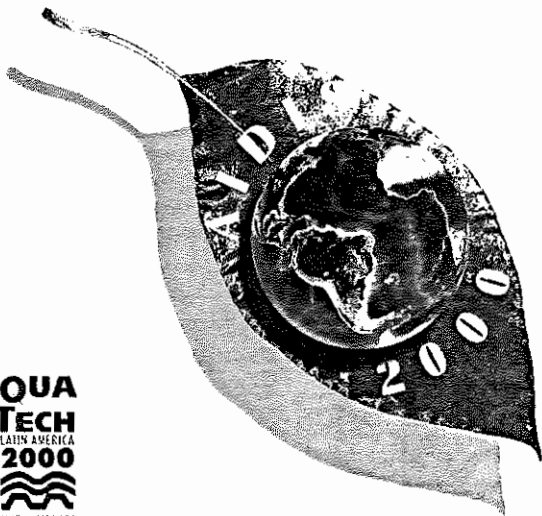


PORTO ALEGRE - RIO GRANDE DO SUL - BRASIL
3 AL 8 DICIEMBRE 2000

XXVII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

Las Américas y la Acción por el
Medio Ambiente en el Milenio



ALOS Y ALONSO

TRABAJOS TECNICOS

- Tema I** - Alcantarillado Sanitario (Aguas Negras o Servidas)/Tratamiento de Efluentes Domésticos e Industriales/Reuso
- Tema II** - Suministro/Tratamiento del Agua
- Tema III** - Residuos Sólidos
- Tema IV** - Materiales/Equipos/Instrumentación
- Tema V** - Calidad, Conservación y Gerenciamiento de Recursos Hídricos
- Tema VI** - Educación, Gestión, Manejo y Control Ambiental
- Tema VII** - Salud Pública/Control de Vectores
- Tema VIII** - Recursos Humanos/Enseñanza y Adiestramiento
- Tema IX** - Planificación/Legislación/Administración y Gerenciamiento del Sector
- Tema X** - Irrigación/Drenaje Urbano/Control de la Erosión
- Tema XI** - Otros

Apoyo Institucional



ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE
ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

GOVERNO
FEDERAL



CNPq

Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico



FINEP



GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL
Estado da Participação Popular



se a



**II-020 - REDUÇÃO DO TEMPO DE FLOCULAÇÃO EM FUNÇÃO DO ESCALONAMENTO DO GRADIENTE DE VELOCIDADE****Luiz Di Bernardo⁽¹⁾**

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Angela Di Bernardo

Engenheira Civil e mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP, onde atualmente realiza trabalho de doutoramento.

Valter Lúcio de Pádua

Engenheiro Civil pela UFMG. Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Atualmente participa do programa de Desenvolvimento Científico Regional do CNPq junto a UFC.

FOTOGRAFIA
NÃO
DISPONÍVEL**Endereço⁽¹⁾:** Escola de Engenharia de São Carlos - USP - Departamento de Hidráulica e Saneamento - Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - Vila Pureza - São Carlos - SP - CEP: 13560-250 - Brasil - Tel: +55 (16) 273-9528 - Fax: +55 (16) 273-9550 - e-mail: bernardo@sc.usp.br**RESUMO**

Diversos pesquisadores têm previsto a possibilidade de melhorar o desempenho das unidades de floculação quando o gradiente de velocidade é escalonado em sentido decrescente. Esta hipótese baseia-se no fato de que no início da floculação, as partículas encontram-se bastante dispersas na água, de modo que devem ser empregados valores de gradiente de velocidade relativamente altos para aumentar as chances de contato das partículas previamente desestabilizadas, para que assim se formem os flocos. Contudo, à medida que ocorre a floculação, há necessidade de reduzir o gradiente de velocidade para evitar a ruptura excessiva dos flocos que vão se formando. Preferencialmente, os gradientes de velocidade devem ser otimizados a partir de ensaios em instalação-piloto com escoamento contínuo. Entretanto, devido o tempo e o custo envolvidos neste tipo de ensaio, ele raramente é realizado antes do projeto ou durante a operação das estações de tratamento de água (ETAs). No início da década de 80, BRATBY (1981) propôs um modelo matemático para otimizar os valores dos gradientes de velocidade de floculação em unidades com escoamento contínuo com base em ensaios realizados em reatores estáticos (jarteste), já que os jartestes são freqüentemente encontrados nas ETAs. Entretanto, PÁDUA (1994) contestou a validade daquele modelo matemático e propôs um novo método para estimar os gradientes de velocidade da floculação em unidades com escoamento contínuo a partir de ensaios em reatores estáticos. LIBÂNIO et al. (1997) apresentaram os resultados de estudos realizados com três tipos de água em instalação-piloto e concluíram que o escalonamento do gradiente de velocidade segundo o método sugerido por PÁDUA (1994) possibilitava a obtenção de água decantada com melhor qualidade em relação aos ensaios em que os gradientes de velocidade foram mantidos constantes. No presente trabalho, o possível benefício decorrente do escalonamento do gradiente de velocidade é analisado sob um ponto de vista diferente, levando-se em consideração a tecnologia de tratamento empregada na ETA, e enfatizando-se a qualidade da água bruta. Com base nos resultados de ensaios realizados para avaliar a floculação adicional que ocorre no interior das unidades de decantação, conclui-se que, dependendo da qualidade da água bruta, o benefício decorrente do escalonamento do gradiente de velocidade de floculação pode ser inexpressivo, sendo provavelmente mais importante tal procedimento no caso de ETAs com filtração direta precedida de floculação.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Água, Floculação, Gradiente de Velocidade, Tempo de Floculação.**INTRODUÇÃO**

Nas ETAs, a floculação corresponde à etapa em que são fornecidas condições para facilitar o contato e a agregação de partículas previamente desestabilizadas por coagulação química, visando a formação de flocos com tamanho e densidade adequada para serem removidos por sedimentação, flotação ou filtração direta. O estabelecimento do tempo e do gradiente de velocidade de projeto e de operação da unidade de floculação dependem, fundamentalmente, da qualidade da água bruta e da tecnologia de tratamento utilizada na ETA. O

1137794
140401

SYSNO 1137794

PROD 002384

ACERVO EESC



presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a influência do escalonamento do gradiente de velocidade de floculação no tempo de detenção em função da qualidade da água de estudo, e relacionar os resultados obtidos em ensaios em jarreste com o que ocorre em ETAs em escala real.

OTIMIZAÇÃO DE GRADIENTES DE VELOCIDADE EM UNIDADES DE FLOCULAÇÃO

Vários pesquisadores, tais como CAMP (1953), BRATBY (1981) e DI BERNARDO (1993) fazem referência à possibilidade de melhorar a qualidade da água decantada quando a floculação é realizada com gradiente de velocidade decrescente ao longo do tempo. Pelos resultados apresentados por TeKippe e Ham (1971), reproduzidos na Tabela 1, pode-se notar que a combinação de gradientes de velocidade influi na qualidade da água decantada.

Tabela 1: Qualidade da água decantada em função dos gradientes de velocidade nas câmaras de floculação com escoamento contínuo (TeKIPPE e HAM, 1971 apud LIBÂNIO et al., 1997).

Sequência* de G_f (s^{-1})	Turbidez média remanescente (uT)	
	$V_s=3,0$ cm/min	$V_s=0,6$ cm/min
57,5 - 57,5 - 57,5 - 57,5 (constante)	2,98	1,02
80 - 50 - 50 - 50	1,25	0,58
50 - 80 - 50 - 50	2,72	1,45
50 - 50 - 80 - 50	1,10	0,48
50 - 50 - 50 - 80	1,82	0,60
140 - 30 - 30 - 30	1,28	0,32
30 - 140 - 30 - 30	1,65	0,39
30 - 30 - 140 - 30	1,85	0,68
30 - 30 - 30 - 140	4,15	0,90
140 - 90 - 70 - 50	----	0,56
140 - 10 - 30 - 50	----	2,15

* Variação de G_f a cada 5 min

Na Tabela 1, observa-se que para a menor velocidade de sedimentação a combinação de gradientes de velocidade exerceu menos influência na qualidade da água decantada, percebendo-se uma tendência de uniformização dos valores de turbidez remanescente. Em geral a floculação com gradiente de velocidade decrescente apresentou melhores resultados em termos de remoção de turbidez, quando comparada à floculação com gradiente de velocidade constante. No entanto, a sequência de variação de G_f adotada por TeKIPPE e HAM (1971) foi um tanto aleatória. Vale ressaltar, que a sequência na qual após 10 min de floculação o gradiente de velocidade foi aumentado de 50 para 80 s^{-1} , apresentou melhor resultado para ambas velocidades de sedimentação, o que não era esperado. Tal procedimento foi repetido pelos pesquisadores após 5 e 15 min de floculação sem, contudo, terem obtido melhores resultados (LIBÂNIO et al. 1997).

A construção de instalação piloto na qual possam ser testadas várias combinações de gradientes de velocidade para as câmaras em série da unidade de floculação é um recurso raramente empregado no projeto e na operação de ETAs. Com o objetivo de orientar os projetos para os quais é inviável a construção e operação de instalação piloto, BRATBY (1981) sugeriu uma metodologia para otimizar os gradientes de velocidade das unidades de floculação de mistura completa com câmaras em série a partir de ensaios em reator estático.

Por meio de ensaios em reator estático BRATBY (1981) obteve, para determinada água, as seguintes constantes: $K_A=1,28 \times 10^{-4}$, $k_1=-4,12 \times 10^{-7}$ e $k_2=20,6 \times 10^{-7}$. Conhecidos K_A , k_1 e k_2 , considerando-se $K_B=k_1 \cdot \ln G_f + k_2$, supondo-se um tempo de detenção igual a 25 min, 3 câmaras em série e empregando a equação (1), o pesquisador construiu a Tabela 2, tendo concluído que a combinação de gradientes de velocidade de floculação igual a 80 s^{-1} , 25 s^{-1} e 12,5 s^{-1} para a primeira, segunda e terceira câmara, respectivamente, correspondia ao melhor desempenho da unidade (maior valor N_0/N_3). Neste exemplo, o valor de n_1^i foi substituído por N_i , uma vez que foram empregados os valores da turbidez inicial e remanescente (N_i) ao invés do número de partículas primárias (n_1^i).



$$\frac{n_1^{i-1}}{n_1^i} = \frac{1 + K_A G_f \frac{T_f}{m}}{1 + \frac{n_1^0}{n_1^{i-1}} K_B G_f^2 \frac{T_f}{m}}$$

equação (1)

em que:
 K_A : constante de agregação
 K_B : constante de ruptura [T]
 T_f : tempo de floculação [T]
 n_1 : número de partículas primárias por unidade de volume [L⁻³]
 G_f : gradiente de velocidade médio de floculação [T⁻¹]
i: i-ésima câmara de floculação

Tabela 2: Previsão do desempenho da unidade de floculação com escoamento contínuo em função da combinação de gradientes de velocidade médios nas câmaras em série (BRATBY, 1981)

Gradiente de velocidade de floculação (s ⁻¹)			N ₀ /N ₃
1ª câmara	2ª câmara	3ª câmara	
80	40	20	6,16
80	40	15	6,30
80	40	10	6,30
80	40	8	6,22
80	40	12,5	6,33
80	30	12,5	6,37
80	20	12,5	6,38
80	15	12,5	6,31
80	25	12,5	6,39
70	25	12,5	6,18
72	25	12,5	6,22
75	25	12,5	6,28

Contudo, a partir dos valores de K_A , k_1 e k_2 fornecidos por BRATBY (1981), é possível obter outras combinações de gradientes de velocidade médios de floculação que resultam melhores que aquela mencionada pelo pesquisador, como pode ser notado na Tabela 3. Além disso, a metodologia não estabelece a faixa de valores de gradientes de velocidade a que se aplica, de modo que sua utilização fica carente de critérios, pois tomando um gradiente de velocidade de floculação igual a 100s⁻¹ nas 3 câmaras, resulta $N_0/N_3=7,74$. Para $G_f=148s^{-1}$ a relação N_0/N_3 é igual a 455. É improvável, contudo, obter-se bom desempenho na unidade de floculação com gradientes de velocidade desta ordem.

Tabela 3: Previsão do desempenho da unidade de floculação com escoamento contínuo em função da combinação de gradientes de velocidade médios nas câmaras em série (Simulações feitas a partir dos dados apresentados por BRATBY, 1981).

Gradiente de velocidade de floculação (s ⁻¹)			N ₀ /N ₃
1ª câmara	2ª câmara	3ª câmara	
80	80	11	6,91
80	60	12	6,44
75	75	11	6,70

Constatadas as limitações da metodologia proposta por BRATBY (1981), PÁDUA (1994) propôs um método empírico para determinar os gradientes de velocidade em unidades de floculação com escoamento contínuo, a partir da execução de ensaios em reator estático. Consiste na realização de ensaios de coagulação-floculação-sedimentação sob diferentes condições de tempo e de gradiente de velocidade de floculação. Além da

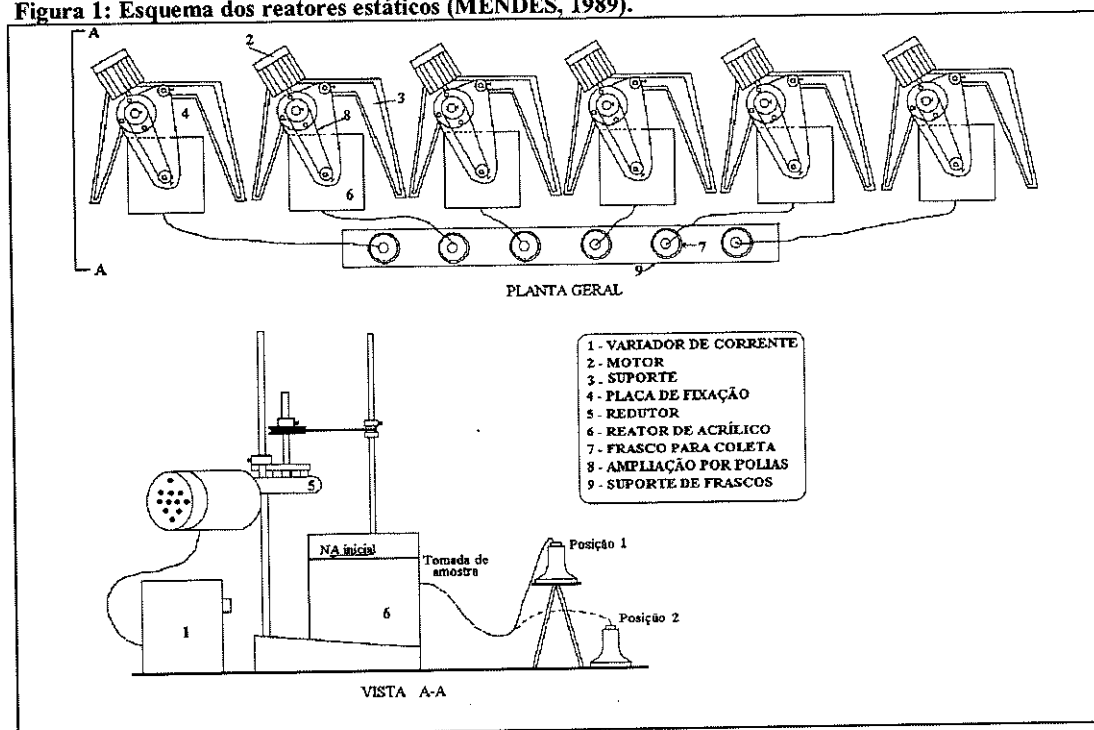


qualidade da água bruta, o tipo de coagulante, sua dosagem e pH de coagulação, assim como a velocidade de sedimentação, o uso de polímero e demais condições de mistura rápida influem no resultado dos ensaios de floculação, de modo que os mesmos devem ser realizados para cada situação particular, não se podendo generalizar os resultados. Ao testar a metodologia em instalação-piloto com escoamento contínuo, LIBÂNIO (1995) constatou que em 23 dos 24 dados experimentais foram obtidas águas decantadas com melhor qualidade quando feita a variação do gradiente de velocidade de floculação, em comparação aos ensaios em que este parâmetro foi mantido constante. Aquele autor observou que a diferença na qualidade da água decantada era menos significativa para os menores valores de velocidade de sedimentação. Deve-se salientar também que, embora os estudos tenham sido realizados em instalação-piloto com escoamento contínuo, a altura da instalação era insuficiente para avaliar a influência da floculação adicional que ocorre durante a sedimentação de partículas floculentas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira delas correspondeu à obtenção de resultados de ensaios de floculação realizados com dois tipos de água estudadas por diferentes pesquisadores. A água tipo I foi estudada por PÁDUA (1994), tendo sido preparada com água destilada, substâncias húmicas e caulinita. A água tipo II, estudada por BRITO (1998), resultou da adição de caulinita à água não clorada de um poço. Os ensaios em jarreste foram realizados na seguinte sequência: construção do diagrama de coagulação, otimização da mistura rápida e otimização da floculação. Na Tabela 4 são apresentadas as condições de coagulação, mistura rápida, floculação e sedimentação adotadas nos ensaios. Na Figura 1 tem-se a representação esquemática dos reatores estáticos (jarreste), que eram constituídos por seis frascos de acrílico com 2 litros de volume útil cada, e provido de regulador de rotação para gradientes de velocidade de 10 a 1200 s^{-1} .

Figura 1: Esquema dos reatores estáticos (MENDES, 1989).





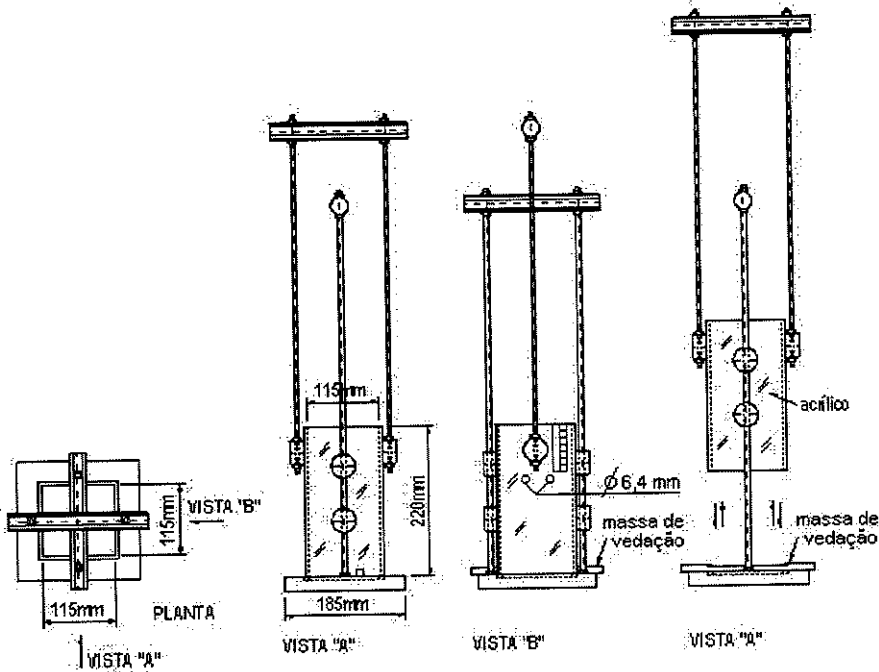
Com os resultados dos ensaios correspondentes à Tabela 4, foram estabelecidos os valores dos gradientes de velocidade médios de floculação, considerando-se quatro câmaras em série, a fim de avaliar o efeito do escalonamento do gradiente de velocidade para as duas águas.

A segunda etapa do trabalho consistiu na investigação experimental em foi utilizado um dispositivo especial para coleta de água de floculada, que possui a mesma geometria e dimensões dos frascos empregados em jarteste. Tal dispositivo é mostrado esquematicamente na Figura 2. O ensaio consistia em encher o dispositivo com água floculada na ETA e coletar amostras com a mesma velocidade de sedimentação média do decantador em escala real, a fim de comparar a qualidade da água decantada no dispositivo e na ETA em escala real.

Tabela 4: Condições de coagulação, mistura rápida, floculação e sedimentação nos ensaios (PÁDUA, 1994 e BRITO, 1998).

Parâmetro	Água Tipo I	Água Tipo II
Tipo de coagulante	Cloreto férrico	Sulfato de alumínio
Dosagem de coagulante (mg/L)	5 a 30	10 a 60
Gradiente de velocidade na mistura rápida (s^{-1})	200 a 1200	200 a 1200
Tempo de mistura rápida (s)	5 a 45	5 a 45
Gradiente de velocidade na floculação (s^{-1})	20 a 70	15 a 70
Tempo de floculação (min)	5 a 60	5 a 45
Velocidade de sedimentação (cm/min)	3,5	2,5

Figura 2: Esquema do dispositivo para coleta de água floculada.





RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 são apresentadas as características das águas utilizadas no estudo, enquanto nas Tabelas 6 e 7 têm-se os valores de turbidez remanescente em função dos gradientes de velocidade médios de floculação (G_f), correspondentes a cada tempo de floculação (T_f).

Tabela 5: Características das águas de estudo (PÁDUA, 1994 e BRITO, 1998).

Parâmetro	Água Tipo I	Água Tipo II
pH	7,5 a 7,7	7,3 a 7,7
Turbidez (uT)	21 a 23	24 a 26
Cor aparente (uC)	130 a 150	140 a 160
Cor verdadeira (uC)	45 a 50	5 a 15
Alcalinidade (mg CaCO_3/L)	21 a 23	32 a 34
Dureza (mg CaCO_3/L)	4	15 a 17
Condutividade (μS)	57	45 a 47

Tabela 6: Turbidez remanescente em função do gradiente de velocidade médio e do tempo de floculação após ensaio de coagulação-floculação-sedimentação em reator jarteste (PÁDUA, 1994).

Turbidez remanescente (uT) $V_r = 3,5 \text{ cm/min}$ - Água tipo I					
$T_f \text{ (min)}$	G_f 20s^{-1}	G_f 30s^{-1}	G_f 40s^{-1}	G_f 55s^{-1}	G_f 70s^{-1}
5	22	18	14	8,4	18
10	4,8	3,5	3,9	4,3	9,0
15	2,7	2,2	4,2	6,7	15
20	1,4	1,5	4,0	6,9	13
30	1,3	2,5	9,0	9,2	16
45	1,2	3,2	6,2	15	16

Tabela 7: Turbidez remanescente em função do gradiente de velocidade médio e do tempo de floculação após ensaio de coagulação-floculação-sedimentação em reator jarteste (BRITO, 1998).

Turbidez remanescente (uT) $V_r = 2,5 \text{ cm/min}$ - Água tipo II				
$T_f \text{ (min)}$	G_f 20s^{-1}	G_f 30s^{-1}	G_f 40s^{-1}	G_f 50s^{-1}
5	21,9	19,7	18,6	13,5
7,5	12,1	10,9	7,7	10,5
10	3,6	4,3	6,7	7,6
15	1,8	3,5	3,9	11,6
20	1,6	4,6	5,6	9,3
25	0,2	3,4	9,2	13,5
30	0,2	6,6	9,0	15,2
35	1,3	5,8	7,5	14,3
40	2,6	7,2	9,7	16,5
45	4,3	7,7	9,3	13,9

Tomando como exemplo os dados reproduzidos na Tabela 6 para a água tipo I, pode-se exemplificar o método adotado para estabelecer os gradientes de velocidade em diferentes câmaras de floculação. No caso de $T_f = 20 \text{ min}$ e unidade de floculação com escoamento contínuo com 4 câmaras em série ($m=4$), tem-se:

a) para o tempo de floculação estabelecido ($T_f = 20 \text{ min}$) e sendo igual a 4 o número de câmaras em série ($m=4$), obtém-se o tempo teórico de detenção (T_d) em cada câmara. No caso, $T_d = T_f / m = 20 \text{ min} / 4 = 5 \text{ min}$. Para



este tempo de floculação (5 min), obtém-se na Tabela 4 o gradiente de velocidade médio que resulta na menor turbidez remanescente (N). No caso, $N=8,4$ uT e $G_f=55$ s^{-1} . Este será o gradiente de velocidade a ser aplicado na primeira câmara;

b) é necessário então determinar o gradiente de floculação da segunda câmara, sabendo-se que o afluente à mesma é a água pré-floculada que, teoricamente, deve apresentar turbidez remanescente igual a 8,4 uT para a velocidade de sedimentação (V_s) estudada ($V_s=3,5$ cm/min). Desta forma, é preciso, para cada um dos gradientes de velocidade médios estudados, obter o tempo de floculação (T_f) com o qual resultará a turbidez remanescente igual a 8,4 uT, fazendo interpolação caso necessário (Figuras 3a e 3b). Soma-se a este tempo o valor do tempo teórico de detenção em cada câmara, no caso, $T_d=5$ min, e determina-se, novamente por interpolação, a turbidez remanescente para cada um dos gradientes de velocidade (turbidez remanescente do efluente da segunda câmara). O gradiente de velocidade médio de floculação para o qual resultar o menor valor de turbidez (ou cor aparente) remanescente será adotado para a segunda câmara. Este procedimento é repetido até que sejam obtidos os valores de G_f para as demais câmaras da unidade de floculação.

Pelas Figuras 3a e 3b, percebe-se que o gradiente de velocidade da segunda câmara da unidade de floculação resulta igual a 30 s^{-1} (menor valor de turbidez remanescente= 3,0 uT). Em procedimento semelhante, pelas Figuras 4 e 5, obtém-se o G_f da terceira e da quarta câmaras, resultando a seguinte combinação: $G_f= 55, 30, 20$ e 20 s^{-1} para a primeira, segunda, terceira e quarta câmaras, respectivamente.

Quando foi empregada a metodologia proposta por PÁDUA (1994) para determinação dos gradientes de velocidade médios nas quatro câmaras de floculação, resultaram as seguintes combinações: $G_1=55s^{-1}$, $G_2=30s^{-1}$, $G_3=20s^{-1}$ e $G_4=20s^{-1}$ (para a água tipo I) e $G_1=50s^{-1}$, $G_2=20s^{-1}$, $G_3=20s^{-1}$ e $G_4=20s^{-1}$ (para a água tipo II). Os resultados mostraram que, teoricamente, no caso da água tipo I, o escalonamento do gradiente de velocidade permitiria reduzir o tempo de detenção de 20 para 15 min sem que fosse afetada a qualidade da água decantada. Enquanto a turbidez remanescente mínima, mantendo-se o gradiente de velocidade constante após 15 min, foi de 2,2 uT, a variação do gradiente de velocidade possibilitaria reduzi-la para 1,4 uT. Por outro lado, com a água tipo II, o escalonamento do gradiente de velocidade por 20 min correspondeu à produção de água com a mesma qualidade da resultante ao manter G_f constante por 22,1 min, ou seja, teoricamente seria possível reduzir em cerca de 10% o tempo de detenção. Considerando-se apenas duas câmaras de floculação para a água tipo I e tempo de detenção de 10 min, a variação do gradiente de velocidade permitiria reduzir em cerca 20% o tempo de detenção em relação ao ensaio com G_f constante. No entanto, tomando-se como exemplo o tempo de floculação de 25 min para a água tipo II, qualquer aumento relativo de tempo, decorrente do escalonamento do gradiente de velocidade, seria indesejado, pois não permitiria melhorar a qualidade da água decantada, ou mesmo seria responsável por sua deterioração se o tempo correspondente superasse 30 min.

Figura 3a: Representação gráfica da interpolação para determinar o gradiente de velocidade médio na segunda câmara de floculação.

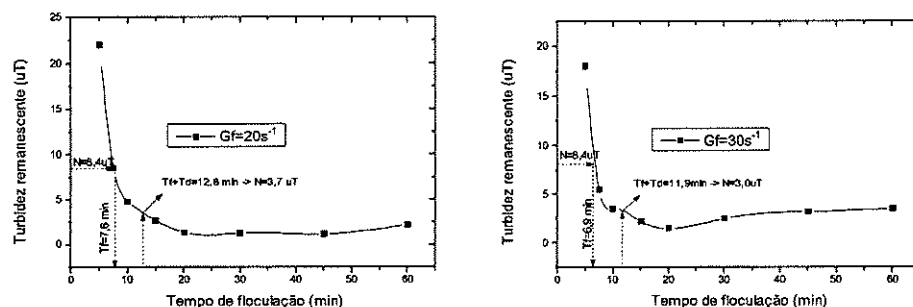




Figura 3b: Representação gráfica da interpolação para determinar o gradiente de velocidade médio na segunda câmara de floculação.

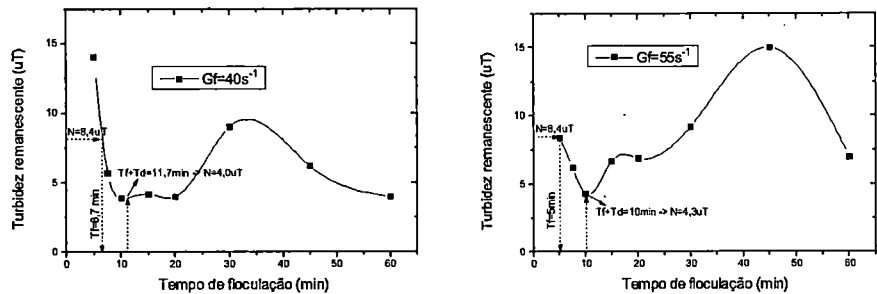


Figura 4: Representação gráfica da interpolação para determinar o gradiente de velocidade médio na terceira câmara de floculação.

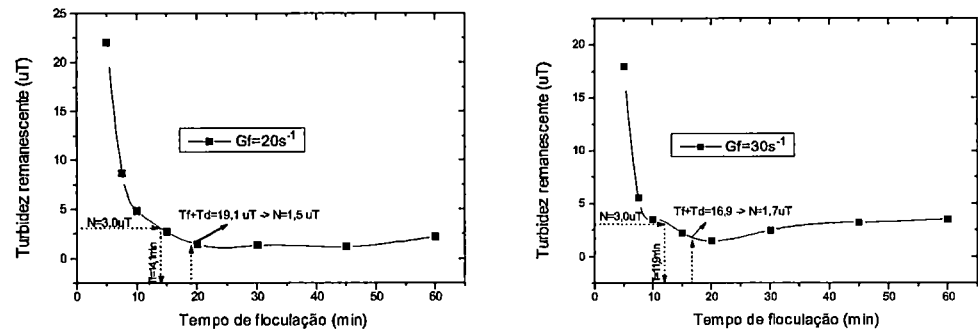
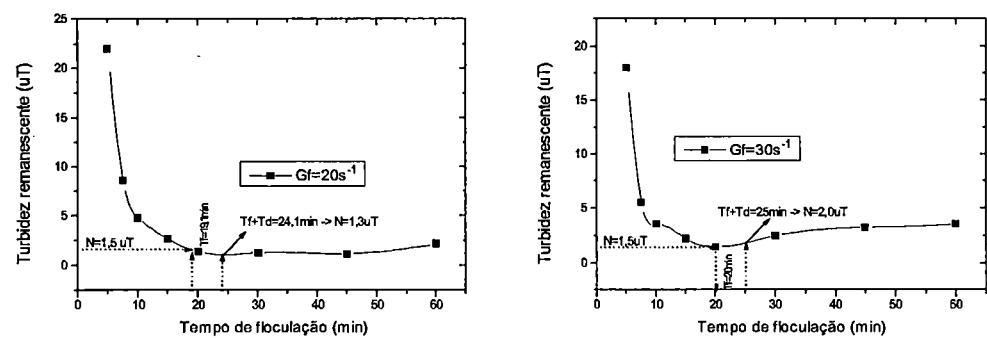


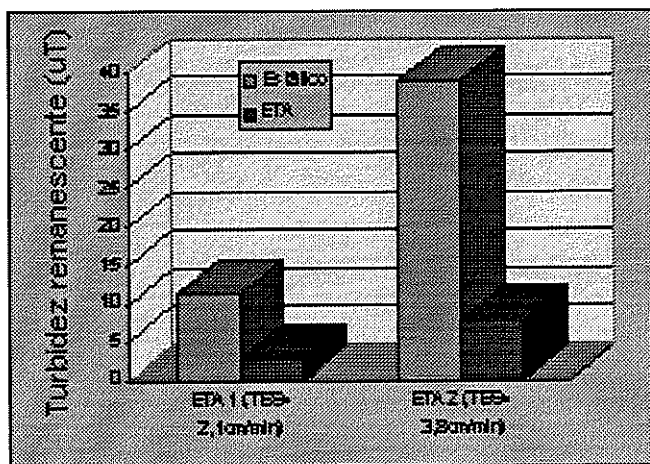
Figura 5: Representação gráfica da interpolação para determinar o gradiente de velocidade médio na quarta câmara de floculação.





Todos os ensaios realizados nas ETAs mostraram que ocorre floculação intensa dentro da unidade de decantação, o que pode ser deduzido da Figura 6. O coletor de água floculada funciona praticamente como um decantador ideal, já que não está sujeito a fatores adversos que tendem a deteriorar a qualidade da água decantada, tais como efeito de vento, ressuspensão de material depositado, quebra de flocos e imperfeições na distribuição e coleta de água. Apesar disso, o que se tem observado em diversos ensaios é que o efluente de decantadores em escala real apresenta melhor qualidade que a água decantada no coletor quando o afluente possui as mesmas características. Devido a pequena altura do coletor, existe pouca chance das partículas darem origem a flocos maiores durante a sedimentação, ao contrário do que ocorre nos decantadores em escala real. E essa floculação adicional no interior das unidades de decantação explica os resultados mostrados na Figura 6.

Figura 6: Qualidade da água decantada no coletor de água floculada e em ETAs em escala real.



Como o tempo de detenção nos decantadores convencionais pode superar 3 h, o benefício relativo decorrente do escalonamento do gradiente de velocidade de floculação (5 min no caso da água tipo I e 2 min para a água tipo II), pode se tornar imperceptível quando se considera que o tempo de floculação total deve incorporar também a floculação adicional que ocorre no interior das unidades de decantação. Entretanto, quando se considera o emprego do método no caso da filtração direta com floculação, o escalonamento de G_T pode vir a ser de grande valia, caso permita a obtenção de flocos maiores quando comparado com a manutenção de G_T constante para o mesmo tempo de floculação. Tem sido observado que na filtração direta, considerando-se a mesma concentração de flocos em suspensão, o aumento do tamanho dos flocos permite reduzir a evolução da perda de carga nos filtros. No caso dos decantadores de alta taxa, o escalonamento do gradiente de velocidade na floculação deve apresentar resultados intermediários em comparação aos decantadores convencionais e à filtração direta.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados da pesquisa são indicativos de que os benefícios decorrentes do escalonamento do gradiente de velocidade na floculação dependem da qualidade da água de estudo, mas o tipo de coagulante e a velocidade de sedimentação considerada também são fatores de suma importância. Devido a floculação adicional que ocorre no interior das unidades de decantação, o aumento teórico do tempo de floculação advindo da variação do gradiente de velocidade pode ser inexpressivo. Contudo, em virtude da simplicidade da técnica destinada a estabelecer os gradientes de velocidade médios nas câmaras de floculação e a facilidade de alteração destes gradientes quando os agitadores mecânicos são providos de inversores de frequência, recomenda-se que ela seja testada nas ETAs em escala real. Recomenda-se ainda a realização de estudos posteriores para avaliar o efeito do escalonamento do gradiente de velocidade em ETAs nas quais é empregada a tecnologia de filtração direta com floculação.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRATBY, J.R. Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing flocculation systems. *Journ. AWWA*, vol.73, n.6, p.318-25, Jun. 1981
2. BRITO, S.A. Influência da velocidade de sedimentação na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura durante a floculação. São Carlos. 189p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 1998.
3. CAMP, T. R. Flocculation and flocculation basins. *ASCE Transactions*, v.120, p.1-16, 1953.
4. DI BERNARDO, L. Coagulação e Floculação. In: *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. Rio de Janeiro: ABES. vol.I, Brasil. 1993.
5. LIBÂNIO, M. Avaliação da floculação em reatores estáticos e de escoamento contínuo com gradientes de velocidade constante e variável. São Carlos, 136p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 1995.
6. LIBÂNIO, M.; PÁDUA, V.L.; DI BERNARDO, L. Análise da influência da variação dos gradientes de velocidade no desempenho das unidades de floculação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol.2, n.2, p.63-69, Abr/Jun. 1997.
7. MENDES, C. G. N. Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis. São Carlos. 2v. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1989.
8. PÁDUA, V.L. Metodologia para determinação dos gradientes de velocidade médios em unidades de floculação de mistura completa com câmaras em série e escoamento contínuo a partir de ensaios em reatores estáticos. São Carlos. 165p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 1994.
9. TEKIPPE, R. J.; HAM, R.K. Velocity-Gradient Paths in Coagulation, *Journ. AWWA*, p. 439-448, July. 1971.