

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DE CÁLCULO DA ETA ABERTA PRÉ-FABRICADA P/Q=100 m³/h (27,78 l/s)

1 - UNIDADE DE MISTURA RÁPIDA

O gradiente de velocidade para mistura deverá estar compreendido entre 700 e 1100 s⁻¹ (NBR-12216).

Na ETA pré-fabricada de capacidade nominal de 100 m³/h, será utilizada um misturador Parshall de W=6".

O gradiente de velocidade no misturador Parshall é obtido pela expressão:

$$G_m = (1000 \cdot Q^{0,7}) / W^{1,2}, \text{ onde}$$

$G_m = ?$, o gradiente de velocidade, em s⁻¹;

$Q = 100 \text{ m}^3/\text{h} = 0,02778 \text{ m}^3/\text{s}$, a vazão de projeto da ETA;

$W = 0,152 \text{ m}$, a largura mínima da calha Parshall, por definição.

$$G_m = \boxed{780,55} \text{ s}^{-1}; 700 < G_m < 1100 \text{ s}^{-1}, \text{ atendendo, portanto, ao requisito da NBR-12216.}$$

A perda de carga localizada no misturador é dada pela expressão:

$$H = (0,454 \cdot Q / W)^{2/3} \boxed{0,19} \text{ m}$$

2 - UNIDADE DE FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA

O período de detenção no floculador hidráulico deve ser superior a 20 minutos (NB-12216).

O gradiente de velocidade (G_f) deverá estar compreendido entre um máximo de 70 s⁻¹ e um mínimo de 10 s⁻¹, entre o 1º e o último compartimento do floculador hidráulico.

Por definição do projeto:

O floculador hidráulico da ETA pré-fabricada de 100 m³/h será composto de quatro compartimentos verticais, cada qual com diâmetro útil (D) de 2,00 m e altura útil média (H) de 2,85 m. Cada compartimento possuirá quatro bandejas horizontais, igualmente espaçadas na altura do compartimento, providas de orifícios individualmente dimensionados para fornecer os gradientes de velocidade indicados pela norma. Os gradientes serão decrescentes no sentido do fluxo, variando de um máximo de ~70 s⁻¹ na primeira bandeja, até um mínimo de ~10 s⁻¹ na última bandeja. As passagens de tubulações entre os compartimentos terão gradiente igual ou menor ao da bandeja anterior.

O volume útil total do floculador será:

$$V = 4 \cdot (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot H$$

$$V = \boxed{35,814} \text{ m}^3$$

O período de detenção no floculador será:

$$P_{df} = V / (Q \cdot 60)$$

$$P_{df} = \boxed{21,487} \text{ min} > 20 \text{ min}, \text{ atendendo, portanto, ao requisito da NBR-12216.}$$

As bandejas do floculador terão um número fixo de orifícios (N), um espaçamento fixo entre os orifícios (X) e um diâmetro variável (D), conforme o gradiente de velocidade indicado para o trecho:

Cálculo dos Orifícios das Bandejas do Floculador Hidráulico (Gradientes e Perdas Localizadas)										
Bandeja	Q (m3/s)	N	D (m)	Su (m2)	St (m2)	U (m/s)	X (m)	G1 (s-1)	H (m)	Compart.
1	0,02778	42	0,0444	0,001548	0,065029	0,427196	0,25	68,68	0,025	1
2	0,02778	42	0,0444	0,001548	0,065029	0,427196	0,25	68,68	0,025	1
3	0,02778	42	0,0444	0,001548	0,065029	0,427196	0,25	68,68	0,025	1
4	0,02778	42	0,0444	0,001548	0,065029	0,427196	0,25	68,68	0,025	1
5	0,02778	42	0,0508	0,002027	0,085127	0,326337	0,25	52,47	0,015	2
6	0,02778	42	0,0508	0,002027	0,085127	0,326337	0,25	52,47	0,015	2
7	0,02778	42	0,0508	0,002027	0,085127	0,326337	0,25	52,47	0,015	2
8	0,02778	42	0,0508	0,002027	0,085127	0,326337	0,25	52,47	0,015	2
9	0,02778	42	0,0635	0,003167	0,133011	0,208855	0,25	33,58	0,006	3
10	0,02778	42	0,0635	0,003167	0,133011	0,208855	0,25	33,58	0,006	3
11	0,02778	42	0,0635	0,003167	0,133011	0,208855	0,25	33,58	0,006	3
12	0,02778	42	0,0635	0,003167	0,133011	0,208855	0,25	33,58	0,006	3
13	0,02778	42	0,0889	0,006207	0,260701	0,106559	0,25	17,13	0,002	4
14	0,02778	42	0,0889	0,006207	0,260701	0,106559	0,25	17,13	0,002	4
15	0,02778	42	0,0889	0,006207	0,260701	0,106559	0,25	17,13	0,002	4
16	0,02778	42	0,0889	0,006207	0,260701	0,106559	0,25	17,13	0,002	4
Perda de carga total nas bandejas do floculador hidráulico									0,189	

3 - UNIDADE DE DECANTAÇÃO DE ALTA TAXA

A velocidade de sedimentação (Vs) deverá ser igual ou inferior a 1,74 cm/min (25 m3/m2.d).

A velocidade longitudinal (Vo) deverá ser igual ou inferior a 0,35 m/s.

A relação de comprimento/distância entre elementos (L=l/d) dos perfis de decantação deverá ser maior que 12.

Por definição do projeto:

O decantador da ETA pré-fabricada de 100 m3/h será composto de perfis tubulares de decantação com 0,10x0,05x1,20m e instaladas em ângulo de 60° com a horizontal, cobrindo toda a seção horizontal do decantador.

O decantador compreenderá dois módulos de 50 m3/h, cada qual composto, de cima para baixo, de uma seção reta de coleta, de uma seção inclinada onde serão fixados perfis tubulares de decantação, de uma outra seção reta de distribuição de água floculada e de uma última seção piramidal, onde será feita a concentração e a descarga do lodo acumulado (incl.> 50°). A seção horizontal útil do decantador será de S= 8,00 m2 (4,00 x 2,00 m). A relação entre o comprimento e espaçamento das placas (l/d) é igual a 25. A verificação do parâmetro hidráulico de velocidade de sedimentação (Vs) indicado pela NBR-12216 é feita a partir das expressões abaixo:

$$V_o = \frac{Q}{(S \cdot \text{sen} \theta)}$$

$$V_o = \frac{0,002}{\text{m/s}} = 0,200 \text{ cm/s} < 0,35 \text{ cm/s, atendendo, portanto, a este requisito da norma.}$$

$$L_1 = d \cdot (S_c \cdot V_o - V_s \cdot \text{sen} \theta) / (V_s \cdot \cos \theta) \quad (\text{comprimento de escoamento laminar}).$$

$$L_2 = 0,058 \cdot V_o \cdot d^2 / n \quad (\text{comprimento de transição de escoamento turbulento para escoamento laminar}).$$

Onde:

$$L = L_1 + L_2 = 1,20 \quad (\text{comprimento longitudinal do perfil, m})$$

$$d = 0,05 \quad (\text{distância entre paredes inclinadas paralelas, m})$$

$$S_c = 1,37 \quad (\text{coeficiente de eficiência do perfil retangular})$$

$$V_o = 0,002005 \quad (\text{velocidade longitudinal de escoamento no perfil, m/s})$$

$$V_s = ? \quad (\text{velocidade crítica de sedimentação, m/s})$$

$$\theta = 60 \quad (\text{inclinação do perfil adotado, em graus})$$

$$n = 1,007 \text{E-}06 \quad (\text{viscosidade cinemática da água a 20 °C, m}^2/\text{s})$$

$$\text{Se } L = 1,20 = L_1 + L_2:$$

$$L = [d \cdot (S_c \cdot V_o - V_s \cdot \text{sen} \theta) / (V_s \cdot \cos \theta)] + (0,058 \cdot V_o \cdot d^2 / n), \text{ de onde,}$$

$$V_s = (n \cdot d \cdot S_c \cdot V_o) / (n \cdot L \cdot \cos \theta + n \cdot d \cdot \text{sen} \theta - 0,058 \cdot V_o \cdot d^2 \cdot \cos \theta)$$

Resultando:

$$V_s = 0,000275247 \text{ m/s} = \frac{1,651}{\text{cm/min}} < 1,74 \text{ cm/min, atendendo ao requisito da norma.}$$

4 - UNIDADE DE FILTRAÇÃO RÁPIDA

- . Taxa máxima de filtração de 360 m³/m².d (480 m³/m².d, no momento da lavagem de 1 filtro) para filtros de dupla camada.
- . Camada suporte não inferior a 25 cm de espessura.
- . Camada de areia com espessura mínima de 25 cm, TE=0,40-0,45mm, CU=1,4-1,6.
- . Camada de antracito com espessura mínima de 45 cm, TE=0,80-1,00 mm, CU≤1,4.
- . Velocidade de lavagem mínima (VI) de 0,7 m/min ou a que garanta expansão de 20 a 30% do leito filtrante.
- . Tempo mínimo de lavagem de 10 minutos.

Por definição do projeto:

O filtro rápido da ETA pré-fabricada de 100 m³/h terá seção horizontal (Stf) de 8,04 m², composto de quatro unidades paralelas com seção horizontal de (Suf) 2,01 m² (Æ1,60 m). Os filtros operarão em taxa declinante variável e serão auto-laváveis (o filtro mais sujo da bateria é lavado com o efluente total filtrado pelos três filtros remanescentes). O leito filtrante será composto, de baixo para cima, de camada-suporte de seixos rolados (25,4 a 1,68 mm, em 4 faixas granulométricas, com espessura total de 25 cm), camada de areia (TE=0,40-0,45 mm, CU<1,6 e espessura de 0,20 m) e camada de antracito (TE=0,8-0,9 mm, CU<1,4 e espessura de 0,40 m). A velocidade mínima para lavagem do filtro será de 0,7 m/min. O tempo mínimo de lavagem (TI) será de 8 minutos.

Verificação da taxa média de filtração, com os 4 filtros operando em paralelo:

$$\begin{aligned} T_{f4} &= Q \cdot 86400 / S_f \\ T_{f4} &= 0,02778 \cdot 86400 / 8,04 = \boxed{298,531} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d} < 360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d} , \text{ atendendo ao requisito da norma.} \end{aligned}$$

Verificação da taxa média de filtração, com os 3 filtros operando em paralelo (1 filtro sendo lavado):

$$\begin{aligned} T_{f3} &= Q \cdot 86400 / (S_{tf} - S_{uf}) \\ T_{f3} &= 0,02778 \cdot 86400 / (8,04 - 2,01) = \boxed{398,042} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d} < 480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d} , \text{ atendendo ao requisito da norma.} \end{aligned}$$

Verificação da velocidade de lavagem do filtro (considerando toda a vazão da ETA desviada para tal fim):

$$\begin{aligned} U_{lav} &= Q \cdot 60 \cdot 100 / S_{uf} \\ U_{lav} &= 0,02778 \cdot 60 \cdot 100 / 2,01 = \boxed{82,925} \text{ cm/min} \geq 70 \text{ cm/min} , \text{ atendendo ao requisito da norma.} \end{aligned}$$

Cálculo do volume gasto para lavagem do filtro (VI):

$$\begin{aligned} V_{lav} &= Q \cdot 60 \cdot 8 \\ V_{lav} &= 0,02778 \cdot 60 \cdot 8 = \boxed{13,334} \text{ m}^3 , \text{ para lavagem de um filtro.} \\ V_{lav} \cdot 4 &= \boxed{53,338} \text{ m}^3 , \text{ para a lavagem dos quatro filtros.} \end{aligned}$$