

# MISTURADORES E FLOCULADORES MECANIZADOS(\*)

## PADRONIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO

Eng.<sup>o</sup> ANTONIO CARLOS PARLATORE (\*\*)

### 1. INTRODUÇÃO

Os projetos de estações de tratamento de água para abastecimento público elaborados até hoje em nosso país, têm sido, em sua maioria, caracterizados por uma variação muito acentuada na sua concepção geral e nos critérios de dimensionamento de algumas unidades, os quais por sua vez têm como característica marcante o caráter pessoal do projetista. Este fato tem causado grande preocupação entre os responsáveis pelos órgãos financiadores de obras públicas de saneamento básico, uma vez que a falta de uniformidade dos projetos acarreta o encarecimento, tanto das obras civis, como principalmente dos equipamentos utilizados no tratamento da água.

Por outro lado, as indústrias são obrigadas a fabricar esses equipamentos praticamente sob encomenda, o que elimina a possibilidade de produção em série, ocasionando um aumento exagerado no custo.

A dificuldade na elaboração de editais de concorrência pública e subsequente análise e escolha das propostas, bem como a impossibilidade do estabelecimento de critérios seguros de recebimento têm constituido outra séria consequência da falta de padronização dos referidos equipamentos.

Foi com o objetivo de sanar estas falhas que a Seção de Normas e Especificações do CETESB iniciou em março de 1970 a elaboração de especificações técnicas destinadas a uniformizar a fabricação desses equipamentos, tanto mecânica como dimensionalmente.

Entre as fases do tratamento da água mais afetadas por esse inconveniente, a mistura e a flocação mecanizadas se destacam sobremaneira, com implicações na qualidade do tratamento efetuado a jusante das respectivas unidades.

Este trabalho tem por objetivo relatar os estudos por nós efetuados quanto da padronização dimensional de misturadores rápidos mecanizados e floculadores mecânicos, além de fornecer subsídios para o dimensionamento das unidades correspondentes.

As especificações ESP-14 -- MISTURADORES RÁPIDOS MECANIZADOS TIPO TURBINA, ESP-15 — FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO VERTICAL DO TIPO DE PALETAS, ESP-15A — FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO HORIZONTAL DO TIPO PALETAS, elaboradas pela Seção de Normas e Especificações do CETESB, com a colaboração das indústrias, constam dos anexo I, II e III, respectivamente.

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E CRITÉRIOS PARA A PADRONIZAÇÃO DIMENSIONAL DOS MISTURADORES RÁPIDOS

Do ponto de vista mecânico, a mistura e a flocação são processos análogos, diferindo apenas na quantidade de energia fornecida por unidade de volume, ou seja, nos valores do gradiente de velocidade. O gradiente de velocidade se

(\*) Trabalho apresentado no XIII Congresso Interoamericano de Engenharia Sanitária realizado em agosto de 1972 em Assunção, Paraguai.

(\*\*) Engenheiro Civil e Sanitarista; Chefe da Seção de Normas e Especificações do Centro Tecnológico de Saneamento Básico — CETESB.

relaciona com a potência útil, com o volume do tanque e com a viscosidade absoluta do líquido, através da expressão:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (1)$$

$G$  = gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ )

$P$  = potência útil ( $kgfm/s$ )

$V$  = volume útil do tanque ( $m^3$ )

$\mu$  = viscosidade absoluta ( $kgfs/m^2$ )

A potência útil para a mistura de uma massa de água, fornecida através da movimentação de um rotor é pequena em relação à potência total introduzida. Isso se deve ao fato de que parte dessa energia é utilizada na própria movimentação da água e na formação de vórtex. Portanto, a relação entre a potência útil para mistura e a potência total introduzida na massa de água é pequena, constituindo-se em um inconveniente, não só do ponto de vista econômico, como especialmente na eficiência da agitação desejada.

Para atenuar o problema, recomenda-se que, quando forem projetados tanques de mistura de forma circular em planta, sejam colocadas cortinas como mostra a Fig. 1, evitando-se assim a formação de vórtex.

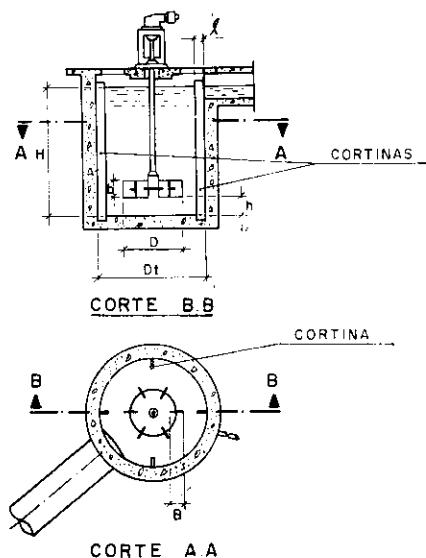


FIG. 1 - TANQUE CIRCULAR COM CORTINAS

Para a padronização dimensional dos misturadores rápidos mecanizados tipo turbina foram utilizados os conceitos básicos de semelhança mecânica.

As forças transmitidas a um fluido através de um rotor são:

— forças de inércia, representadas por um número adimensional (número de potência  $N_P$ )

— forças de viscosidade, representadas pelo número de Reynolds ( $N_R$ )

— forças gravitacionais, representadas pelo número de Froude ( $N_F$ )

$$N_P = \frac{P \cdot g c}{N^3 \rho \cdot D^5} \quad (2)$$

$$N_R = \frac{N \cdot \rho \cdot D^2}{\mu} \quad (3)$$

$$N_F = \frac{DN^2}{g} \quad (4)$$

onde:

$P$  = potência útil ( $kgfm/s$ )

$N$  = rotação (rps)

$D$  = diâmetro do rotor (m)

$\rho$  = densidade do fluido ( $kg/m^3$ )

$\mu$  = viscosidade absoluta ( $kgf.s/m^2$ )

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

$gc$  = fator de conversão da Lei de Newton =  $9,81 \text{ kgm/kgfs}^2$

Esses números adimensionais se relacionam através da expressão

$$N_P = K \cdot (N_R)^p \cdot (N_F)^q \quad (5)$$

A constante  $K$  depende da geometria do sistema tanque-equipamento. Os coeficientes  $p$  e  $q$  dependem do regime de escoamento. Para fins de mistura, o regime turbulentó é o indicado.

Quando o escoamento é turbulentó e é evitada a formação de vórtex, os coeficientes  $p$  e  $q$  são iguais a zero. Portanto, a expressão (5) se reduz a

$$N_P = K$$

ou

$$K = \frac{P \cdot g c}{N^3 \rho \cdot D^5} \quad (6)$$

Vários experimentadores têm desenvolvido modelos reduzidos de misturadores tipo turbina.

A Fig. 2 representa seis tipos diferentes e as respectivas curvas  $N_P \times N_R$ .

Considerando que o misturador tipo 1 da Fig. 2 fornece, para idênticas condições de rotação e diâmetro, maior potência útil, resolvemos

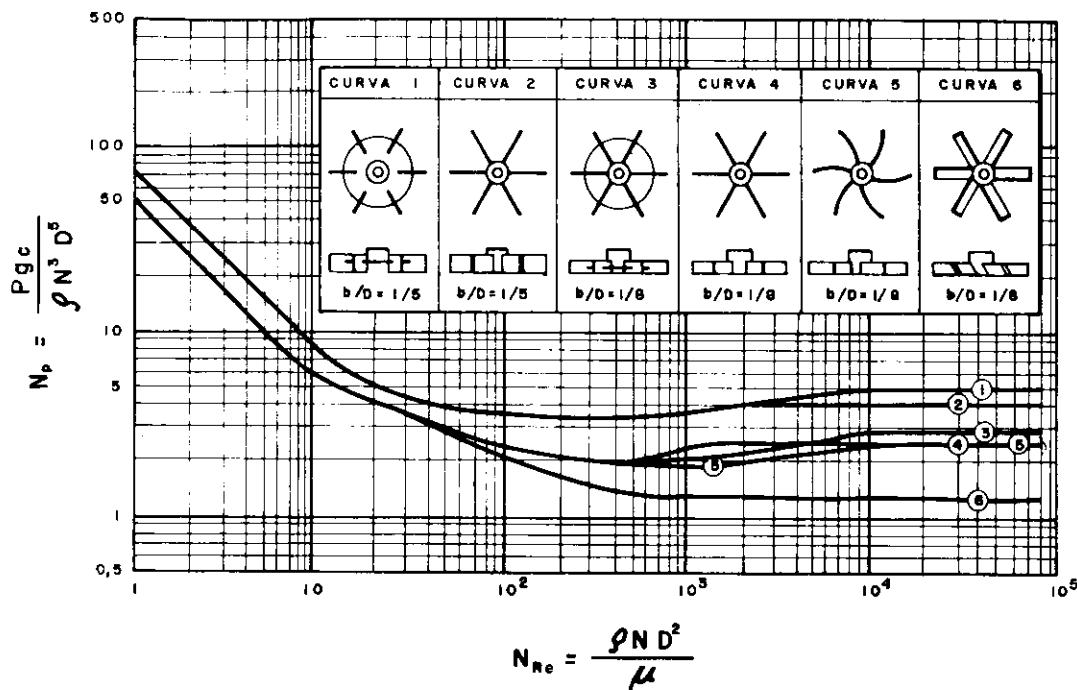


Fig. 2 TIPOS DE TURBINA E RESPECTIVAS  
CURVAS  $N_p \times N_{re}$  (B1)

adotar este tipo para a padronização, em concordância com as indústrias de equipamentos citadas anteriormente.

Os valores de  $K$  para o misturador tipo 1 obtidos pelos experimentadores são os seguintes:

Rushton et al. (R1) — 6,3

Calderbank (C1) — 5,5

Calderbank (C2) — 4,8 a 5,5

Os dados mais recentes de  $K$  para o misturador tipo 1 indicam o valor ótimo de 5,0.

Esse valor foi obtido através das experiências de Bates, Fondy e Corpstein (B1), experiências estas realizadas nas seguintes condições (vide Fig. 1):

$$\frac{Dt}{D} = 3$$

$$\frac{h}{D} = 1$$

$$\frac{l}{D} = 0,10$$

4 cortinas

As experiências de Rushton et al. (R1) que levaram à obtenção de  $K = 6,3$  foram realizadas nas seguintes condições (vide Fig. 1):

$$\frac{Dt}{D} = 3$$

$$2,7 \leq \frac{H}{D} \leq 3,9$$

$$0,75 \leq \frac{h}{D} \leq 1,3$$

$$\frac{l}{D} = 0,10$$

4 cortinas

As experiências de Rushton et al. indicam como constante o valor de  $K = 6,3$  nos intervalos acima. Bates (B1) obteve o valor  $K = 5$  para  $\frac{h}{D}$  entre 0,60 e 1,40.

Segundo os mesmos autores (B1), a proximidade da turbina à superfície da água não altera sensivelmente o valor de  $K$  por eles determinado, desde que a submersão não seja muito pequena e que existam cortinas para evitar a formação de vórtex.

Da mesma forma, as experiências de Rushton et al. (R1), Mack e Marriner (M1) e O'Connell e Mack (O1) revelam não haver influência no valor de K para valores de  $\frac{Dt}{D}$  entre 2,0 e 6,7.

Considerando os problemas construtivos decorrentes da adoção da forma circular em planta para o projeto dos tanques de mistura, houve-mos por bem padronizar os misturadores para serem instalados em tanques de forma quadrada em planta, providos de 4 cortinas simetricamente dispostas. Estas cortinas poderão ser de madeira ou concreto, com espessura de no máximo 5 cm.

Esta adaptação pode ser discutida do ponto de vista puramente teórico, embora na prática não cause aparentemente maiores inconvenientes. De qualquer forma, deixamos em aberto a possibilidade de realização de experiências mais acuradas, com a possível contestação desta adaptação.

Com estas considerações, podemos admitir como válidos os intervalos de experimentação utilizados por Rushton et al. e neles nos basearmos para a padronização dimensional dos misturadores e para o dimensionamento dos tanques de mistura, associando a grandeza  $Dt$  ao lado L da seção quadrada em planta.

### 3. PADRONIZAÇÃO DIMENSIONAL DOS MISTURADORES RÁPIDOS TIPO TURBINA

#### 3.1. Relações geométricas do modelo reduzido utilizado por Rushton et al. ( Misturador tipo 1 da Fig. 1)

$$\begin{aligned} \frac{Dt}{D} &= 3 \\ 2,7 \leq \frac{H}{D} &\leq 3,9 \\ 0,75 \leq \frac{h}{D} &\leq 1,3 \\ 4 \text{ cortinas} \\ \frac{l}{D} &= 0,10 \\ B &= \frac{D}{4} \\ b &= \frac{D}{5} \\ 6 \text{ lâminas} \end{aligned}$$

#### 3.2. Relações geométricas adotadas

$$\begin{aligned} 2,7 \leq \frac{L}{D} &\leq 3,3 \\ 2,7 \leq \frac{H}{D} &\leq 3,9 \\ 0,75 \leq \frac{h}{D} &\leq 1,3 \\ B &= \frac{D}{4} \\ b &= \frac{D}{5} \end{aligned}$$

6 lâminas

O intervalo adotado para a relação  $\frac{L}{D}$  poderá ser maior. Todavia, com as restrições feitas anteriormente, seria temerário supor a priori a validade do intervalo recomendado pelas referências (R1), (M1) e (O1).

#### 3.3. Valores de D adotados

Foram escolhidos 5 valores de D, correspondendo portanto a 5 tamanhos. Os valores foram obtidos iterativamente, levando-se em conta uma gama de capacidades nominais de estações desde 25 até 1.000 l/s (admitindo-se um único tanque de mistura).

Os valores de D obtidos foram os seguintes:

$$\begin{aligned} 0,37 \text{ m} \\ 0,43 \text{ m} \\ 0,50 \text{ m} \\ 0,60 \text{ m} \\ 0,70 \text{ m} \end{aligned}$$

Dessa forma, baseados nas relações geométricas adotadas, obtém-se a Tabela I.

Portanto, cada misturador poderá ser instalado em tanques com as seguintes capacidades:

$$\begin{aligned} \text{MR-I} &— 0,94 \text{ a } 2,14 \text{ m}^3 \\ \text{MR-II} &— 1,56 \text{ a } 3,38 \text{ m}^3 \\ \text{MR-III} &— 2,46 \text{ a } 5,30 \text{ m}^3 \\ \text{MR-IV} &— 4,25 \text{ a } 9,20 \text{ m}^3 \\ \text{MR-V} &— 6,75 \text{ a } 14,60 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### 3.4. Amplitude de utilização do gradiente de velocidade para cada tamanho

Cada misturador possibilitará a utilização de uma única rotação. Portanto, cada um fornecerá uma determinada potência à água. Teremos

TABELA I

Misturador	D (m)	L (m)	H (m)	h (m)	B (m)	b (m)	I (m)
MR-I	0,37	0,98 a 1,22	0,98 a 1,44	0,277 a 0,481	0,0925	0,074	0,037
MR-II	0,43	1,16 a 1,42	1,16 a 1,675	0,322 a 0,559	0,1075	0,086	0,043
MR-III	0,50	1,35 a 1,65	1,35 a 1,95	0,375 a 0,650	0,1250	0,100	0,050
MR-IV	0,60	1,62 a 1,98	1,62 a 2,34	0,450 a 0,780	0,1500	0,125	0,060
MR-V	0,70	1,89 a 2,31	1,89 a 2,73	0,525 a 0,910	0,1750	0,140	0,070

então para cada tamanho um intervalo de gradiente de velocidade associado ao intervalo correspondente de volumes.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad \text{ou} \quad P = \mu V G^2$$

ou então

$$V G^2 = k \quad (7)$$

Para cada tamanho, o valor de  $k$  é constante.

Os misturadores foram dimensionados para possibilitar um gradiente de velocidade máximo de  $1.000 \text{ s}^{-1}$ , uma vez que valores maiores encareceriam em demasia o equipamento.

Este valor de  $G$  deve ser associado ao valor mínimo de  $V$  para cada tamanho.

Portanto, para um determinado tamanho,

$$V_{\min} \times G_{\max}^2 = k$$

e

$$V_{\max} \times G_{\min}^2 = k$$

Dessa forma, temos (Tabela II):

TABELA II

Misturador	$V_{\min}$ ( $\text{m}^3$ )	$G_{\max}$ ( $\text{s}^{-1}$ )	$V_{\max}$ ( $\text{m}^3$ )	$G_{\min}$ ( $\text{s}^{-1}$ )
MR-I	0,94	1000	2,14	680
MR-II	1,56	1000	3,38	680
MR-III	2,46	1000	5,30	680
MR-IV	4,25	1000	9,20	680
MR-V	6,75	1000	14,60	680

O anexo IV indica os valores de  $T$  e  $G$  recomendados pela AWWA-ASCE-CSSE, além de diagramas  $G \times P$  para mistura e floculação.

### 3.5. Potência fornecida à água

$$P = \mu G^2 V$$

Para o misturador MR-I temos

$$G = 1000 \text{ s}^{-1}$$

$$V = 0,94 \text{ m}^3$$

$$\mu (20^\circ\text{C}) = 1,029 \times 10^{-1} \text{ kgfs/m}^2 \therefore$$

$$P = 96,8 \text{ kgfm/s}$$

Analogamente, para os demais misturadores

$$\text{MR-II} \quad P = 160,5 \text{ kgfm/s}$$

$$\text{MR-III} \quad P = 253,0 \text{ kgfm/s}$$

$$\text{MR-IV} \quad P = 437,4 \text{ kgfm/s}$$

$$\text{MR-V} \quad P = 694,0 \text{ kgfm/s}$$

### 3.6. Rotações

$$N^3 = \frac{P \cdot gc}{N_p \rho D^5}$$

onde

$$gc = 9,81 \text{ kg.m/kgfs}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$N_p = 5,0$$

Portanto

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{D^5}} \text{ (rpm)}$$

Temos então

$$\text{MR-I} \quad n = 181 \text{ rpm}$$

$$\text{MR-II} \quad n = 167 \text{ rpm}$$

$$\text{MR-III} \quad n = 150 \text{ rpm}$$

$$\text{MR-IV} \quad n = 134 \text{ rpm}$$

$$\text{MR-V} \quad n = 120 \text{ rpm}$$

### 4. CARACTERÍSTICAS DOS MISTURADORES RÁPIDOS MECANIZADOS TIPO TURBINA

Os misturadores rápidos mecanizados tipo turbina a serem fabricados pelas indústrias de

**TABELA III**  
**Características dos Misturadores Rápidos Mecanizados Tipo Turbinas**

Misturador	Gradiente de Velocidade ( $s^{-1}$ )	Dimensões (mm)					Número de Paletas	Rotação (rpm)	Volume útil do Tanque ( $m^3$ )	Potência do Motor (cv)
		Diâmetro da Turbina D	Diâmetro do Disco d	Comprimento da Paleta B	Largura da Paleta b					
MR-I	680 a 1000	370	277,5	92,5	74	6	181	0,94 a 2,16	2	
MR-II	680 a 1000	430	322,5	107,5	86	6	167	1,56 a 3,38	4	
MR-III	680 a 1000	500	375	125	100	6	150	2,46 a 5,30	5	
MR-IV	680 a 1000	600	450	150	120	6	134	4,26 a 9,20	10	
MR-V	680 a 1000	700	525	175	140	6	120	6,75 a 14,60	15	

equipamentos utilizados no tratamento da água possuem as características relacionadas na Tabela III.

**TABELA IV**

Misturador	k ( $m^3/s^2$ )	Diâmetro da Turbina D (m)
MR-I	$k_1 = 0,94 \times 10^6$	0,37
MR-II	$k_2 = 1,56 \times 10^6$	0,43
MR-III	$k_3 = 2,46 \times 10^6$	0,50
MR-IV	$k_4 = 4,25 \times 10^6$	0,60
MR-V	$k_5 = 6,75 \times 10^6$	0,70

Uma vez determinado o valor de D temos consequentemente fixos os intervalos de variação de L, H e h. Por outro lado, L e H estão relacionados através da expressão

$$L^2 \cdot H = V$$

Os diagramas 1, 2 e 3 possibilitam o projeto completo de uma unidade de mistura.

Exemplo de aplicação

$$Q = 100 \text{ l/s} \quad T = 30 \text{ s} \quad G = 900 \text{ s}^{-1}$$

Entrando com estes valores nesses diagramas, obteremos k3 como o valor mais próximo. Esse valor para idênticas condições de Q e T implica em um valor de  $915 \text{ s}^{-1}$  para G, o que é aceitável.

Em seguida, entra-se na Tabela IV obtendo o tamanho conveniente do misturador (estando portanto já selecionado) e o seu diâmetro  $D = 0,50 \text{ m}$ .

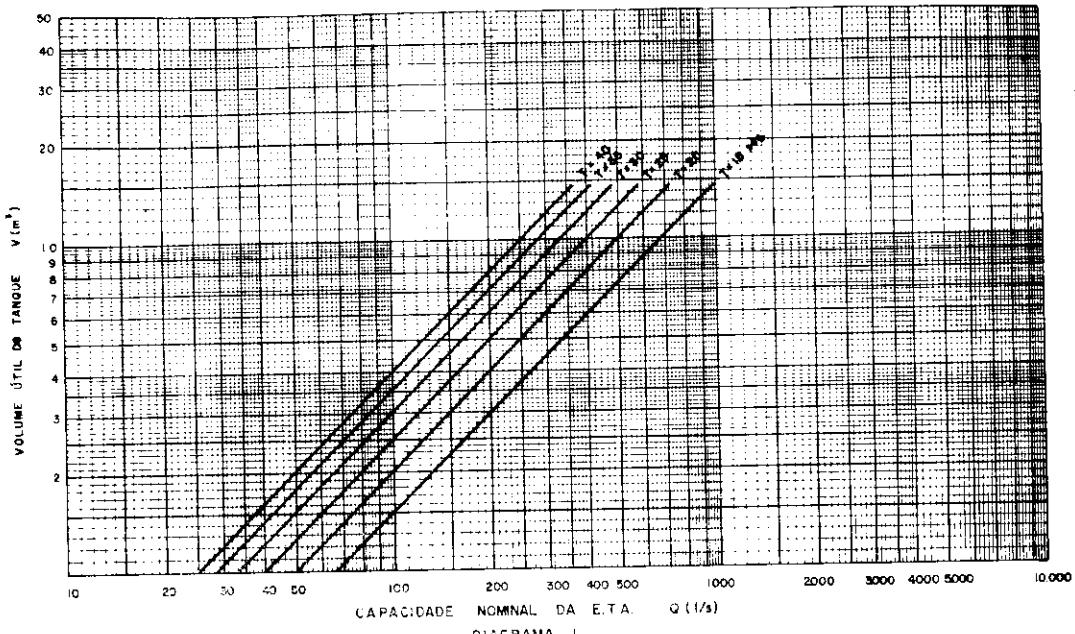


DIAGRAMA 1

DIAGRAMA 2

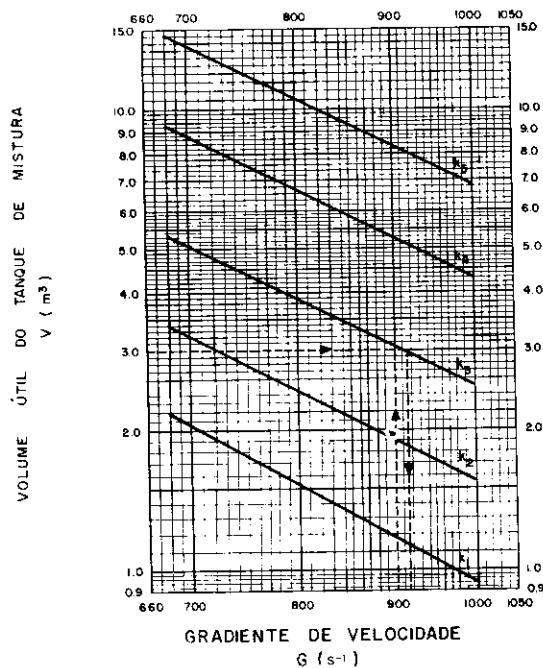
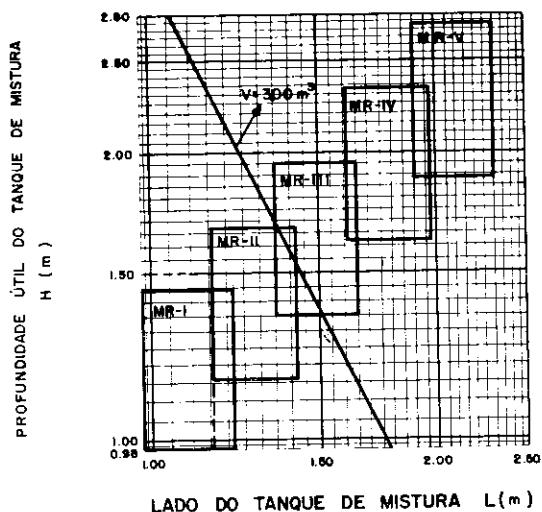


DIAGRAMA 3



No Diagrama 3 marcam-se os intervalos acima e traça-se a curva correspondente a  $V = 3,00 \text{ m}^3$ .

Dessa forma, podem-se escolher os valores de  $L$  e  $H$  mais convenientes, que satisfazem os seus respectivos intervalos de variação e a relação  $L^2 \cdot H = 3,00 \text{ m}^3$ .

O valor de  $h$  poderá ser escolhido dentro do intervalo acima, a critério do projetista.

Para o presente caso, podemos utilizar o misturador rápido tipo turbina MR-III, instalado em um tanque com as seguintes dimensões:

$$L = 1,35 \text{ m}$$

$$H = 1,65 \text{ m}$$

Logo, temos

$$1,35 \leq L \leq 1,65 \text{ m}$$

sendo que  $L^2 \cdot H = 3,00 \text{ m}^3$

$$1,35 \leq H \leq 1,95 \text{ m}$$

$$0,375 \leq h \leq 0,650 \text{ m}$$

$$1 = 0,050 \text{ m}$$

## 6. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E CRITÉRIOS PARA A PADRONIZAÇÃO DIMENSIONAL DOS FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO VERTICAL DO TIPO DE PALETAS

Pelas mesmas razões expostas anteriormente, os floculadores mecânicos de eixo vertical foram padronizados para funcionar em tanques de seção quadrada em planta. Na Fig. 3 apresentamos o desenho do agitador de um floculador mecânico de eixo vertical do tipo de paletas, onde

$L$  = lado da seção quadrada (m)

$D$  = diâmetro do agitador (m)

$R$  = distância entre o eixo e a paleta (m) --

$$R = \frac{D - l}{2}$$

$p$  = profundidade útil do tanque (m)

$b$  = comprimento da paleta (m)

$l$  = largura da paleta (m)

$d$  = distância entre duas paletas consecutivas (m)

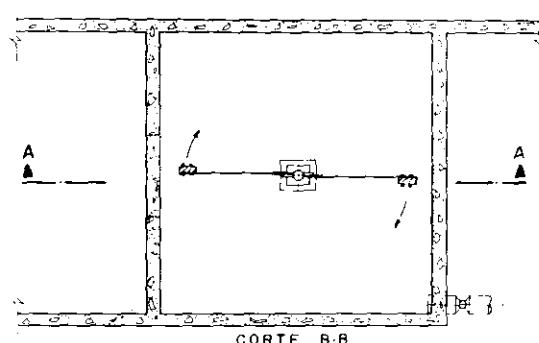
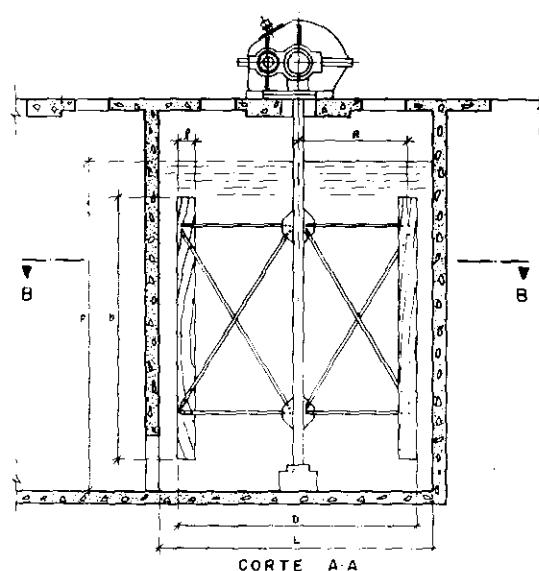


FIG. 3 — FLOCULADOR MECÂNICO DE EIXO VERTICAL DO TIPO DE PALETAS.

A potência útil introduzida na água por uma paleta girando em torno do eixo é função da força  $F$  aplicada na água pela paleta, do coeficiente de arrasto  $C_D$ , da velocidade relativa  $v$  da paleta em relação à água e da área da paleta.

Sendo  $F_D = C_D F$  (força de arrasto), a potência útil será

$$P = F_D v \quad (9)$$

ou

$$P = C_D F v$$

$$F = \frac{1}{2} \gamma A v^2 \quad (10)$$

onde

$\gamma$  = peso específico da água ( $\text{kgf/m}^3$ )

$g$  = aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$A$  = área da paleta ( $\text{m}^2$ )

Sendo  $k$  a razão entre a velocidade da água  $v_a$  e a velocidade da paleta  $v_p$  temos

$$k = \frac{v_a}{v_p}$$

$$v_a = v_p - v$$

onde

$$v = v_p - v_a$$

ou

$$v = v_p - k v_p = v_p (1 - k)$$

$$\text{Mas } v_p = 2\pi \frac{Rn}{60}$$

onde  $n$  = rotação do eixo (rpm)

Logo, a potência útil será

$$P = C_D \frac{1}{2g} \gamma A v^3$$

ou

$$P = 5,85 \times 10^{-5} C_D \gamma [(1 - k)n]^3 R^3 A$$

Se a largura  $l$  da paleta for grande em relação a  $R$ , temos (vide Fig. 4):

$$R^3 A = \int_{R_1}^{R_2} R^3 dA = b \int_{R_1}^{R_2} R^3 dR = \\ = \frac{b}{4} \left( R_2^4 - R_1^4 \right)$$

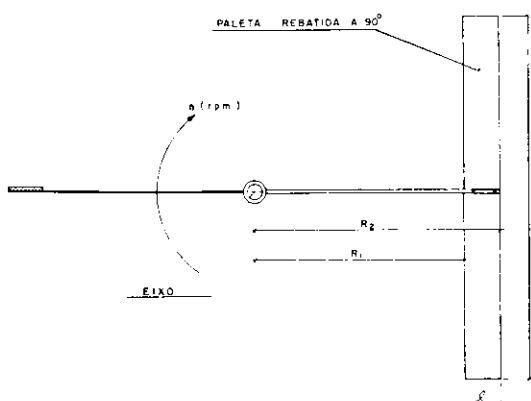


FIG. 4 - DESENHO ESQUEMATICO DE UM AGITADOR MECANICO.

Por outro lado, se o agitador possuir mais do que uma paleta de cada lado, temos:

$$R^3 A = \sum R_i^3 A$$

Portanto

$$P = 1,46 \times 10^{-5} C_D \gamma [1(1 - k)n]^3 b \sum (R_i^4 - R_{i-1}^4) B$$

onde:

$P$  = potência útil (kgfm/s)

$C_D$  = coeficiente de arrasto

$\gamma$  = peso específico da água =  $10^3$  kgf/m<sup>3</sup>

$B$  = número de braços

$k$  = relação entre a velocidade da água e a velocidade da paleta = 0,25

$n$  = rotação (rpm)

$b$  = comprimento da paleta (m)

$R_i$  = distância entre o eixo e o lado externo da paleta  $i$  (m)

$R_{i-1}$  = distância entre o eixo e o lado interno da paleta  $i$  (m)

$$R_i - R_{i-1} = 1$$

Azevedo Netto (A1) recomenda os seguintes valores e relações para a floculação:

$$v_p \leq 0,70 \text{ m/s}$$

admitindo-se um máximo de 0,75 m/s

$$0,80 \leq \frac{D}{L} \leq 0,95$$

3 ou 4 velocidades

velocidade a 2/3 do raio do agitador

$$0,20 \leq v \leq 0,60 \text{ m/s}$$

Geralmente, a profundidade  $p$  dos tanques de floculação é igual à profundidade dos decantadores. Esta, por sua vez, varia na maior parte dos casos entre 3,50 e 4,00. Considerando a submersão do topo da paleta entre 0,15 e 0,40 m e a distância da sua extremidade inferior ao fundo do tanque entre 0,15 e 0,40 m, houvemos por bem padronizar a dimensão  $b = 3,20$  m. dessa forma, o intervalo de variação de  $p$  será  $3,50 \leq p \leq 4,00$  m, o que é aceitável. Paralelamente, foram adotados os seguintes valores para  $l$  e  $d$ :

$$l = 0,15 \text{ m}$$

$$d = 0,10 \text{ m}$$

Para  $b = 3,20$  m e  $l = 0,15$  m temos  $\frac{b}{l} = \frac{b}{1} = 21,3$ . Prandtl-Betz (P1) indica os seguintes valores de  $C_D$ :

$\frac{b}{l}$	$C_D$
1	1,10
2	1,15
4	1,19
10	1,29
18	1,40
$\infty$	2,01

Adotamos  $C_D = 1,40$ .

Dessa forma, estamos a favor da segurança com relação aos valores de  $G$  obtidos.

## 7. PADRONIZAÇÃO DIMENSIONAL DOS FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO VERTICAL DO TIPO DE PALETAS

Foram obtidos seis tamanhos convenientes de floculadores, cujas características estão relacionadas na Tabela IX. Os valores obtidos iterativamente obedeceram aos intervalos recomendados pela referência (A1).

Os valores de  $D$  obtidos são os seguintes:

- 1,60 m
- 2,00 m
- 2,40 m
- 2,80 m
- 3,20 m
- 3,60 m

Portanto, em decorrência dos intervalos de variação de  $D$  e  $L$  temos (Tabela V):

**TABELA V**

Floculador	D (m)	p (m)	L (m)
FV-1.42	1,60	3,50 a 4,00	1,68 a 2,00
FV-2.42	2,00	3,50 a 4,00	2,10 a 2,50
FV-3.42	2,40	3,50 a 4,00	2,52 a 3,00
FV-4.43	2,80	3,50 a 4,00	2,95 a 3,50
FV-5.43	3,20	3,50 a 4,00	3,37 a 4,00
FV-6.44	3,60	3,50 a 4,00	3,79 a 4,50

Portanto, cada floculador poderá ser instalado em tanques com as seguintes capacidades:

- FV-1.42 — 10 a 16 m<sup>3</sup>
- FV-2.42 — 16 a 25 m<sup>3</sup>
- FV-3.42 — 23 a 36 m<sup>3</sup>
- FV-4.43 — 31 a 49 m<sup>3</sup>
- FV-5.43 — 40 a 64 m<sup>3</sup>
- FV-6.44 — 51 a 81 m<sup>3</sup>

#### 7.1. Amplitude de utilização do gradiente de velocidade para cada tamanho

Cada floculador possibilitará a utilização de três rotações.

Portanto, cada um fornecerá três valores para a potência útil.

Temos então

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad \text{ou} \quad P = \mu V G^2$$

Dai

$$VG^2 = K$$

Do exposto acima, concluimos que existem três valores de K para cada floculador, associados aos três valores de P.

Como no caso dos misturadores, cada um dos três valores de K implica em um intervalo de variação de G, associado ao intervalo de variação de V. A padronização dimensional foi feita de maneira que o limite superior de cada um dos três intervalos de G para cada floculador coincidisse com o limite inferior do intervalo seguinte.

Portanto, temos para cada tamanho:

$$V_{\min} \cdot G_{1\max}^2 = K_1 \\ V_{\max} \cdot G_{1\min}^2 = K_1 \quad (12)$$

$$V_{\min} \cdot G_{2\max}^2 = K_2 \\ V_{\max} \cdot G_{2\min}^2 = K_2 \quad (13)$$

e

$$V_{\max} \cdot G_{3\min}^2 = K_3 \\ V_{\max} \cdot G_{3\max}^2 = K_3 \quad (14)$$

Sendo que:

$$K_1 < K_2 < K_3$$

temos:

$$G_{1\max} = G_{2\min}$$

$$G_{2\max} = G_{3\min}$$

O valor  $G_{3\max} = 100 \text{ s}^{-1}$  foi fixado tendo em vista os valores recomendados no anexo IV. Para o FV-6.44,  $G_{3\max} = 94,45 \text{ s}^{-1}$  devido à limitação da rotação.

A partir dos sistemas de equações (12), (13) e (14) e com base no valor  $G_{3\max} = 100 \text{ s}^{-1}$  temos (Tabela VI):

**TABELA VI**

Floculador	$G_{1\min} (\text{s}^{-1})$	$G_{1\max} = G_{2\min} (\text{s}^{-1})$	$G_{2\max} = G_{3\min} (\text{s}^{-1})$	$G_{3\max} (\text{s}^{-1})$
FV-1.42	49,5	62,5	79	100
FV-2.42	51	64	80	100
FV-3.42	51	64	80	100
FV-4.43	50	63	79,5	100
FV-5.43	49,5	62,5	79	100
FV-6.44	47,2	59,4	75	94,4

Dessa forma temos um intervalo de variação de G entre 49 e 100 s<sup>-1</sup> aproximadamente para cada tamanho.

O intervalo de  $G_3$  será obtido com a rotação máxima.

O intervalo de  $G_2$  será obtido com a rotação média.

O intervalo de  $G_1$  será obtido com a rotação mínima.

#### 7.2. Potência fornecida à água

$$P = \mu G^2 V$$

Para o floculador FV-1.22 temos

$$G_{3\max} = 100 \text{ s}^{-1}$$

$$V_{\min} = 10 \text{ m}^3$$

$$\mu (20^\circ\text{C}) = 1.029 \times 10^{-4} \text{ kgfs/m}^2$$

$$P_3 = 10,29 \text{ kgfm/s}$$

$$G_{2\max} = 79 \text{ s}^{-1}$$

$$P_2 = 6,43 \text{ kgfm/s}$$

$$G_{1\max} = 62,5 \text{ s}^{-1}$$

$$P_1 = 4,03 \text{ kgfm/s}$$

Procedendo analogamente para os demais tamanhos, temos (Tabela VII):

**TABELA VII**

Floculador	P <sub>1</sub> (kgfm/s)	P <sub>2</sub> (kgfm/s)	P <sub>3</sub> (kgfm/s)
FV-1.42	4,03	6,43	10,29
FV-2.42	6,75	10,53	16,47
FV-3.42	9,7	15,15	23,7
FV-4.43	12,65	20,2	31,9
FV-5.43	16,10	25,7	41,2
FV-6.44	18,55	29,5	46,7

### 7.3. Rotações

$$n^3 = \frac{P \times 10^5}{1,46 C_D \gamma (1 - k)^3 b \sum (R_i^4 - R_{i-1}^4) B}$$

Portanto vem (Tabela VIII):

**TABELA VIII**

Floculador	n <sub>1</sub> (rpm)	n <sub>2</sub> (rpm)	n <sub>3</sub> (rpm)
FV-1.42	4,96	5,8	6,78
FV-2.42	4,5	5,22	6,06
FV-3.42	4,10	4,76	5,53
FV-4.43	3,58	4,18	4,87
FV-5.43	3,3	3,85	4,5
FV-6.44	2,92	3,41	3,98

## 8. INSTRUÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE FLOCULAÇÃO (EIXO VERTICAL) E SELEÇÃO DOS RESPECTIVOS EQUIPAMENTOS

### 8.1. Grandezas intervenientes

8.1.1. Capacidade nominal da ETA

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$$

8.1.2. Período de detenção teórico

$$T \text{ (min)}$$

8.1.3. Gradiente de velocidade

$$G \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

8.1.4. Número de tanques

$$N$$

### 8.2. Relações entre as grandezas

$$60 \frac{Q \cdot T}{N} = V$$

onde V é o volume útil do tanque de floculação (m<sup>3</sup>)

$$VG^2 = Kd$$

onde Kd é o valor desejável para satisfazer os valores escolhidos de T, G e N.

Cada tamanho de floculador determina três valores K, perfazendo portanto no total, 18 valores.

Escolhe-se então o valor de K mais próximo de Kd. Esse valor de K representa um determinado tamanho de floculador e uma determinada potência útil ou rotação, estando portanto associado a um único valor de D (ver Tabela X). Com esse valor de D tem-se consequentemente fixo o intervalo de variação de L. O intervalo de variação de p é único para todos os tamanhos, ou seja

$$3,50 \leq p \leq 4,00 \text{ m}$$

Dessa forma, temos

$$L^2 \cdot p = V \quad \text{onde} \quad \frac{D}{0,95} \leq L \leq \frac{D}{0,80}$$

e

$$3,50 \leq p \leq 4,00 \text{ m}$$

Os diagramas 4, 5 e 6 possibilitam o projeto completo de unidades de floculação mecanizadas (eixo vertical).

Exemplo de aplicação

$$Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 20 \text{ min}$$

$$G = 80 \text{ s}^{-1}$$

$$N = 2$$

Entrando com estes valores nesses diagramas, obteremos K53 como o valor mais conveniente. Esse valor, para idênticas condições de Q, T e N implica em um valor de 81,5 s<sup>-1</sup> para G, o que é aceitável. Em seguida, entra-se na Tabela X, obtendo-se o tamanho conveniente do floculador (estando portanto já selecionado) e o seu diâmetro D = 3,20 m.

Logo, temos

$$3,37 \leq L \leq 4,00 \text{ m}$$

$$3,50 \leq p \leq 4,00 \text{ m}$$

sendo que

$$L^2 \cdot p = 60 \text{ m}^3$$

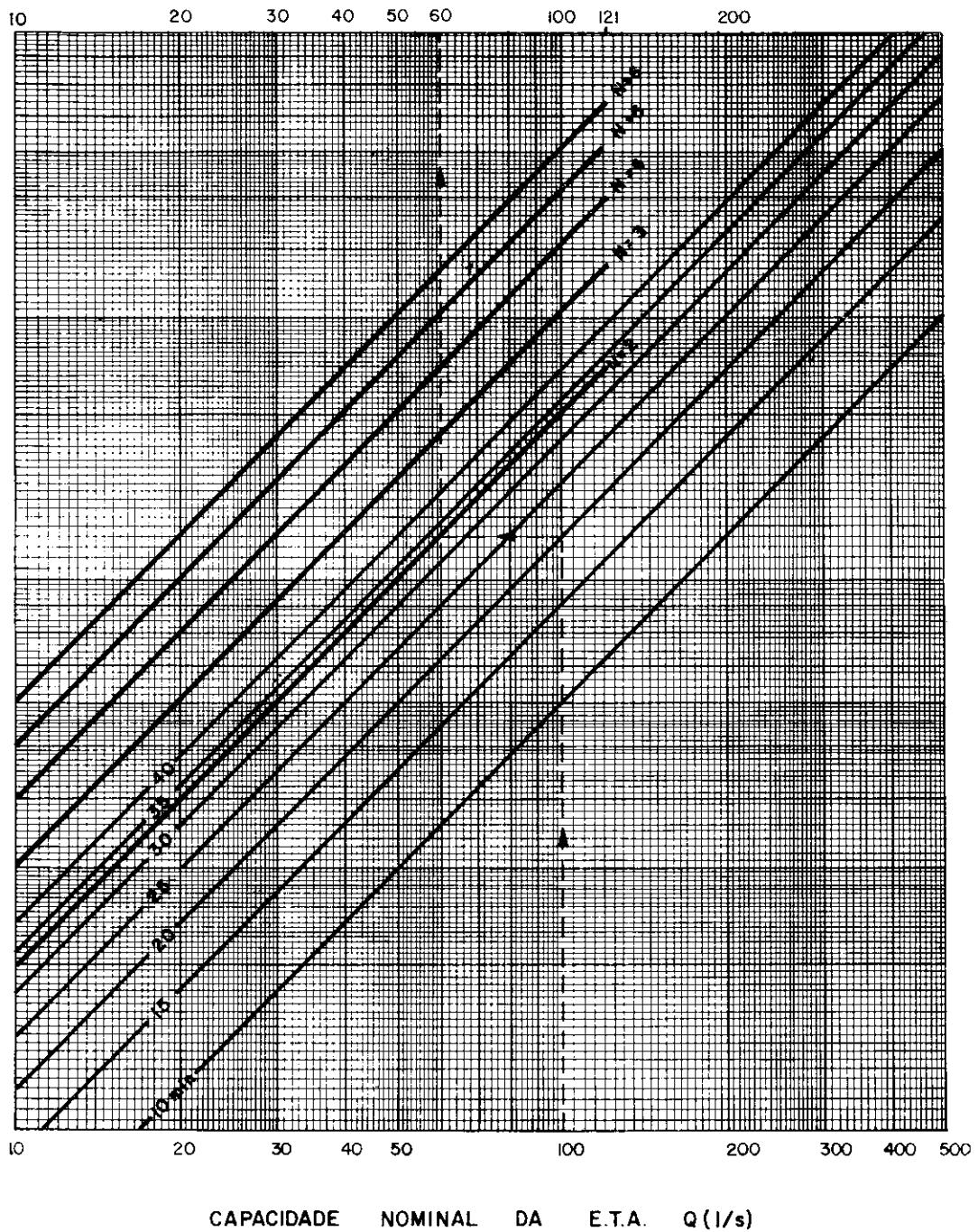
TABELA IX

## Características dos Floculadores Mecânicos de Eixo Vertical do Tipo de Paletas

Floculador	Capaci- dade do tanque (m <sup>3</sup> )	Gradiente de velocidade (s <sup>-1</sup> )	D i m e n s õ e s				Número de braços	Número de paletas p/ braço	R o t a ç õ e s			Veloci- dade máxima a 2/3 do raio (m/s)	Máxima veloci- dade perifé- rica (m/s)	Potência do motor (c.v.)
			Diâme- tro (m)	Compri- mento da paleta (m)	Largura da paleta (m)	Distân- cia entre 2 pale- tas con- secutivas (m)			n1 (rpm)	n2 (rpm)	n3 (rpm)			
FV-1.42	10 a 16	49,5 a 100	1,60	3,20	0,15	0,10	4	2	4,96	5,8	6,78	0,38	0,57	1/2
FV-2.42	16 a 25	51 a 100	2,00	3,20	0,15	0,10	4	2	4,5	5,22	6,06	0,42	0,63	3/4
FV-3.42	23 a 36	51 a 100	2,40	3,20	0,15	0,10	4	2	4,1	4,76	5,53	0,46	0,69	1
FV-4.43	31 a 49	50 a 100	2,80	3,20	0,15	0,10	4	3	3,58	4,18	4,87	0,47	0,71	1 1/2
FV-5.43	40 a 64	49,5 a 100	3,20	3,20	0,15	0,10	4	3	3,3	3,85	4,5	0,50	0,75	1 1/2
FV-6.44	51 a 81	47,2 a 94,4	3,60	3,20	0,15	0,10	4	4	2,92	3,41	3,98	0,50	0,75	2

**Observação:** Profundidade do tanque — 3,50 a 4,00 metros. Caso sejam projetados tanques com profundidade superior a 4,00 m, o limite superior do intervalo de variação da capacidade do tanque será maior. Da mesma forma, o limite inferior do intervalo de variação de G será menor.

VOLUME ÚTIL DO TANQUE V ( $m^3$ )



CAPACIDADE NOMINAL DA E.T.A. Q ( $l/s$ )

#### DIAGRAMA 4

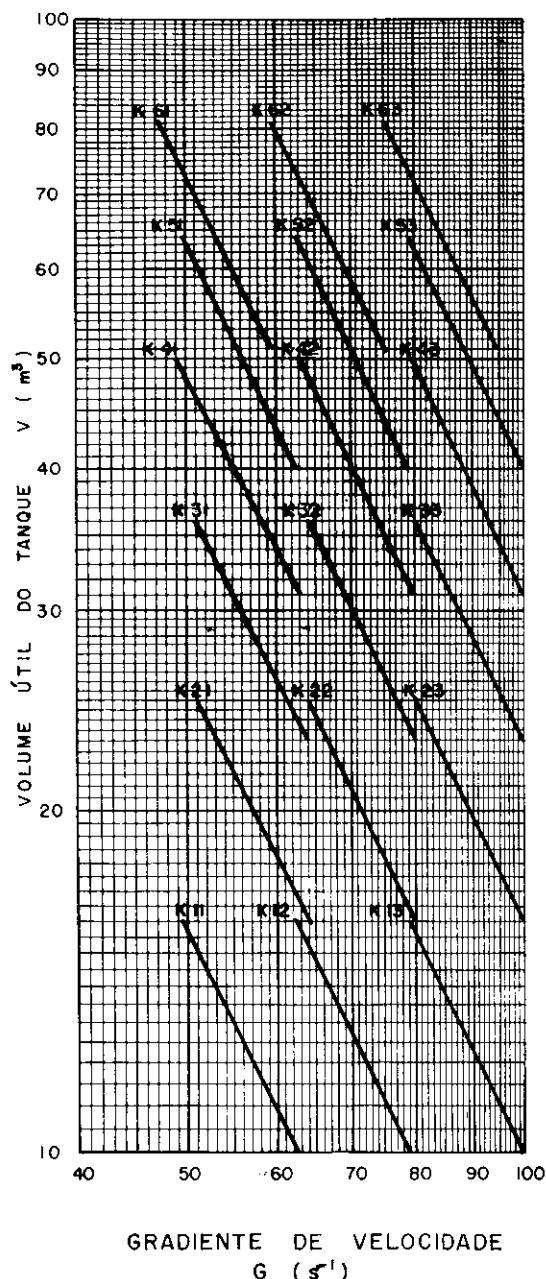


DIAGRAMA 5

instalado em um tanque com as seguintes dimensões:

$$L = 4,00 \text{ m}$$

$$p = 3,75 \text{ m}$$

Portanto, a floculação para esta estação será efetuada empregando-se dois floculadores mecânicos de eixo vertical do tipo de paletas, instalados em dois tanques com as seguintes dimensões:

— capacidade útil: 60 m<sup>3</sup>

— largura: 4,00 m

— profundidade útil: 3,75 m

Cada equipamento terá as seguintes características:

— tipo = FV-5.43

— G = 81,5 s<sup>-1</sup> para n = 4,5 rpm

G = 64,5 s<sup>-1</sup> para n = 3,85 rpm

G = 51,0 s<sup>-1</sup> para n = 3,30 rpm

— diâmetro = 3,20 m

— comprimento da paleta = 3,20 m

— largura da paleta = 0,15 m

— distância entre duas paletas consecutivas = 0,10 m

— número de braços = 4

— número de paletas por braço = 3

— rotações = 4,50 — 3,85 — 3,30 rpm

— velocidade máxima a 2/3 do raio = 0,50 m/s

— máxima velocidade periférica = 0,75 m/s

— potência do motor = 1 1/2 cv

TABELA - X

FLOCULADOR	D (m)	$K \times 10^{-3}$ (m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> )		
FV - 1.42	1,60	K11=39,0	K12=62,4	K13=100,0
FV - 2.42	2,00	K21=65,5	K22=102,4	K23=160,0
FV - 3.42	2,40	K31=94,3	K32=147,0	K33=230,0
FV - 4.43	2,80	K41=123,0	K42=196,0	K43=310,0
FV - 5.43	3,20	K51=156,0	K52=250,0	K53=400,0
FV - 6.44	3,60	K61=180,0	K62=287,0	K63=455,0

No Diagrama 6 traça-se a reta correspondente a  $V = 60 \text{ m}^3$ .

Dessa forma, podem-se escolher os valores de L e p mais convenientes, que satisfazem os seus respectivos intervalos de variação e a relação  $L^2 \cdot p = 60 \text{ m}^3$ . Para o presente caso, podemos utilizar o floculador mecânico de eixo vertical do tipo de paletas FV-5.43 com a rotação de 4,5 rpm,

## 9. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E CRITÉRIOS PARA A PADRONIZAÇÃO DIMENSIONAL DOS FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO HORIZONTAL DO TIPO DE PALETAS

Os floculadores mecânicos de eixo horizontal do tipo de paletas são projetados para funcionar em um ou mais tanques de seção retangular em planta. Na Fig. 5 apresentamos o desenho esquemático de dois tanques e respectivos floculadores mecânicos de eixo horizontal do tipo de paletas.

Com referência à Fig. 5 temos as seguintes grandezas:

$C =$  comprimento total de  $N_2$  tanques de floculação mais a largura dos poços secos (m).

$N_2 =$  número de tanques de comprimento  $L$ .

$L =$  comprimento de um tanque de floculação (m).

$B =$  largura do tanque de floculação (m).

$l =$  comprimento de um tanque hipotético admitido como zona de influência de um conjunto agitador (m).

$b =$  largura do tanque acima referido (m).

$p =$  profundidade do tanque de floculação (m).

$N_1 =$  número de conjuntos agitadores por eixo.

$D =$  diâmetro de um conjunto agitador (m).

$c =$  comprimento da paleta (m).

$d =$  distância entre dois conjuntos consecutivos de um mesmo eixo (m).

A padronização dimensional dos floculadores foi obtida através de alguns artifícios, a saber:

- (a) Analogia entre um conjunto agitador e o conjunto agitador de um floculador de eixo vertical, supondo portanto a existência de tanques hipotéticos como mostra a Fig. 5.
- (b) Introdução do conceito de gradiente de velocidade para um tanque hipotético qualquer de volume.

$$v = l \times b \times p$$

Azevedo Netto recomenda que sejam projetadas três fileiras de conjuntos agitadores, sendo excepcionalmente admitidas duas fileiras. Por conveniências práticas, resolveu-se admitir um mínimo de dois conjuntos por fileira e um máximo de quatro conjuntos. A experiência americana recomenda como econômico o intervalo de variação de 1 entre 12 e 14 pés. Por razões de ordem prática, adotamos o seguinte intervalo:

$$3,50 \leq l \leq 4,50 \text{ m}$$

Da mesma forma, a experiência americana indica o seguinte intervalo de variação para  $D$ :

$$0,7b \leq D \leq 0,8b$$

ou

$$0,7p \leq D \leq 0,8p$$

devendo ser escolhido o primeiro intervalo sempre que  $b < p$  ou o segundo, caso  $b > p$ .

Para a simplificação dos estudos realizados, admitimos como válida a igualdade dos intervalos de variação de  $p$  e  $b$ .

Tanto a experiência americana como as nossas instalações existentes indicam como aceitável o seguinte intervalo de variação de  $p$ :

$$2,75 \leq p \leq 4,00 \text{ m}$$

ou consequentemente

$$2,75 \leq b \leq 4,00 \text{ m}$$

Como nos casos anteriores, a experiência americana recomenda que a distância  $d$  entre dois conjuntos agitadores consecutivos montados no mesmo eixo esteja entre 2 e 3 pés.

Adotamos o seguinte intervalo:

$$0,50 \leq d \leq 1,00 \text{ m}$$

Resumindo, temos os seguintes intervalos de variação para as diversas grandezas intervenientes:

$$0,7b \leq D \leq 0,8b$$

$$3,50 \leq l \leq 4,50 \text{ m}$$

$$2,75 \leq b \leq 4,00 \text{ m}$$

$$2,75 \leq p \leq 4,00 \text{ m}$$

$$0,50 \leq d \leq 1,00 \text{ m}$$

$$2 \leq N_1 \leq 4$$

Uma vez determinados estes intervalos, temos as seguintes possibilidades para  $L$ :

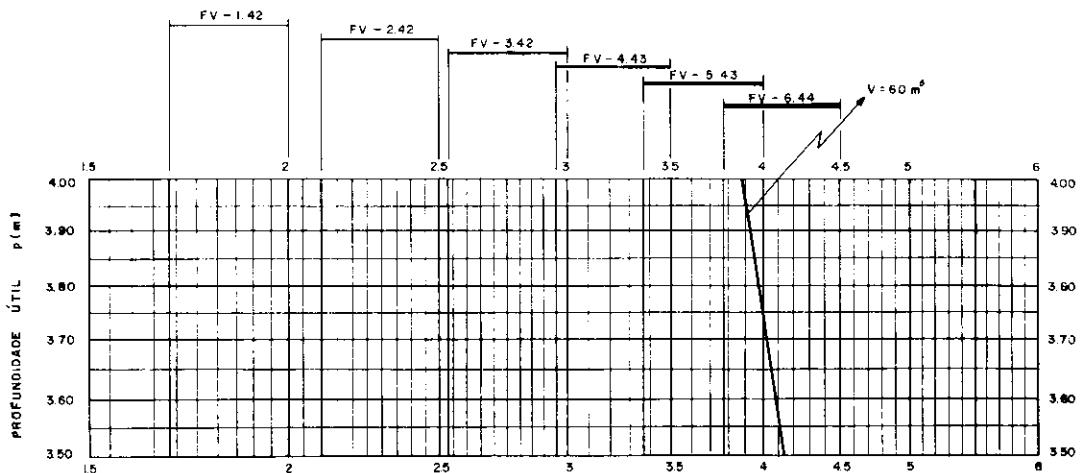
$$7,00 \leq L \leq 9,00 \text{ m para } N_1 = 2$$

$$10,50 \leq L \leq 13,50 \text{ m para } N_1 = 3$$

$$14,00 \leq L \leq 18,00 \text{ m para } N_1 = 4$$

Para efeito de raciocínio, sempre que  $L \leq 18,00 \text{ m}$ ,  $L \equiv C$  e portanto  $N_2 = 1$ .

Para valores de  $C$  superiores a 18,00 m recomenda-se a construção de poços secos, como mostra a Fig. 5. Considerando que em cada poço seco poderão ser instalados dois conjuntos de acionamento (um para cada tanque), recomenda-se que a largura do mesmo seja da ordem de 2,50 m. Adotamos esse valor para o dimensionamento.



LADO DA SEÇÃO QUADRADA EM PLANTA  
L (m)

DIAGRAMA 6

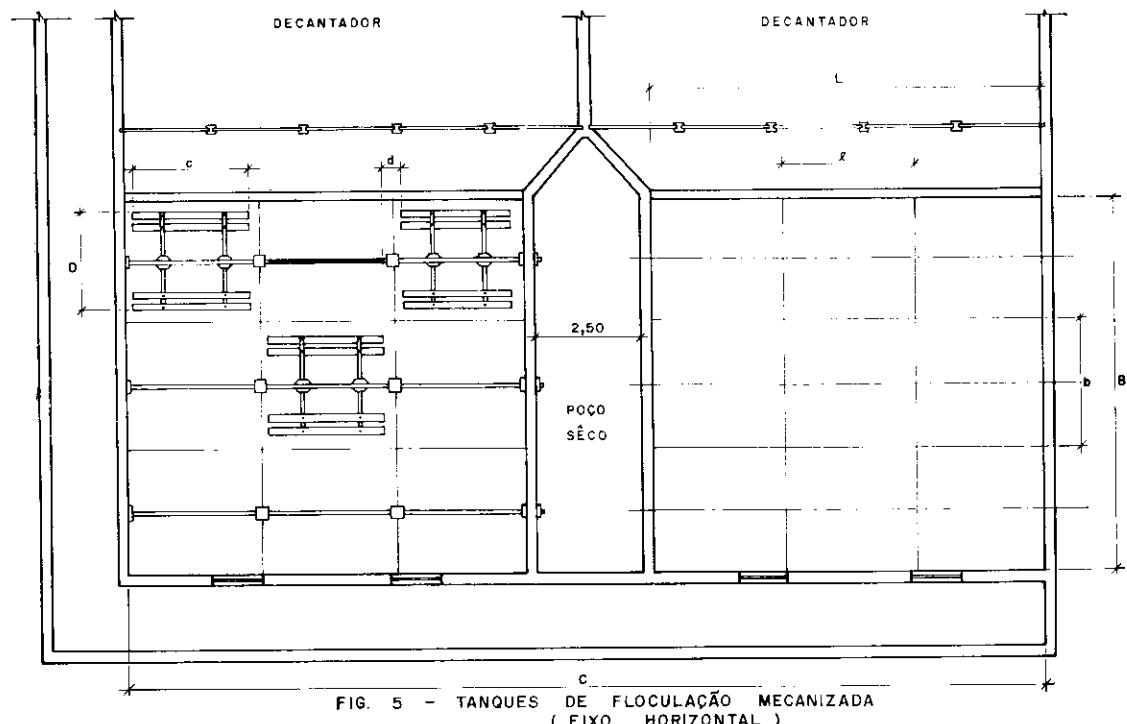


FIG. 5 - TANQUES DE FLOCULAÇÃO MECANIZADA  
( EIXO HORIZONTAL )

**TABELA XI**

Floculador	D (m)	p (m)	b (m)	l (m)
FH-1.43	2,20	2,75 a 3,14	2,75 a 3,14	3,50 a 4,00
FH-2.43	2,30	2,88 a 3,29	2,88 a 3,29	3,60 a 4,10
FH-3.43	2,40	3,00 a 3,43	3,00 a 3,43	3,70 a 4,20
FH-4.43	2,50	3,13 a 3,57	3,13 a 3,57	3,80 a 4,30
FH-5.43	2,60	3,25 a 3,71	3,25 a 3,71	3,90 a 4,40
FH-6.44	2,80	3,50 a 4,00	3,50 a 4,00	4,00 a 4,50

#### 10. PADRONIZAÇÃO DIMENSIONAL DOS FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO HORIZONTAL DO TIPO DE PALETAS

Como dissemos anteriormente, para efeito de dimensionamento, os cálculos foram efetuados para um único conjunto agitador, utilizando-se as mesmas fórmulas empregadas quando do dimensionamento dos floculadores mecânicos de eixo vertical.

Foram então obtidos os seguintes valores de D e c considerados mais convenientes:

D(m)	c(m)
2,20	— 3,00
2,30	— 3,10
2,40	— 3,20
2,50	— 3,30
2,60	— 3,40
2,80	— 3,50

As características dos floculadores mecânicos de eixo horizontal do tipo de paletas estão indicadas na Tabela XVI.

Como consequência imediata dos valores de D e c obtidos tem-se a Tabela XI.

Logo, cada conjunto agitador poderá ser instalado em um tanque hipotético com as seguintes capacidades:

FH-1.43 - - 27 a 38 m<sup>3</sup>

FH-2.43 — 31 a 44 m<sup>3</sup>

FH-3.43 — 34 a 48 m<sup>3</sup>

FH-4.43 - - 37 a 52 m<sup>3</sup>

FH-5.43 — 42 a 60 m<sup>3</sup>

FH-6.44 - - 49 a 72 m<sup>3</sup>

##### 10.1. Amplitude de utilização do gradiente de velocidade para cada tamanho

Cabem aqui as mesmas considerações feitas no caso dos floculadores mecânicos de eixo vertical. Assim sendo, temos (Tabela XII):

**TABELA XII**

Floculador	$G_1 \text{ min } (s^{-1})$	$G_1 \text{ max } = G_2 \text{ min } (s^{-1})$	$G_2 \text{ max } = G_3 \text{ min } (s^{-1})$	$G_3 \text{ max } (s^{-1})$
FH-1.43	60,0	71,0	84,2	100
FH-2.43	59,2	70,4	84,0	100
FH-3.43	57,8	68,6	81,6	97
FH-4.43	57,7	68,5	81,2	96,2
FH-5.43	54,6	65,2	78	93,2
FH-6.44	51,5	62,5	75,7	91,8

##### 10.2. Potências fornecidas à água por cada conjunto agitador

Procedendo analogamente ao item 7.2, temos (Tabela XIII):

**TABELA XIII**

Floculador	$P_1 \text{ (kgfm/s)}$	$P_2 \text{ (kgfm/s)}$	$P_3 \text{ (kgfm/s)}$
FH-1.43	14,0	19,7	27,8
FH-2.43	15,8	22,5	31,9
FH-3.43	16,5	23,3	33,0
FH-4.43	17,85	25,1	35,2
FH-5.43	18,4	26,2	37,5
FH-6.44	19,7	29,0	42,5

##### 10.3. Rotações

Procedendo como em 7.3, temos (Tabela XIV):

**TABELA XIV**

Floccula-dor	$n_1$ (rpm)	$n_2$ (rpm)	$n_3$ (rpm)
FH-1.43	5,08	5,7	6,4
FH-2.43	4,95	5,58	6,25
FH-3.43	4,74	5,3	5,97
FH-4.43	4,58	5,12	5,73
FH-5.43	4,34	4,88	5,51
FH-6.44	3,96	4,50	5,12

## 11. INSTRUÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE FLOCUAÇÃO (EIXO HORIZONTAL) E SELEÇÃO DOS RESPECTIVOS EQUIPAMENTOS

### 11.1. Grandezas intervenientes

11.1.1. Capacidade nominal da ETA

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$$

11.1.2. Período de detenção teórico

$$T \text{ (min)}$$

11.1.3. Gradiente de velocidade

$$G \text{ (s}^{-1})$$

11.1.4. Comprimento total dos tanques de flocação mais a largura dos poços secos:

$$C \text{ (m)}$$

11.1.5. Comprimento de um tanque de flocação

$$L \text{ (m)}$$

11.1.6. Número de tanques de flocação

$$N_2$$

### 11.2. Relações entre as grandezas

$$60 Q \cdot T = V$$

onde  $V$  é o volume útil total de  $N_2$  tanques de flocação ( $\text{m}^3$ ).

$$p \times b \times l = v$$

onde  $v$  é o volume útil de um tanque hipotético ( $\text{m}^3$ ).

$$vG^2 = Kd$$

onde  $K_d$  é o valor desejável para satisfazer os valores escolhidos de  $T$  e  $G$ .

Para a seleção da potência do motor elétrico para o acionamento dos conjuntos, ver Tabela XV:

**TABELA XV**

Floccula-dor	Potência do motor (cv)		
	$N_1 = 2$	$N_1 = 3$	$N_1 = 4$
FH-1.43	2	3	3
FH-2.43	2	3	5
FH-3.43	2	3	5
FH-4.43	3	3	5
FH-6.44	3	5	5
FH-5.43	3	5	5

Os diagramas 7, 8, 9 e 10 possibilitam o projeto completo de unidades de flocação mecanizadas de eixo horizontal.

Exemplo de aplicação:

$$Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 30 \text{ min}$$

$$G = 65 \text{ s}^{-1}$$

$$C = 35 \text{ m}$$

Entrando com  $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $T = 30 \text{ min}$  no Diagrama 7 temos o volume total  $V = 900 \text{ m}^3$ . Da mesma forma, entrando no Diagrama 8 com  $C = 35 \text{ m}$  temos, para  $N_2 = 2$ ,  $L = 16,00 \text{ m}$ , que corresponde a  $l = 4,00 \text{ m}$  e  $N_1 = 4$ .

De posse desses elementos, podemos calcular a expressão

$$b \times p = \frac{V}{3 \cdot N_2 \cdot L}$$

$$b \times p = \frac{900}{3 \times 2 \times 16,00}$$

$$b \times p = 9,38 \text{ m}^2$$

Traçando-se no Diagrama 9 a curva correspondente a  $b \times p = 9,38 \text{ m}^2$ , podem-se escolher os valores mais convenientes para  $b$  e  $p$ . Uma vez escolhido o ponto de coordenadas  $b = 3,03 \text{ m}$  e  $p = 3,10 \text{ m}$ , temos não só determinados os valores de  $b$  e  $p$ , como também selecionados três tamanhos de conjuntos agitadores passíveis de utilização, ou seja

FH-1.22, FH-2.22 e FH-3.22

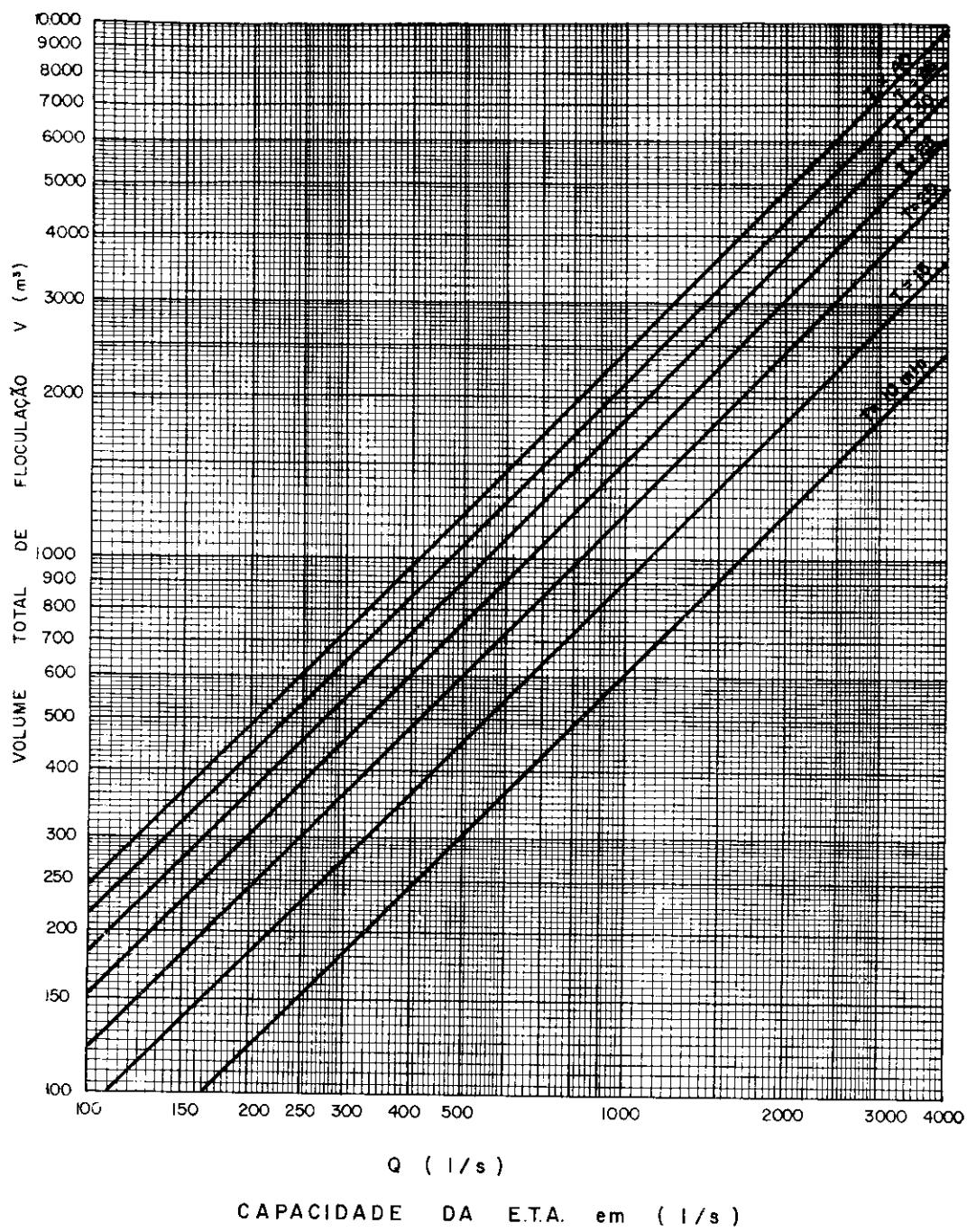


DIAGRAMA 7

TABELA XVI

Características dos floculadores mecânicos de eixo horizontal do tipo de paletas

Floculador	Gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ )	Dimensões (m)				Número de braços	Número de paletas p/ braços	Rotações (rpm)			Velocidade máxima a 2/3 do raio (m/s)	Máxima velocidade periférica (m/s)
		Diâmetro (m)	Comprimento da paleta (m)	Largura da paleta (m)	Distância entre 2 paletas consecutivas			$n_1$	$n_2$	$n_3$		
FH-1.43	60 a 100	2,20	3,00	0,15	0,10	4	3	5,08	5,7	6,4	0,49	0,74
FH-2.43	59,2 a 100	2,30	3,10	0,15	0,10	4	3	4,95	5,58	6,25	0,50	0,75
FH-3.43	57,8 a 97	2,40	3,20	0,15	0,10	4	3	4,74	5,3	5,97	0,50	0,75
FH-4.43	57,7 a 96,2	2,50	3,30	0,15	0,10	4	3	4,58	5,12	5,73	0,50	0,75
FH-5.43	54,6 a 93,2	2,60	3,40	0,15	0,10	4	3	4,34	4,88	5,51	0,50	0,75
FII-6.44	51,5 a 91,8	2,80	3,50	0,15	0,10	4	3	3,96	4,5	5,12	0,50	0,75

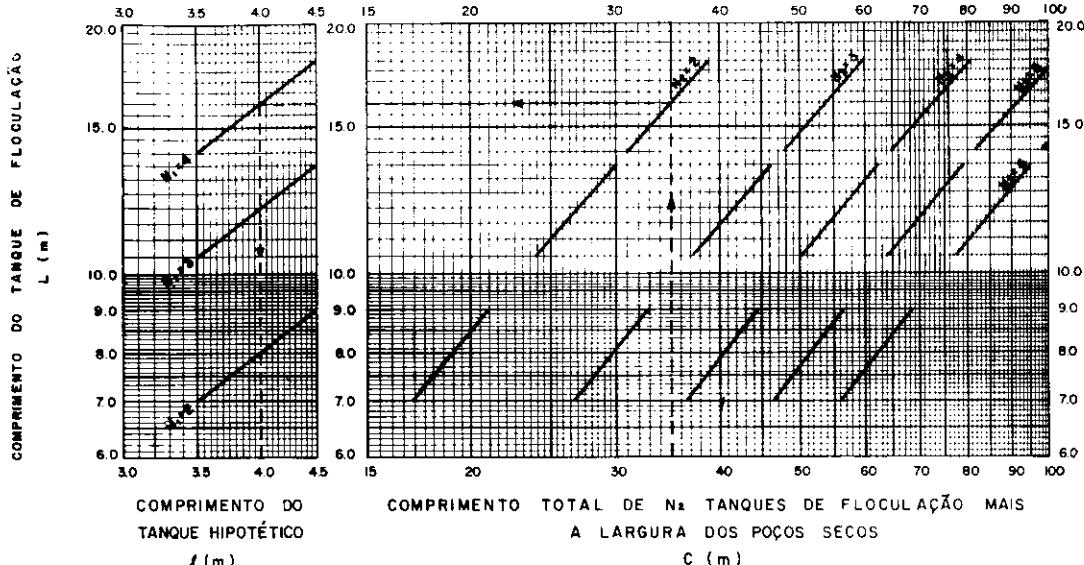


DIAGRAMA 8

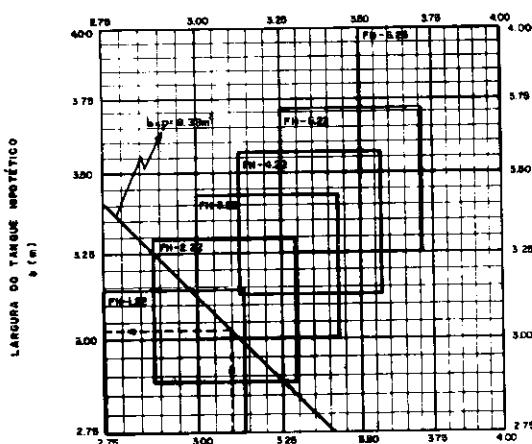


DIAGRAMA 9

Conhecidos os valores de  $p$ ,  $b$  e  $l$  temos determinado o valor de

$$v = p \times b \times l$$

ou seja

$$v = 3,10 \times 3,03 \times 4,00$$

portanto

$$v = 37,5 \text{ m}^3$$

Com esse valor de  $v$  e  $G = 65 \text{ s}^{-1}$  entra-se no Diagrama 10 como nos casos anteriores e escolhe-se o valor de  $K$  mais próximo.

Para o presente exemplo, temos  $K_{31}$  como o valor mais próximo, correspondendo portanto, ao agitador FH-3.43 com a rotação de 4,74 rpm. Temos então dimensionados os tanques de flocação e selecionado o tamanho conveniente do agitador entre aqueles fabricados pelas indústrias.

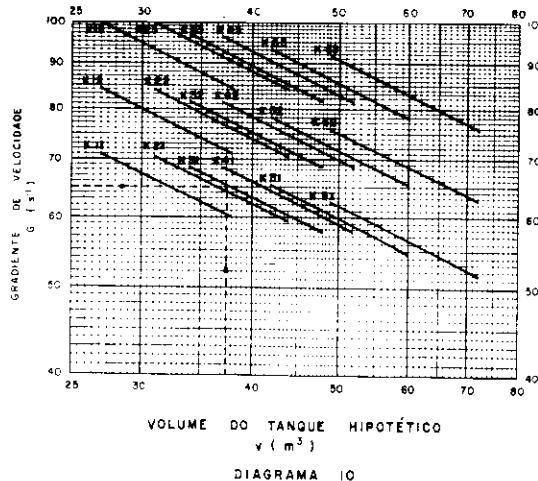
Pela Tabela XV tem-se a potência do motor. Para o FH-3.43 e  $N_1 = 4$  temos

$$P_{\text{motor}} = 5 \text{ cv}$$

Portanto, temos:

- (a)  $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- (b)  $T = 30 \text{ min}$
- (c)  $G = 65,2 \text{ s}^{-1}$
- (d)  $C = 35,00 \text{ m}$
- (e)  $L = 16,00 \text{ m}$
- (f)  $V = 900 \text{ m}^3$
- (g)  $N_1 = 4$
- (h)  $N_2 = 2$
- (i)  $l = 4,00 \text{ m}$
- (j)  $b = 3,03 \text{ m}$

- (k)  $B = 9,09 \text{ m}$   
 (l)  $p = 3,10 \text{ m}$   
 (m) agitador escolhido: FH-3 43  
 (n)  $n = 4,74 \text{ rpm}$   
 (o)  $P_{\text{motor}} = 5 \text{ cv}$



FLOCULADOR	$K \times 10^{-3}$ ( $\text{m}^3 / \text{s}^2$ )		
FH - 1,43	K <sub>11</sub> =136,8	K <sub>12</sub> =192,0	K <sub>13</sub> =270,0
FH - 2,43	K <sub>21</sub> =153,8	K <sub>22</sub> =219,0	K <sub>23</sub> =310,0
FH - 3,43	K <sub>31</sub> =160,3	K <sub>32</sub> =226,5	K <sub>33</sub> =320,0
FH - 4,43	K <sub>41</sub> =173,7	K <sub>42</sub> =244,0	K <sub>43</sub> =343,0
FH - 5,43	K <sub>51</sub> =179,0	K <sub>52</sub> =256,0	K <sub>53</sub> =365,5
FH - 6,44	K <sub>61</sub> =191,0	K <sub>62</sub> =281,0	K <sub>63</sub> =413,0

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A1) AZEVEDO NETTO, José Martiniano — **Tratamento de águas de abastecimento** — São Paulo, USP, 1966.
- B1) BATES, Robert L. et alii — **Impeller characteristics and power.** (In: UHL, Vicent W. & GRAY, Joseph B. **Mixing theory and practice** New York, Academic Press, 1966).
- C1) —, — p. 132.
- C2) —, — p. 132.
- M1) —, — p. 136.
- O1) —, — p. 136.
- P1) **MANUAL DEL INGENIERO HUTTE.** Barcelona, Gili, 1965, V. 1; p. 717.
- R1) UHL, Vicent W. & GRAY, Joseph B. — **Mixing theory and practice.** New York, Academic Press, 1966.

## SUGESTÕES PARA CONSULTA

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, ed. **Water treatment plant design.** New York, AWWA, ASCE, CSSE, [c]1969.

ARBOLEDA VALENCIA, J.; VARGAS CABALLERO; CORREAL CORREAL, Hernando — **Manual de tratamiento de aguas potables.** Caracas, 1969. (Programa de educación sanitaria; VEN - 6400, publ. 30).

AZEVEDO NETTO, José Martiniano — **Tratamento de águas de abastecimento.** São Paulo, USP, 1966.

FAIR, G. M.; GEYER, J. C. & OKUN, O. A. — **Water and wastewater engineering.** New York, Wiley [c1968]. V. 2.

FOUST, A. S. et alii — **Principles of unit operations.** New York, Wiley [c1960].

UHL, Vicent & GRAY, J. B. — **Mixing theory and practice.** New York, Academic Press, 1966.

## A N E X O I

### ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA N.º 14 (\*)

#### MISTURADORES RÁPIDOS MECANIZADOS TIPO TURBINA

FESB-CETESB — ESP-14 — SNE — SET./71

##### 1. OBJETIVO

1.1. Esta especificação fixa os característicos mínimos exigíveis no recebimento de misturadores rápidos mecanizados tipo turbina, a serem utilizados em Estações de Tratamento de Água.

##### 2. CONDIÇÕES GERAIS

2.1. O fornecimento, a entrega e a inspeção dos misturadores rápidos mecanizados tipo turbina deverão obedecer à ESP-O-FESB/CE-TESTE.

2.2. Os misturadores rápidos mecanizados tipo turbina destinam-se a promover a dispersão instantânea dos produtos químicos na água bruta.

2.3. O equipamento, cujas características estão relacionadas na Tabela I, é constituido de turbina de agitação, eixo e sistema de acionamento composto de motor elétrico e de redutor de velocidade montado sobre uma base metálica fixa.

2.4. Esta especificação deverá ser revista uma vez decorridos 2 (dois) anos, contados a partir do início de sua vigência.

##### 3. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

3.1. O motor deverá ser totalmente fechado, com ventilação externa, categoria B da EB-

120 da A.B.N.T. ou equivalente, trabalhando no máximo com 75% da sua potência nominal. Recomenda-se que a velocidade não seja superior a 1750 r.p.m. com a frequência de 60 Hz.

3.2. O redutor de velocidade deverá ser dimensionado para a potência máxima requerida (potência máxima a ser fornecida à água), com um fator de serviço mínimo de 1,8. O redutor deverá ser do tipo de engrenagens helicoidais, com carcaça de ferro fundido ou de aço. As engrenagens deverão funcionar em banho de óleo com indicador de nível. Todos os mancais internos do redutor deverão ter rolamentos. A vedação deverá ser feita através de retentores de óleo.

3.3. O eixo da turbina deverá ser ligado ao eixo de saída do redutor por meio de luva elástica. Esse eixo será guiado e apoiado em mancais próprios, independentes dos mancais internos do redutor. O espaçamento mínimo entre rolamentos do mancal duplo será 1/5 do comprimento total do eixo.

A caixa de rolamentos do eixo deverá ser vedada por meio de retentor. A superfície do eixo, em contato com o retentor, deverá ser revestida com material inoxidável. O dimensionamento da seção do eixo deverá ser feito em função dos valores máximos do torque e do esforço lateral.

3.4. A turbina constitui-se de um disco com paletas verticais fixadas na sua periferia por meio de parafusos. A fixação do disco ao eixo será feita através de flange. O disco deverá ser formado ou nervurado, para evitar empenamento em transporte ou em funcionamento.

(\*) Em fase experimental.

3.5. Todo o conjunto de acionamento, bem como o mancal do eixo da turbina, deverão ser fixados a uma base de aço, com «orelhas» para chumbadores, não se admitindo a fixação direta da base do redutor de velocidade à plataforma de apoio.

3.6. Os acoplamentos motor-redutor e redutor-eixo da turbina deverão ser previstos com luva elástica bipartida de comprovada eficiência e com durabilidade mínima de 2 (dois) anos em funcionamento contínuo, permitindo reposição de sua parte desgastada.

3.7. Todas as partes móveis serão de fácil acesso à lubrificação sem a necessidade de desmontagem do conjunto.

3.8. As paletas misturadoras deverão ser removíveis para manutenção e substituição.

3.9. O disco e as paletas deverão estar dinamicamente balanceados à rotação de trabalho.

#### 4. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E ACABAMENTOS

4.1. A base será fundida ou executada em perfilados de aço.

4.2. O eixo da turbina será de aço carbono maciço ou tubular, fixado ao disco por meio de flange de aço.

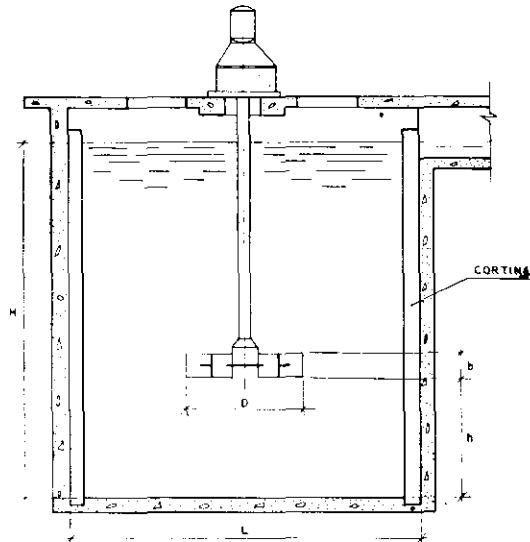
4.3. O disco e as paletas serão fabricados com chapa de aço carbono com proteção anti-corrosiva e tensões previamente eliminadas.

4.4. Todos os parafusos e porcas imersos serão de aço inoxidável AISI-304.

4.5. Todas as partes de fricção mecânica com retentores deverão ser de aço inoxidável AISI-304 ou revestidas com esse material.

4.6. Todas as partes oxidáveis serão jateadas ao metal branco e revestidas com 2 (duas) demãos de «primer epoxy» com pigmento para proteção contra corrosão galvânica. A aplicação do «primer» será feita em ambiente seco, logo após ao jateamento.

A proteção de acabamento deverá ser de «epoxy» ou pintura à base de borracha clorada.



SEÇÃO VERTICAL

MISTURADOR MECANIZADO TURBINA	RAPIDO TIPO
ESP — 14	1971

TABELA I

Características dos Misturados Rápidos Mecanizados Tipo Turbina

Mistura- dor	Gradiente de velocidade (s <sup>-1</sup> )	Dimensões (mm)					Nú- mero de Pale- tas	Rota- ção (rpm)	Volume útil do Tanque (m <sup>3</sup> )	Po- tênci- a do Motor (cv)
		Diâme- tro da Turbina D	Diâme- tro do Disco d	Compri- mento da paleta B	Lar- gura da paleta b					
MR-I	680 a 1000	370	277,5	92,5	74	6	181	0,94 a 2,14	2	
MR-II	680 a 1000	430	322,5	107,5	86	6	167	1,56 a 3,38	4	
MR-III	680 a 1000	500	375	125	100	6	150	2,46 a 5,30	5	
MR-IV	680 a 1000	600	450	150	120	6	134	4,25 a 9,20	10	
MR-V	680 a 1000	700	525	175	140	6	120	6,75 a 14,60	15	

## A N E X O   II

### ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA N.º 15 (\*)

#### FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO VERTICAL DO TIPO DE PALETAS

FESB-CETESB — ESP-15 — MAIO/71

##### 1. OBJETIVO

1.1. Esta especificação fixa os característicos mínimos exigíveis no recebimento de floculadores mecânicos de eixo vertical do tipo de paletas, utilizados em Estações de Tratamento de Água.

##### 2. CONDIÇÕES GERAIS

2.1. O fornecimento, a entrega e a inspeção dos floculadores mecânicos de eixo-vertical do tipo de paletas deverão obedecer à ESP-O-FESP/CETESB.

2.2. O floculador mecânico de eixo vertical do tipo paletas tem por finalidade promover a agitação lenta e uniforme em toda a massa de água após a mistura dos reagentes, permitindo contato íntimo entre os flocos iniciais e as impurezas, a fim de possibilitar a agregação e melhoria dos flocos sem que haja a quebra dos mesmos.

2.3. O equipamento, cujas características estão relacionadas na Tabela I, consiste de um conjunto motor-redutor, eixo e paletas verticais dispostas simetricamente em relação ao mesmo.

2.4. Este tipo de floculador é projetado para funcionar em uma câmara de seção quadrada em planta.

2.5. Esta especificação deverá ser revista uma vez decorridos 2 (dois) anos contados à partir do início da sua vigência.

##### 3. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

3.1. O motor deverá ser totalmente fechado, com ventilação externa, categoria B-EB-120-ABNT ou equivalente, trabalhando no máximo a 75% da sua potência nominal, com a velocidade máxima.

3.2. O redutor deverá ser totalmente fechado, previsto para serviço contínuo, com fator de serviço de 1,5 e engrenagens em banho de óleo. Deverá ser dimensionado para a condição de velocidade máxima.

3.3. A transmissão de velocidade ao eixo será feita por polias escalonadas, devendo ser observadas as recomendações do fabricante quanto ao diâmetro mínimo das mesmas. As correias deverão ser dimensionadas para trabalhar com velocidade periférica mínima de 2 m/s e torque máximo transmitido de acordo com as recomendações do fabricante. Todas as polias deverão ser balanceadas dinamicamente.

3.4. O eixo do floculador deverá ser maciço ou tubular de parede grossa. A fixação das paletas ao eixo deverá ser feita através de perfis ou chapas nervuradas. A superfície do eixo, em contato com o mancal inferior, deverá ser de aço inoxidável AISI-304 ou revestida com esse material, com espessura mínima de 1,5 mm.

(\*) Em fase experimental.

**TABELA I**  
**Características dos Floculadores Mecânicos de Eixo Vertical do Tipo de Paletas**

Floculador	Capacidade do Tanque (m <sup>3</sup> )	Gradiente de Velocidade (s <sup>-1</sup> )	Dâmetro	Dimensões (m)				Número de paletas por braço	Rotações (rpm)			Velocidade máxima a 2/3 do raio (m/s)	Máxima velocidade periférica (m/s)	Potência do Motor (cv)
				Comprimento das paletas	Largura das paletas	Distância entre 2 paletas consecutivas	Número de braços		n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>			
FV-1.42	10 a 16	49,5 a 100	1,60	3,20	0,15	0,10	4	2	5,0	5,8	6,8	0,33	0,57	1/2
FV-2.42	16 a 25	51 a 100	2,00	3,20	0,15	0,10	4	2	4,5	5,2	6,1	0,42	0,63	3/4
FV-3.42	23 a 36	51 a 100	2,40	3,20	0,15	0,10	4	2	4,1	4,8	5,5	0,46	0,69	1
FV-4.43	31 a 49	50 a 100	2,80	3,20	0,15	0,10	4	3	3,6	4,2	4,9	0,47	0,71	1 1/2
FV-5.43	40 a 64	49,5 a 100	3,20	3,20	0,15	0,10	4	3	3,3	3,9	4,5	0,50	0,75	1 1/2
FV-6.44	51 a 81	47,2 a 94,4	3,60	3,20	0,15	0,10	4	4	2,9	3,4	4,0	0,50	0,75	2

**Observações:** Profundidade do tanque — 3,50 a 4,00 metros. Caso sejam projetados tanques com profundidade superior a 4,00 m, o limite superior do intervalo de variação da capacidade do tanque será maior. Da mesma forma, o limite inferior do intervalo de variação de G será menor.

Os mancais submersos deverão ser de plástico auto-lubrificante ou de madeira com tratamento contra absorção de água.

3.5. As paletas deverão ser de madeira «amendoim», «ipê» ou «peroba rosa», com tratamento contra absorção de água. As paletas de-

verão estar suportadas por perfis de aço e ter espessura igual ou superior a 25 mm.

#### 4. DETALHES CONSTRUTIVOS

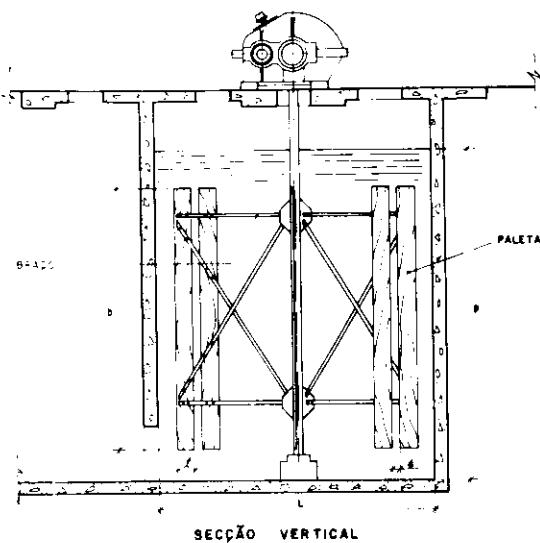
4.1. A fixação do conjunto motor-redutor à base de concreto deverá ser feita através de suportes de aço ou de ferro fundido, não se admitindo o assentamento direto no concreto.

4.2. As transmissões através de correias expostas deverão ser protegidas por capas.

4.3. As conexões entre o eixo de saída do redutor e o eixo do agitador deverão ser feitas por meio de luva, mantendo-o guiado ao centro.

4.4. Todos os parafusos e porcas submersos deverão ser de aço inoxidável tipo AISI-304.

4.5. Todas as partes metálicas oxidáveis deverão ser revestidas com «primer epoxy» com pigmento para proteção contra corrosão galvânica e «epoxy» de acabamento, observando-se a obrigatoriedade da limpeza prévia das partes com jato de areia ou decapagem química.



FLOCULADOR MECÂNICO DE  
EIXO VERTICAL DO TIPO DE PALETAS

ESP. - 15

1.971

## A N E X O   I I I

### ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA N.º 15-A<sup>(\*)</sup>

#### FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO HORIZONTAL DO TIPO DE PALETAS

FESB-CETESB — ESP-15-A — MAIO/71

##### 1. OBJETIVO

1.1. Esta especificação fixa os característicos mínimos exigíveis no recebimento de floculadores mecânicos de eixo horizontal do tipo de paletas, utilizados em Estações de Tratamento de Água.

##### 2. CONDIÇÕES GERAIS

2.1. O fornecimento, a entrega e a inspeção dos floculadores mecânicos de eixo horizontal do tipo de paletas deverão obedecer à ESP-O-FESB/CETESB.

2.2. O floculador mecânico de eixo horizontal do tipo de paletas tem por finalidade promover a agitação lenta e uniforme em toda a massa de água após a mistura dos reagentes, permitindo contato íntimo entre os flocos iniciais e as impurezas, a fim de possibilitar a agregação e melhoria dos flocos sem que haja a quebra dos mesmos.

2.3. O equipamento, cujas características estão relacionadas na Tabela I, consiste de um conjunto motor-redutor, eixo e paletas horizontais dispostas simetricamente em relação ao mesmo.

2.4. Este tipo de floculador é projetado para funcionar em uma câmara de seção retangular em planta.

2.6. Esta especificação deverá ser revista uma vez decorridos 2 (dois) anos contados a partir do início da sua vigência.

##### 3. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

3.1. O motor deverá ser totalmente fechado, com ventilação externa, categoria B-EB-120-ABNT ou equivalente, trabalhando normalmente no máximo a 75% da sua potência nominal, com a velocidade máxima.

3.2. O redutor deverá ser totalmente fechado, previsto para serviço contínuo, com fator de serviço de 1,5 e engrenagens em banho de óleo. Deverá ser dimensionado para a condição de velocidade máxima.

3.3. A transmissão de velocidade ao eixo será feita por qualquer dos três processos seguintes:

3.3.1. Acoplamento direto entre o eixo de saída do redutor e o eixo do agitador o qual deverá obrigatoriamente ser efetuado através de luva elástica de durabilidade mínima de 2 (dois) anos e com sistema de acoplamento facilmente recambiável, sem necessidade de troca da luva. Entre a luva elástica e a bucha de passagem na parede deverá ser previsto rolamento auto-compensador de dupla carreira de rolos.

3.3.2. Através de correntes e engrenagens, as quais deverão ser dimensionadas levando-se em conta o torque máximo. A carga de ruptura

(\*) Em fase experimental.

TABELA I

## Características dos Floculadores Mecânicos de Eixo Horizontal do Tipo de Paletas

Floculador	Gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ )	Dimensões (m)				Número de braços	Número de paletas por braço	Rotações (rpm)			Velocidade máxima a 2/3 do raio (m/s)	Máxima velocidade periférica (m/s)
		Diâmetro	Comprimento das paletas	Largura das paletas	Distância entre 2 paletas consecutivas			$n_1$	$n_2$	$n_3$		
FH-1.43	60 a 100	2,20	3,00	0,15	0,10	4	3	5,1	5,7	6,4	0,49	0,74
FH-2.43	59,2 a 100	2,30	3,10	0,15	0,10	4	3	5,0	5,6	6,2	0,50	0,75
FH-3.43	57,8 a 97	2,40	3,20	0,15	0,10	4	3	4,7	5,3	6,0	0,50	0,75
FH-4.43	57,7 a 96,2	2,50	3,30	0,15	0,10	4	3	4,6	5,1	5,7	0,50	0,75
FH-5.43	54,6 a 93,2	2,60	3,40	0,15	0,10	4	3	4,3	4,9	5,5	0,50	0,75
FH-6.44	51,5 a 91,8	2,80	3,50	0,15	0,10	4	4	4,0	4,5	5,1	0,50	0,75

da corrente escolhida deverá ser 6 (seis) vezes superior à carga máxima. Deverão ser usadas correntes com dupla ou tripla carreira de elos, dependendo da carga de ruptura. O passo mínimo deverá ser de 25 mm. A lubrificação, deverá ser feita através de «pingadeira» ou carter de óleo, não se admitindo lubrificação por meio de graxa.

As correntes e as engrenagens deverão ser protegidas por capas de chapa de aço ou de madeira.

Deverá ser previsto um sistema que permita o esticamento das correntes sem desmontagem.

3.3.3. Através de correias e polias, cujo dimensionamento deverá ser feito de acordo com as recomendações do fabricante no tocante ao torque máximo e diâmetro mínimo de polias.

3.4. O sistema de acionamento, no caso de acoplamento direto, será instalado em poço seco ou sobre o passadiço superior. Em todos os casos é obrigatória a existência de poço seco.

3.5. O eixo do floculador deverá ser de aço carbono retificado. A parte do eixo, cuja superfície friciona com buchas ou retentores, deverá ser revestida com aço inoxidável com espessura mínima de 2 mm, com posterior usinagem da superfície.

3.6. A fixação das paletas de madeira deverá ser feita através de perfis dos tipos canto-neira ou «U» com a utilização de parafusos. Após a soldagem ou aparafulamento dos perfis ao eixo, deverá ser revisto o seu alinhamento.

3.7. Os mancais submersos deverão ser de plástico auto-lubrificante ou de madeira. Apesar montados devem ser alinhados com rigor, não se admitindo desvios superiores a 3 mm em qualquer plano.

Deverão ser colocados externamente a cada eixo, mancais de rolamentos auto compensadores para aliviarem esforços laterais oriundos das transmissões.

3.8. As paletas deverão ser de madeira «amendoim», «ipê» ou «peroba rosa», com tratamento contra absorção de água. As paletas deverão estar suportadas por perfis de aço e ter espessura superior a 25 mm.

#### 4. DETALHES CONSTRUTIVOS

4.1. A fixação do conjunto motor-redutor à base de concreto deverá ser feita através de suportes de aço ou de ferro fundido, não se admitindo o assentamento direto do conjunto motor-redutor ao concreto.

4.2. Todas as transmissões de rotação entre eixos colineares deverão ser feitas por meio de luva elástica.

4.3. Nos casos em que forem necessários mais de dois mancais, os eixos deverão ser acoplados por meio de luvas, mantendo as partes acopladas na mesma linha de centro.

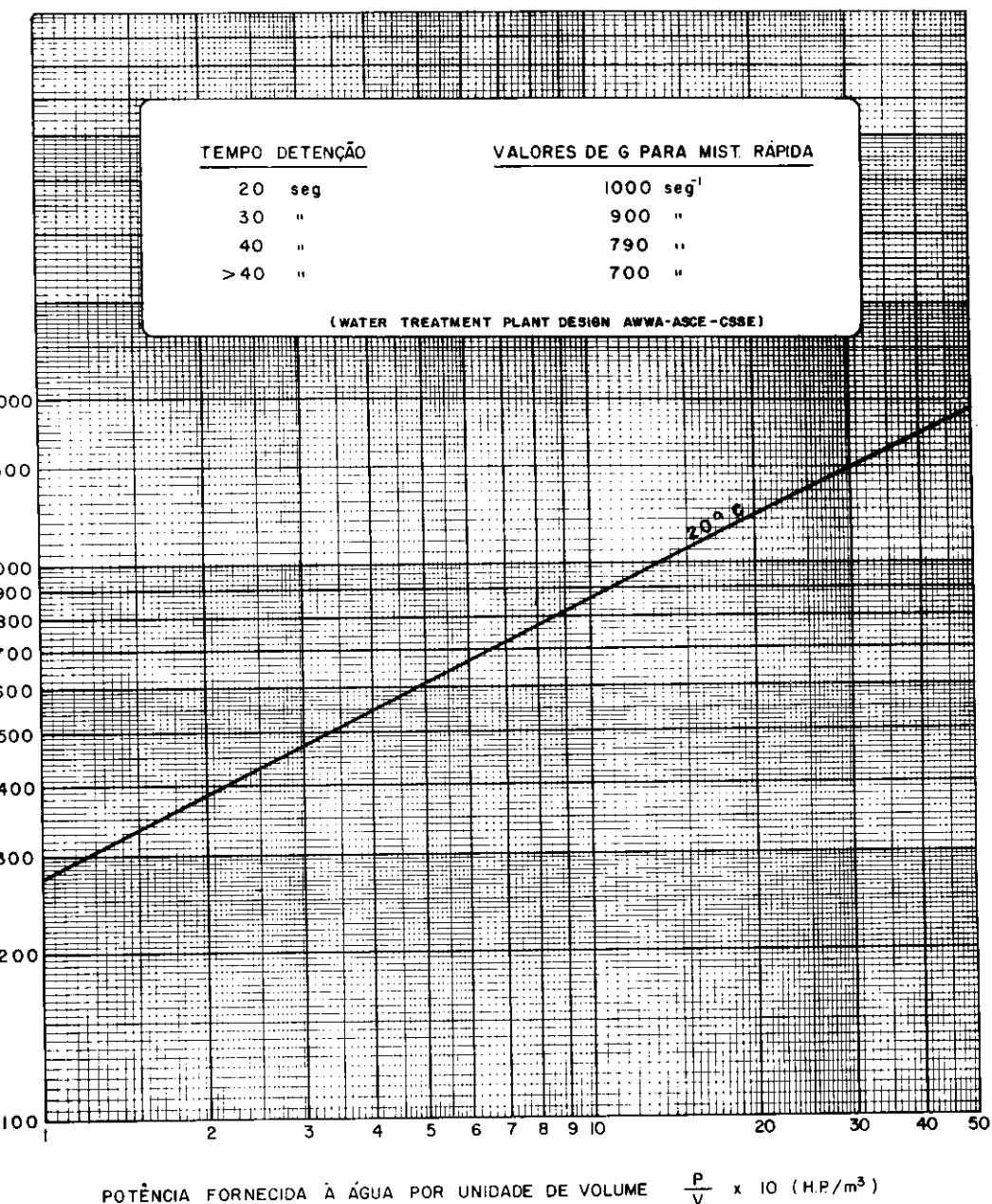
4.4 Todos os parafusos e porcas submersos deverão ser de aço inoxidável do tipo AISI-304.

4.5. Todas as partes metálicas oxidáveis deverão ser revestidas com «primer epoxy» com pigmento para proteção contra corrosão galvânica e «epoxy» de acabamento, observando-se a obrigatoriedade da limpeza prévia das partes com jato de areia ou decapagem química.

4.6 As buchas de passagem dos eixos em paredes de concreto deverão ser de bronze com engaxetamento duplo, um em cada face da rede.

## C E T E S B

DIAGRAMA GRADIENTE DE VELOCIDADE  
 X  
 POTÊNCIA FORNECIDA À ÁGUA

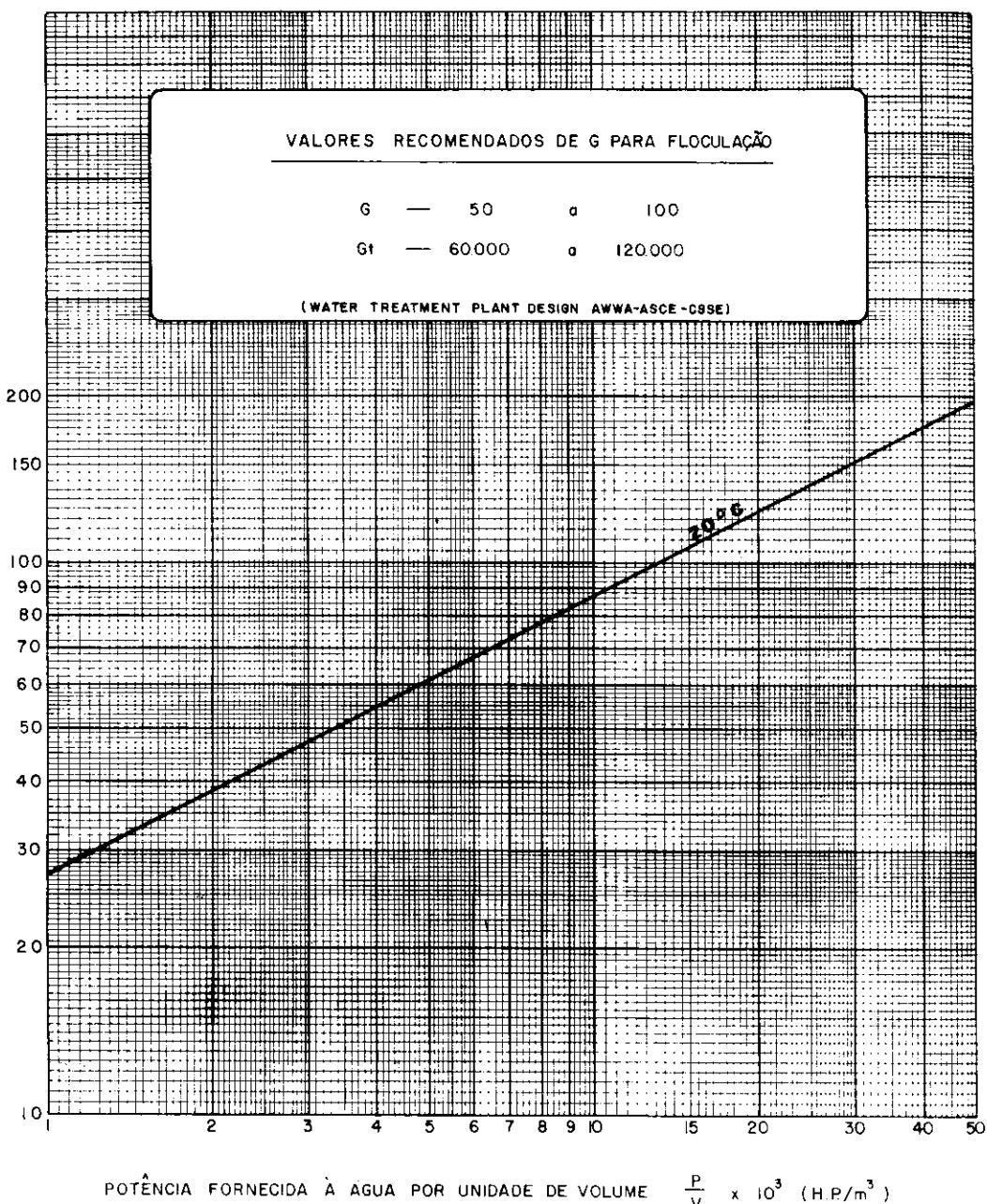


ADAPTADO AO SISTEMA MÉTRICO PELO Eng. ANTONIO C. PARLATORE  
 DIV. DE ENSAIOS E NORMALIZAÇÃO

prodase s/c

## C E T E S B

DIAGRAMA GRADIENTE DE VELOCIDADE  
 X  
 POTÊNCIA FORNECIDA À ÁGUA



ADAPTADO AO SISTEMA MÉTRICO PELO Eng ANTONIO C. PARLATORE  
 DIV DE ENSAIOS E NORMALIZAÇÃO

prodese s/e