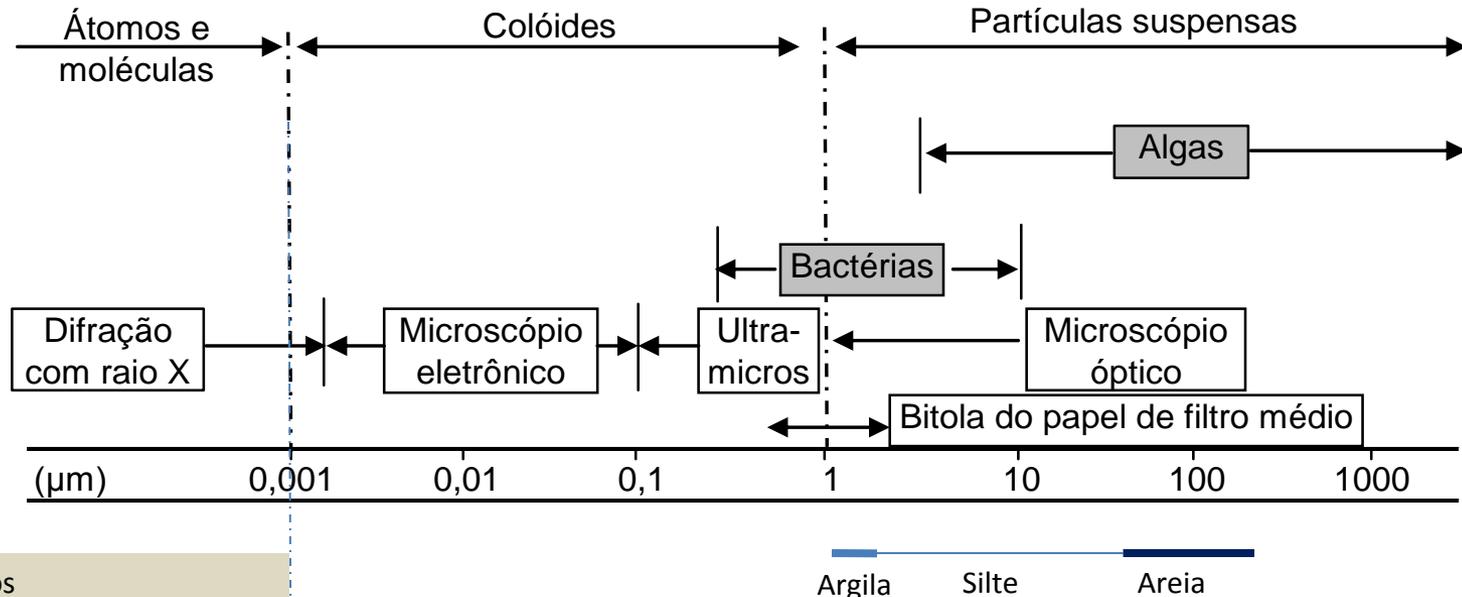


10.3 - Coagulação

Distribuição de tamanho de partículas em Águas Naturais

FONTE: Adaptado de DI BERNARDO (1993) apud NUVOLARI (2003)



Dissolvidos

Dureza (sais de cálcio e magnésio), ferro e manganês não oxidados

Coloidais:
emulsões (CO₂), Fe e Mn oxidado, etc.

Finas:
bactérias, plankton, etc.

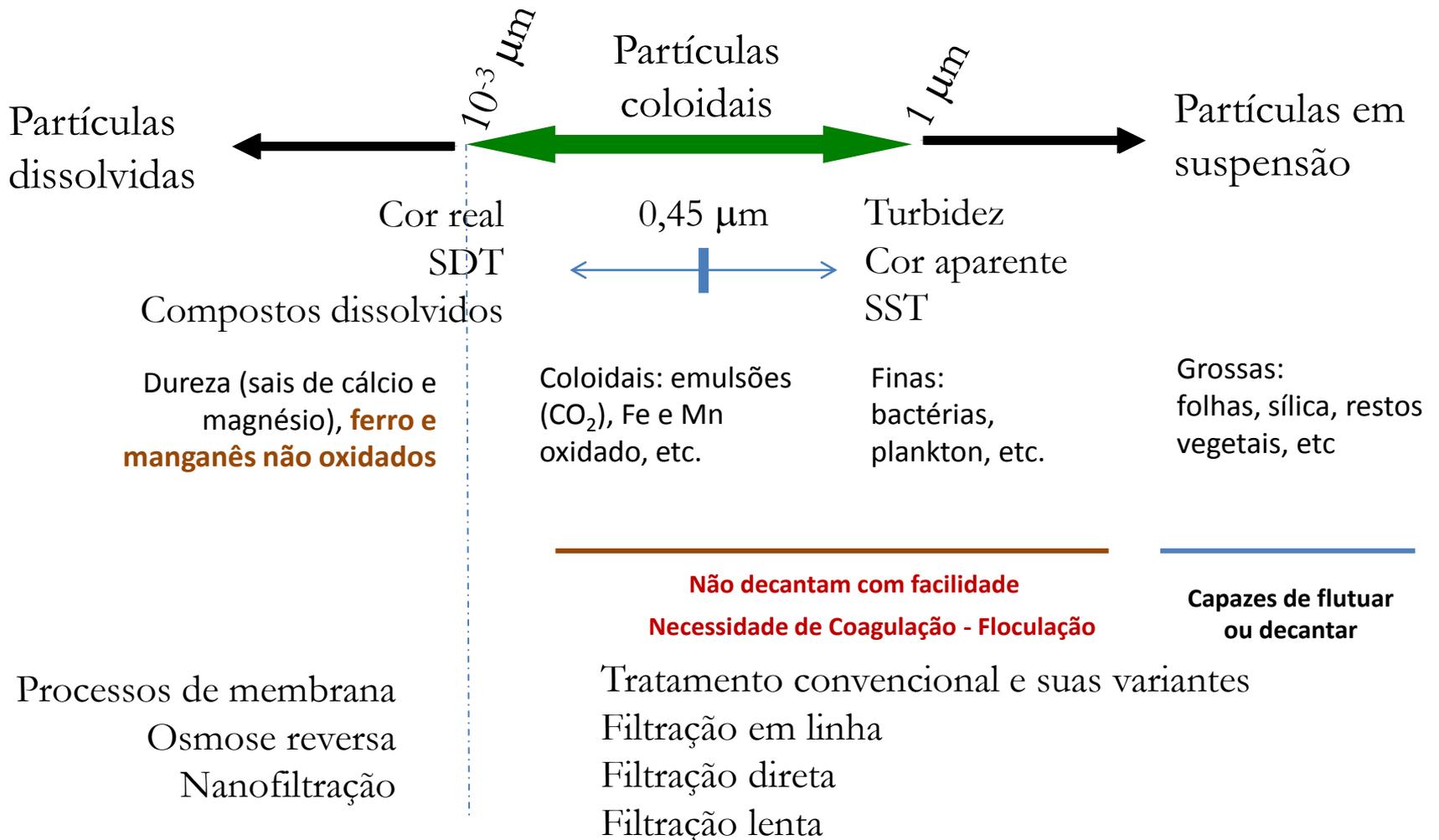
Grossas:
folhas, sílica, restos vegetais, etc

Valores de v_s (m/dia) p/ diversos tamanhos de partículas, a 20°C

Tamanho das Partículas (µm)	Densidades das Partículas (g/cm ³)			
	1,8	2,0	2,5	2,7
Areia Fina				
300	300	400	710	800
50	94	120	180	200
Silte				
50	94	120	180	200
20	15	19	28	32
10	3,8	4,7	7,1	8
5	0,94	1,2	1,8	2,0
2	0,15	0,19	0,28	0,32
Argila				
2	0,15	0,19	0,28	0,32
1	0,04	0,05	0,07	0,08

FONTE: KISER (1979) apud CHEN (2001)

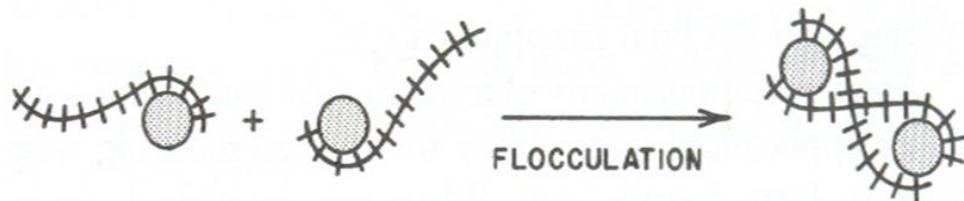
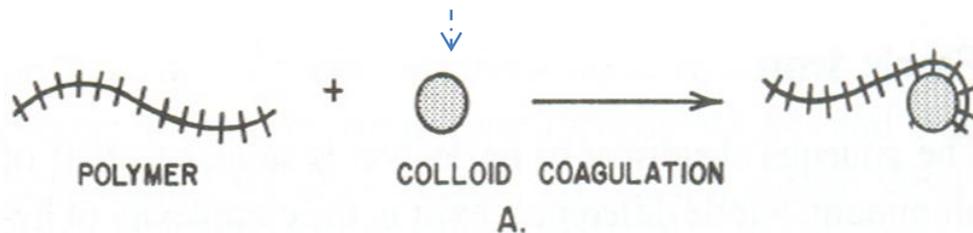
Distribuição de tamanho de partículas em Águas Naturais



Coagulação

Desestabilização eletrostática das impurezas, via introdução de coagulantes, para posterior formação de partículas maiores (flocos) a fim de facilitar remoção por sedimentação e/ou filtração ou, em alguns casos, por flotação.

Impurezas que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal, ou em solução (bactérias, protozoários e/ou plâncton)



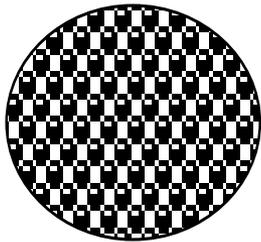
Processo de coagulação

a) Classificação dos colóides

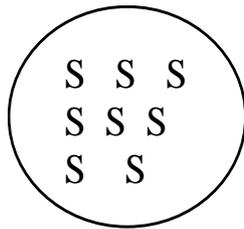
Colóide micelar

Colóide é formado por aglomerado de átomos, íons ou moléculas (micelas).

Ex: S_8 (enxofre micelar)



$$10^{-7} \leq D \leq 10^{-5}$$

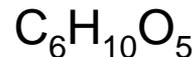


Micela

Colóide molecular:

A molécula possui tamanho suficiente para ser classificado como colóide.

Ex. Amido

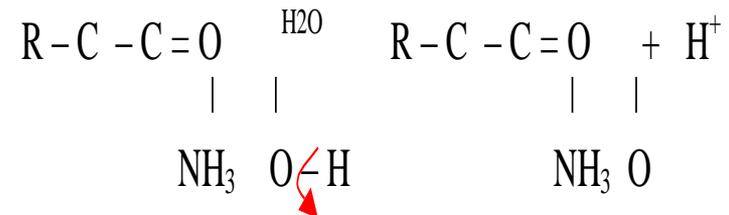


$$10^{-7} \leq D \leq 10^{-5}$$

Colóide iônico:

Cada íon possui tamanho suficiente para ser classificado como colóide.

Ex. Aminoácidos após ionização



b) Características dos sistemas coloidais

Efeito Tyndall

Propriedade de dispersar luz. Um corpo só é visível quando adquire tamanho suficiente para refletir uma fração da luz incidente (colóides e suspensões finas possuem tamanhos suficientes para refletir a luz, formando um feixe de luz visível).

Força de Van der Waals

As partículas estão sujeitas a uma força de atração, de origem molecular, muitas ordens de grandeza superior às forças gravitacionais, que enfraquece rapidamente com a distância entre as partículas.

Movimento Browniano

Os colóides são “bombardeados” pelas moléculas de água, adquirindo a mesma energia cinética. (movimento irregular, desordenado e caótico)

Propriedades elétricas

Quando uma solução coloidal é submetida a um campo elétrico, as partículas coloidais se dirigem para o mesmo eletrodo, provando assim que os colóides são dotados de carga elétrica. Há uma força de repulsão eletrostática entre os colóides.

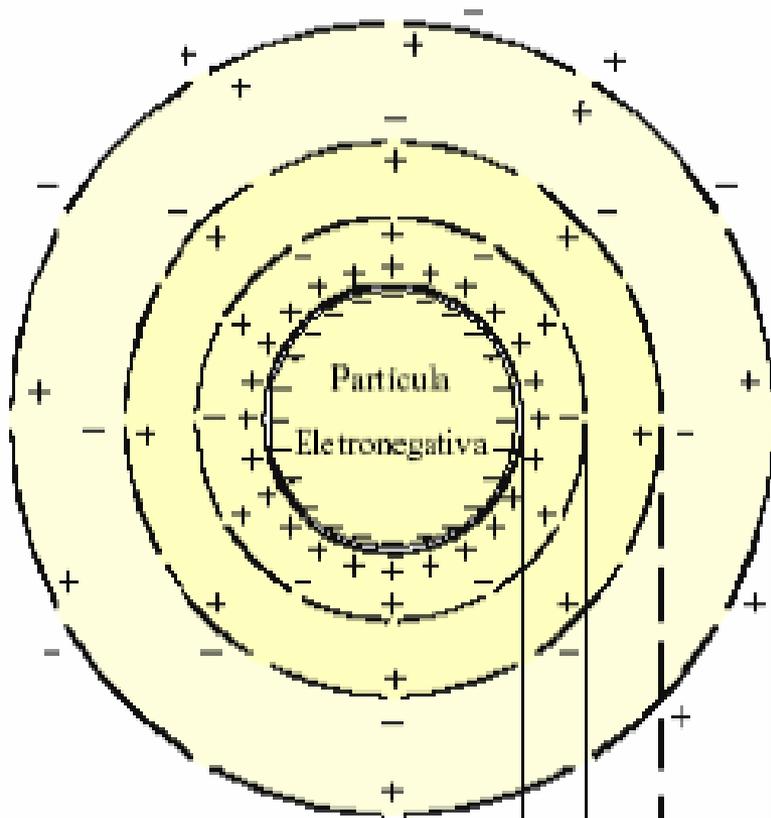
c) Origem das cargas elétricas em colóides

Por dissociação de substâncias que constituíam a estrutura do cristal natural

Por reações químicas na superfície

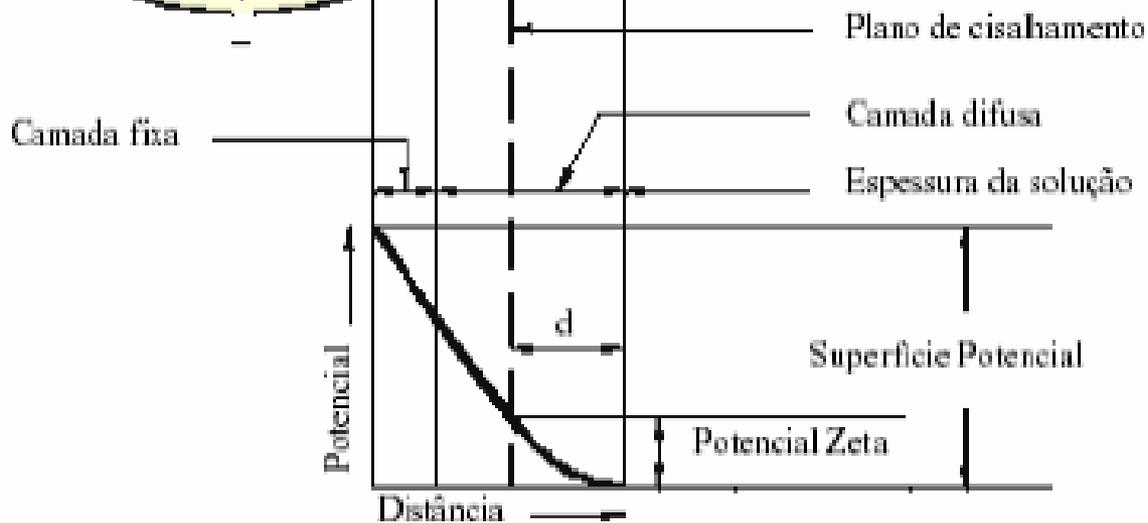
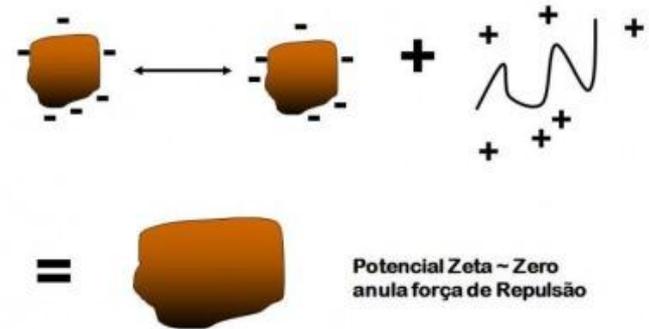
Por adsorção seletiva dos íons

Íons de carga oposta são fortemente adsorvidos na superfície da partícula formando uma camada fortemente aderida



- **Coagulação**

- Neutralização de Cargas Superficiais



- As partículas coloidais, presentes na água bruta, são na grande maioria de característica eletropositiva
- As cargas superficiais dos colóides são contrabalançadas pelas cargas na fase aquosa:
 - primeiro pela adsorção de ânions em sua superfície, formando a camada de adsorção e,
 - em seguida, devido a natural atração eletrostática, forma-se uma segunda camada de cátions chamada de camada fixa ou compacta.
- A camada de adsorção e a camada compacta formam a dupla camada elétrica;
- Com o movimento browniano que as partículas coloidais estão submetidas e o choque com as moléculas do meio líquido há liberação de algumas cargas positivas da camada compacta, o que impede a neutralização e forma-se uma terceira camada denominada camada difusa. A camada difusa envolve a dupla camada elétrica.
- Por não ocorrer a neutralização do colóide, o mesmo adquire a carga elétrica da camada de adsorção, tornando-se eletronegativo.
- Como há diferença de concentração de cargas positivas, não neutralizadas nas camadas, em relação ao final da camada difusa, gera-se um potencial que é máximo junto ao colóide e igual a zero no final da camada difusa.
- Isto porque, à medida que se afasta do colóide as cargas positivas são neutralizadas pelas cargas negativas do meio.
- A camada difusa é dividida por um plano de cisalhamento, isto é, uma linha imaginária, localizada em algum ponto da camada difusa, que separa a dispersão da camada que se move com o colóide do restante das cargas, tornando-se parte integrante do mesmo.
- A diferença de concentração de cargas positivas não neutralizadas no plano de cisalhamento em relação ao final da camada difusa gera um potencial denominado potencial zeta.
 - Potencial Zeta: mede a carga da partícula coloidal; é dependente da distância na qual a carga é efetiva.
 - Quanto maior o potencial Zeta, maiores serão as **forças de repulsão** entre os colóides e mais estáveis serão as suspensões coloidais.

Mecanismo da Coagulação

O objetivo da coagulação química é desestabilizar os colóide de modo que as partículas entrem em contato e se aglomerem formando flocos que sedimentam.



A adição de íons, com cargas opostas às cargas da camada de adsorção, serve para aumentar a concentração de íons contrários na camada difusa, reduzindo o potencial (barreira) no plano de cisalhamento.



Quando o Potencial Zeta é igual a zero, por compressão da camada compacta é possível a neutralização do colóide.



Ou seja, para se obter a coagulação e floculação é necessário:

- 1- reduzir o Potencial Zeta a valores que diminuam a repulsão entre as partículas.
- 2- Introduzir no meio compostos que auxiliem na formação de aglomerados de partículas (Flocos)
- 3- Fornecer energia ao meio para que propicie maior contato entre os colóides neutralizados.

▪

Mecanismo da Coagulação

Além da compressão da camada difusa, a coagulação pode ocorrer por:



- Adsorção para produzir neutralização de cargas;
 - Varredura ou captura em precipitados;
- Adsorção e formação de pontes entre partículas.

Mecanismos da coagulação

Tamanho do floco
desejado

- **Mecanismo de Varredura**

- Utilizado para tecnologias convencionais (coagulação-floculação-decantação-filtração) → Flocos deverão apresentar densidade suficiente para permitir deposição nos decantadores.

- **Mecanismo de Adsorção/Neutralização**

- Utilizado em tecnologias de tratamento simplificado (ex. filtração direta: coagulação-filtração) → Não necessidade de flocos grandes e sim de desestabilização das partículas para que sejam eficientemente retidas nos filtros

Coagulantes

- Sulfato de alumínio: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- Policloreto de alumínio
- Cloroeto férrico: FeCl_3
- Sulfato férrico: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- Sulfato ferroso clorado
- Hidroxi-cloroeto de alumínio (HCA ou PAC): $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$



Sulfato de alumínio: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
Líquido



Sulfato de alumínio: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
Sólido

Dosagens usualmente empregadas em ETAs

- **Sulfato de alumínio**

- Dosagem: 5 mg/l a 100 mg/l
- Líquido:
 - Pureza: 50 %;
 - Massa Específica: 1.300 kg/m³
- Sólido:
 - Sacos de 25kg e 40 kg;
 - Pureza: 90 a 95 %;
 - Massa Específica Aparente: 700 a 800 kg/m³

- **Cloreto férrico**

- Dosagem: 5 mg/l a 70 mg/l
- Líquido:
 - Pureza: 35 %;
 - Massa Específica: 1.400 kg/m³

- **Sulfato férrico**

- Dosagem: 8 mg/l a 80 mg/l
- Líquido:
 - Pureza: 42 %;
 - Massa Específica: 1.500 kg/m³

- **Coagulantes orgânicos catiônicos**

- Dosagem: 1 mg/l a 4 mg/l
- Sólido ou líquido

Fatores que interferem na coagulação

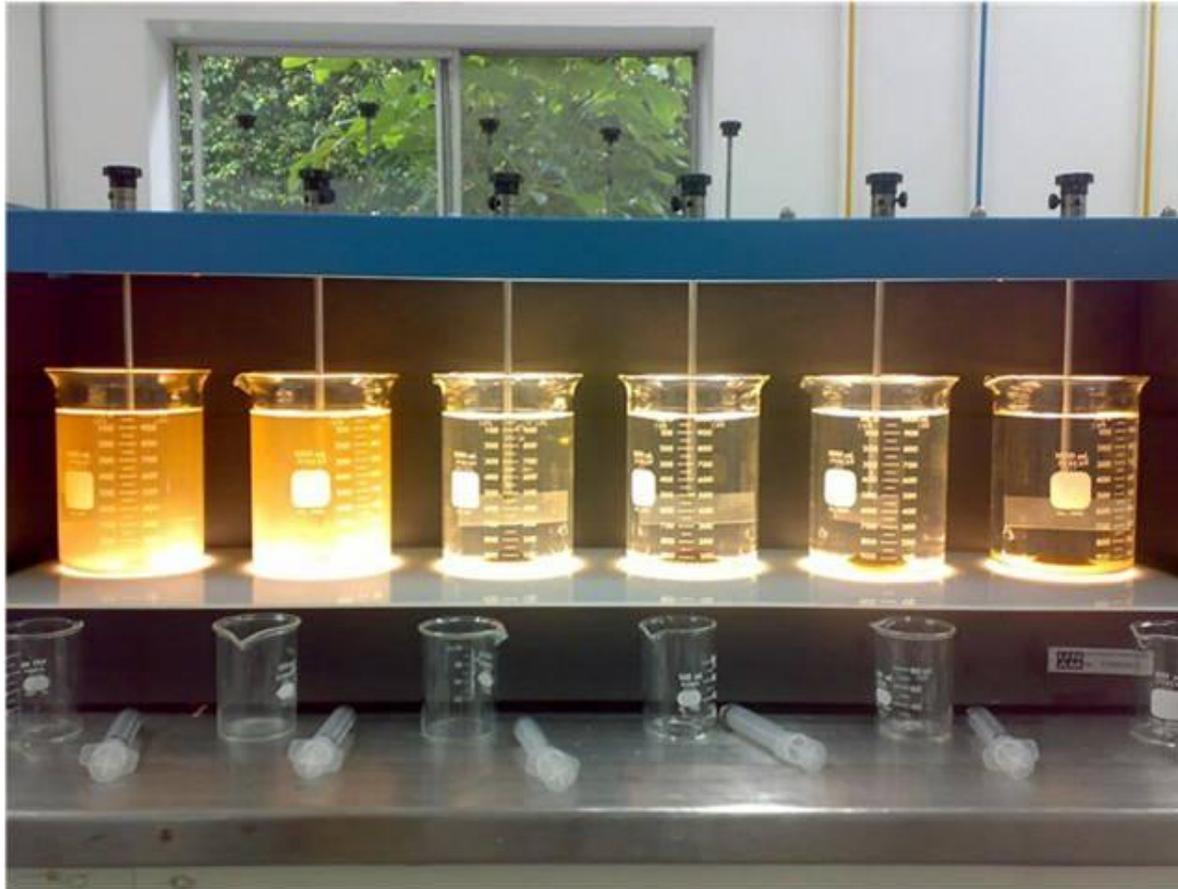
- pH → cal hidratada, hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂]
- Coagulante: Tipo e Dosagem
- Tempo de detenção: 1s a 3min
- Gradiente de velocidade de mistura rápida (intensidade da agitação da massa líquida): ~500/s a ~7000/s
- Características da água bruta (grande variação)

IMPORTANTE!!!
Comprometem
desempenho e custo!!

Determinar parâmetros:

- Experimento em instalação piloto
- Jar-Teste

Jar-teste



20, 30, 40, 50, 60 e 70 mg de sulfato de alumínio, por exemplo

Coagulação melhorada

Remoção não só de cor, mas de Matéria Orgânica Natural (MON)

- Dosagem mais elevada de coagulante e
- Valores baixos de pH

- Polímeros
 - Sintéticos ou naturais
 - Catiônicos, aniônicos ou não aniônicos

Mistura rápida

Unidade onde ocorre a coagulação, dado gradiente de velocidade específico

O processo de desestabilização é muito rápido, variando de **0,001 s até cerca de 100 s**.

Mistura hidráulica

- Calha Parshall
- Vertedores retangulares
- Malhas difusoras
- Injetores

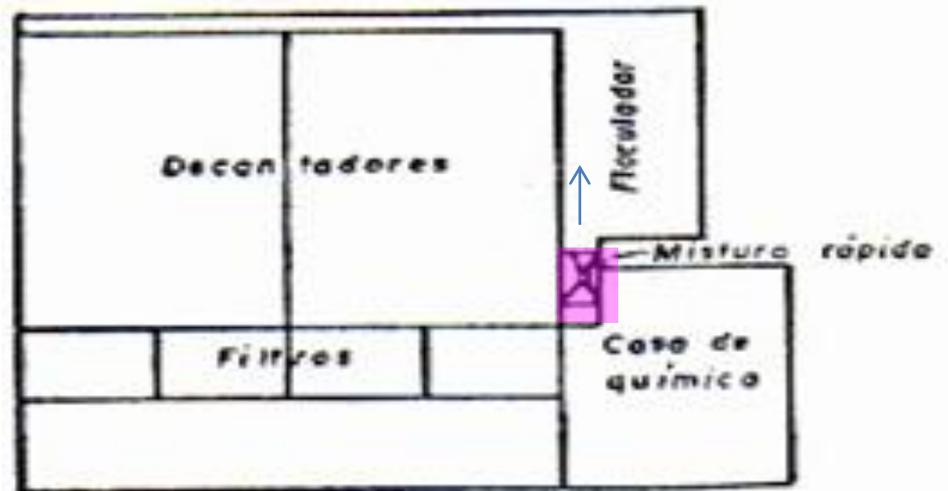
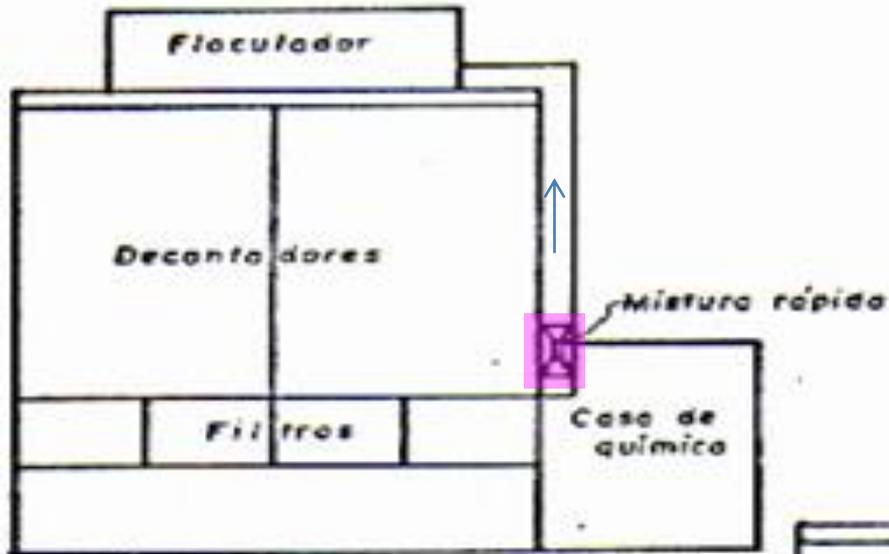


Mistura mecânica:

- Agitadores mecânicos
- Misturadores de turbinas
- Hélice propulsora



Configuração típica





ETA Gravatá, CAGEPA, Sistema Boqueirão-Campina Grande



http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Tratam03_coag.htm

TRATAMENTO CONVENCIONAL ETA ANHANGABAÚ (JUNDIAÍ – SP)

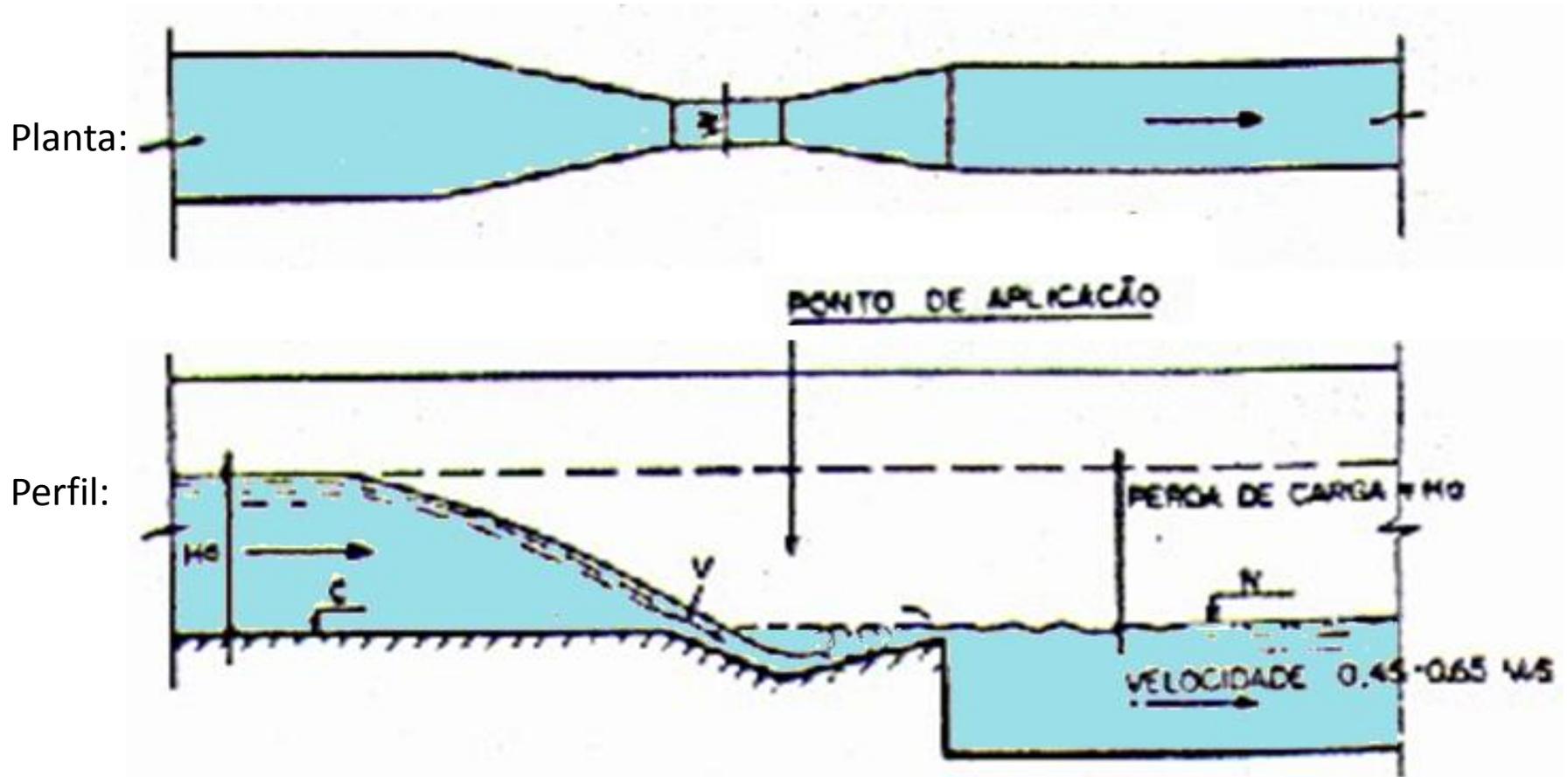


Adição do Coagulante



Prof. Daniel Costa
dos Santos (UFPR)

Mistura rápida: Calha Parshall



ETA CAMPOS DO JORDÃO



Fonte: EPUSP – PHD 2411

Calha Parshall



ETA CAMPOS DO JORDÃO



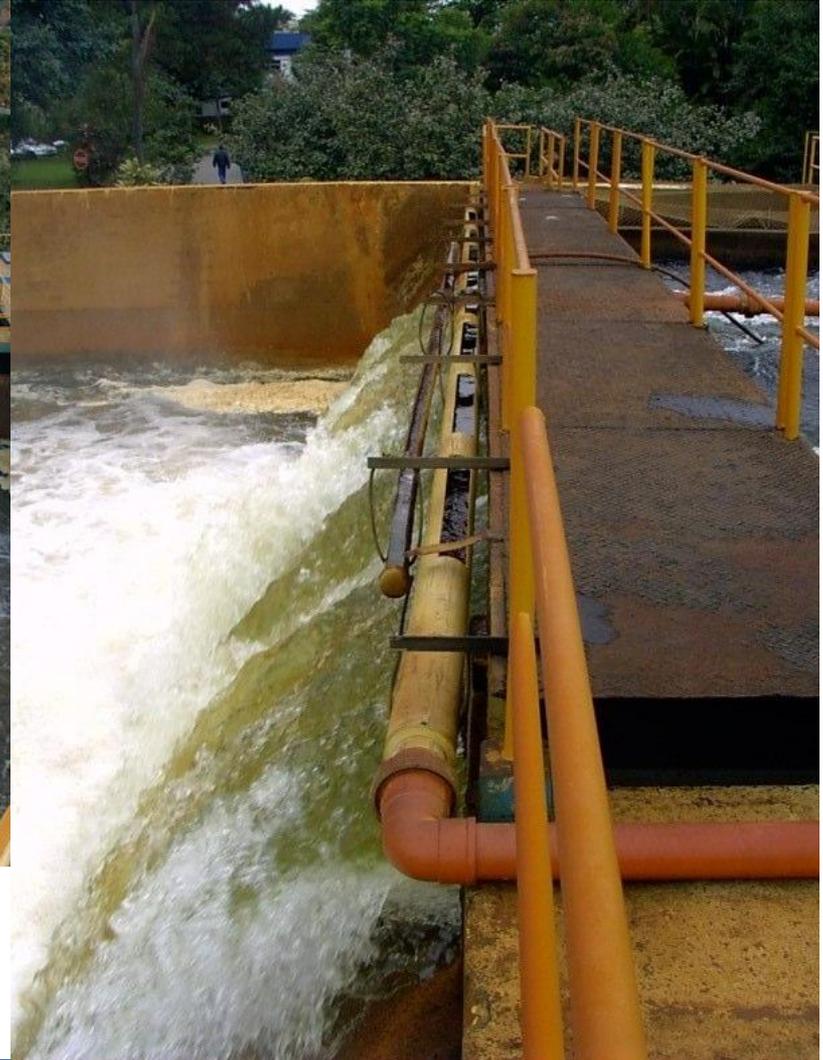
Fonte: EPUSP – PHD 2411

ETA GUARAÚ (SABESP)



Fonte: EPUSP – PHD 2411

Vertedores retangulares



ETA ALTO DA BOA VISTA

Fonte: EPUSP – PHD 2411

ETA RIO GRANDE (SABESP)

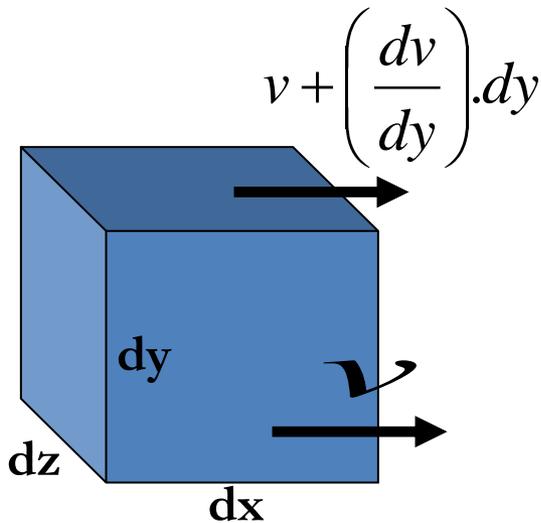


Fonte: EPUSP – PHD 2411

Gradiente de velocidade

Pot = Potência fornecida à água

$$P_{ot} = F_a \cdot v$$



$$dP_{ot} = dF \cdot v$$

$$dP_{ot} = \tau \cdot dA \cdot \left(v + \frac{dv}{dy} \cdot dy \right) - \tau \cdot dA \cdot v$$

$$dP_{ot} = \tau \cdot dA \cdot \left(\frac{dv}{dy} \right) \cdot dy$$

$$dP_{ot} = \tau \cdot \left(\frac{dv}{dy} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

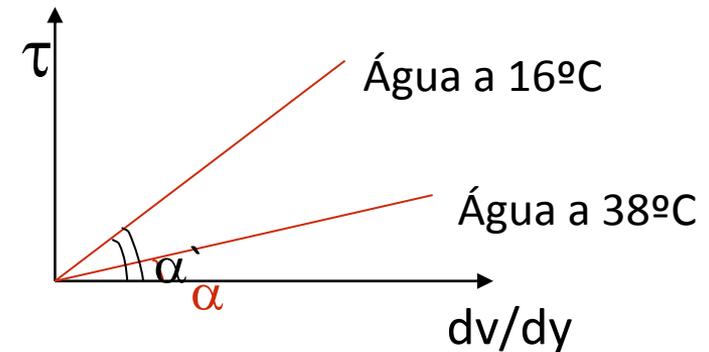
τ : Tensão de cisalhamento

μ : Viscosidade dinâmica da água

Sendo conhecido o diagrama da tensão de cisalhamento (τ) em função do gradiente de velocidade (dv/dy)

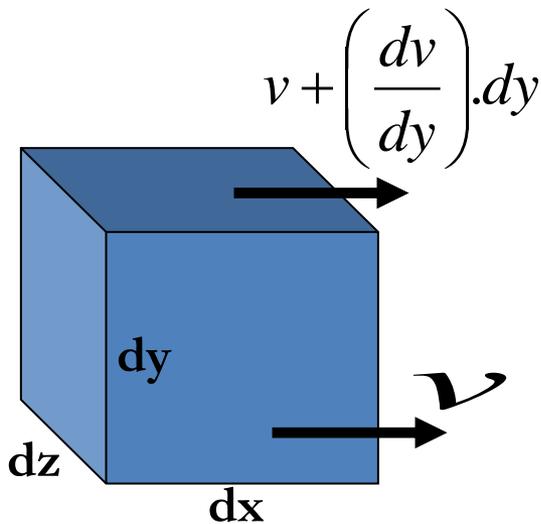
$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \operatorname{tg}\alpha$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \mu$$



$$dP_{ot} = \tau \cdot \left(\frac{dv}{dy} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

$$dP_{ot} = \mu \cdot \left(\frac{dv}{dy} \right) \cdot \left(\frac{dv}{dy} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$



$$dP_{ot} = \mu \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right) \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

$$dP_{ot} = \mu \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right)^2 \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

Sabendo-se: $G = \left(\frac{dv}{dy}\right)$

$$dP_{ot} = \mu \cdot G^2 \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

P_{ot} = Potência (W)
 μ = Viscosidade dinâmica

$$G = \sqrt{\frac{P_{ot}}{\mu \cdot V_{ol}}}$$

G=Gradiente de velocidade (s⁻¹)

$$G = \left(\frac{dv}{dy} \right) \quad G = \sqrt{\frac{P_{ot}}{\mu \cdot V_{ol}}}$$
$$\begin{aligned} \rightarrow G &= \sqrt{\frac{P_{ot}}{\mu \cdot V_{ol}}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot Q \cdot \Delta H}{\mu \cdot V_{ol}}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \Delta H}{\mu \cdot \theta_h}} \\ \rightarrow G &= \sqrt{\frac{\gamma \cdot Q \cdot \Delta H}{\mu \cdot V_{ol}}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot V \cdot A \cdot \Delta H}{\mu \cdot A \cdot L}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot V \cdot \Delta H}{\mu \cdot L}} \end{aligned}$$

P é a potência dissipada em função da perda de carga h_f (kgf.m/s);

V é o volume de deslocamento da água (m³);

μ é a viscosidade absoluta ou dinâmica (kgf.s/m²)

ν = Viscosidade cinemática = μ/ρ

γ = peso específico = $\rho \cdot g$

μ = é a viscosidade absoluta ou dinâmica (kgf.s/m²)

Temperatura	μ (kgf.s/m ²)x10 ⁻⁴	Temperatura	μ (kgf.s/m ²)x10 ⁻⁴
0	1,791	50	0,549
10	1,308	60	0,469
15	1,114	70	0,407
20	1,007	80	0,357
30	0,799	90	0,317
40	0,653	100	0,284

Conversão de unidades: 1 kgf = 9,80665 N

A água em escoamento reage à tensão de cisalhamento, sofrendo uma deformação angular que é proporcional a essa tensão.

Viscosidade absoluta ou dinâmica é a constante de proporcionalidade definida como a razão entre essa tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade.

Unidades de mistura rápida - Parâmetros de projeto

Recomenda-se:

- Tempo de mistura (T)
 - $T < 7$ segundos
- Gradiente de velocidade (G)
 - G entre 300 e 1200 s^{-1}
- Parâmetro $G \times T$ (Kawamura, 1991)
 - GT entre 300 e 1600

ETA (Buenos Aires)

$GT = 1500$

$G = 300 s^{-1}$

$T = 7 s$

Mistura mecânica

Agitadores tipo turbina: movimentam o líquido pelo movimento rotativo do impulsor

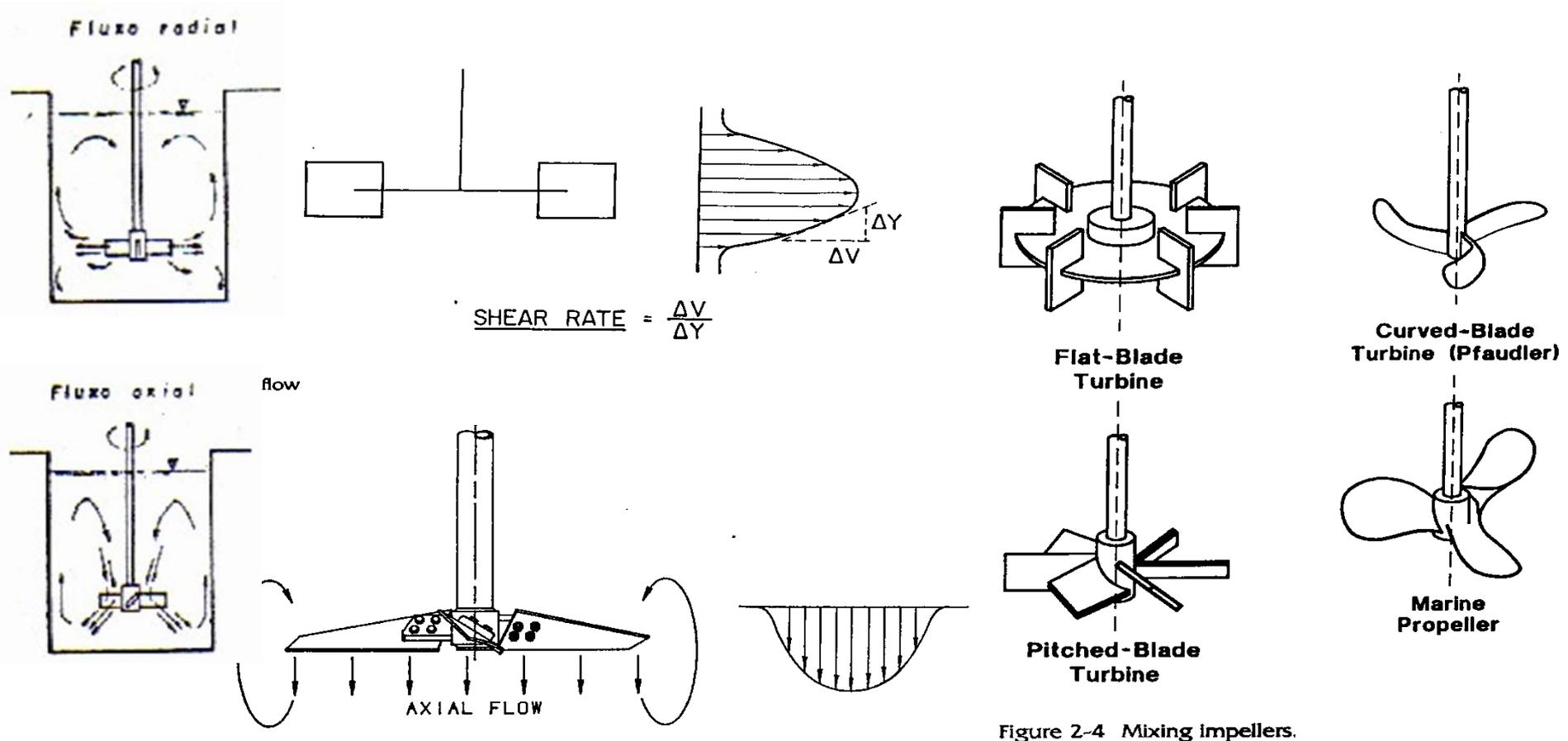


Figure 2-4 Mixing impellers.

B. Fluidfoil

Courtesy of Lightnin, A Unit of General Signal, Rochester, N.Y.

Figure 9-2 Typical velocity profiles from common impeller types.

SISTEMAS DE AGITAÇÃO

Potência dissipada em regime turbulento (Uhl & Gray, 1966):

$$P_{ot} = K_T \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5$$

P=Potência dissipada (W)

K_T = f(tipo de rotor)

n=rotação (rps)

D=diâmetro do rotor (m)

ρ =densidade da água

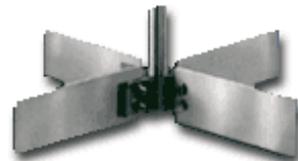
(998,207kg/m³ a 20°C)

Número de potência=f(Re, impulsor, defletores, adimensionais geométricos)

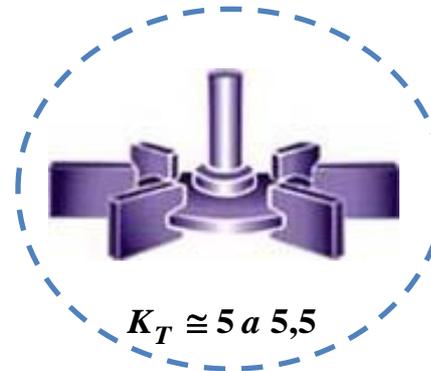
• Na região laminar (Re<10): $N_p=K_L/Re$

• Na região a de turbulência: $N_p=K_T$

FLUXO RADIAL



$K_T \cong 1,5 a 2,0$



$K_T \cong 5 a 5,5$

Fluxo radial , Turbina com 6 lâminas curtas em um disco
→ maior K_T → maior potência dissipada → Mais indicada para a mistura rápida

FLUXO AXIAL



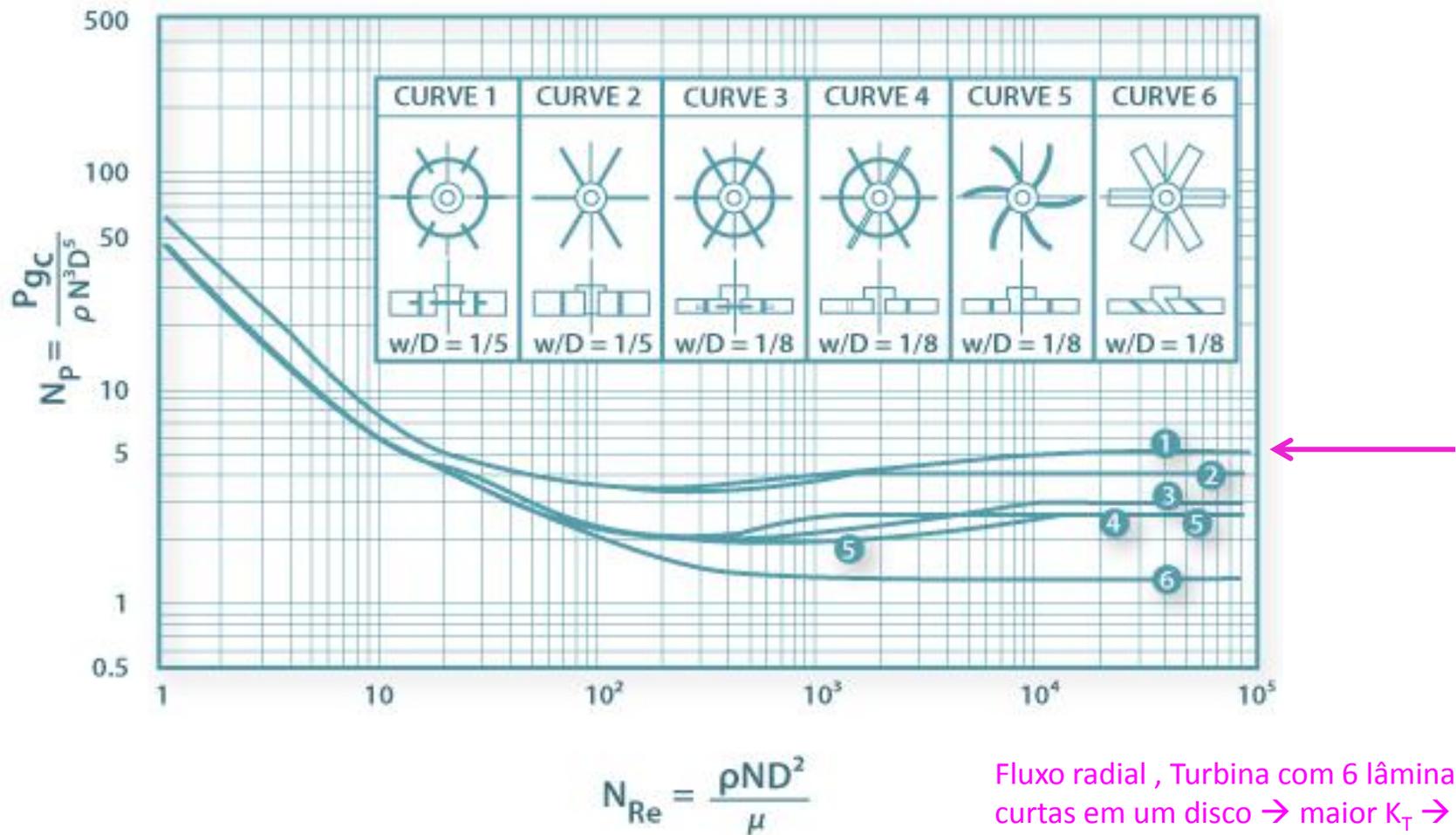
$K_T \cong 0,3 a 0,4$



$K_T \cong 0,5 a 0,8$



$K_T \cong 1,2 a 1,3$



Variação das Dimensões do Sistema Tanque-Turbina

$$2,7 \leq \frac{L}{D} \leq 3,3$$

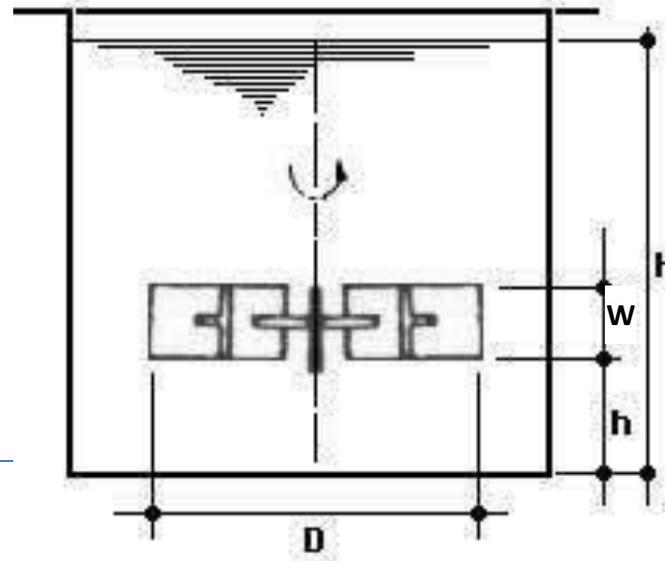
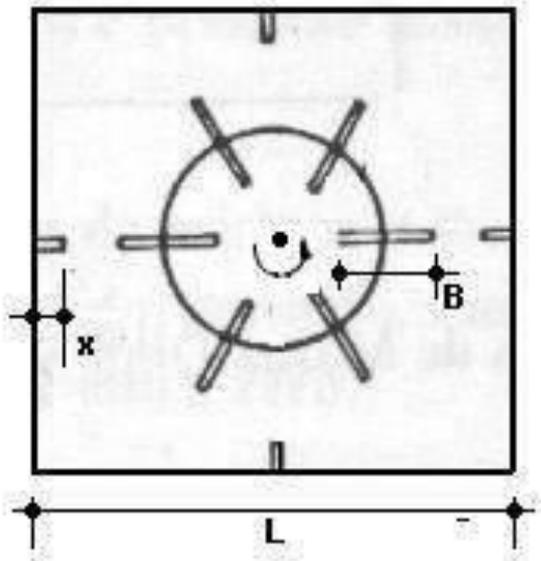
L = largura do tanque (seção) e D = diâmetro da turbina

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

H = profundidade útil do tanque

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

h = distância do disco da turbina até o fundo do tanque



Variação das Dimensões do Sistema Tanque Turbina

$$B = \frac{D}{4}$$

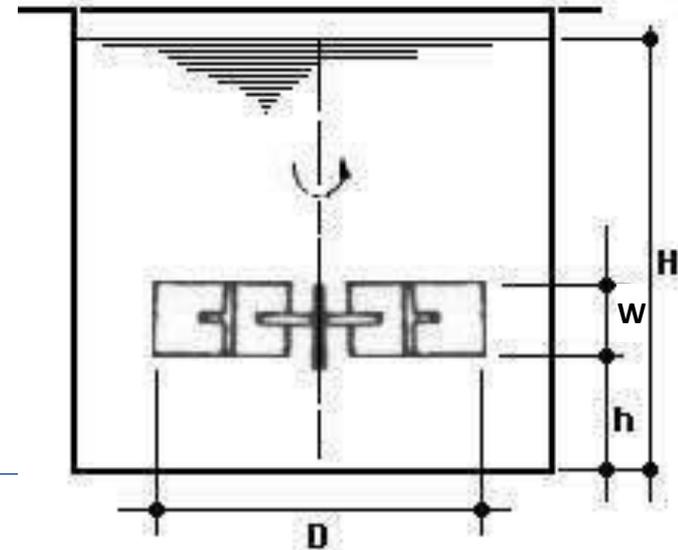
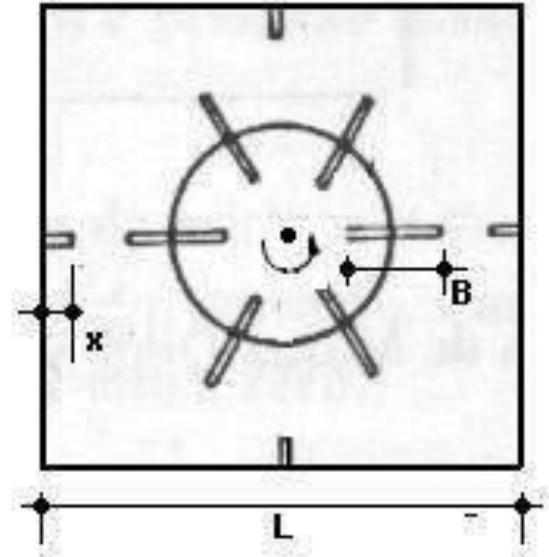
B = comprimento da paleta

$$w = \frac{D}{5}$$

w = altura da paleta

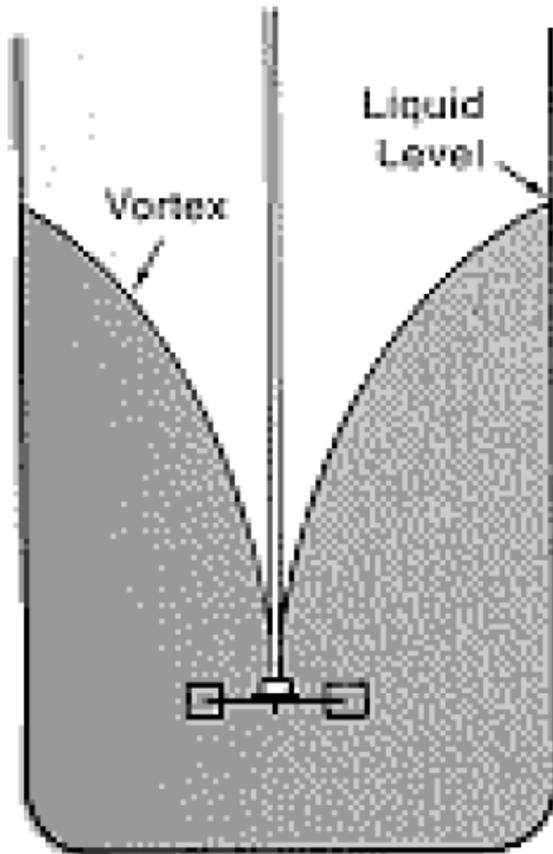
$$x = \frac{D}{10}$$

x = largura da cortina



Problema

Formação de vórtice

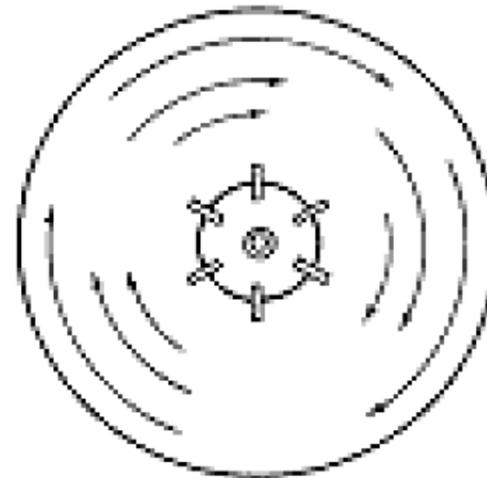


Side

Solução:

chicanas (defletores)

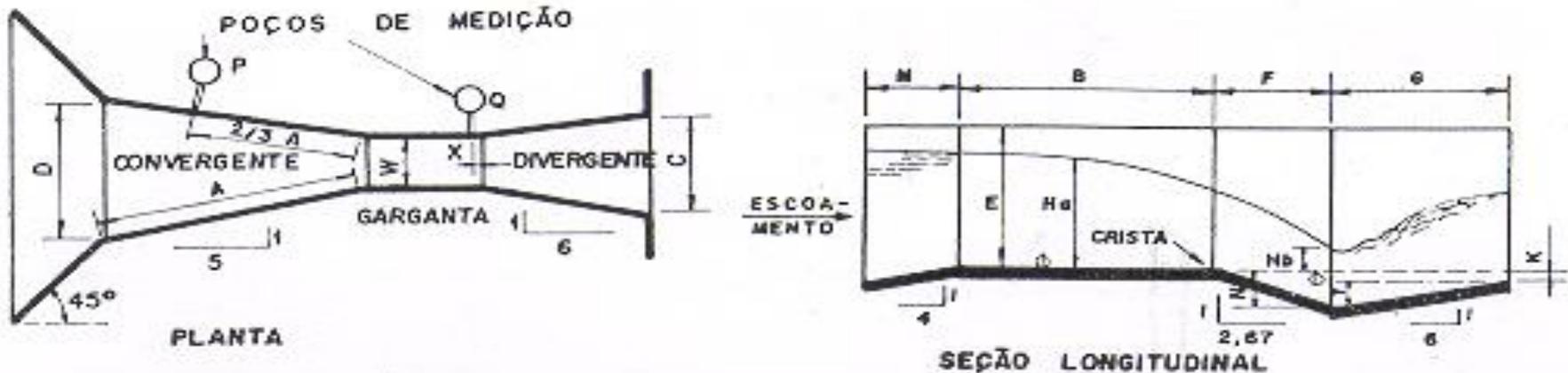
4 defletores igualmente espaçados,
tão finos quanto possível



Bottom

Exercício 1 – Mistura rápida (Calha Parshal)

- Dimensione a calha Parshal para $Q=1\text{m}^3/\text{s}$
- Verifique o Gradiente de Velocidade
- Dimensione o canal de água coagulada



Calha Parshal e dimensões padronizadas

Exercício 2 – Mistura rápida mecanizada

Dimensione a câmara de mistura rápida mecanizada para uma ETA considerando:

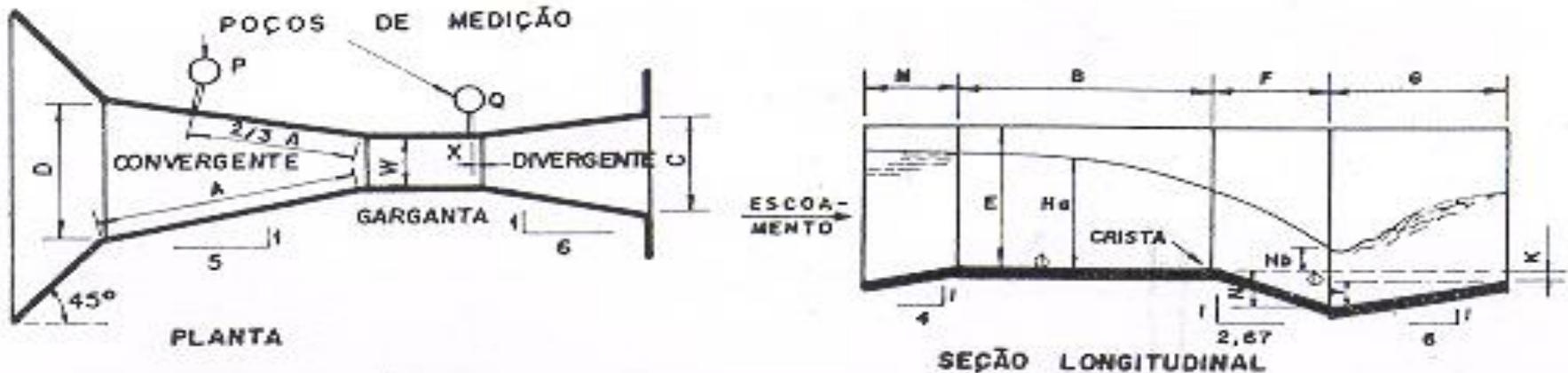
- $Q=1\text{m}^3/\text{s}$
- Tempo de residência de 1 s
- Regime turbulento e agitador do tipo axial: $k=5$
- $G=1500/\text{s}$

Determine dimensão do tanque; número de rotações; comprimento e altura da palheta; e largura da cortina

SOLUÇÃO

Exercício 1 – Calha Parshal para Mistura rápida

- Dimensione a calha Parshal para $Q=1\text{m}^3/\text{s}$
- Verifique o Gradiente de Velocidade
- Dimensione o canal de água coagulada



Calha Parshal e dimensões padronizadas

QUADRO 8.3 - DIMENSÕES DO MEDIDOR PARSHALL (cm) E
VAZÃO COM ESCORAMENTO LIVRE (l/s)

(pol)H (cm)	R	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	VAZÃO COM ESCORAMENTO LIVRE
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	0,3 - 5,0
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7	2,5	3,8 - 53,8
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	5,1	7,6 - 110,4
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4	5,1	7,6 - 252,0
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 455,9
1 1/2'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 696,6
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 937,3
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 1427,2
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 1922,7
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 2423,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 2930,8
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 3437,7
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	349,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6 - 3950,2
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	- 200,0 - 5660,0

Equação de descarga: $H = K.Q^n$

Largura da Calha Parshall		K	n
Polegadas	Metros		
3"	0,075	3,704	0,646
6"	0,150	1,842	0,636
9"	0,229	1,486	0,633
1'	0,305	1,276	0,657
1,5'	0,460	0,966	0,650
2'	0,610	0,795	0,645
3'	0,915	0,608	0,639
4'	1,220	0,505	0,634
5'	1,525	0,436	0,630
6'	1,830	0,389	0,627
8'	2,400	0,324	0,623

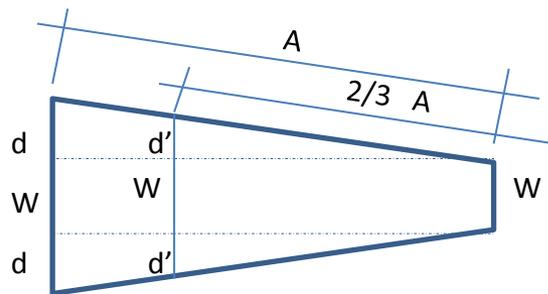
- Equação de descarga:

$$H_a = 0,608.Q^{0,639}$$

Para $Q=1\text{m}^3/\text{s}$ tem-se:

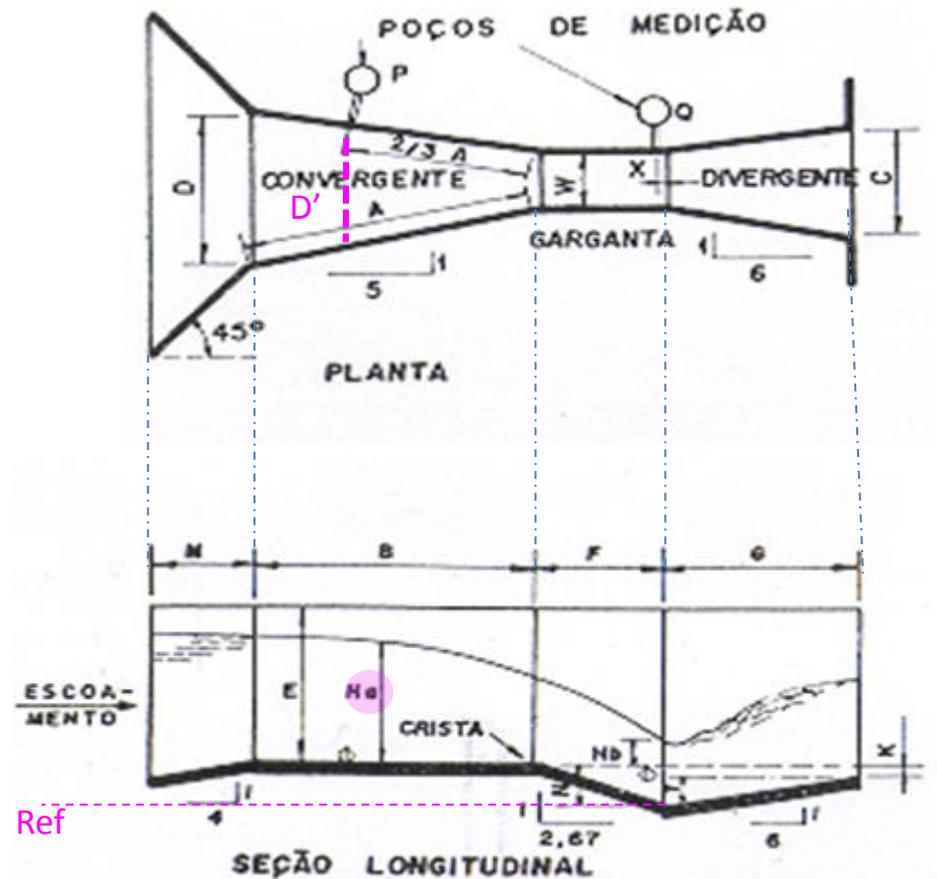
$$H_a = 0,608 \text{ m}$$

- **Cálculo da largura na seção de medida**



$$D' = 2d' + W$$

$$D = 2d + W$$



$$D' = \frac{2}{3} \cdot (D - W) + W = \frac{2}{3} \cdot (157,2 - 91,5) + 91,5 = 135,3 \text{ cm}$$

- Cálculo da velocidade na seção de medida

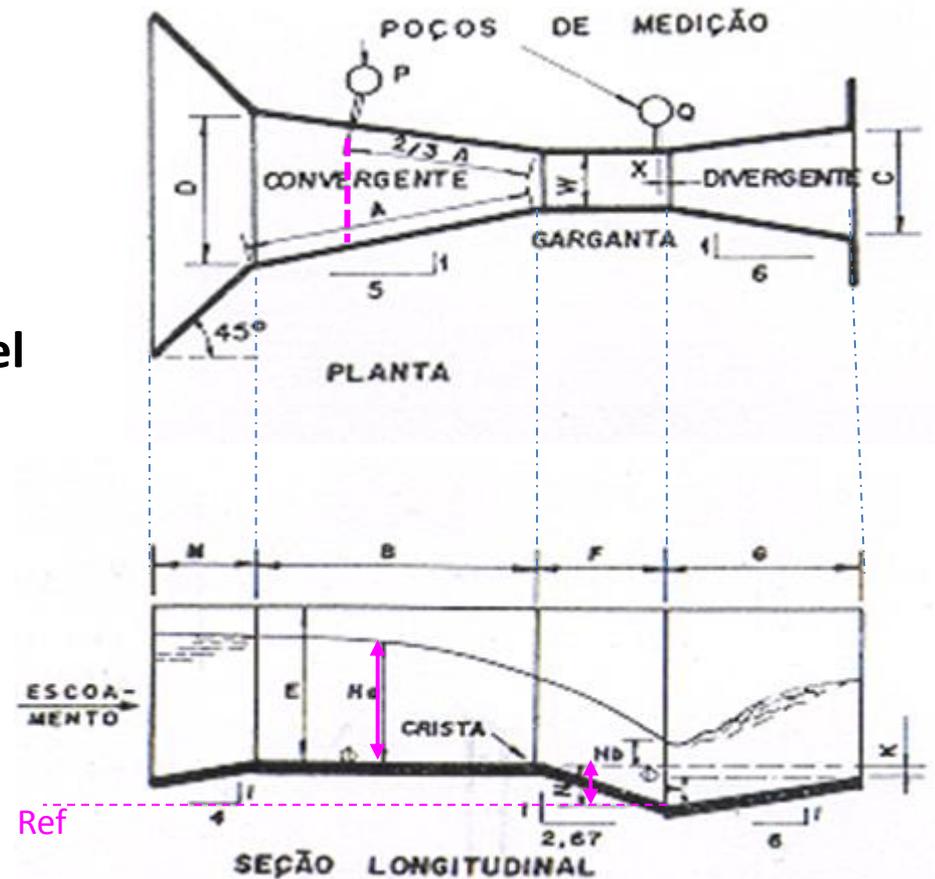
$$V_a = \frac{Q}{A}$$

$$V_a = \frac{Q}{D \cdot H_a} = 1,22 \text{ m/s}$$

- Cálculo da energia total disponível

$$E_a = H_a + \frac{V_a^2}{2 \cdot g} + N$$

$$E_a = 0,608 + \frac{1,22^2}{2 \cdot 9,81} + 0,229 = 0,913 \text{ m}$$



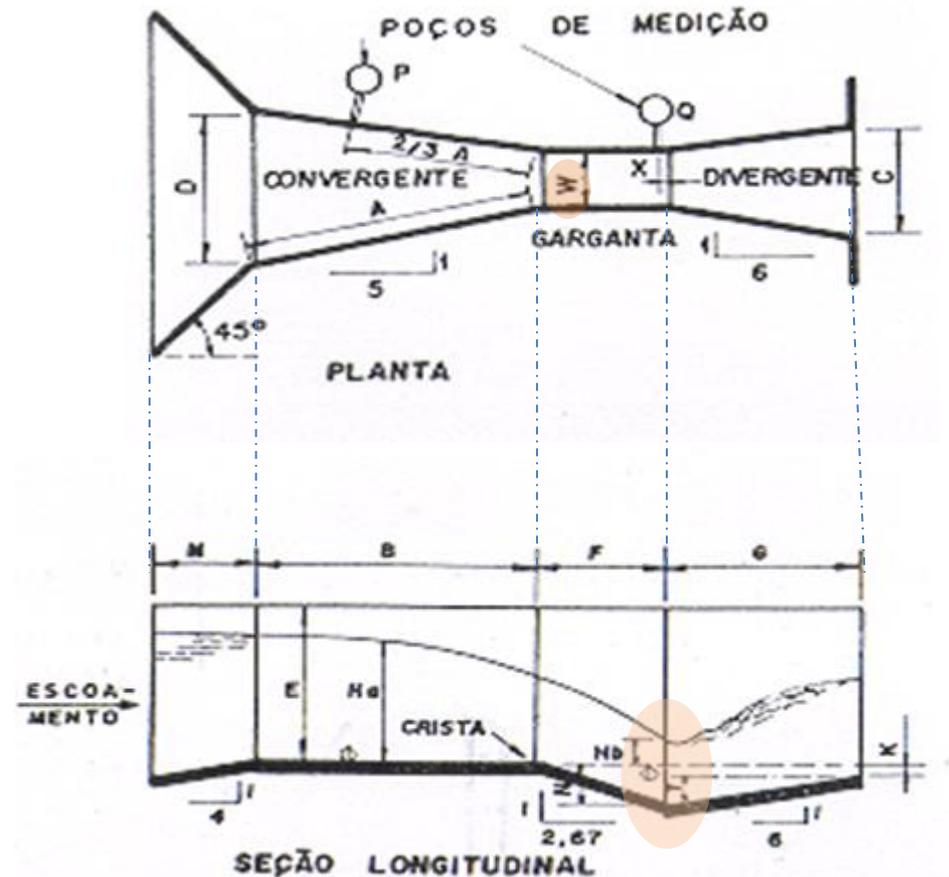
- **Cálculo do ângulo fictício θ**

$$\cos(\theta) = -\frac{g \cdot Q}{W \cdot (0,67 \cdot g \cdot E_a)^{3/2}} = -0,723$$

$$\theta = 136,8^\circ$$

- **Cálculo da velocidade da água no início do ressalto**

$$V_1 = 2 \cdot \cos\left(\frac{\theta}{3}\right) \cdot \left[\frac{2 \cdot g \cdot E_a}{3}\right]^{1/2} = 3,42 \text{ m/s}$$



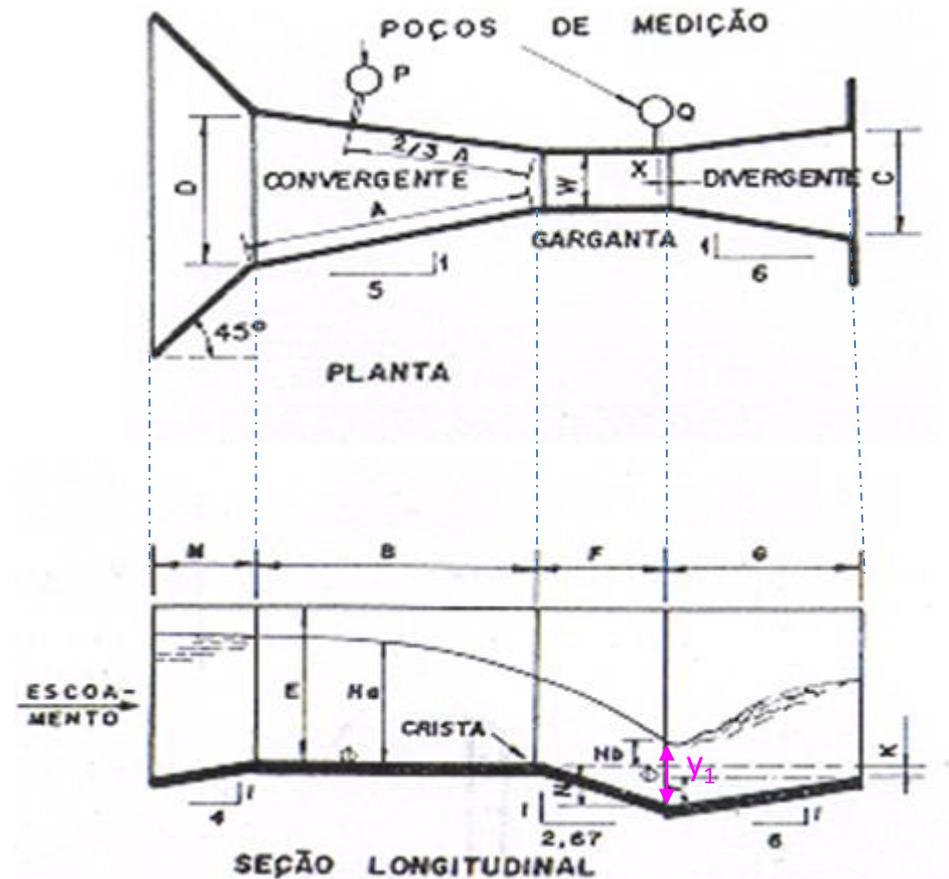
- Cálculo da altura de água no início do ressalto

$$E_a = E_1 \Rightarrow E_a = y_1 + \frac{V_1^2}{2.g}$$

$$y_1 = E_a - \frac{V_1^2}{2.g} = 0,317 \text{ m}$$

- Cálculo do número de Froude

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot y_1}} = 1,94$$



- **Cálculo da altura conjugada do ressalto**

$$y_3 = \frac{y_1}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot F_{r1}^2} - 1 \right] = 0,726 \text{ m}$$

- **Cálculo da profundidade no final do trecho divergente**

$$y_2 = (y_3 - (N - K)) = 0,572 \text{ m}$$

- **Cálculo da velocidade no final do trecho divergente**

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{y_2 \cdot C} = 1,43 \text{ m/s}$$

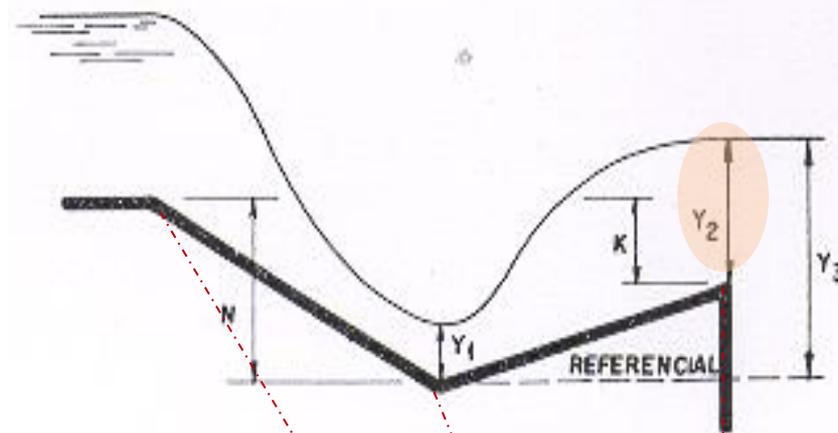
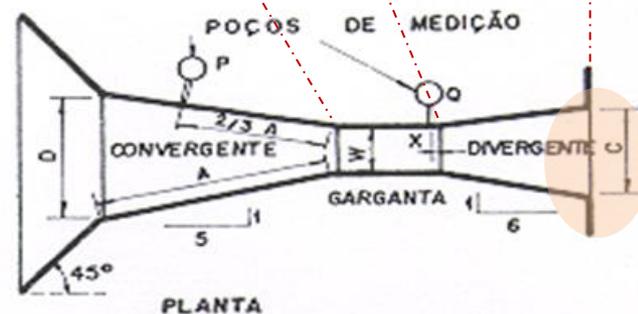


FIGURA 8.19 - ESQUEMA DAS ALTURAS



- **Cálculo da perda de carga no ressalto hidráulico**

$$H_a + N = y_3 + \Delta H$$

$$\Delta H = (H_a + N) - y_3$$

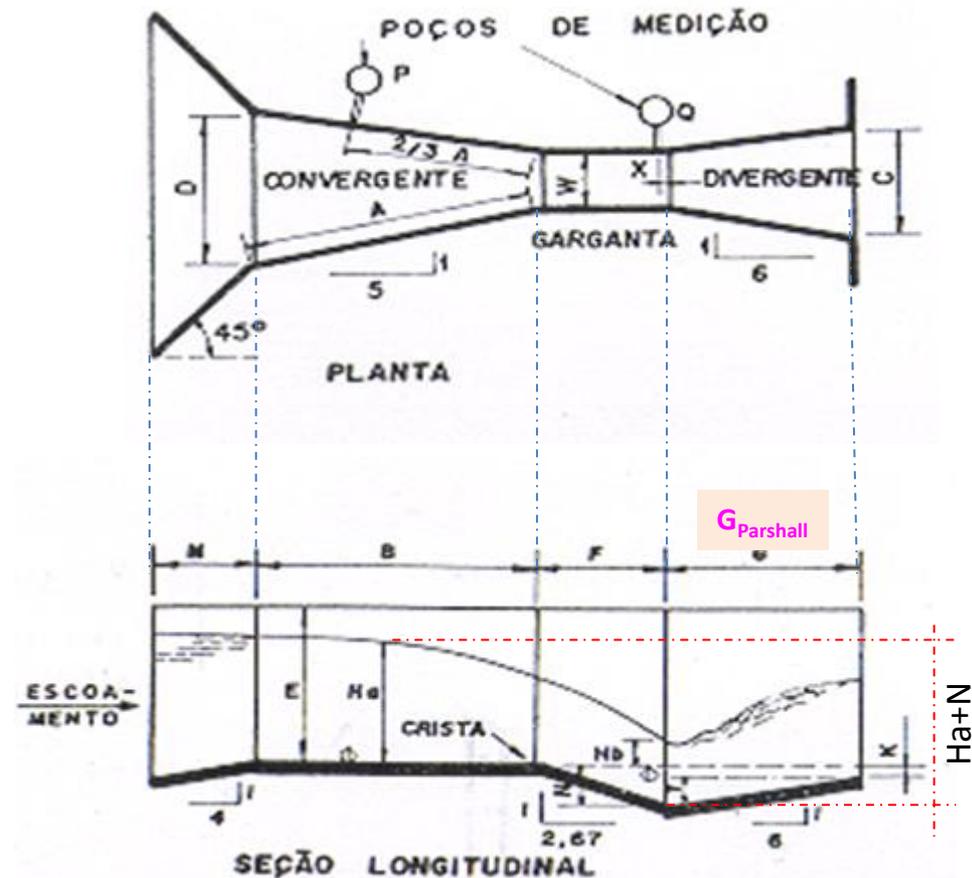
$$\Delta H = 0,111 \text{ m}$$

- **Cálculo do tempo de residência médio no trecho divergente**

$$\theta_h = \frac{G_{parshall}}{V_m} = \frac{G_{parshall}}{\frac{(V_1 + V_2)}{2}} = 0,38 \text{ s}$$

- **Cálculo do gradiente de velocidade**

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \Delta H}{\mu \cdot \theta_h}} = 1.527 \text{ s}^{-1}$$



- **Canal de água coagulada**

Adota-se:

velocidade no canal (v_c) entre 0,6 e 2,0 m/s →

Altura do canal (h_c) entre 0,5 e 1,5m

Adotando:

$v=1,0\text{m/s}$

$h=1\text{m}$



$$B = \frac{Q}{vh} = 1\text{m}$$

Raio hidráulico:
$$R_H = \frac{A_m}{P_m} = \frac{Bh}{B+2h} = \frac{1 \times 1}{1+2 \times 1} = 0,33\text{m}$$

Declividade ou perda de carga unitária:
$$Q = \frac{1}{n} AR_H^{2/3} I^{1/2}$$

$$n=0,013$$

$$I=0,00074 \text{ m/m}$$

Gradiente de velocidade:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma Q h}{\mu Vol}} = \sqrt{\frac{\gamma (vA) h}{\mu (AL)}} = \sqrt{\frac{\gamma v I}{\mu}} = \sqrt{\frac{1000 \times 1 \times 0,00074}{1,007 \times 10^{-4}}} = 85,7 s^{-1}$$

NBR 12216/92

5.8.8 Após a mistura do coagulante, o tempo máximo de percurso da água até o floculador deve corresponder a 1 min, tempo este que pode ser aumentado para até 3 min quando, entre a mistura e a floculação, existe um sistema capaz de conferir à água gradiente de velocidade igual ou superior ao do início no floculador.

Caso G baixo, adota-se velocidade maior e/ou largura menor do canal

Exercício 2 – Mistura rápida mecanizada

Dimensione a câmara de mistura rápida mecanizada para uma ETA considerando:

- $Q=1\text{m}^3/\text{s}$
- Tempo de residência de 1 s
- Regime turbulento e agitador do tipo axial: $k=5$
- $G=1500/\text{s}$

Determine dimensão do tanque; número de rotações; comprimento e altura da palheta; e largura da cortina

- Cálculo do volume

$$\text{Vol} = Q t_H$$

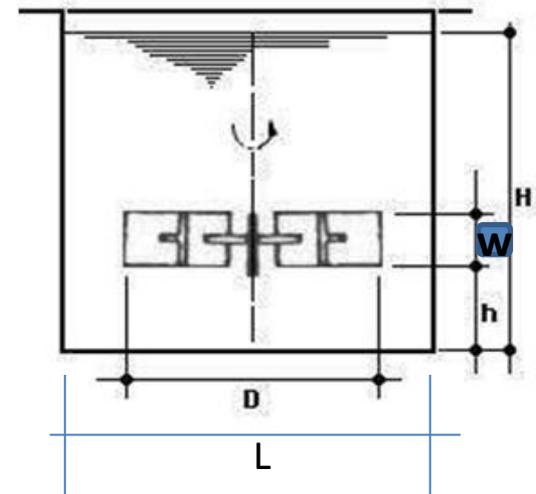
- Cálculo da largura ou comprimento do tanque cilíndrico

$$2,7 \leq \frac{L}{D} \leq 3,3 \rightarrow a$$

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

Adota-se
a e b

$$\text{Vol} = A.H \quad \longrightarrow \quad L = 1,08 \times \sqrt[3]{\frac{a}{b} \times \text{Vol}}$$



-
- Cálculo da profundidade útil do tanque

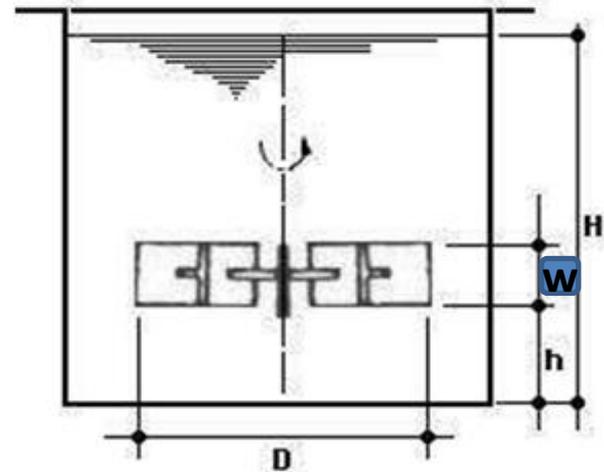
$$H = \frac{b}{a} \times L$$

- Cálculo do diâmetro da turbina

$$a = \frac{L}{D}$$

- Cálculo de h

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



- Cálculo do comprimento da palheta

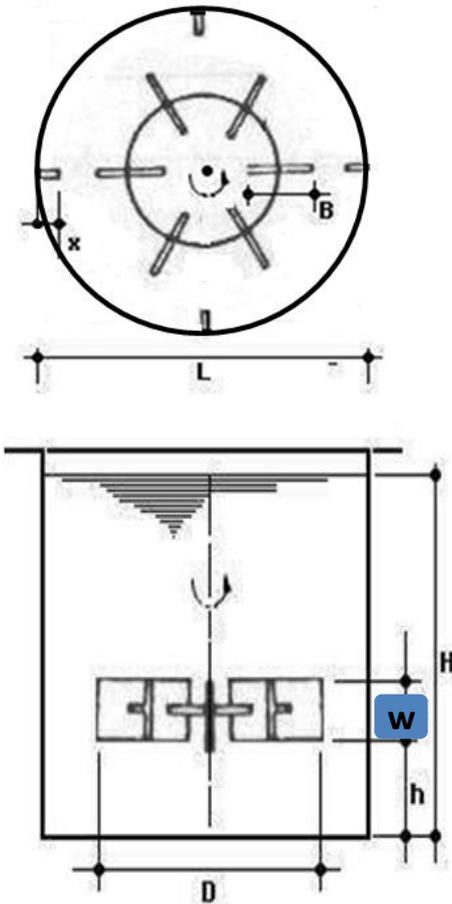
$$B = \frac{D}{4}$$

- Cálculo da altura da palheta (w)

$$w = \frac{D}{5}$$

- Cálculo da largura da cortina (x)

$$x = \frac{D}{10}$$



- Cálculo do número de rotações

Considerando REGIME TURBULENTO e AGITADORES DE FLUXO AXIAL, a potência pode ser obtida pela seguinte equação:

$$n = \left(\frac{g \times P}{k \times \gamma \times D^5} \right)^{1/3}$$

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

μ = é a viscosidade absoluta ou dinâmica (kgf.s/m²)

Temperatura	μ (kgf.s/m ²)x10 ⁻⁴	Temperatura	μ (kgf.s/m ²)x10 ⁻⁴
0	1,791	50	0,549
10	1,308	60	0,469
15	1,114	70	0,407
20	1,007	80	0,357
30	0,799	90	0,317
40	0,653	100	0,284