



**MORADA NOVA**  
PREFEITURA



**ANEXO D – ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA  
CIPOADA**



## DIMENSIONAMENTO DA MISTURADOR HIDRÁULICO

### Cálculo do misturador Hidráulico

Parâmetro	Valor	Unidade
Características da água a 25° C		
Massa específica	997,1	Kg/m <sup>3</sup>
viscosidade absoluta	8,94E-04	N.s/m <sup>2</sup>
Viscosidade cinemática	8,87E-07	m <sup>2</sup> /s
Vazão da ETA	5,55	L/s
Velocidade máxima	1,50	m/s
Diâmetro calculado	68,67	mm
Diâmetro recomendado	100,00	mm

com esse diametro diminui a velocidade o que efetiva a eficiencia no gradiente, tendo em vista que toda tubulação é de 100 mm o que facilita a operação

Qs= m<sup>3</sup>/s

Diâmetro recomendado 100 mm ou 0,10 m

#### Velocidade calculada

0,71 m/s

A velocidade com o tubo recomendado não atingio 1,5 m/s restando bastante folga na velocidade o que ajuda na decantação.

Gradiente recomendado:  
Diâmetro do furo adotado:

700 a 1100 s<sup>-1</sup>  
75 mm

Massa específica 997,1 kg/m<sup>3</sup>  
Viscosidade cinemática =8,87\*10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s

Gradiente adotado:

812,64 s<sup>-1</sup>



**DIMENSIONAMENTO DO FLOCULADOR HIDRAULICO**

Vazão	19,99	M <sup>3</sup> /H
Vazão	0,00555	m <sup>3</sup> /s
Gravidade	9,80886	m/s <sup>2</sup>
Peso específico	9782,65	N/m <sup>3</sup>
Viscosidade absoluta	0,001008	N.s/m <sup>3</sup>
Viscosidade cinemática	0,000001	m <sup>2</sup> /s

Para o dimensionamento hidráulico foi definir o número de floculadores necessários para realizar a floculação da água, para a vazão estabelecida.

Dessa forma, adotou-se 1 floculador, resultando em uma vazão individual de 0,00555 m<sup>3</sup>/s

**1) Escolha do tipo de floculador**

Adotou-se um Floculador hidráulico, do tipo de bandejas perfuradas descritos em Vianna (2014).

**3) Escolher quantidade de bandejas a serem perfuradas**

Adotou-se 6 Bandejas

**4) Adotar velocidade nos orifícios em cada bandeja**

Vianna (2014) recomenda que as velocidades da água ao passar pelos orifícios das placas sejam maiores ou iguais a 10 cm/s

Adotou-se	V1	0,6	m/s	cm/s	m/s
	V2	0,6	m/s	1	0,01
	V3	0,4	m/s	70	0,7
	V4	0,4	m/s		
	V5	0,2	m/s		
	V6	0,2	m/s		

**5) Calcular área total dos orifícios em cada bandeja (Ato)**

BANDEJA 01			BANDEJA 02			BANDEJA 03		
Q	0,00555	m <sup>3</sup> /s	Q	0,005552	m <sup>3</sup> /s	Q	0,00555	m <sup>3</sup> /s
V	0,6	m/s	V	0,6	m/s	V	0,4	m/s
Ato1	0,009	m <sup>2</sup>	Ato2	0,009	m <sup>2</sup>	Ato3	0,014	
BANDEJA 04			BANDEJA 05			BANDEJA 06		



Q	0,006	m3/s	Q	0,006	m3/s	Q	0,006	m3/s
V	0,4	m/s	V	0,2	m/s	V	0,2	m/s
Ato4	0,014	m2	Ato5	0,028	m2	Ato6	0,028	m2

**6) Adotar diâmetro dos orifícios (Do)**

Adotou-se 40 mm  
0,04 m

**7) Calcular área individual do orifício (Aind)**

Do 0,04 m  
Aind 0,0013 m2

**8) Calcular número de orifícios por bandeja**

BANDEJA 01			BANDEJA 02			BANDEJA 03		
Ato1	0,009	m2	Ato2	0,009	m2	Ato3	0,014	m2
Aind	0,0013	m2	Aind	0,0013	m2	Aind	0,0013	m2
Nº orifícios	7,36	orifícios	Nº orifícios	7,36	orifícios	Nº orifícios	11,05	orifícios
Nº orifícios	8	orifícios	Nº orifícios	9	orifícios	Nº orifícios	10	orifícios
Nova área	0,010	m2	Nova área	0,011	m2	Nova área	0,013	m2
Nova velocidade	0,55	m/s	Nova velocidade	0,49	m/s	Nova velocidade	0,44	m/s
BANDEJA 04			BANDEJA 05			BANDEJA 06		
Ato4	0,014	m2	Ato5	0,028	m2	Ato6	0,028	m2
Aind	0,0013	m2	Aind	0,0013	m2	Aind	0,0013	m2
Nº orifícios	11,05	orifícios	Nº orifícios	22,09	orifícios	Nº orifícios	22,09	orifícios
Nº orifícios	12	orifícios	Nº orifícios	17	orifícios	Nº orifícios	22	orifícios
Nova área	0,015	m2	Nova área	0,021	m2	Nova área	0,028	m2
Nova velocidade	0,37	m/s	Nova velocidade	0,26	m/s	Nova velocidade	0,20	m/s

**9) N° de Reynolds**

BANDEJA 01			BANDEJA 02			BANDEJA 03		
Do	0,04	m	Do	0,04	m	Do	0,04	m
v1	0,55	m/s	V1	0,49	m/s	V1	0,44	m/s
v	0,000001	m2/s	v	0,000001	m2/s	v	1E-06	m2/s
Re1	22.090		Re2	19.636		Re3	17.672	
BANDEJA 04			BANDEJA 05			BANDEJA 06		
Do	0,04	m	Do	0,04	m	Do	0,04	m
V1	0,37	m/s	V1	0,26	m/s	V1	0,20	m/s
v	0,000001	m2/s	v	0,000001	m2/s	v	1E-06	m2/s
Re4	14.727		Re5	10.395		Re6	8.033	

**10) Espaçamento entre os furos**



S1	0,2	m
S2	0,2	m
S3	0,2	m
S4	0,2	m
S5	0,2	m
S6	0,2	m

Encontrar distância para interferência dos jatos (X) pela relação X/S

BANDEJA 01			BANDEJA 02			BANDEJA 03		
X/s	4,01		X/s	4,19		X/s	4,31	
S1	0,2		S2	0,2		S3	0,2	
X1	0,80	m	X2	0,84	m	X3	0,86	m
Xadotad	0,90	m	Xadotad	1,10	m	Xadotad	1,40	m
BANDEJA 04			BANDEJA 05			BANDEJA 06		
X/s	4,43		X/s	4,47		X/s	4,43	
S4	0,2		S5	0,2		S6	0,2	
X4	0,89	m	X5	0,89	m	X6	0,89	m
Xadotad	1,40	m	Xadotad	0,90	m	Xadotad	1,30	m

11) Coeficiente de descarga (Cd)

Em orifícios circulares o Cd varia dentre 0,8 e 0,9 (VIANNA, 2014)

Adotou-se Cd 0,90

12) Gradiente de velocidade

BANDEJA 01			BANDEJA 02			BANDEJA 03		
D	0,04	m	D	0,04		D	0,04	
S	0,2	m	S	0,2		S	0,2	
v1	0,55	m/s	v1	0,49		v1	0,44	
u	0,000001		u	0,000001		u	0,000001	
Cd	0,9		Cd	0,9		Cd	0,9	
X	0,90	m	X	1,10		X	1,40	
G	60,23	s-1	G	45,66	s-1	G	34,55	s-1
BANDEJA 04			BANDEJA 05			BANDEJA 06		
D	0,04	m	D	0,04	m	D	0,04	m
S	0,2	m	S	0,2	m	S	0,2	m
v1	0,37	m/s	v1	0,26	m/s	v1	0,20	m/s
u	0,000001		u	0,000001		u	0,000001	
Cd	0,90		Cd	0,90		Cd	0,90	
X	1,40	m	X	0,90	m	X	1,30	m
G	26,29	s-1	G	19,44	s-1	G	10,99	s-1

13) Profundidade da lâmina líquida do floculador (hf)



X1	0,90	m	NBR 12.216
X2	1,10	m	
X3	1,40	m	
X4	1,40	m	
X5	0,90	m	
X6	1,30	m	

hf 3,50 m

Entretando foi adotado hf = 4,2 m

**14) Adotar diâmetro do floculador (Df)**

Adotou-se um diâmetro de 1,2 m

**15) Cálculo da área do floculador (Af)**

Df 1,20 m

Af 1,13 m<sup>2</sup>

**16) Cálculo do Volume do floculador (Vf)**

Af 1,13 m<sup>2</sup>

hf 4,2 m

Vf 4,75 m<sup>3</sup>

**17) Tempo de floculação (TDH)**

Células 2,0

Vf 9,50 m<sup>3</sup>

Q 0,005552 m<sup>3</sup>/s

TDH 1711,17 s

TDH 28,52 min NBR 12216



**Unidade de Sedimentação: Decantador de Alta Taxa**

**Justificativa:**

-Foi adotado como unidade de sedimentação com decantador de alta taxa com módulos tubulares paralelas com a finalidade de clarificação do meio líquido, ou seja, permitir a separação da fase sólida (formada pelos flocos originados nas unidades anteriores) da líquida.

- O decantador foi projetado circular e pré-fabricado em fibra de vidro.  
Para o dimensionamento adotou-se o seguinte procedimento;

1.Foi definido a velocidade crítica de sedimentação (Vs) das partículas a serem 100% removidas, que é numericamente igual à taxa de escoamento superficial do decantador;

2. Velocidade de escoamento dentro do duto

3. Cálculo da área horizontal de dutos

**DIMENSIONAMENTO DO DECANTADOR LAMELAR DE ALTA TAXA**

	Valor	Unidade	Valor	Unidade	
Vazão da ETA	5,55	L/s	0,00555	m <sup>3</sup> /s	
Quantidade de decantadores	1				
Módulos por decantador	1				
Quantidade de calhas por decantador (ver dimensionamento das calhas)	1				
Velocidade de escoamento no interior do duto	15,00	cm/min	0,0025	m/s	
Velocidade de sedimentação	1,50	cm/min	21,6	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> xdia)	
Espessura da parede do duto	1	mm	0,001	m	
Area livre dos dutos	11	88,5	mm	0,0885	m
				x	
	h1	48	mm	0,048	m
	12	77,5	mm	0,0775	m
				x	
	h2	39	mm	0,039	m
		0,5	m		
Base inferior do tronco de pirâmide invertida	2,50	m			
Diâmetro do modulo de decantação adotada					
Inclinação dos dutos com a horizontal	60	°	1,0472	Rad	
Ângulo de inclinação da parede da descarga hidráulica (na direção da largura)	55	°	0,95993	Rad	
Número de dutos por m <sup>2</sup> de seção transversal dos dutos	133				
Espaçamento entre as calhas de coleta em cada decantador	0,60	m			
Perímetro dos dutos	0,514	m			



Área das paredes por m <sup>2</sup> de seção transversal dos dutos	0,068362	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>				
Vazão por decantador	0,00555187	m <sup>3</sup> /s	5,55187	L/s		
Vazão por modulo	0,00555187	m <sup>3</sup> /s	5,55187	L/s		
Área necessária de dutos	2,38	m <sup>2</sup>				
Área horizontal dos dutos em cada decantador	2,75	m <sup>2</sup>				
Comprimento necessário dos dutos	<table border="1"><tr><td>1,00</td><td>m</td></tr></table>	1,00	m			
1,00	m					
Comprimento extra devido à inclinação dos dutos	0,5	m				
Comprimento em cada decantador	1,60	m				
Verificação do Diâmetro adotado	1,87	m				
Vazão por metro de vertedor	1,110	L/(sxm)	0,00111	m <sup>3</sup> /(sxm)		

Altura de poço de armazenamento de lodo (**H<sub>p1</sub>**)  
Distância entre a extremidade superior do poço e dutos (**H<sub>p2</sub>**) (adotado)

1,73	m
0,60	m

Velocidade de escoamento no orifício, ve	0,113	m/s
Diâmetro do orifício	0,250	m
Velocidade de escoamento no orifício máx., Vex.max	0,07012311	m/s
Vex	0,003506	m/s
Vex/Vor	0,031000	
r	0,496	m
h	0,992	m

Altura dos dutos (**H<sub>p3</sub>**)  
Largura das calhas de coleta  
Altura interna calha de coleta  
Distância entre a extremidade superior dos dutos e a calha de coleta (**H<sub>p4</sub>**)  
Altura das calhas (externa)  
Altura útil do decantador  
Cálculo hidráulico de calhas, ver item: "Calhas coletoras de água decantada"

0,87	m
0,25	m
0,25	m
0,20	m
0,25	m
3,65	m

**Verificação do gradiente de entrada ao decantador.**

Q entrada 0,00555187 m<sup>3</sup>/s Vazão de tratamento por modulo de decantação

Diâmetro adotado	<table border="1"><tr><td>250,0</td><td>mm</td></tr></table>	250,0	mm
250,0	mm		
Velocidade média:	<table border="1"><tr><td>0,113</td><td>m/s</td></tr></table>	0,113	m/s
0,113	m/s		

**Gradiente de mistura**

Massa específica da água γ	<table border="1"><tr><td>997,1</td><td>Kg/m<sup>3</sup></td></tr></table>	997,1	Kg/m <sup>3</sup>
997,1	Kg/m <sup>3</sup>		
Temperatura da água	<table border="1"><tr><td>25</td><td>°C</td></tr></table>	25	°C
25	°C		



Viscosidade absoluta da água (25°C) $\mu$	9,11E-05	kg.s/m <sup>2</sup>
Viscosidade cinemática (25°C)	8,93E-07	m <sup>2</sup> /s
f (Fórmula universal)	0,015	-
Gradiente de mistura	6,96	s <sup>-1</sup>

### Remoção do Lodo

A remoção do lodo se dará na parte inferior do decantador, na zona de acumulação de lodos. Será instalado uma tubulação no fundo do decantador, que permita uma velocidade de escoamento superior a 3m/s. A vazão da descarga do tubo extrator é dada por:

Onde:

C<sub>tf</sub> - coeficiente em função da relação entre o comprimento total equivalente e o diâmetro da tubulação. Usando a tabela abaixo e adotando:

S - Seção da tubulação

hd - perda de carga

Quadro 3. Valores de Cd em função de

L/D  
(tabela 9.6 Livro Di  
Bernardo)

L <sub>eq</sub> /d (m)	Cd
300	0,33
200	0,39
100	0,47
90	0,49
80	0,52
70	0,54
60	0,56
50	0,58
40	0,64
30	0,70
20	0,73

### Poço acumulação de lodo

Poço longitudinal único por decantador

Ângulo de inclinação do poço

Base maior

Largura do poço

R poço

Base menor

Largura do poço

r poço

Altura poço

Altura livre do poço

**Hp1**

Volume do poço de lodos

Número poços / decantadores

Volume total para acumulação de lodo

Taxa de produção de lodo adotada

1	unid.
60°	1,0472rad

2,50	m
1,25	m

0,50	m
0,25	m
1,73	m
0,15	m
1,88	m
3,51	m <sup>3</sup>
1,00	unid.
3,51	m <sup>3</sup>
3,00	mL/L



Volume de lodo produzido

1,44	m <sup>3</sup> /d
------	-------------------

\*\* Com tudo só é suficiente uma (1) descarga diária dos lodos nos decantadores.

Capacidade máxima de armazenamento de lodos

2,44	dias
------	------

Frequência adotada de descarga de lodos

24,00	h
-------	---

Volume de produção de lodos entre descargas

1,44	m <sup>3</sup>
------	----------------

Duração da descarga

0,77	min
------	-----

**Tubo extrator de lodo**

Distância entre tubos

0,510	m
-------	---

Número de tubos

1,0	Unid.
-----	-------

Diâmetro

100	mm
-----	----

Seção do tubo

7,85E-03	m <sup>2</sup>
----------	----------------

Comprimento unitário da tubulação

4,00	m
------	---

Perda de carga equiv.

3,00	m
------	---

Curva 45° x 2 und

1,00	m
------	---

Entrada

0,60	m
------	---

saida canal

1,40	m
------	---

Comprimento total equiv.

7,00	m
------	---

Carga, **H<sub>DL</sub>**: (Distância entre os orifícios e a calhas coletoras de água decantada)

3,00	m
------	---

Leq/D

70,0	m
------	---

Cd (Quadro 3)

0,520	-
-------	---

Vazão por tubulação

31,33	L/s
-------	-----

Velocidade na tubulação

4,0	m/s
-----	-----

**Dados construtivos do decantador:**

Diâmetro de cada decantador

2,50	m
------	---

Comprimento interno do decantador

1,87	m
------	---

Borda Livre

B. L

0,20	m
------	---

Altura externa calha coletora

A.C

0,25	m
------	---

Altura acima dos perfis

Hp4

0,20	m
------	---

Altura de perfis

Hp3

0,87	m
------	---

Altura livre abaixo dos perfis

Hp2

0,60	m
------	---

Altura pirâmide (lodos)

Hp1

1,73	m
------	---

Altura mínima pirâmide (lodos)

V.M

0,15	m
------	---

Altura útil do decantador

Ht

4,00	m
------	---

Altura total do decantador

4,20	m
------	---



## DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO E SEUS COMPONENTES

### FILTRAÇÃO ASCENDENTE

### CÁLCULO DIÂMETRO E ÁREA DO FILTRO

#### VAZÃO DA ETA (Qf)

$$Q_f = 9,99 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por questões operacionais a vazão será dividida por 2,0

#### TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (T<sub>as</sub>)

$$T_{as} = 180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$$

#### ÁREA DO FILTRO (A<sub>f</sub>)

$$A_f = 1,33 \text{ m}^2$$

Segundo Di Bernardo (2003)

$$A_f = \frac{Q_f \cdot 24}{T_{as}}$$

$$A_f = 1,33 \text{ m}^2$$

$$D = \begin{array}{|c|} \hline 1,30 \text{ m} \\ \hline \end{array}$$
$$D_{adot} = \begin{array}{|c|} \hline 1,50 \text{ m} \\ \hline \end{array}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_f}{\pi}}$$

$$D = \begin{array}{|c|} \hline 1,30 \text{ m} \\ \hline \end{array}$$

Dessa forma adota-se o diâmetro comercial de 2,0 metros, também havendo vantagens do ponto de vista operacional e de crescimento.

#### ÁREA DO FILTRO RECALCULADA (A)

$$A = \frac{\pi \cdot D_{adot}^2}{4}$$

$$A = \begin{array}{|c|} \hline 1,767 \text{ m}^2 \\ \hline \end{array}$$

#### TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL CORRIGIDA (T<sub>as corr.</sub>)



$$Tas\ corr = \frac{Qf.24}{A} Tas = 135,72 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$$

### CARACTERÍSTICAS DO MEIO FILTRANTE

LEITO FILTRANTE			
Espessura da camada (L)	1,6	m	
Tamanho dos grãos	0,6	2,0	mm
Tamanho efetivo - d10	0,84	mm	
Coefficiente de desuniformidade (Cd)	1,68		
Coefficiente de esfericidade (Ce)	0,7		
Massa específica ( $\rho_s$ )	2650	Kg/m <sup>3</sup>	
Porosidade (P)	0,40	m	

Segundo Di Bernardo (2003), o leito terá essas características o lado.

CAMADA SUPORTE (PEDREGULHO)			
Espessura da camada (L)	0,55	m	
Tamanho dos grãos	3,2	38,0	mm
Coefficiente de esfericidade (Ce)	0,85		
Porosidade (P)	0,45	m	
Massa específica ( $\rho_s$ )	2650	Kg/m <sup>3</sup>	

Usou-se a camada suporte ao lado, segundo Di Bernardo (2005).

### SISTEMA DE LAVAGEM

### CÁLCULO DA VELOCIDADE ASCENCIONAL DA ÁGUA

#### DADOS:

Tamanhos dos grãos  $G = 0,6$

Tamanhos dos grãos em mm em tabela 2 mm

O DQE é a média geométrica dos valores extremos dos diâmetros

$$D_{eq} = 0,00108628 \text{ m}$$

TEMPERATURA DA ÁGUA	T =	30	°C
PESO ESPECÍFICO	g =	9765	N/m <sup>3</sup>
MASSA ESPECÍFICA			



<b>VISCOSIDADE CINEMÁTICA</b>	$\rho_a =$	995,7	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>VISCOSIDADE ABSOLUTA</b>	$n =$	0,0000008	<b>m<sup>2</sup>/s</b>
<b>ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE</b>	$\mu =$	0,000798	<b>Ns/m<sup>2</sup></b>
	$g =$	9,81	<b>m/s<sup>2</sup></b>

As equações utilizadas para determinar a velocidade ascensional foram calculadas segundo Libânio (2008).

#### NÚMERO DE GALILEU

$$Ga = \frac{Deq^3 \cdot \rho_a \cdot (\rho_s - \rho_a) \cdot g}{\mu^2}$$

$$Ga = \boxed{32525,88}$$

#### VELOCIDADE MINIMA DE FLUIDIZAÇÃO

$$\begin{aligned} \mu &= 0,000798 \text{ Ns/m}^2 \\ \rho_a &= 995,7 \text{ Kg/m}^3 \\ Ga &= 32525,88 \end{aligned}$$

$$V_{mf} = \left( \frac{\mu}{\rho_a \cdot Deq} \right) \cdot \left[ \sqrt{(33,7)^2 + 0,0408 \cdot Ga} - 33,7 \right]$$

$$V_{mf} = \boxed{0,01 \text{ m/s}}$$

Multiplica-se por sessenta e temos a velocidade em m/min

$$V_{mf} = \boxed{0,71 \text{ m/min}}$$

$$V_a = 1 \text{ m/min}$$

Para descobrir a velocidade ascensional da água é necessário dividir por 60

$$V_a = \boxed{0,0167 \text{ m/s}}$$

**VELOCIDADE ASCENCIONAL DA**  
**ÁGUA**  $\boxed{0,0167 \text{ m/s}}$

#### EXPANSÃO DO MEIO FILTRANTE DURANTE A LAVAGEM



**DADOS:**

Cálculo de expansão do meio filtrante durante a lavagem segundo o método utilizado por Libânio (2008).  
OBS. Equações usadas na planilha abaixo.

**VELOCIDADE INTERTICIAL**

$$V_i = 0,0167 \text{ m/s}$$

Vi é igual a  
velocidade  
ascensional

**FÓRMULAS UTILIZADAS NA TABELA ABAIXO**

Diâmetro Equivalente ( $d_{eqi}$ )	$d_{eqi} = \sqrt{d_{sup} \cdot d_{inf}}$
Fração em peso de cada subcamada (i) do meio filtrante entre duas peneiras consecutivas	$X_i = \frac{L_i}{\sum L}$
Número de Galileu (Ga)	$Ga = \frac{D_{eq}^3 \cdot \gamma \cdot (\rho_s - \rho_a)}{\mu^2}$
Reynolds Modificado ( $Rem$ )	$Rem = \frac{C_e \cdot d_{eq} \cdot V_i}{6 \cdot \nu \cdot (1 - Pe)}$
Velocidade mínima de fluidização ( $V_{mf}$ )	$V_{mf} = \left( \frac{\mu}{\rho_s \cdot D_{eq}} \right) \cdot \left[ \sqrt{(33,7)^2 + 0,0408 \cdot Ga} - 33,7 \right]$
Equação modelo *	$A = \frac{Pe^3}{(1 - Pe)^2} \cdot \left( \frac{\gamma \cdot (\rho_g - \rho) \cdot C_e^3 \cdot d_{eq}^3}{216 \cdot \mu^2} \right)$

\*O modelo apresentado pela equação abaixo, é válido para  $Rem > 0,2$ , para porosidade  $< 0,85$  quando  $Rem < 100$  e inferior a  $0,90$  quando  $Rem > 100$ :

$$\log A = 0,56543 + 1,09348 \log Rem + 0,17979 (\log Rem)^2 - 0,00392 (\log Rem)^4 - 1,5 (\log Ce)^2$$

TABELA 1. Iterações para cálculo de expansão durante a lavagem

Subcamada	L (m)	$d_{sup}$ (m)	$d_{inf}$ (m)	$X_i$	$d_{eqi}$ (m)	Ga	$V_{mf}$ (m/s)	$Pe_i$	$X_i / (1 - Pe_i)$	$Rem$	A	Meta*
-----------	-------	------------------	---------------	-------	------------------	----	-------------------	--------	--------------------	-------	---	-------



1	0,17	0,00071	0,00059	0,11	0,0006	6878	0,005	0,62	0,28	4,17	18,9	0,00
2	0,10	0,00084	0,00071	0,06	0,0008	11684	0,007	0,58	0,15	4,45	20,5	0,00
3	0,32	0,00100	0,00084	0,20	0,0009	19530	0,009	0,54	0,43	4,80	22,7	0,00
4	0,28	0,00119	0,00100	0,18	0,0011	32931	0,012	0,50	0,35	5,26	25,7	0,00
5	0,30	0,00141	0,00119	0,19	0,0013	55135	0,015	0,46	0,35	5,81	29,3	0,00
6	0,18	0,00168	0,00141	0,11	0,0015	92485	0,019	0,42	0,20	6,47	34,0	0,00
7	0,25	0,00200	0,00168	0,16	0,0018	156239	0,023	0,39	0,26	7,28	40,1	0,00
<b>Total</b>	<b>1,60</b>		<b>Total</b>	<b>1,00</b>				<b>Total</b>	<b>2,01</b>			

**DETERMINAÇÃO PE (POROSIDADE DO MEIO FILTRANTE EXPANDIDO)**

resultado visto em tabela

$$\sum \frac{X_i}{(1 - P_a)} = 2,01$$

$$P_e = 1 - \frac{1}{\sum \frac{x_i}{(1 - P_e)}}$$

**P<sub>e</sub> = 0,50**

**EXPANSÃO DO MEIO FILTRANTE (E)**

P<sub>e</sub> = 0,50

P<sub>fo</sub> = 0,4 conforme tabela característica leito filtrante

$$E (\%) = \frac{P_{fe} - P_{fo}}{1 - P_{fo}} \cdot 100$$

**E = 20,82 %**

**ALTURA DO MEIO FILTRANTE EXPANDIDO (L<sub>e</sub>)**

L<sub>fo</sub> = 1,6

total soma subcamadas leito

P<sub>o</sub> = 0,4

conforme tabela característica leito filtrante

P<sub>e</sub> = 0,5

conforme calculado anteriormente

$$L_{fe} = L_{fo} \cdot \frac{(1 - P_o)}{(1 - P_e)}$$

**L<sub>e</sub> = 1,93 m**

META\*: Artifício do programa EXCEL para realizar iterações. Iterações essas necessárias para o cálculo de expansão.

**COLETA DE ÁGUA DE LAVAGEM E FILTRADA (CALHA DE COLETA)**



### VAZÃO DE LAVAGEM PARA O FILTRO (Q<sub>lf</sub>)

Cálculo da calha de coleta de água de lavagem e filtrada segue segundo Richter (1995).

$$Q = V_a \times A$$

$$Q_{lf} = 0,0295 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{lf} = 106,03 \text{ m}^3/\text{h}$$

### DIMENSIONAMENTO DA CALHA DO FILTRO

LARGURA ÚTIL (b)

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

ALTURA MÁXIMA DA ÁGUA (H)

$$Q = 0,0295 \text{ m}^3/\text{s}$$

b = 0,3 metros adotados para largura calha

$$H = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{1,3 \cdot b}\right)^2}$$

$$H = 0,18 \text{ m}$$

$$H_{\text{adot}} = 0,20 \text{ m}$$

### CÁLCULO DA PERDA DE CARGA DURANTE A LAVAGEM

PERDA DE CARGA NO LEITO (AREIA)

H = 0,7 Coeficiente de esfericidade (C<sub>e</sub>)

L = 1,6 Soma das subcamadas leito

P<sub>o</sub> = 0,45 Porosidade

2650

P<sub>s</sub> = kg/m<sup>3</sup> Massa específica

995,7

P<sub>a</sub> = Kg/m<sup>3</sup>

$$\frac{H}{L} = \frac{(1 - P_o)(\rho_s - \rho_a)}{\rho_a}$$

$$h_f = 1,59 \text{ m}$$



**PERDA DE CARGA NA CAMADA SUPORTE**

Usa – se a mesma formula, do Viana (2012) usada anteriormente para o mesmo cálculo

H= 0,7 Coeficiente de esfericidade (Ce)  
L= 0,55 Soma das subcamadas leito  
Po= 0,45 espessura da camada  
2650  
Ps= kg/m<sup>3</sup> Massa especifica  
995,7  
Pa= Kg/m<sup>3</sup>

$$\frac{H}{L} = \frac{(1 - P_o)(\rho_s - \rho_a)}{\rho_a} \quad h_o = \frac{\left(\frac{q_o}{Cd \cdot A}\right)^2}{2 \cdot g}$$

hr =

Segundo Richter (1995)

**PERDA DE CARGA NO SISTEMA DE DRENAGEM**

Número de vigas por filtro N <sub>v</sub>	4
Espaçamento entre os orifícios X <sub>o</sub> (m)	0,19
Número de orifícios no	165
Diâmetro de cada orifício Do (pol.)	0,75
Diâmetro de cada orifício do (m)	0,01905
Área de cada orifício A <sub>o</sub> (m <sup>2</sup> )	0,000285
Vazão em cada orifício Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0,000413
Velocidade de passagem pelo orifício V <sub>o</sub> (m/s)	1,45
Coeficiente de descarga C <sub>d</sub>	0,61

0,287642 m

Hf =

**Perdas de Carga na Tubulação de Sucção**

**Dimensionamento das tubulações**

Velocidades máximas		Diâmetros		Velocidades	
V <sub>la,máx</sub> =	3,60 m/s	D <sub>l,a</sub> =	150 mm	V <sub>la</sub> =	1,67 m/s
V <sub>le,máx</sub> =	1,80 m/s	D <sub>l,e</sub> =	150 mm	V <sub>le</sub> =	1,67 m/s

Qa= Vazão de lavagem - m/s 0,0295

Vla =



Dessa forma a velocidade com o diâmetro de 150 mm para sucção fica dentro da faixa de velocidade de lavagem permitida pelo autor

Para calcular a  $V_{le}$  usa os mesmos dados mudando apenas o diâmetro no caso de 150 mm

$$V_{la} = \boxed{1,67 \text{ m/s}}$$

A velocidade calculada encontra-se na faixa do autor, restando assim adotar o tubo com diâmetro nominal de 150 mm.

$$\text{Diâmetro Adot. } d_{adot} = 0,15 \text{ m}$$

Sucção			
Acessório	Comprimento equivalente (m)		
Válvula de pé e crivo	265 D	39,75	m
Curva 90° R/D = 1,5	12,8 D	1,92	m
Entrada	14,7D	2,205	m
Tê de passagem direta	21,8D	3,27	m
Comp. Real	3	3	m
<b>Comp. Total (<math>L_s</math>)</b>			<b>50,145 m</b>

#### COEFICIENTE DE RUGOSIDADE ( $\epsilon$ )- MATERIAL PVC

$$\epsilon = 0,1 \text{ mm}$$

Conhecendo-se a vazão ( $Q = 0,00131 \text{ m}^3/\text{s}$ ), o diâmetro ( $D = \text{m}$ ) e o coeficiente de rugosidade ( $\epsilon = 0,1 \text{ mm}$ , para PVC), a perda de carga unitária na sucção ( $J_s$ ) pode ser calculada pela equação a seguir.

$$J_s = \frac{8 \cdot f \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad f = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\epsilon}{3,7 \cdot d}\right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)^2}$$

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d \cdot v}$$

Portanto, a perda de carga total na sucção será:

$$\begin{aligned} Re &= 310945,274 \\ f &= 0,0085987 \\ J_s &= 0,00811644 \\ \Delta H_s &= 0,40699912 \end{aligned} \quad \Delta H_s = J_s \cdot L_s$$

#### Perda de Carga na Tubulação de Recalque

$$\text{Diâmetro Adot. } d_{adot} = 0,15 \text{ m}$$

Recalque			
Acessório	Comprimento equivalente (m)	Acessório	Comprimento equivalente (m)



Saída			m	Registro de gaveta aberto	7D	1,05	m
curva 90° R/D =1	17,5D	2,63	m				
Tê passagem direta	21,8D	3,27	m				
Comp. Real		0	m	<b>Comp. Total (L<sub>s</sub>)</b>		6,95	<b>m</b>

Usando as mesmas equações da sucção, podemos calcular a perda de carga no recalque.

$$R_e = 310945,274$$

$$f = 0,0085987$$

$$J_r = 0,00811644$$

$$\Delta H_r = 0,05636871$$

### CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA (H<sub>m</sub>)

#### ALTURA GEOMÉTRICA

$$H_g = 3,5 \text{ m}$$

#### SOMATÓRIO DAS PERDAS DE CARGA

$$\sum \Delta H = 2,85 \text{ m}$$

#### ALTURA MANOMÉTRICA

$$H_m = 6,35 \text{ m}$$

$$H_m = H_g + \sum \Delta H$$

### DIMENSIONAMENTO DO CONJUNTO BOMBA PARA LAVAGEM DO FILTRO

Vazão de lavagem m <sup>3</sup> /h	106,03	29,452 l/s
altura manométrica m	6,35	
η= 0,65 fator de potência do motor	0,65	

2 a 5 HP	Fator de Correção(f)
< ou = 2 HP	50%
2 a 5 HP	30%
5 a 10 HP	20%
10 a 20 HP	15%
> de 20 HP	10%

Azevedo Neto

$$P = Ql \times H_{mt} / 75 \times \eta$$

$$P = 3,84 \text{ CV}$$



**MORADA NOVA**  
PREFEITURA



P x fator de correção	30%	geral
<b>P - Potência calculada</b>	<b>3,84</b>	<b>cv</b>
P=	4,986	cv
Padotada=	5,0	cv

Para a seleção da bomba de lavagem do filtro, são indicados os parâmetros vazão (Q) e altura manométrica (Hm).

### SISTEMA DE FILTRAÇÃO

#### PERDA DE CARGA DURANTE A FILTRAÇÃO DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DAS TUBULAÇÕES

##### Perdas de Carga na Tubulação de Sucção

Velocidades máximas	Diâmetros	Velocidades
$V_{fa,máx} = 0,60 \text{ m/s}$	$D_{f,a} = 150 \text{ mm}$	$V_{fa} = 0,16 \text{ m/s}$
$V_{fe,máx} = 1,25 \text{ m/s}$	$D_{f,e} = 150 \text{ mm}$	$V_{fe} = 0,16 \text{ m/s}$

**Diâmetro Adot.  $d_{adot} = 0,15 \text{ m (sucção)}$**

Sucção			
Acessório	Comprimento equivalente (m)		
Entrada de canalização	14,7D	2,205	m
Curva 90° R/D = 1,5	12,8 D	1,92	m
Tê de passagem direta	21,8D	3,27	m
Comp. Real	3	3	m
<b>Comp. Total (L<sub>s</sub>)</b>		<b>10,395</b>	<b>m</b>

Conhecendo-se a vazão e o coeficiente de rugosidade ( $\epsilon = 0,1 \text{ mm}$ , para PVC), a perda de carga unitária na sucção ( $J_s$ ) pode ser calculada pela equação a seguir.

$$J_s = \frac{8 \cdot f \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5}$$

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d \cdot v}$$

$$Re = 310945,274$$

$$f = 0,0085987$$

$$f = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\epsilon}{3,7 \cdot d}\right) + \left(\frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right)^2}$$



$$J_s = 0,00811644$$

$$\Delta H_s = 0,08437044$$

$$\Delta H_s = J_s \cdot L_s$$

Diâmetro Adot.  $d_{adot} = 0,15$  m (recalque)

Recalque						
Acessório	Comprimento equivalente (m)			Acessório	Comprimento equivalente (m)	
Saída			m	Registro de gaveta aberto	7D	1,05 m
curva 90° R/D =1	17,5D	2,625	m			
Tê passagem direta	21,8D	3,27	m			
Comp. Real			m	<b>Comp. Total (L<sub>s</sub>)</b>	6,945	<b>m</b>

Usando as mesmas equações da sucção, podemos calcular a perda de carga no recalque.

$$R_c = 310945,274$$

$$f = 0,0085987$$

$$J_r = 0,00811644$$

$$\Delta H_r = 0,05636871$$

#### PERDA DE CARGA NO SISTEMA DE DRENAGEM

Número de vigas por filtro $N_v$	4
Espaçamento entre os orifícios $X_o$ (m)	0,19
Número de orifícios $N_o$	165
Diâmetro de cada orifício $D_o$ (pol.)	0,75
Diâmetro de cada orifício $D_o$ (m)	0,01905
Área de cada orifício $A_o$ (m <sup>2</sup> )	0,000285
Vazão em cada orifício $Q_o$ (m <sup>3</sup> /s)	0,000027
Velocidade de passagem pelo orifício $V_o$ (m/s)	0,1
Coefficiente de descarga $C_d$	0,61

$$h_o = \frac{\left( \frac{q_o}{C_d \cdot A} \right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h_r = 0,001229 \text{ m}$$

#### PERDA DE CARGA NO LEITO (AREIA)

#### CÁLCULO VELOCIDADE DE FILTRAÇÃO

$$V_f = 0,0020833 \text{ m/s}$$

$$v_f = \frac{Q_f}{A_f}$$

Subcamada	L (m)	$d_{sup}$ (m)	$d_{inf}$ (m)	$x_i$	$d_{eq}$ (m)	$x_i/d_{eq}$
1	0,73900	0,00119	0,00100	0,46	0,0011	424,20



2	0,39000	0,00141	0,00119	0,24	0,0013	188,53
3	0,31200	0,00168	0,00141	0,20	0,0015	126,94
4	0,07800	0,00200	0,00168	0,05	0,0018	26,65
5	0,07800	0,00240	0,00200	0,05	0,0022	22,29
<b>Total</b>	<b>1,60</b>		<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>	<b>788,60</b>

Segundo Libânio (2008),

$$\frac{H_f}{L_f} = \frac{180 \cdot \mu \cdot VL \cdot (1-P)^2}{\gamma \cdot P^3 \cdot C_e^2} \sum \frac{X_i}{(D_{eqi})^2}$$

hr = 0,065 m

**PERDA DE CARGA NA CAMADA SUPORTE**

Subcamada	L (m)	d <sub>sup</sub> (m)	d <sub>inf</sub> (m)	x <sub>i</sub>	d <sub>eqi</sub> (m)	x <sub>i</sub> /d <sub>eqi</sub>
1	0,15	0,0381	0,0254	0,27	0,031	8,77
2	0,1	0,0254	0,0190	0,18	0,022	8,28
3	0,1	0,0190	0,0127	0,18	0,016	11,70
4	0,1	0,0127	0,0064	0,18	0,009	20,17
5	0,1	0,0064	0,0032	0,18	0,005	40,18
<b>Total</b>	<b>0,55</b>		<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>	<b>89,09</b>

Segundo Libânio (2008)

hr = 0,000091 m

$$\frac{H_f}{L_f} = \frac{180 \cdot \mu \cdot VL \cdot (1-P)^2}{\gamma \cdot P^3 \cdot C_e^2} \sum \frac{X_i}{(D_{eqi})^2}$$

**PERDA DE CARGA NO VERTEDOR DE SAÍDA EM CAIXA INDIVIDUAL**

**ALTURA DA LÂMINA LÍQUIDA**  
(h<sub>f</sub>)

$$h_f = \left[ \frac{Q}{1,84 \times B} \right]^{2/3}$$



**MORADA NOVA**  
PREFEITURA



$$h_f = \boxed{0,14 \text{ m}}$$

**PERDA DE CARGA TOTAL (H<sub>T</sub>)**

$$H_T = \boxed{0,208343 \text{ m}}$$

Para lavagem do filtro adotaremos o tempo de lavagem de 10 minutos conforme sugerido, resultando

**DIMENSIONAMENTO DO RESERVATORIO APOIADO (R.A.P)**

Q <sub>l</sub> = Vazão de lavagem	106,03	m <sup>3</sup> /h
t=	10	min
1H=	60	min

$$V \text{ R.A.P} = \frac{Q_l}{60} \times 10$$

V R.A.P =	$\boxed{17,67 \text{ m}^3}$
V ADOTADO =	$\boxed{20 \text{ m}^3}$

Será construído um reservatório apoiado em anel pré-moldados de 20m<sup>3</sup> para lavagem de filtro

**ROBERTO ROQUE PIRES**  
Assinado digitalmente por  
ROBERTO ROQUE PIRES  
DN: cn=ROBERTO ROQUE  
PIRES, c=BR,  
email=piresroque@hotmail.com  
Data: 2026.06.10 09:42:16 -03'00'