

I-297 - AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DA UNIDADE DE FLOCULAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA SÃO SEBASTIÃO NA CIDADE DE CUIABÁ – MT

Emanuelle Maria Campos Curvo⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso. [“manucurvo@hotmail.com”](mailto:manucurvo@hotmail.com)

Irineu Francisco Neves

Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMT. [“ifneves@ufmt.br”](mailto:ifneves@ufmt.br)

Marcio de Jesus Mecca

Mestre em Engenharia e Téc. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMT. mmecca@ufmt.br

Endereço⁽¹⁾: Rua Goiás nº 1132, Bairro Jardim Paula II, Várzea Grande – MT CEP: 78.153-650 - Brasil

RESUMO

A maioria das estações de tratamento convencional de água utiliza o coagulante primário sulfato de alumínio e trabalham sobrecarregadas com vazão superior e que muitas vezes não estão previstos em projeto. A existência de metodologias que podem verificar o comportamento hidráulico de câmaras de floculação proporcionou o presente estudo com o floculador nº 3 da ETA II constituído de seis câmaras em série, quatro floculadores tipo turbina e dois do tipo paletas. Foi utilizado traçador cloreto de sódio na concentração de 25 mg/L e dados operacionais de Janeiro à Setembro de 2009. Os valores de condutividade foram medidos na saída da última câmara, com aplicação instantânea da solução. O tempo de detenção hidráulico obtido foi de 24,68 minutos para um tempo teórico de projeto de 28,1 minutos. Os valores mostraram nos testes com solução traçadora que pode ser considerada do tipo pistão, visto que 27,17 minutos corresponde a mais de 50% do tempo verificado em condições reais.

PALAVRAS-CHAVE: Floculador, Tratamento de Água, Cuiabá, Auxiliares de Floculação.

INTRODUÇÃO

As unidades de floculação é uma das operações unitárias da clarificação mais importante em estação de tratamento de água e são fornecidas condições de tempo e agitação para produzir comportamentos favoráveis aos choques entre as partículas e estão sujeitas a ocorrência de curto-circuito, zonas mortas, produzindo tipos de escoamento desconhecidos. É necessário o controle de algumas variáveis, gradiente de velocidade médio, tempo de floculação, dosagem de coagulante, pH de coagulação para melhor eficiência e formação dos flocos. O uso de Traçadores em testes tem sido de grande ajuda para que os ensaios de tratabilidade, especialmente em reatores estáticos, sejam executados levando em conta as condições observadas em estações existentes. A solução de cloretos tem sido usada e deve ser preparada com concentração coerente considerando os valores existentes na água, equipamentos de dosagens e a aplicação do traçador podem ser continua ou de pulso, dependendo do tipo de estudo a ser realizado. Em função da vazão total afluente à estação efetua-se o balanço de massa, ou seja, a quantidade total de sal adicionada sendo aproximadamente igual à quantidade recuperada nos pontos da coleta.

OBJETIVOS

Avaliação do comportamento hidráulico do floculador nº 3 com aplicação de traçador cloreto de sódio na Estação de Tratamento de Água São Sebastião do Município de Cuiabá, MT.

MATERIAIS E MÉTODOS

O local de estudo foi a ETA na Av. São Sebastião s/nº, bairro Quilombo no município de Cuiabá, possui uma vazão média de 1.337m³/s captada no Rio Cuiabá. As câmaras de floculação com volume de 594 m³ e o tempo de detenção de 4,11 minutos em cada câmara. A mistura rápida sendo feita em ressalto hidráulico produzido por vertedor retangular, com T_{mr} de 0,70 s. e G_{mr} de 1280 s⁻¹, recebe o coagulante primário (Sulfato de

Alumínio). O método utilizado para a avaliação do comportamento hidráulico foi descrito por Di Bernardo e Dantas (2005) e utilizado Souza (2005) na ETA de Valinhos-SP. Para isso, foram utilizados dados operacionais e de controle de tratamento de água da estação no período de Janeiro à Setembro de 2009. O trabalho foi realizado em 3 etapas. A primeira etapa fez o levantamento dos dados operacionais da ETA, como, vazão afluente a ETA, vazão afluente ao floculador nº 3, volume do floculador nº 3, consumo do coagulante, turbidez da água bruta e dosagem do sulfato de alumínio aplicado na estação. A segunda etapa foi realizada uma análise do projeto da ETA e complementada por obtenção de dados relativos aos motores dos agitadores dos floculadores obtendo os valores dos gradientes de velocidade de cada câmara de floculação. Na terceira etapa realizou-se ensaio *in loco*, permitindo a determinação dos tempos reais de detenção hidráulica (ensaio com traçador). Preliminarmente à realização do teste na ETA com solução traçadora, foi feito experimento em laboratório utilizando equipamento de “jar-test”. Inicialmente foram pesadas pequenas quantidades de cloreto de sódio - NaCl contendo 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 e 10 mg. A pesagem foi realizada em balança semi-analítica digital. A água bruta foi coletada na entrada da ETA e colocada nos jarros do “Jar-test” de 2L. A temperatura era de 25 ± 1 °C. Fixou-se a rotação de 39 rpm para que fosse aplicado o gradiente de 79 s^{-1} , o qual é aplicado na primeira câmara de floculação. A condutividade da água foi medida com condutivímetro digital. O valor inicial foi de $59,9 \mu\text{S}/\text{cm}$. Posteriormente, com o agitador ligado adicionava-se cloreto de sódio com as quantidades pesadas em laboratório, até que se estabelecesse diferença perceptível e facilmente mensurável entre a condutividade inicial da água bruta, e a condutividade final com a adição do cloreto de sódio. O valor final obtido foi $157,3 \mu\text{S}/\text{cm}$ com a dosagem de 50 mg de cloreto de sódio em 2L de água, resultando desta forma, na concentração de 25 mg/L de cloreto de sódio.

Aplicação do Método de Avaliação do Comportamento hidrodinâmico do floculador - Teste com solução traçadora na ETA.

Os dados dos ensaios com o traçador em unidade de floculação foi realizada através da aplicação de uma solução de Cloreto de sódio e um volume conhecido foi introduzida instantaneamente na água afluente as câmaras de floculação. Assim, para que houvesse sensibilidade no teste, utilizando solução traçadora à base de cloreto de sódio, foi necessário dosar, de acordo com o teste feito no “jar-test”, 25 mg/L de cloreto de sódio. O peso do cloreto de sódio utilizado para esse teste foi de $594.000 \text{ L} \times 25 \text{ mg/L} \times 10^{-6} = 14,85 \text{ kg}$. O cloreto de sódio foi diluído em 25L de água e a suspensão foi aplicada no tipo pulso.

A condutividade foi medida na saída da última câmara de floculação no canal de acesso ao decantador. A rotação dos agitadores dos floculadores foi mantida a mesma da operação normal da ETA.

A partir do instante da aplicação da solução traçadora, marcou-se o tempo com cronômetro digital, e a cada intervalo de 2 minutos, foi medida a condutividade. A Figura 1 apresenta, de forma simplificada, os pontos de aplicação da solução traçadora e de medição da condutividade no teste feito na ETA.

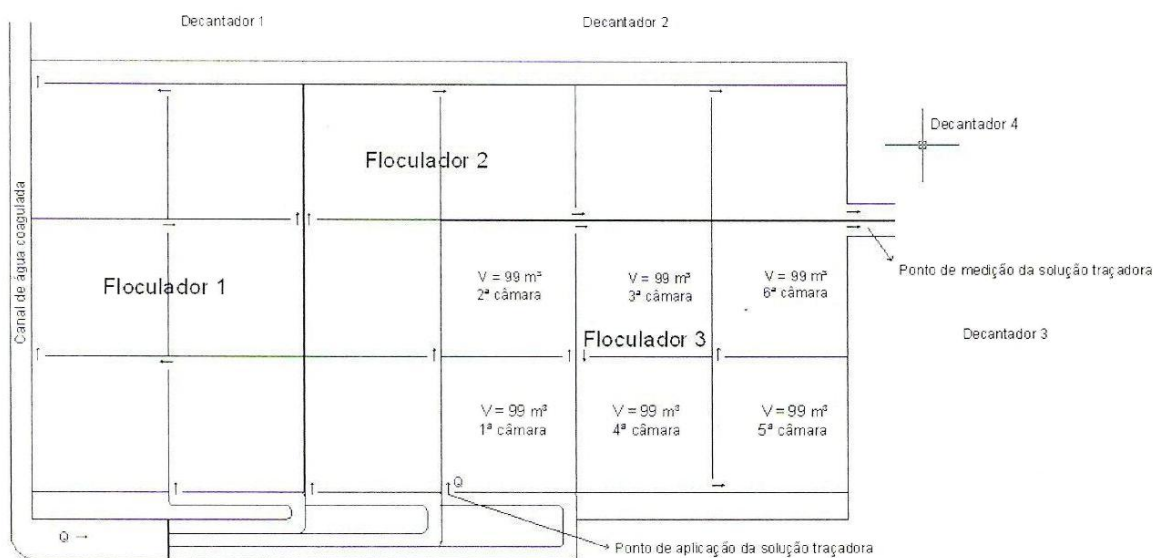


Figura 1. Esquema da unidade de floculação nº 3 e pontos utilizados para teste com traçador na ETA

Os resultados apresentados na Tabela 1 foram calculados de acordo com as equações 1, 2 e 3, para as medições realizadas na saída da última câmara de floculação.

$$\frac{t}{T_0} \dots\dots\dots \text{equação (1)}$$

em que:

t: tempo no qual foi medida a condutividade;

T₀: tempo total do teste.

$$1 - F_{(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^m C_i} \dots\dots\dots \text{equação (2)}$$

em que :

1 - F_(t): fração correspondente do traçador no tempo t;

C_i: condutividade do traçador no tempo i;

m: número de amostras coletadas durante o teste.

$$- \lg \alpha = \frac{0,434}{(1 - p)(1 - m)} \dots\dots\dots \text{equação (3)}$$

m: fração correspondente a zonas mortas;

(1-p)(1-m): fração de escoamento do tipo mistura completa;

p(1-m): fração correspondente ao escoamento tipo pistão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o teste em questão, os valores F_(t) (ou seja, a fração do traçador que sai da unidade) em função de t/T₀ foram lançados e obtidos a figura 2. Através desta Figura obtém a parcela do escoamento que sai para um determinado tempo T₀. Este tempo T₀ corresponderá àquele relativo às zonas mortas, ou seja, um valor de **m** e a fração de escoamento tipo pistão **p(1-m)**.

Para o cálculo da fração relativa a zonas mortas foi utilizada a equação (3) e com o auxílio do gráfico apresentado na Figura 3 correspondente a 0,24.

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos no teste da aplicação da suspensão de cloreto de sódio - NaCl (traçador) realizado na forma de pulso na saída da unidade de floculação.

TABELA 1 – Valores obtidos no Teste com traçador nas câmaras de floculação com suspensão de cloreto de sódio, com aplicação tipo pulso na entrada da primeira câmara de floculação. Condutividade ($\mu\text{S/cm}$) medida na saída da última câmara de floculação.

t (min)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	t/ T_0	F(t)	1-F(t)	COND/COND Acumulada	COND-COND. Inicial ($\mu\text{S/cm}$)
0	59,9	0,00	0,00	1,00	0	0
2	59,9	0,08	0,00	1,00	0	0
4	79,9	0,16	0,02	0,98	20	20
6	94	0,24	0,05	0,95	54,1	34,1
8	106	0,32	0,10	0,90	100,2	46,1
10	117	0,41	0,16	0,84	157,3	57,1
12	121	0,49	0,22	0,78	218,4	61,1
14	127	0,57	0,28	0,72	285,5	67,1
16	127	0,65	0,35	0,65	352,6	67,1
18	128	0,73	0,42	0,58	420,7	68,1
20	125	0,81	0,48	0,52	485,8	65,1
22	120	0,89	0,54	0,46	545,9	60,1
24	114	0,97	0,60	0,40	600	54,1
26	109	1,05	0,65	0,35	649,1	49,1
28	104	1,13	0,69	0,31	693,2	44,1
30	100	1,22	0,73	0,27	733,3	40,1
32	96	1,30	0,77	0,23	769,4	36,1
34	92	1,38	0,80	0,20	801,5	32,1
36	88	1,46	0,83	0,17	829,6	28,1
38	84	1,54	0,85	0,15	853,7	24,1
40	82	1,62	0,87	0,13	875,8	22,1
42	80	1,70	0,89	0,11	895,9	20,1
44	77	1,78	0,91	0,09	913	17,1
46	75	1,86	0,93	0,07	928,1	15,1
48	73	1,94	0,94	0,06	941,2	13,1
50	72	2,03	0,95	0,05	953,3	12,1
52	71	2,11	0,96	0,04	964,4	11,1
54	70	2,19	0,97	0,03	974,5	10,1
56	69	2,27	0,98	0,02	983,6	9,1
58	68	2,35	0,99	0,01	991,7	8,1
60	67	2,43	1,00	0,00	998,8	7,1
62	63	2,51	1,00	0,00	1001,9	3,1
64	60	2,59	1,00	0,00	1002	0,1
					Somatória	1002

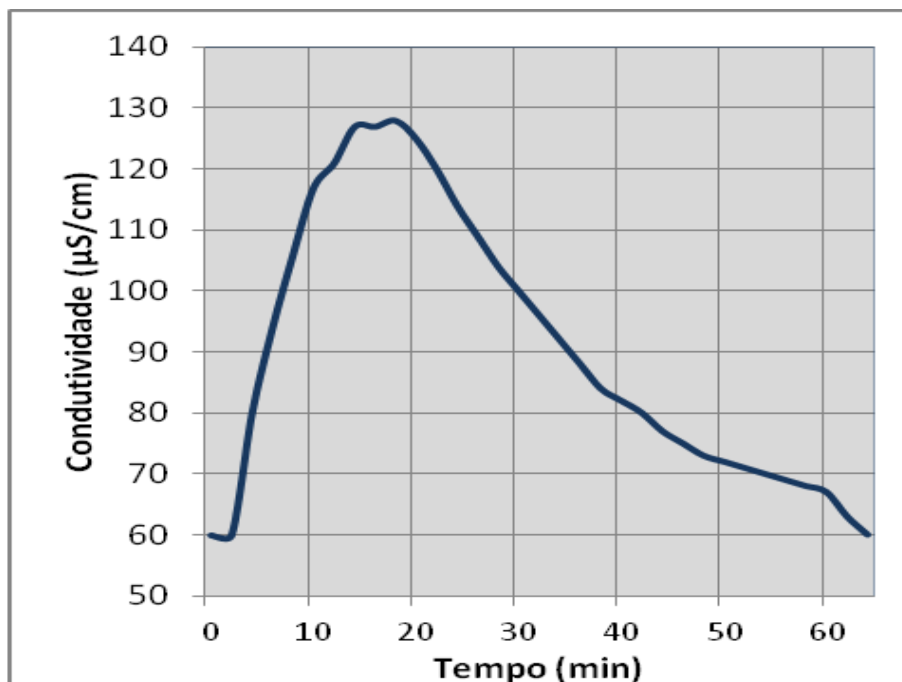


FIGURA 2 – Valores medidos da condutividade na saída da última câmara de floculação durante o teste de 64 minutos.

A Figura 3 apresenta os valores obtidos da condutividade para os tempos t/T_o , com aplicação do tipo pulso.

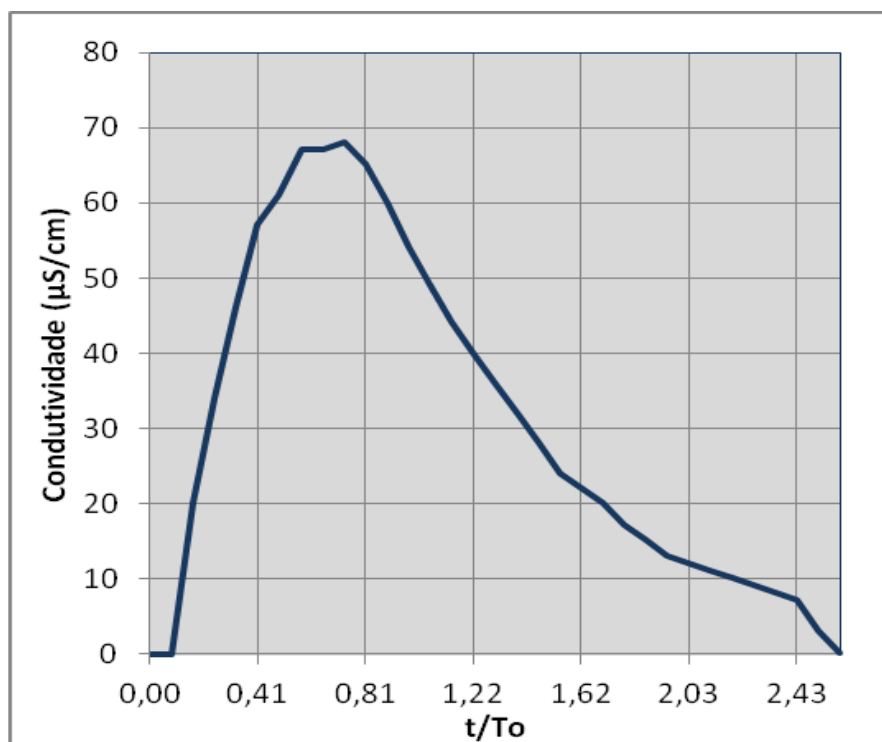


FIGURA 3 - Condutividade em função da relação tempo / tempo total t/T_o – solução traçadora com aplicação tipo pulso.

A Figura 4 apresenta os valores das frações de condutividade remanescente em função da relação t/T_0 .

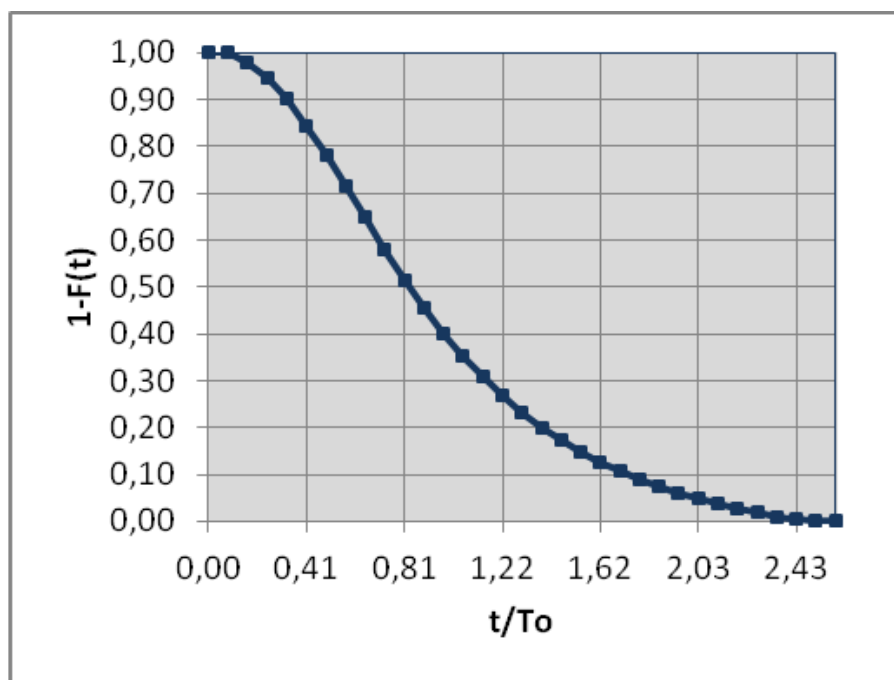


FIGURA 4 – Fração de condutividade remanescente em função da relação t/T_0

Para o teste em questão foram obtidos os seguintes resultados:

Na Figura 5 foram lançados os valores de $F(t)$ (ou seja, a fração do traçador que sai da unidade) em função de t/T_0 . Nesta figura, somente 6% do escoamento sai da unidade em tempo inferior a $0,26 T_0$, obtido para 6,4 minutos de tempo de aplicação da solução correspondente a 10% do tempo do teste e um $F(t)$ igual a 0,06. Resultando uma fração relativa às zonas mortas de $m = 0,06$ e a fração de escoamento tipo pistão $p(1-m)$ resultou **0,70**.

$$\lg \alpha = \frac{\lg(1) - \lg(0,1)}{1,31 - 0,70} = 1,6393$$

$$(1 - p)(1 - m) = \frac{0,434}{1,6393} = 0,26 \text{ que corresponde a fração de escoamento tipo mistura completa.}$$

Para vazão de 1337 L/s o tempo (em minutos) médio teórico de floculação **Td** resultou em :

$$Td = \frac{99 \times 6}{401,1 \times 60} + \frac{99}{(401,1/6) \times 60} = 24,68 \text{ min}$$

A Figura 5 apresenta a relação $F(T)$ em função de t/T_o

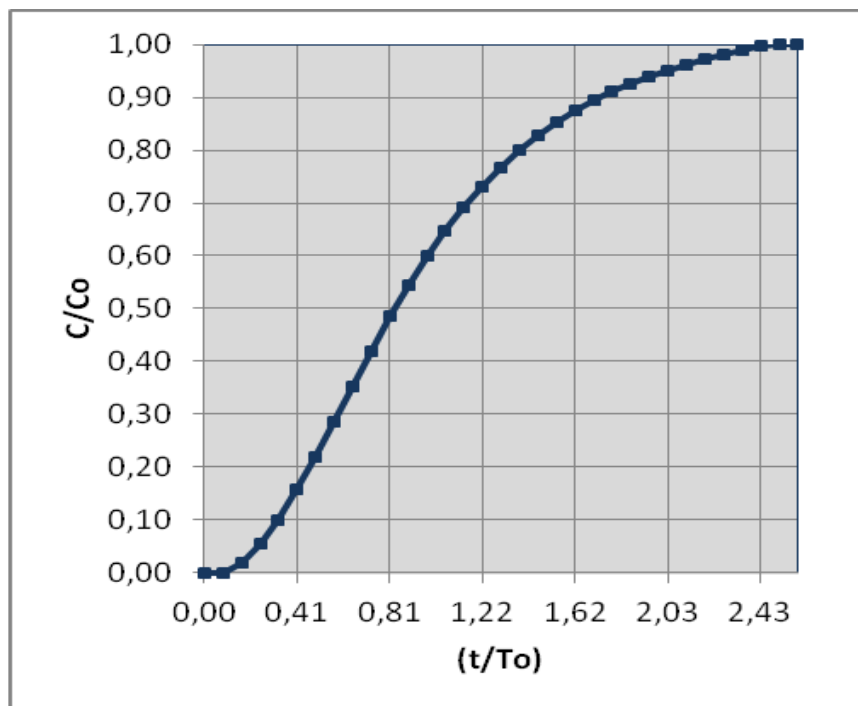


FIGURA 5 – Relação $F(T)$ em função de t/T_o

CONCLUSÕES

O método proposto serviu para reprodução das condições de floculação de estações de tratamento de água – ETA II com sistema de floculação composto de turbina tipo axial seguido de paletas giratórias.

O valor de 70% pode estar relacionado a sobrecarga que está ocorrendo na ETA II processando uma vazão de 1337 l/s. No teste com traçador ficou demonstrado que a fração de escoamento tipo pistão resultou em 70%, e, 5% a fração relativa às zonas mortas na unidade de floculação. O valor do tempo para ser aplicado no “jar-test” na ETA II deve ser o tempo de floculação equivalente a $0,70 \times 24,68$ igual a 17,27 min. Os valores obtidos nos testes com a solução traçadora podem ser considerados do tipo pistão, visto que 17,27 minutos corresponde a mais de 50% do tempo verificado em condições reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDO, Luiz. & DANTAS, ANGELA Di Bernardo. Métodos e Técnicas de tratamento de água. Vol I e II – 2ª ed., São Carlos. RIMA. 2005
2. DI BERNARDO, L., PÁDUA, V. L., MOREIRA, A.M.R. (1998) *Metodologia para la Reproducion de Las Condiciones de floculacion en Jar Test*, XXVI Congreso Interamericano de Ingeniera Sanitária Y Ambiental, Lima, Peru
3. SOUZA, L. C. A. Avaliação do comportamento hidráulico da unidade de floculação da estação de tratamento de água nº 2 de Valinhos-SP. 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.