitativa do esgoto pré-tratado no fundo do mesmo. Esta distribuição equilibrada no fundo propicia a ocorrência do processo anaeróbio em todo o tanque, evitando-se assim, zonas mortas. O próprio esgoto em movimento ascendente forma uma manta de lodo com elevada concentração de microrganismos anaeróbios, os quais são responsáveis pela digestão da matéria orgânica, estabilizando-a. O lodo age como meio filtrante, ao mesmo tempo em que provê o substrato para os microrganismos anaeróbios responsáveis pelo processo. O líquido é coletado junto à superfície



do reator através de tubulações horizontais perfuradas que se reúnem e conduzem o efluente ao reator aeróbio, filtro biológico aerado submerso.

O biogás produzido no processo anaeróbio é direcionado pelos defletores e campânulas ao topo do reator, sendo conduzidos via tubulação ao tratamento no tanque de tratamento de gás anexo ao reator anaeróbio, para posterior liberação na atmosfera, uma vez que o volume produzido não é representativo.

O lodo em excesso, uma vez sendo retirado do processo através de tubulações próprias para descarte (presentes no reator anaeróbio), deverá ser descartado para o leito de secagem e posterior destino sanitário seguro. O líquido drenado no leito de secagem, quando houver, deverá ser reconduzido à entrada do sistema de tratamento. No reator anaeróbio também existem tubulações de coleta de lodo situadas em diversos níveis no interior do reator, para fins de monitoramento das características das camadas de lodo (manta e leito de lodo) geradas no processo. Bem como há tubulação de descarte de areia acumulada no interior do reator anaeróbio, que não é retida na caixa de areia. Tal areia será lançada no leito de secagem.

O efluente do reator anaeróbio é conduzido por gravidade até a unidade que promoverá o tratamento complementar: Biofiltro Aerado Submerso. O biofiltro provê um tratamento aeróbio (com fase anóxica) ao efluente do reator anaeróbio. O efluente é distribuído no fundo do biofiltro, iniciando sua trajetória ascendente. No interior do filtro, há o meio suporte constituído de peças plásticas corrugadas, cujas funções são: servir de meio suporte para a fixação e desenvolvimento dos microrganismos aeróbios e retenção física dos sólidos suspensos do esgoto. A alta superfície específica e a característica corrugada do material de recheio promovem uma maior fixação dos microrganismos. Na base do biofiltro, estarão os difusores de ar alimentados por um soprador, que fornece o ar necessário ao tratamento. Para manutenção da zona anóxica no FBAS, a entrada de ar será a 1m do fundo do reator.

Com o passar do tempo, a perda de carga no interior do recheio aumenta devido à colmatação do material, sendo necessária a lavagem dele. Para tal, aproveita-se a carga hidráulica disponível acima do leito para que, através de descargas sucessivas de água e ar, o excesso de lodo seja eliminado. O processo de lavagem deve ser realizado nos períodos de menor vazão afluente à ETE, uma vez que é preciso isolar o filtro. O descarte da lavagem deve ser recirculado voltando ao tratamento no reator anaeróbio. No topo do biofiltro, o efluente clarificado é coletado e conduzido à desinfecção no tanque de contato. No tanque, o esgoto clarificado mistura-se à solução de cloro sob o tempo de contato adequado.



8.4 Dimensionamento Das Unidades Do Sistema

Dados Iniciais

Conforme definido e calculado anteriormente, temos:

- a) População de Projeto = **3.490,00 hab.**
- b) Consumo Per capita adotado = **150,00 L/habxdia**
- b) Coeficiente de retorno água / esgoto = 0,80
- c) Vazão média = 4,85 l/s – 17,46 m³/h

$$Q_{\text{média}} = 3.490,00 \times 150,00 \times 0,80 / 86.400,00 = 4,85 \text{ l/s} - 17,46 \text{ m}^3/\text{h} - 419,04 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

$$Q_{\text{máx.hor.}} = 4,85 \times 1,20 \times 1,50 = 8,73 \text{ l/s} - 31,43 \text{ m}^3/\text{h}$$

- d) Vazão de infiltração na rede
Extensão total da rede a ser implantada – 4.056,00 m
Taxa de infiltração adotada – 0,50 l/s x km
Vazão de infiltração - $Q_f = 0,50 \text{ l/sxkm} \times 4.056 \text{ km} = 2,02 \text{ l/s}$

$$\text{Vazão Média a ser considerada} = Q_{\text{Média}} = 4,85 \text{ l/s} + 2,02 \text{ l/s} = 6,87 \text{ l/s} - 24,73 \text{ m}^3/\text{h} - 593,52 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$\text{Vazão Máxima Diária a considerada} = Q_{\text{máx.diária}} = 5,82 + 2,02 = 7,84 \text{ l/s} - 28,22 \text{ m}^3/\text{h} - 677,28 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$\text{Vazão Máxima Horária a considerada} = Q_{\text{máx.hor}} = 8,73 + 2,02 = 10,75 \text{ l/s} - 38,70 \text{ m}^3/\text{h} - 928,80 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Apresentamos a seguir, o dimensionamento do reator a ser adotado no sistema, considerando-se parâmetros pré-estabelecidos, de acordo com as recomendações do Prof. José Roberto Campos da USP-São Carlos e Prof. Cícero Onofre Andrade Neto da UFRN, e de vários projetos implantados.

- Velocidade ascensional: 0,6 a 1,05 m/h
- Tempo de detenção: 5 a 8 h
- Altura útil: 4,20 m



No dimensionamento do reator anaeróbio de manta de lodo, reator UASB ou considerados os seguintes parâmetros de projeto:

- 1.0 População: $P = 3.490,00$ hab
- 2.0 Vazão afluyente média: $Q_{\text{Méd.}} = 593,52$ m³/dia (24,73 m³/h)
- 3.0 Vazão afluyente máxima diária: $Q_{\text{Máx. diár.}} = 677,28$ m³/dia (28,22 m³/h)
- 4.0 Vazão afluyente máxima horária: $Q_{\text{Máx. Hor.}} = 928,80$ m³/dia (38,70 m³/h)
- 5.0 Concentração média de DBO afluyente ao reator RAFA: $S_{o\text{-RAFA-DBO}} = 350,00$ mg/l
- 6.0 Concentração média de DQO afluyente ao reator RAFA $S_{o\text{-RAFA-DQO}} = 600,00$ mg/l
- 7.0 Temperatura média do esgoto: $T = 32,00$ ° C (média do mês mais frio)
- 8.0 Coeficiente de produção de sólidos: $Y = 0,18$ kgSST/kgDQO_{apl} = 0,21 kgDQO_{lodo} /kgDQO_{apl}
- 9.0 Concentração esperada para o lodo de descarte: $C_{\text{lodo}} = 4\%$
- 10.0 Densidade do Lodo: $\gamma = 1.020$ kgSST/m³

Cálculo do Volume do Reator

Cálculo da carga afluyente média de DBO (Lo-DARFA-DBO)

$$(L_{o\text{-RAFA-DQO}}) = S_{o\text{-DARFA-DBO}} \times Q_{\text{méd.}}$$

$$(L_{o\text{-RAFA-DQO}}) = 0,350 \text{ kg/m}^3 \times 593,52 \text{ m}^3/\text{dia} = 207,73 \text{ kgDQO}/\text{dia}$$

Cálculo da carga afluyente média de DQO (Lo-DARFA-DQO)

$$(L_{o\text{-RAFA-DQO}}) = S_{o\text{-DARFA-DQO}} \times Q_{\text{méd.}}$$

$$(L_{o\text{-RAFA-DQO}}) = 0,600 \text{ kg/m}^3 \times 593,52 \text{ m}^3/\text{dia} = 356,11 \text{ kgDQO}/\text{dia}$$

Adoção do tempo de detenção hidráulica (t)

$$t = 7,00 \text{ h}$$

Conforme Quadro 5.14 do livro Reatores anaeróbios do autor Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, volume 5 2ª edição, página 218

Determinação do volume total de reatores (V)

$$V = Q_{\text{méd.}} \times t$$

$$V = 24,73 \times 7$$

$$V = 173,11 \text{ m}^3$$

Número de reatores a serem adotados: 4 unidades

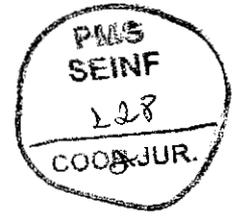
Volume de cada reator:

$$V_r = 173,11 / 4 = 43,27 \text{ m}^3$$

Adoção da altura útil do reator (H)

$$H = 4,20 \text{ m}$$

Determinação da área de cada reator (A_r)



$$A_r = V_r / H = 43,27 / 4,20 = 10,31 \text{ m}^2$$

Adotaremos 4 (quatro) reatores circulares com diâmetro de 3,65 m, altura útil de 4,20 m altura total 4,50 m.

Verificação da área, do volume e do tempo de detenção hidráulica corrigidos.

Área total corrigida: $A_t = 3,1416 \times 3,65^2 / 4 \times 4 = 41,85 \text{ m}^2$

Volume total corrigido: $V_t = A_t \times H = 41,85 \times 4,20 = 175,77 \text{ m}^3$

Tempo de detenção hidráulica corrigido: $t = V_t / Q_{\text{Média}} = 175,77 / 24,73 = 7,11 \text{ h}$

Verificação das cargas aplicadas

Carga hidráulica volumétrica: $CHV = Q_{\text{média}} / V = (593,52 \text{ m}^3/\text{dia}) / 175,77 \text{ m}^3 = 3,38 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$

Carga orgânica volumétrica: $C_v = (Q_{\text{méd}} \times S_{o-\text{RAFA-DQO}}) / V_t = (593,52 \times 0,600 \text{ kgDQO}/\text{m}^3) / 175,77 \text{ m}^3 = 2,03 \text{ kgDQO}/\text{m}^3 \times \text{dia}$.

Verificação das velocidades superficiais, para vazão média e vazão máxima diária e máxima horária

Para vazão média: $v = Q_{\text{Média}} / A_t = 24,73 \text{ m}^3/\text{h} / 41,85 \text{ m}^2 = 0,59 \text{ m/h}$ (0,50 a 0,70 m/h)

Para vazão máxima diária $v = Q_{\text{máx. Diá.}} / A_t = 28,22 \text{ m}^3/\text{h} / 41,85 \text{ m}^2 = 0,67 \text{ m/h}$ ($\leq 1,10 \text{ m/h}$)

Para vazão máxima hor. $v = Q_{\text{máx. Hor.}} / A_t = 38,70 \text{ m}^3/\text{h} / 41,85 \text{ m}^2 = 0,92 \text{ m/h}$. ($\leq 1,50 \text{ m/h}$)

Observa-se que as velocidades atendem à norma para cada caso

Sistema de distribuição do esgoto afluente

Adotando-se uma área de influência de $2,00 \text{ m}^2$, por tubo de distribuição, então o número de tubos pode ser calculado por meio da equação a seguir:

$N_d = A_t / A_d$, onde

N_d = número de tubos distribuidores,

A_t = Área total dos reatores (m^2)

A_d = Área de influência de cada distribuidor (m^2)

$N_d = 41,85 \text{ m}^2 / 2,00 \text{ m}^2 = 20,93$, adotaremos então 24 distribuidores nos 4 reatores

Assim cada reator contará com 6 tubos distribuidores de 100 mm cada

Área de influência corrigida

$A_d = 41,85 \text{ m}^2 / 24,00 = 1,74 \text{ m}^2/\text{distribuidor}$ (atendendo, portanto, a norma)

Estimativa da eficiência de remoção de DQO do sistema, de acordo com a equação:

$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0,68 \times t^{-0,35}) = 100 \times (1 - 0,68 \times 7^{-0,35}) = 65,59 \%$

Estimativa da eficiência de remoção de DBO do sistema, de acordo com a equação:

$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0,70 \times t^{-0,50}) = 100 \times (1 - 0,70 \times 7^{-0,50}) = 73,54\%$

Estimativa das concentrações de DQO e DBO no efluente do Reator UASB de acordo com



a fórmula

$$S = S_0 - (E \times S_0),$$

Onde,

S = concentração final mgDQO/DBO/L

S₀ = concentração inicial mgDQO/DBO/L

E = eficiência na remoção de DBO e DQO

$$S_{\text{DARFA-DBO}} = 350 - (0,7354 \times 350) = 92,61 \text{ mgDBO/L}$$

$$S_{\text{DARFA-DQO}} = 600 - (0,6559 \times 600) = 206,46 \text{ mgDQO/L}$$

Avaliação da produção de metano no reator

A produção teórica de metano no sistema de tratamento pode ser estimada a partir das equações

$DQO_{\text{CH}_4} = Q_{\text{Méd.}} \times (S - S_0) - Y_{\text{obs}} \times Q_{\text{Méd.}} \times S_0$, onde

DQO_{CH₄}: carga de DQO convertida em metano(kgDQO_{CH₄}/d);

Q_{Méd.}: vazão média do esgoto afluente(m³/d);593,52

S₀: concentração de DQO afluente (kgDQO/m³);600,00

S; concentração de DQO efluente (kgDQO/m³);206,46

Y_{obs}: coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23

kgDQO_{lodo}/kgDQO_{apl}). 0,21

$$DQO_{\text{CH}_4} = 593,52 \times (600,00 - 206,46) - (0,21 \times 593,52 \times 600,00)$$

$$DQO_{\text{CH}_4} = 158,81 \text{ kgDQO/d}$$

Conversão da massa de metano (kgDQO_{CH₄}/d) em produção volumétrica (m³CH₄/d)

$Q_{\text{CH}_4} = DQO_{\text{CH}_4} / f(T)$, onde

Q_{CH₄}: produção volumétrica de metano (m³/d)

f(T): fator de correção para a temperatura operacional do reator (kgDBO/m³)

$f(T) = P \times K_{\text{DQO}} / R \times (273 + T)$, onde:

P: pressão atmosférica (1atm)

K_{DQO}: DQO correspondente a 1 (um) mol de CH₄ (64gDQO/mol)

R: constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K)

T: temperatura operacional do reator(°C)

$$f(T) = (1 \text{ atm} \times 64 \text{ gDQO/mol}) / (0,08206 \text{ atm.L/mol.K} \times (273 + 32^\circ\text{C}))$$

$$f(T) = 2,56 \text{ kgDQO/m}^3$$

$$Q_{\text{CH}_4} = 158,81 \text{ kgDQO/d} / 2,56 \text{ kgDQO/m}^3$$

$$Q_{\text{CH}_4} = 62,04 \text{ m}^3/\text{d}$$

Avaliação da produção de biogás

A avaliação da produção de biogás será dada pela fórmula a seguir;

$Q_{\text{biogás}} = Q_{\text{CH}_4} / C_{\text{CH}_4}$, onde:

Q_{biogás}: produção volumétrica de biogás(m³/d);

Q_{CH₄}: produção volumétrica de metano (m³/d) = 62,04

C_{CH₄}: concentração de metano no biogás, usualmente da ordem de 70% a 80%

$$Q_{\text{biogás}} = 62,04 \text{ m}^3/\text{d} / 0,75$$

$$Q_{\text{biogás}} = 82,72 \text{ m}^3/\text{d}$$



Dimensionamento da abertura (passagem) para o decantador

Adotaremos para a abertura da passagem do decantador, 0,30 m junto a parede do reator

Logo a área de abertura será:

$$A_{ab} = 3,1415/4 \times (3,65^2 - 2,98^2) \times 4 \text{ reatores} = 13,95 \text{ m}^2$$

Verificação das velocidades através das aberturas.

Para vazão média $Q_{Méd}$: $v_{ab} = 24,73 \text{ m}^3/\text{h}/13,95 \text{ m}^2 = 1,77 \text{ m/h}$

Para vazão máxima diária $Q_{Máx. \text{diar.}}$: $v_{ab} = 28,22 \text{ m}^3/\text{h}/13,95 \text{ m}^2 = 2,02 \text{ m/h}$

Para vazão máxima horária $Q_{Máx. \text{Hor.}}$: $v_{ab} = 38,70 \text{ m}^3/\text{h}/13,95 \text{ m}^2 = 2,77 \text{ m/h}$

Observa-se que todas as velocidades atendem ao quadro 5.19 da página 233 do Livro Reatores anaeróbios, de Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, 2ª edição volume 5

Determinação da área superficial do compartimento de decantação

$$A_{t \text{ dec.}} = 3,1416/4 \times (3,65^2 - 0,30^2) \times 4 = 41,57 \text{ m}^2$$

Verificação das taxas de aplicação superficial nos decantador

Para vazão média $Q_{Méd}$: $q_{s-\text{dec}} = 24,73 \text{ m}^3/\text{h}/41,57 \text{ m}^2 = 0,59 \text{ m/h}$

Para vazão máxima diária $Q_{Máx. \text{diar.}}$: $q_{s-\text{dec}} = 28,22 \text{ m}^3/\text{h}/41,57 \text{ m}^2 = 0,68 \text{ m/h}$

Para vazão máxima horária $Q_{Máx. \text{Hor.}}$: $q_{s-\text{dec}} = 38,70 \text{ m}^3/\text{h}/41,57 \text{ m}^2 = 0,93 \text{ m/h}$

Observa-se que todas as velocidades atendem ao quadro 5.18 da página 233 do Livro Reatores anaeróbios, de Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, 2ª edição volume 5

Determinação do volume do compartimento de decantação

$$V_{\text{dec.}} = \{[(3,1416/4 \times (3,65^2 - 0,30^2) \times 0,40)] + [3,1416/4 \times 3,65^2 \times 1,60 - (3,1416 \times 1,60 / 12 \times$$

$$(2,98^2 + 2,98 \times 0,30 + 0,30^2)]\} \times 4$$

$$V_{\text{dec.}} = [4,157 + 16,72 - (4,13)] \times 4$$

$$V_{\text{dec.}} = [16,747] \times 4$$

$$V_{\text{dec.}} = 66,988 \text{ m}^3$$

Verificação dos tempos de detenção hidráulica nos decantadores

Para vazão média $Q_{Méd}$: $t_{\text{dec.}} = 66,988 \text{ m}^3/24,73 \text{ m}^3/\text{h} = 2,71 \text{ h}$

Para vazão máxima diária $Q_{Máx. \text{diar.}}$: $t_{\text{dec.}} = 66,988 \text{ m}^3/28,22 \text{ m}^3/\text{h} = 2,37 \text{ h}$

Para vazão máxima horária $Q_{Máx. \text{Hor.}}$: $t_{\text{dec.}} = 66,988 \text{ m}^3/38,70 \text{ m}^3/\text{h} = 1,73 \text{ h}$

Observa-se que todas as velocidades atendem ao quadro 5.18 da página 233 do Livro Reatores anaeróbios, de Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, 2ª edição volume 5

Avaliação da produção de lodo no reator

A produção de lodo de lodo no sistema de tratamento será dada pela fórmula a seguir:

$$P_{\text{lodo}} = Y \times L_0 - \text{RAFA-DQO} = 0,18 \text{ kgSST/kgDQO}_{\text{apl}} \times (593,52 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0,60 \text{ kg/m}^3) =$$



$$P_{\text{lodo}} = 64,10 \text{ kgSST/d}$$

Volume de Lodo produzido por dia

$$V_{\text{lodo}} = P_{\text{lodo}} / (y \times C_{\text{lodo}}),$$

$$V_{\text{lodo}} = 64,10 \text{ kgSST/d} / (1020 \text{ kg/m}^3 \times 0,045)$$

$$V_{\text{lodo}} = 1,40 \text{ m}^3/\text{d}$$

Dimensionamento do leito de secagem

Massa de lodo retirada dos reatores, por ciclo de operação dos leitos:

Ciclo de operação dos leitos: $t_c = 15$ dias

$$M_c = P_{\text{lodo}} \times t_c$$

$$M_c = 64,10 \times 15 = 961,50 \text{ kgSST}$$

Volume de lodo retirado dos reatores, por ciclo de operação dos leitos

$$V_c = V_{\text{lodo}} \times t_c$$

$$V_c = 1,40 \text{ m}^3/\text{d} \times 15 \text{ d}$$

$$V_c = 21,00 \text{ m}^3$$

Taxa de aplicação de sólidos nos leitos:

$$T_{\text{leito}} = 10 \text{ kgSST/m}^2 \text{ (adotada)}$$

Área necessária de leitos de secagem:

$$A_{\text{leito}} = M_c / T_{\text{leito}}$$

$$A_{\text{leito}} = 961,50 \text{ kgSST} / 10,00 \text{ kgSST/m}^2$$

$$A_{\text{leito}} = 96,15 \text{ m}^2$$

Geometria das células: 3 células de (4,05m x 8,00 m)

Altura da lâmina de lodo, após a carga nos leitos

$$H_{\text{lodo}} = V_c / A_{\text{leito}}$$

$$H_{\text{lodo}} = 21,00 \text{ m}^3 / 97,20 \text{ m}^2$$

$$H_{\text{lodo}} = 0,22 \text{ m}$$

Alguns indicadores "per capita" resultantes do dimensionamento

Polimento - Filtro Biológico Aerado Submerso - FBAS

a) Dados

- Vazão afluyente média = $24,73 \text{ m}^3/\text{h} = 593,52 \text{ m}^3/\text{dia}$

- Concentração média de DBO afluyente ao reator DARFA, em termos de DBO: Coa-DARFA = 350 mg DBO/L



- Concentração média de DQO afluente ao reator DARFA, em termos de DBO: Coa-DARFA = 600 mg DQO/L.
- Carga orgânica afluente ao reator DBO DARFA = COa-DARFA = 207,73 Kg DBO/dia
- Carga orgânica afluente ao reator DQO DARFA = COa-DARFA = 351,11 Kg DQO/dia
- Eficiência de remoção de DBO esperada para o tratamento primário = 50,00%
- Eficiência de remoção de DBO esperada para o tratamento primário = 50,00%
- Carga orgânica efluente do reator DARFA = COe-DARFA = 103,87 Kg DBO/dia
- Carga orgânica efluente do reator DARFA = COe-DARFA = 192,89 Kg DQO/dia
- Carga orgânica volumétrica = COV = 2,00 a 4,00 kg DBO/m³. dia (Adotar 2,00 kg DBO/ m³. dia)
- Altura do meio filtrante = h = 1,60 m
- Taxa de aeração = 25 a 40 m³/Kg DBOremovida
- Taxa de escoamento superficial = Tx. Esc. Sup. <= 24 m³/m² x dia
- Y = Coeficiente de sólidos no sistema (kgSST/KgDQOaplicada) = 0,18

Cálculo do Volume do Biofiltro

Área do Meio Suporte

$$A_{Msup.} = L_0 / TAMS$$

Onde:

A_{Msup.} = área do meio suporte (m²);

L₀ = carga afluente de DQO (kgDQO/d); = 192.890,00 gDQO/dia

TAMS = taxa de aplicação do meio suporte, adotada em 7,00 gDQO/d.m².

$$A_{MS} = 192.890,00 / 7,00 = 27.555,71 \text{ m}^2$$

Volume do Meio Suporte

$$V_{MS} = A_{MS} / AEMS = 27.555,71 / 365,00 = 75,50 \text{ m}^3$$

Onde:

V_{MS} = volume do meio suporte (m³);

A_{MS} = área do meio suporte (m²); = 27.555,71 m²

AEMS = área específica do meio suporte, adotada em 365,00 m³/m²

Volume do filtro



$$V = V_{MS} / FE = 75,70 / 0,90 = 83,89 \text{ m}^3$$

Adotaremos 4 filtros com 2,60 m de diâmetro cada um e 4,00 m metros de altura útil e 4,30 de altura total.

Onde:

V = Volume total do FBAS (m³);

V_{MS} = volume do meio suporte (m³);

FE = fator de empacotamento, adotado em 0,90

Demanda de Oxigênio

$$D_{O_2} = T_a \times L_o$$

Onde:

D_{O₂} = Demanda de oxigênio

T_a = Taxa de aeração adotada = 3,30 kgO₂/ kg DBO

L_o = Carga de DBO em (kgDBO x dia) = 103,87 kgDBO/d

$$D_{O_2} = 3,30 \times 103,87$$

$$D_{O_2} = 342,77 \text{ kg O}_2 / \text{dia} - 14,28 \text{ kg/h}$$

Soprador de Ar

a) Vazão de ar

$$Q_{ar} = DO_2 / FT \times J \times T \times E = 14,28 / (0,50 \times 1,20 \times 0,21 \times 0,20) = 566,67 \text{ m}^3/\text{h} = 9,45 \text{ m}^3/\text{min}$$

Onde:

Q_{ar} = vazão de ar no sistema (m³/h);

DO₂ = demanda de oxigênio (m³/h); 14,28

n = número de sopradores operando (adotado) 1,00

FT = fator de trabalho, adotado em: 0,50

J = densidade do ar = 1,20 Kg/m³

T = percentual de oxigênio no ar, adotado em: 21,00 %

E = eficiência do sistema de aeração, adotada em: 20,00 %

DECANTADOR SECUNDÁRIO (LAMELAR)

PLACAS

As placas do decantador devem ter as seguintes características

Largura da placa adotada (a) 120,00 cm

Comprimento (l) 148,00 cm

Espessura (b) 1,00 cm

Espaçamento entre placas (e) 10,00 cm

Inclinação com a horizontal (q) 60,00°

Comprimento Relativo

A distância entre as placas normal ao fluxo (d) é dada por:

$$d = e \times \text{sen}\theta = 10,00 \times \text{sen}60^\circ = 8,70 \text{ cm}$$

O comprimento útil do elemento tubular (L_u) é calculado pela seguinte equação:

$$L_u = 0,9 \times (l - e \cos\theta) = 128,7 \text{ cm}$$

O comprimento relativo é dado por:

$$L = L_u / d = 128,7 / 8,70 = 14,79 \text{ cm}$$

Onde:

L = comprimento relativo;

L_u = comprimento útil do elemento (cm)

d = distância entre as placas, normal ao fluxo (cm);

e = espessura da placa

Inclinação com a horizontal (q)

Área Superficial Útil

A área superficial útil (A) é assim calculada:

$$A = Q_{\text{máx}} / (F \times V_s) = 5,60 \text{ m}^2$$

$$A = 0,01075 / (7,16 \times 0,000208) = 7,22 \text{ m}^2$$

Onde:

$Q_{\text{máx.Hor}}$ = vazão máxima afluyente = 0,01075 m³/s

F = fator de forma = $\text{sen}q (\text{sen}q + L \cdot \text{cos}q) = 7,16$

V_s = velocidade de sedimentação (adotada) 1,25 cm/min

V_s = velocidade de sedimentação = 0,000208 m/s

A área superficial útil unitária (A_u), correspondente a cada módulo, é dada por:

$$A_u = 7,22 / 4 = 1,81 \text{ m}^2$$

$$N = 4,0$$

Onde:

N = número de módulos (adotado)





Adotar um tanque com diâmetro de 1,60 m e altura de 2,00 m

Desinfecção (Cloração)

Tanque de Contato

- Vazão média ($Q_{méd}$) = 24,73 m³/h – 6,87 l/s
- Tempo de contato (T_c) = 30 min
- Volume (V_{tc}) = $Q_{méd} \times T_c / 60 = 24,73 \times 30 / 60 = 12,37 \text{ m}^3$

Verificação do T_c = Tempo de contato

$$T_c = V / Q$$

$$T_c = 12,37 / 24,73 = 0,5002 \text{ h} \times 60 \text{ min} = 30,01 \text{ min.}$$

Adotaremos um do tanque de contato com volume útil de 12,50 m³, diâmetro de 2500 mm e altura útil de 2550 mm e total 3000 mm.

Kit de Preparação de Solução e Dosagem

Considerações Gerais

- Kit será determinado para um funcionamento de 24 horas de operação da ETE, o qual servirá para preparar a solução e dosar;
- Equipamento será calculado considerando-se uma dosagem média do produto químico, a ser ajustada quando da operação da ETE.

Dados de Projeto

Vazão média do sistema (Q) = 6,87 L/s

Dosagem (D) = hipoclorito (10 mg/l)

Concentração da solução (C) = 10%

4.6.2.3 Cálculos

Vazão de Dosagem – q (L/h):

$$q = Q \times D \times 0,36 / C$$

$$q = 6,87 \times 10 \times 0,36 / 10$$

$$q = 2,47 \text{ l/h} - \text{adotar } q = 2,5 \text{ l/h}$$

Volume da Solução para 24 h – V_{SOL} . (litros)

$$V_{SOL} = q \times 24 = 2,50 \times 24 = 60,00 \text{ litros} - \text{Volume mínimo do tanque dosador.}$$



Adotaremos 02 kits dosador com 30 litros cada.

Serão construídos em PRFV dois tanques dosadores cada um com 30 litros cada (Diâmetro 0,30 m e altura útil $H = 0,50$ m e altura total de 0,60), acoplados aos tanques serão montados dois misturadores do tipo submerso rápido com eixo em aço inoxidável, rotor de fibra, acabamento com pintura epóxi KPDS da A&E, potência 0,25 Cv e 2 (duas) bombas dosadoras modelo KPDS, com vazão de 2,50 l/h e potência de 1,5 bar.

9.0 Especificações Técnicas

9.1 Introdução

As presentes especificações têm por objetivo definir as características e padrões técnicos exigidos assim como prover as instruções, recomendações e diretrizes destinadas à execução de serviços necessários a implantação da Rede Coletora de Esgotamento Sanitário do Distrito Jordão na cidade de Sobral-Ce.

Para efeito dessas Especificações Técnicas define-se:

- **CONTRATANTE:** **PREFEITURA MUNICIPAL DE SOBRAL;**
- **CONTRATADA:** empreiteiro(a), construtor(a) ou empresa de construção contratada para executar os serviços especificados. Nestas especificações, adotar-se-á denominação contratada e, eventualmente, empreiteiro(a);
- **PROJETISTA:** empresa de engenharia de projetos, ou a própria empresa, responsável pela elaboração dos projetos básico ou executivo;
- **FISCALIZAÇÃO:** empresa responsável pela fiscalização da execução dos serviços contratados ou empresa com poderes para exercer esta função;
- **Obra:** conjunto de obras e serviços contratados, incluindo todas as instalações de canteiro, de apoio e de segurança destinados ao perfeito desenvolvimento e conclusão dos trabalhos.

9.2 Disposições Gerais

1. Projeto

As obras obedecerão, rigorosamente, as Normas da ABNT e outras citadas, estas Especificações, os desenhos e detalhes do projeto executivo e os demais elementos que a FISCALIZAÇÃO venha a fornecer.

As discordâncias eventualmente constatadas entre os elementos do projeto serão solucionadas do seguinte modo:



- Quando houver divergências entre as dimensões indicadas nas figuras dos ~~desenhos~~ plantas e as dimensões nas figuras do desenho, medidas em escala, prevalecerão as primeiras;
- Em se tratando de desenhos em escalas diferentes, prevalecerão aqueles de maior escala;
- Em caso de divergência entre os desenhos de datas e revisões diferentes, prevalecerão sempre os mais recentes;
- Em caso de divergência entre as Especificações Técnicas de Serviços e de Materiais e os desenhos do Projeto, prevalecerá a decisão da FISCALIZAÇÃO;
- Em caso de divergência entre as Normas da ABNT e os desenhos do Projeto, prevalecerá a decisão da FISCALIZAÇÃO;
- Quando se tratar de situação não prevista nos casos anteriores, prevalecerão o critério, a orientação e a interpretação da FISCALIZAÇÃO, para cada caso.

A Contratada não poderá executar qualquer serviço que não esteja projetado, especificado e autorizado pela FISCALIZAÇÃO, salvo os de emergência, necessários à estabilidade e segurança da obra ou do pessoal encarregado da mesma.

Todos os aspectos particulares do projeto, os casos omissos e ainda os de obras complementares não considerados no projeto, serão especificados e detalhados pela Fiscalização. A Contratada fica obrigada a executá-los desde que sejam necessários à complementação técnica do projeto.

2. Materiais

Os materiais a serem empregados na execução dos serviços serão novos e submetidos ao exame e aprovação, antes de sua aplicação, por parte da FISCALIZAÇÃO, a quem caberá impugnar seu emprego se não atender as condições exigidas nas presentes especificações.

Os materiais caracterizados pelas suas marcas comerciais, definindo o padrão de qualidade do produto, só serão substituídos por outros que preencham os mesmos padrões, comprovados pela FISCALIZAÇÃO.

Todo material recusado será retirado imediatamente do canteiro de obras após comunicação da FISCALIZAÇÃO de sua não aceitação, correndo todas as despesas por conta da Contratada.

Os padrões de qualidade dos materiais a serem empregados atenderão as especificações da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para os padrões de qualidade e materiais não normatizados pela ABNT serão adotadas as normas emitidas por uma das seguintes entidades:

- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- ACI - American Concrete Institute
- AWS - American Welding Society



- AWWA - American Water Worker Association
- ASA - American Standart Association
- ASTM - American Society for Testing and Materials
- IEEE - Institute of Electrical and Eletronics Engineers
- IPCEA - Insulated Power Cable Engineers Association
- ISO - International Organization for Standardization
- NEMA - National Electrical Manufacturer's Association
- NEC - National Electrical Code (Bureau of Standards)
- NSC - National Safety Code
- Outras normas, quando explicitamente citadas, deverão, também, ser obedecidas.

3. Condições de Segurança

Na execução dos trabalhos, haverá plena proteção contra o risco de acidentes com o pessoal da Contratada e com terceiros, independentemente da transferência deste risco para as companhias ou institutos seguradores.

Para isso, a Contratada cumprirá fielmente o estabelecido na legislação nacional no que concerne à segurança (esta cláusula inclui a higiene do trabalho), bem como obedecer às normas apropriadas e especificadas para a segurança de cada tipo de serviço. A Contratada se obriga a cumprir as Normas de Sinalização e execução de Obras vigentes no local.

No canteiro de trabalho e no canteiro de Obras, ou em outro local escolhido com a anuência da Fiscalização, a Contratada manterá diariamente, durante as 24 (vinte e quatro) horas, um sistema de vigilância adequado.

A Contratada é a única responsável pela segurança, guarda e conservação de todosos materiais, tubulações, equipamentos, ferramentas e utensílios e pela proteção destes e das instalações da obra, como também pela manutenção da ordem dos locaisde trabalho, inclusive as necessárias providências para garanti-la.

Qualquer perda ou dano sofrido, de materiais, tubulações, equipamentos ou instrumentos entregues, por negligência da Contratada, será avaliado pela Fiscalização e cobrado, sem qualquer ônus para a Contratante.

Em caso de acidente no canteiro de trabalho, a Contratada deverá:

- Prestar todo e qualquer socorro imediato à vítima;
- Paralisar, imediatamente, as obras nas suas circunvizinhanças a fim de evitar a possibilidade de mudanças das circunstâncias relacionadas com o acidente;
- Solicitar, imediatamente, o comparecimento da Fiscalização no lugar da ocorrência relatando-lhe o fato.



A Contratada manterá sempre livre o acesso ao equipamento contra incêndio e aos registros no canteiro, a fim de poder combater eficientemente o fogo na eventualidade de incêndio.

Fica expressamente proibida a queima de madeira no local das obras ou no canteiro.

4. Orientação Geral e Fiscalização

Reserva-se à CONTRATANTE o direito de manter nas obras sob a designação da FISCALIZAÇÃO: engenheiros ou empresas convenientemente credenciadas, com autoridade para exercer, em nome da CONTRATANTE, toda e qualquer ação de orientação geral, controle e fiscalização dos serviços e obras contratadas.

Ficará, a CONTRATADA, obrigada a colocar à disposição da FISCALIZAÇÃO os meios necessários e aptos a permitir a medição dos serviços executados, bem como facilitar a meticulosa fiscalização dos materiais e serviços, facultando a esta, o acesso a todas as partes da obra contratada. Obrigar-se-á do mesmo modo a facilitar a vistoria em oficinas, depósitos, armazéns ou dependências, onde se encontram materiais ou equipamentos em preparo, fabricação ou montagem, destinados à construção.

A critério da FISCALIZAÇÃO impugnar-se-á qualquer trabalho executado que não satisfizer às condições contratuais.

Ficará, a CONTRATADA, obrigada a demolir e refazer todos os trabalhos rejeitados pela FISCALIZAÇÃO, logo após o recebimento da Ordem de Serviço correspondente, correndo por sua conta exclusiva as despesas decorrentes das referidas demolições e reconstruções.

Ficará a Contratada obrigada a retirar da obra, imediatamente após o recebimento da comunicação correspondente, qualquer engenheiro, topógrafo, subempreiteiro, encarregado, tarefeiro, operário ou seu subordinado, que, a critério da FISCALIZAÇÃO, venha a demonstrar conduta nociva ou incapacidade técnica.

Todas as Ordens de Serviços ou comunicação da Fiscalização à Contratada, ou vice-versa, serão transmitidas por escrito, e só assim, produzirão seus efeitos, devendo apresentar-se convenientemente numeradas e em duas vias, uma das quais ficará empoder do transmitente depois de visada pelo destinatário, ou registradas em livro de ocorrência da obra. A Contratada não poderá executar serviços que não sejam autorizados pela Fiscalização, salvo os eventuais de emergência.

A existência e a atuação da Fiscalização em nada diminui a responsabilidade única, integral e exclusiva da Contratada no que concerne às obras e suas implicações próximas ou remotas, sempre de conformidade com o Código Civil e demais leis ou regulamentações vigentes.



5. Placas de Identificação

Serão fornecidas e colocadas pela Contratada, em locais indicados pela Fiscalização, placas com dimensões, modelo, dizeres e cores constantes das Normas da Prefeitura de Sobral-Ce ou aquelas que venha a determinar. No canteiro da obra ou próximo a ele só poderão ser colocadas placas ou tabuletas da Contratada ou de eventuais subempreiteiros ou empresas fornecedoras, após prévio consentimento da Fiscalização, principalmente no que se refere à sua localização.

9.3 Convenções e Siglas

Nas presentes especificações as convenções, siglas e abreviaturas estão indicadas no próprio texto.

9.4 Obrigações da Contratada

1. Conhecimento das Obras

Não pode, em hipótese alguma, ser alegado como justificativa ou defesa, por qualquer elemento da Contratada, desconhecimento, incompreensão, dúvidas do contrato, bem como de tudo o mais contido no presente Projeto e nas Normas, Especificações e Métodos da ABNT.

Terá pleno conhecimento de tudo que se relacione com a natureza e localização das obras, suas condições gerais e locais, e tudo mais que possa influir na sua execução, especialmente no que diz respeito a transporte, aquisição/manuseio e armazenamento de materiais; disponibilidade de mão de obra, água e energia; vias de comunidade; instabilidade e variações meteorológicas, conformação e condições do terreno; tipo dos equipamentos necessários; facilidades requeridas antes e durante a execução das obras; e outras informações possíveis que possam interferir na execução, conservação e no custo das obras contratadas.

De modo a facilitar o conhecimento das obras a serem executadas, todos os relatórios que compõem o Projeto Executivo, encontram-se à disposição da Contratada. Entretanto, em nenhum caso será concedido reajuste ou qualquer tipo de ressarcimento que seja alegado pela CONTRATADA, tomando por base o desconhecimento total ou parcial das obras a executar.

2. Administração das Obras

A Contratada designará um engenheiro com experiência comprovada no ramo, devidamente registrado no CREA, para, com plenos poderes decisórios, representá-la perante a CONTRATANTE em todos os assuntos relativos às obras.

Os engenheiros condutores da obra e os encarregados, cada um no seu âmbito respectivo, deverão estar sempre em condições de atender à FISCALIZAÇÃO e prestar-lhe todos os esclarecimentos e informações sobre o andamento dos serviços, a sua programação, as peculiaridades das diversas tarefas e tudo mais que a FISCALIZAÇÃO reputar necessário à obra



e suas implicações.

Sempre que solicitada pela FISCALIZAÇÃO, a CONTRATADA deverá atualizar os seus planos de trabalho e cronogramas, bem como colocar ou reforçar os recursos e equipamentos necessários à recuperação de possíveis atrasos no cumprimento do prazo de entrega da obra.

A Contratada colocará à disposição da FISCALIZAÇÃO, os meios necessários e aptos para permitir a medição dos serviços executados, bem como, a inspeção das instalações de obra, dos materiais e dos equipamentos, independentemente das inspeções de medição para efeito de faturamento, e ainda, independentemente do estado da obra e do canteiro de trabalho.

O quadro do pessoal da Contratada empregado na obra será constituído de profissionais competentes, hábeis e disciplinados, qualquer que seja a sua função, cargo ou atividade. A CONTRATADA é obrigada a afastar imediatamente do serviço e do canteiro de trabalho todo e qualquer funcionário ou empregado julgado pela FISCALIZAÇÃO com conduta inconveniente e que possa prejudicar o bom andamento da obra, a perfeita execução dos serviços e a ordem do canteiro.

A Contratada deverá cumprir rigorosamente a legislação social em vigor no país e responsabilizar-se pelo transporte dos operários ao local das obras.

3. Licenças e Franquias

A CONTRATADA é obrigada a obter todas as licenças, registro no CREA, aprovações, se for o caso, e franquias necessárias aos serviços que contratar, pagando os emolumentos prescritos por lei e observando as leis, regulamentos e posturas à obra e à segurança pública, bem assim atender ao pagamento de seguro de pessoal, despesas decorrentes das leis trabalhistas e impostos, de consumo de água, luz, força, que digam diretamente respeito às obras e serviços contratados. É obrigada, igualmente, ao cumprimento de quaisquer formalidades e ao pagamento, a sua custa, das multas porventura impostas pelas autoridades, mesmo daquelas que, por força dos dispositivos legais, sejam atribuídas à CONTRATANTE.

A observância de leis, regulamentos e posturas a que se refere o item precedente, abrange, também, as exigências do CREA, especialmente no que se refere à colocação de placas contendo o nome do responsável técnico pela execução das obras, do autor ou autores dos projetos, tendo em vista as exigências do registro da região do citado conselho em que realize a construção.

4. Seguros e Acidentes

Correrá por conta exclusiva da CONTRATADA a responsabilidade de quaisquer acidentes no trabalho de execução das obras e serviços contratados. Uso indevido de patentes registradas, e ainda que resulte de caso fortuito e por qualquer causa, a destruição ou danificação da obra em construção até a definitiva aceitação da mesma pelo proprietário, bem como as indenizações que



possam vir a ser devidas a terceiros por fatos oriundos dos serviços contratados, ainda que ocorridos na via pública.

9.5 Subempreitada

A CONTRATADA não subempreitará as obras e serviços contratados no seu todo, podendo, contudo, fazê-lo parcialmente para cada serviço, mantida, porém, a sua responsabilidade direta, caso seja autorizada pela CONTRATANTE.

9.6 Serviços Extra-Orçamentários

Todo e qualquer serviço não orçado independente de sua natureza, que não esteja previsto nos quantitativos e especificações da obra, mas que poderá surgir no andamento da mesma e seja necessário ao seu bom desempenho (técnico e econômico-financeiro), será analisado pela Fiscalização que providenciará o projeto com detalhes, especificações e quantitativos.

Compreende-se como fazendo parte dos serviços extra-orçamentários a solução de todas as interferências ocorridas como obstáculos ao prosseguimento da execução da obra, não previsto a priori no projeto.

9.7 Serviços Não Medidos

Além daqueles especificamente citados no texto dos diversos capítulos que compõem este volume, os custos dos serviços relacionados a seguir serão considerados e distribuídos nos preços unitários e taxas apresentadas para a execução das diversas etapas das obras e não serão medidos e tampouco, pagos separadamente. Para tal, a Contratada deverá inspecionar o local, a fim de melhor quantificar a participação de cada item nos custos da obra:

- Desmatamento, autorizado pela autoridade ambiental, da área de instalação do canteiro de obras e remoção de todo o material, para locais convenientes, inclusive estocagem do solo vegetal para futuro emprego em áreas a serem reflorestadas;
- Montagem e desmontagem de andaimes e escoramentos auxiliares, construção de acesso, passagens e pontes provisórias ou de emergência e outros serviços ou obras de caráter transitório, não relacionados no Projeto e/ou nas Especificações;
- Dimensionamento de estruturas provisórias para construção das obras;
- Locação de áreas para construção das obras;
- Proteção dos materiais de construção e materiais auxiliares, em estoque contra roubo, fogo, chuva e intempéries; obediência às prescrições brasileiras nos depósitos de explosivo, gasolina, óleo, ligantes betuminosos e outros inflamáveis, provimento de segurança geral à obra;
- Orientação do tráfego durante o período de construção, inclusive, iluminação e posicionamento dos guardas de trânsito, quando necessário; destruição das vias e restabelecimento do estado original, quando indicado pela Fiscalização.



- Relocação e nivelamento do eixo do projeto, marcação de off-set e todos os serviços topográficos necessários ao controle geométrico das diversas etapas de trabalho;
- Todos os serviços de drenagem necessários à retirada da água superficial nas áreas de construção, bem como a manutenção dos taludes de cortes e/ou de aterros;
- Todos os testes de materiais julgados necessários e exigidos pela FISCALIZAÇÃO, inclusive ensaios de campo e de laboratório;
- Aluguel ou aquisição de áreas destinadas a jazidas e/ou pedreiras, indicadas ou não no Projeto, e que, por conveniência da CONTRATADA, e com aprovação da FISCALIZAÇÃO, venham a ser utilizadas, em qualquer das fases de construção das obras e/ou para construção e/ou conservação de desvios e/ou caminhos de serviços;
- Fornecimento e colocação de placas indicadoras das obras.

9.8 Composição dos Preços dos Serviços

Salvo menção em contrário, devidamente na regulamentação de preços, todos os preços, unitários ou globais, incluem em sua composição os custos, de inteira responsabilidade da CONTRATADA, relativos a:

- Materiais: fornecimento, carga, transporte, descarga, estocagem, manuseio e guarda de todos os materiais necessários a execução dos serviços;
- No caso excepcional de qualquer material vir a ser fornecido pela CONTRATANTE, esta condição será explicitada;
- Mão de obra: seu transporte, alojamento, alimentação, assistência médica social, equipamentos de proteção, tais como luvas, capas, botas, capacetes, máscaras e quaisquer outros necessários à segurança pessoal;
- Veículos e equipamentos: operação e manutenção de veículos e equipamentos de sua propriedade ou não, necessários a execução da obra;
- Operação e manutenção das ferramentas, aparelhos e instrumentos de sua propriedade ou não, necessários a execução da obra;
- Materiais de consumo, combustíveis, graxas, lubrificantes e materiais de uso geral;
- Ônus diretos e indiretos, encargos sociais e administrativos, impostos, taxas, amortizações, seguros, juros, lucros e riscos, horas improdutivas de mão de obra e equipamentos e quaisquer outros encargos relativos a BDI - Benefícios e Despesas Indiretas;
- Considera-se incluído no preço de assentamento dos tubos, o assentamento de conexões e também o de peças especiais e aparelhos, inclusive testes hidrostáticos e transporte;
- Para efeito de medição, considera-se como comprimento real da tubulação assentada, a extensão total incluindo tubulação, conexões, peças especiais e aparelhos.

9.9 Rede de Coletora

9.9.1 Execução do Sistema Coletor de Esgotos