■ ■ artigos técnicos

Uso de reatores de fluxo ascendente como unidades de floculação-clarificação na produção de água para abastecimento público

Use of up flow reactors as units of flocculation-clarification in the water production for public supplying

Milma Roza de Lima*

Bacharel em Química pela Universidade São Francisco - USF. Mestranda em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Trabalha como Técnica em Sistema de Saneamento na SABESP.

Ruben Bresaola Junior

Professor Doutor do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Foi Diretor de Educação do CREA-SP, Membro do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, membro do Conselho Estadual de Saneamento do Estado de São Paulo, membro do CTID/PCJ-SP, assessor FAPESP, CNPq e FINEP; membro de Conselhos Editoriais de revistas científicas nacionais, de periódicos e de congressos Nacionais e Internacionais

*Endereço: * Avenida Voluntário Antenor da Silva, s/nº - Jardim Morumbi - Bragança Paulista - São Paulo - CEP: 12926-010 - Brasil - Tel: +55 (11) 4035-2024 - Fax: +55 (11) 4035-2074 - e-mail: mrlima@sabesp.com.br.*

RESUMO

No presente trabalho são apresentados, de forma resumida, aspectos físicos e resultados de carreiras de trabalho com reator cilíndrico utilizado em processos de floculação hidráulica e clarificação de águas coaguladas com sulfato de alumínio, para fins de abastecimento público. Esta unidade foi dotada de meios de materiais recicláveis sintéticos, a saber: malha de plástico (PP) e esferas sólidas (Ø9mm, PU) como meios auxiliares de floculação e de retenção dos flocos formados, originando um efluente que foi estudado para possível consumo público. Esta unidade, doravante, será denominada reator R, ao longo do texto. Seu efluente foi qualitativamente comparado ao longo de todo o trabalho com outro oriundo de um sistema de uma ETA operada com sistema de floculação mecânica (paletas de eixo vertical com seis braços) dotada de três câmaras de seção quadrada em série, seguido de decantação em unidade retangular e fluxo horizontal, situada na ETA Bragança Paulista - SABESP. Os ensaios foram realizados com água coagulada oriunda da unidade de mistura rápida da ETA e o reator R demonstrou que para valores de taxas de aplicação até 180 m³/m².dia, apresentou resultados de melhor eficiência na remoção de turbidez e cor aparente do que os da própria ETA. Para valores de taxas de aplicação superiores a 180 m³/m².dia, resultados semelhantes aos da ETA, porém, com menor tempo de produção do efluente.

PALAVRAS-CHAVE: floculação em malhas, meio granular sintético, floculação em esferas, materiais recicláveis, floculação hidráulica.

ABSTRACT

In the present study are presented in summary form, physical

aspects and results of careers working with cylindrical reactor used in hydraulic flocculation processes and clarification of water coagulated with aluminum sulfate, for purposes of public supply. This unit is equipped with means of synthetic recyclable material, namely plastic mesh (PP) and solid spheres (Ø9 mm PU) as auxiliary of flocculation and retention of the flocs, resulting in an effluent that has been studied for possible use public. This unit, henceforth shall be known as reactor R, throughout the text. Its effluent was qualitatively compared throughout the work with another coming from a system operated with an ETA mechanical flocculation system (vertical axis palettes with six arms) with three chambers of square section in series, followed by sedimentation in unit rectangular horizontal flow, located on ETA Bragança Paulista - SABESP. The tests were performed with coagulated water coming from the mixing unit rapidly ETA and the reactor showed that R values for application rates up to 180 m³/m².day, presented results of improved efficiency in removing turbidity and apparent color than those of ETA itself. For values of application rates above 180 m³/m².day, similar results to the ETA, but with less production time of the effluent.

KEYWORDS: flocculation in mesh, granular synthetic balls in flocculation, recyclable materials, hydraulic flocculation.

INTRODUÇÃO

Há um século, pelo menos, a demanda de consumo público de água de abastecimento tem crescido a um ritmo muito mais rápido do que aquele que a população necessita— e esta tendência, infelizmente, se mantém. Neste período de tempo, a população quadruplicou, enquanto o consumo de água cresceu sete vezes. À medida que a população mundial cresce, tecnologias e costumes de vida vão se diferenciando e se tornando mais ávido por consumo de água potável (PNUD/RDH, 2006). Previsão da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2007), indica que por volta do ano de 2025 a população mundial deverá ser de aproximadamente 8.9 bilhões de pessoas e deverá ser a máxima suportável, dentro das semelhantes condições de consumo atual. No início do século 21, uma em cada cinco pessoas residentes em países em desenvolvimento, cerca de 1,1 bilhão de pessoas, não tinham acesso à água potável. Cerca de 2, dispunham de acessibilidade ao saneamento básico. (PNUD/RDH 2006).

No Brasil, os piores índices sanitários voltados à saúde pública, em termos de cobertura de água canalizada e rede geral de distribuição são observados, principalmente, nas regiões menos desenvolvidas (norte e nordeste do país) e em seus menores municípios. Assim, os programas destinados à universalização dos serviços de saneamento devem ser voltados, prioritariamente, para estas localidades (IBGE, 2002).

As tecnologias aplicadas na produção de água para abastecimento público têm de ser determinadas em função das características físicas, químicas e microbiológicas da água bruta. Daí, ser de suma importância o conhecimento da variação de sua qualidade

e da probabilidade da mesma conter substâncias, de diferentes procedências ou origens, ao longo de seu percurso pela bacia hidrográfica contribuinte.

Na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), as tecnologias de tratamento de águas para abastecimento são classificadas como convencionais, que incluem todas as etapas unitárias tradicionais do processo (coagulação, floculação, decantação e filtração), e não-convencionais, incluindo a filtração direta ascendente ou descendente, a dupla filtração, e a filtração lenta (Di Bernardo, 2005). Os sistemas de tratamento de água convencionais, apesar da evolução no conhecimento, operação, e conseqüentemente, no dimensionamento de unidades como decantadores e filtros, apresentam custos de implantação, operação e manutenção relativamente altos, quando comparados aos sistemas não convencionais anteriormente citados. Porém, são mais adequados ao tratamento de águas com elevada carga de sólidos suspensos, sejam estes de origem orgânica ou inorgânica, e às necessidades de tratamento de águas com constituintes diferenciados.

Apesar da predominância do tratamento convencional nos distritos brasileiros, os sistemas não-convencionais vêm se difundindo cada vez mais e já apresentam números relativamente significativos no País. Dependendo da qualidade da água bruta, a filtração direta pode apresentar operação e funcionamento simplificado em termos de sistemas unitários, bem como, custos de implantação, relativamente baixos. Estudos adicionais sobre funcionamento e operação da filtração direta ascendente e descendente desenvolvidos pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB 3), com aprimoramento da dupla filtração, colaboraram para promover essas tecnologias e difundir sua aplicação (Di Bernardo, 2003).

A floculação prévia pode melhorar o desempenho de sistemas não convencionais na produção e tratamento de água na filtração direta descendente, pela modificação do tamanho e quantidade das partículas, que chegam ao meio filtrante constituído de areia e antracito (dupla camada), dado que o desenvolvimento da perda de carga no meio filtrante varia na razão inversa do tamanho e quantidade das partículas retidas. O custo de um sistema de floculação depende, essencialmente, de três fatores: vazão, tempo de floculação, aspectos relacionados ao volume dos tanques, bem como, a energia a ser transferida para a água, ligada diretamente aos valores médios de gradiente de velocidade, necessário para a floculação.

A eficiência da floculação, durante um tempo determinado, é tanto maior quanto mais câmaras em série tiver o floculador, o que diminui o volume curto-circuitado. Os floculadores dotados de meio granular podem, e devem, ser considerados como um sistema, que possui um número elevado de câmaras em série, e são considerados de elevada eficiência energética (Dalsasso, 2005).

Os primeiros estudos sobre floculação em meio granular fixo, na América Latina, foram feitos no Brasil pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Estado do Paraná) em 1979. A floculação em meio poroso está despertando muito interesse, por suas possibilidades de aplicação, principalmente em pequenas instalações, devido à sua elevada eficiência e baixo custo relativo. Apresenta, entretanto, alguns problemas operacionais relacionados, principalmente, com a obstrução do meio, o que não é

um sério inconveniente em instalações de pequeno porte (vazão igual ou inferior a 10 L/s (Richter & Azevedo Netto, 1991).

Buscando o aproveitamento do desempenho favorável da floculação em meio poroso, que ocorre na presença de fluxo laminar (perda de carga seguindo a equação de Darcy), gerado nos vazios existentes entre o meio granular, e, ainda, à progressiva retenção de coágulos ou flocos em formação (que proporcionam melhores condições hidráulicas e oportunidades de choques entre as partículas ou substâncias em processo de floculação, com as existentes no meio - semelhantemente aos fenômenos ocorridos quando há a presença de mantas de contatos, aumentando a retenção das mesmas, e diminuindo a interferência das forças de cisalhamento dos mesmos. Para tanto, deve se buscar meios granulares alternativos, que atenuem o aumento excessivo da perda de carga imposta ao escoamento e conseqüentemente, à inconveniência de freqüentes necessidades de limpeza em função do reduzido volume de vazios.

No presente trabalho foram estudados e comparados características dos efluentes oriundos de sistemas de floculação hidráulico de fluxo ascendente em reator dotados de meios granulares compostos por esferas sólidas e malha de polietileno, e de sistema de floculação mecanizada do tipo eixo vertical de paleta, em câmara de seção quadrada, seguido de decantação (sistema utilizado na ETA). Foi utilizado, em ambos os casos, água coagulada da Estação de Tratamento de Água (SABESP), no município de Bragança Paulista, no estado de São Paulo.

Os resultados das análises das amostras dos efluentes obtidos neste trabalho demonstraram que a floculação hidráulica de fluxo ascendente, em meio constituído de esferas sólidas e malha (reator R), apresentou-se, qualitativamente mais eficiente do que a promovida em floculação mecanizada do tipo eixo vertical de paleta até a valores de taxas máximas de aplicação superficial da ordem de 180 m³/m².dia, no primeiro sistema. Isto pode indicar que haja uma real possibilidade de contribuição, deste trabalho, para a otimização de produção de água de boa qualidade em estações de tratamento de água do tipo convencionais existentes, e que estejam, eventualmente, com problemas nos sistemas de floculação e/ou decantação. Os resultados obtidos poderão, também auxiliar na realização de projetos mais eficientes e econômicos; principalmente quando se tem a aplicação voltada às pequenas e médias comunidades urbanas e rurais (com necessidades de pequenas ETAs), que ainda não possuem acesso à água potável. A possibilidade de uso desta tecnologia simplificada de tratamento de água e da facilidade operacional da mesma, com baixos custos de implantação e operação, quando comparados a sistema de tratamento convencional, pode colaborar para com alcance de meta de 91,5% de população com acesso à água potável, que atualmente é de 90,0%, estabelecida pelos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – uma série de metas socioeconômicas que os países-membros da ONU se comprometeram a atingir até 2015.

O reator dotado de meio granular composto por malha e esferas sólidas, além de operar com eficiência como unidade de floculação hidráulica, operou também no decorrer dos ensaios como unidade clarificadora da água em tratamento quando submetida à valores máximos de taxa de aplicação superficial de 180 m³.m²/d e de turbidez de água bruta de 13,0 uT obtendo efluente com valores de turbidez menores que 5 uT e cor aparente menores 15,0 uC, o que possibilitaria o tratamento da água por filtração direta.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados utilizando-se de um sistema piloto instalado exatamente ao lado do canal de distribuição de água coagulada, locado ao lado externo do mesmo, da Estação de Tratamento de Água de Bragança Paulista situada no bairro Jardim Morumbi, no município de Bragança Paulista, no estado de São Paulo. As fotos presentes na Figura 1, mostram uma visão geral da ETA e a posição do reator R, à frente do canal de água coagulada e do lado de um dos decantadores da ETA.

Figura 1 - Fotografia da vista aérea da ETA Bragança Paulista, FONTE: SABESP, 2008

A ETA Bragança Paulista opera com uma vazão média de 500 L/s e é composta por dois módulos de tratamento de água do tipo convencional. Cada módulo é constituído por unidades de floculação mecânica, câmaras de secção quadrada e rotores do tipo paletas, eixo vertical, decantação convencional e filtração rápida descendente. Principais características podem ser vistas nos dados da Tabela 1. A etapa da mistura rápida, onde é realizada a coagulação (mistura quase que conjunta de suspensão de cal e solução de sulfato de alumínio) ocorre num vertedor do tipo tulipa, sendo única para os dois módulos. A água coagulada é encaminhada aos floculadores da ETA através de tubulação, com diâmetro de 500 mm, cabendo a cada módulo de tratamento 50% da vazão coagulada.

Tabela 1 – Dados operacionais ETA Bragança Paulista

	Decantador	Floculador	Filtro
Tipo	Convencional	Mecânico	Misto, Rápido e Descendente
Quantidade (un)	2	9	4 unidades, 8 câmaras
Altura (m)	4,25	4,25	4,25
Volume (m ³)	2.666	101	598
Dimensões (L/C) (m)	15,3 x 41	4,9 x 4,8	7,4 x 9,5
Área superficial (m ²)	627	23,52	140,6
Tempo médio de detenção (min)	170	38	-
Taxa média de aplicação superficial (m ³ /m ² .dia)	66	-	245,8

O sistema piloto era composto por uma caixa de nível constante (PVC, 100L) para distribuição de vazão ao designado reator R. Para o controle da vazão afluyente de água coagulada ao reator de floculação foi utilizado um sistema de sifonamento hidráulico (Figura 2), acoplado a tubulações, com os devidos controles por registros, para distribuição de água coagulada até a entrada inferior do reator de floculação hidráulica.

Figura 2 - Fotografia do sistema controle de vazão por sifonamento hidráulico

O corpo total do reator era composto por dois segmentos constituídos por diferentes tipos de dutos. Parte foi composta por tubo em acrílico de cristal transparente sem costura, 206 mm de diâmetro externo e 200 mm de diâmetro interno; 6,5 mm de espessura de parede e comprimento de 11,80 m. Outro segmento, acoplado ao primeiro utilizou duto de PVC branco de diâmetro interno de 200 mm, com 2,5 mm de espessura de parede e comprimento de 1,20 m, totalizando comprimento útil total de 3,00 m e 0,0314 m² de área superficial. Este reator foi “recheado” de malhas de polipropileno da marca Macaferri (MacMat® L) em uma altura de 120 cm e sobre elas uma camada de 60 cm de bolinhas plásticas de PU. Era dotado de descargas de fundo para limpeza do mesmo e com sistema de derivação para a entrada de água coagulada, quando em operação (Figura 3). A saída de água floculada/clarificada foi localizada na parte superior do reator, próximo à superfície superior da lâmina de água.

Figura 3 – Fotografia do reator R com meios granulares fixos dotados de malha de polietileno e esferas Sólidas de PU

Dispositivo para coleta de amostras de água floculada, também foi programado e construído, bem como, deixadas tomadas piezométricas, utilizadas para o acompanhamento das perdas de carga durante o período de funcionamento da unidade. Para isto foi montado um quadro piezométrico e, deste modo, pode ser possível a medição da perda de carga total no reator. O reator R foi preenchido com duas camadas de materiais granulares sinté-

tigos, recicláveis, compostos por uma camada de malha com espessura de 120 cm (PP) e outra de esferas sólidas (PU), diâmetro uniforme de 9,0 mm e com camada de 60 cm de espessura com dados característicos presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos materiais de enchimento do reator de floculação hidráulica R (esferas e malha)

	Reator R		Total
	Malha	esferas	
Câmara	1º	2º	
espessura da camada (cm)	120	60	180
Propriedades Físicas	PP (MacMat® L) cor: preta índice vazios > 90% espessura do filamento: 0,65 mm espessura nominal da malha: 10 mm	PS cor: branca φ 9,0 mm d = 1,06 g/cm³	-
massa (kg)	2,88	13,51	16,39
volume útil (m³)	35,57	6,63	42,20
ε _v (porosidade meio granular limpo)	0,73	0,14	0,87
Custo (R\$) por m³	950,00	8.340,00	9.290,00
Custo (R\$) utilizado	60,65	166,80	227,45
Fornecedor	Macferri (doação)	Duktoys	

Os ensaios foram realizados com água coagulada da ETA Bragança Paulista para valores de taxas de aplicação superficial iguais a: 50, 75, 100, 150, 180, 200, 250, 300 e a 350 m³/m².d no reator R e de 66 m³/m².d, em média, na ETA. Nelas foram determinadas as porcentagens de remoção de turbidez (uT) e de cor aparente (uC) nos efluentes do reator R (tempos de sedimentação de 0 e 7 minutos) e do decantador da ETA Bragança Paulista (tempo de sedimentação de 0 (zero) e aproximadamente 2 horas). O reator R operou vinte e quatro horas por dia, com 15 diferentes carreiras de operação, num total de 1368 horas de funcionamento (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados operacionais dos ensaios do reator R e do sistema da ETA Bragança Paulista

Valores médios de dados operacionais reator R				Valores médios de qualidade da água bruta				Valores médios de dados operacionais ETA			
Carreira	Taxa (m³/m².dia)	Vazão (L/h)	Operação (hs)	turbidez (uT)	cor (uC)	pH		Taxa (m³/m².dia)	Vazão (L/s)	Sulfato Aluminio (mg/L)	Cal (mg/L)
1	50	65	144	7,9	47,5	6,7		66	479	19,7	10,0
2	75	98	240	6,7	39,8	6,8		66	482	20,0	9,2
3	100	131	120	6,0	33,3	6,7		70	507	16,7	8,3
4	150	197	72	5,7	35,6	6,8		68	495	19,1	8,0
5	180	236	72	5,8	40,0	6,6		64	466	18,0	8,6
6	200	262	72	9,5	63,8	6,7		67	489	20,4	10,4
7	250	328	96	42,1	139,5	6,5		61	441	29,0	10,6
8	250	328	72	70,6	243,9	6,4		65	469	26,3	8,00
9	300	393	72	66,3	311,7	6,5		69	504	30,3	12,0
10	300	393	120	27,7	159,7	6,6		69	499	26,8	9,5
11	350	459	96	13,8	90,0	6,6		66	479	20,5	11,6
12	200	262	48	58,2	250,0	6,5		67	483	34,7	9,5
13	200	262	48	42,7	200,0	6,5		64	464	28,3	11,8
14	200	262	24	39,8	170,0	6,7		63	457	29,8	12,1
15	100	131	72	27,1	153,8	6,6		61	444	25,5	9,2
Tempo Total de Operação: 1.368 horas											

As coletas de amostras do efluente do reator, para caracterização de análises físico-químicas ocorreram com o mesmo em operação e re-realizadas até a carreira de nº 9, duas vezes por dia. A primeira coleta era feita aproximadamente às 12 horas e uma segunda por volta das 16 horas. Das carreiras de nº 10 à nº 15, as coletas ocorreram uma única vez por dia, aproximadamente às 16 horas.

As leituras dos valores da perda de carga unitária no reator R foram realizadas diariamente às 16 horas, em todas as 15 carreiras de operação, antes do início de cada coleta de amostras, e

totalizadas como perda de carga total no reator. A limpeza dos meios granulares do reator R foi realizada através de descargas de fundo, de forma que ocorresse o arraste de sólidos retidos nos mesmos. O número dessas descargas foram, durante todas as carreiras, em número de duas vezes. Após o primeiro esvaziamento, a unidade era preenchida de água coagulada em alta taxa, e quando ultrapassava a superfície superior das bolas de plásticos, cortava-se a alimentação e era feita a descarga novamente. As amostras de efluente foram coletadas com o reator em funcionamento, imergindo-se na extremidade superior do reator, jarro acrílico utilizado para ensaios de jarrestes com volumes aproximados de 2 (dois) litros. A determinação dos valores representativos das velocidades de sedimentação dos flocos como função da turbidez remanescente do efluente clarificado no reator R, da instalação piloto, se constitui em tarefa de difícil execução considerando-se a integridade dos flocos. Neste trabalho a mesma tecnologia para a obtenção do efluente de R foi utilizada para a retirada de amostra do efluente do decantador da ETA Bragança Paulista.

As coletas do sistema de floculação mecanizado da ETA foram todas no efluente da terceira câmara, em funcionamento normal da mesma. A caracterização físico-química das amostras dos efluentes coletadas foram realizadas no laboratório (certificação ISO 9001:2000) da ETA Bragança Paulista.

As coletas de amostras para análises foram realizadas no próprio jarro através de mangueira de silicone, de 6 mm de diâmetro interno acoplada ao jarro e posicionada a 7 cm de distância do nível superior da lâmina sendo coletados volumes aproximados de 200 ml e após o intervalo de tempo de 7 minutos. Assim procedendo, o valor de velocidade de sedimentação dos flocos foi de 1,0 cm/min. Nestas amostras foram realizadas análises de remoção de cor aparente (uT) e turbidez (uT) como função da velocidade de sedimentação estabelecida para a sedimentação dos flocos. Foram realizadas também análise de turbidez (uT) e cor aparente (uC) dos efluentes filtrados em papel filtro, quantitativo, Whatman 40 (faixa branca, filtração média). Para a filtração dos efluentes foram utilizados volumes de aproximadamente 100 ml de amostra. As análises físico-químicas de turbidez e cor aparente foram realizadas respectivamente no turbidímetro 2100P da Hach e colorímetro digital para cor Aquacolor da Policontrol.

RESULTADOS

Comparando-se os resultados mostrados pelas curvas das Figuras 4 e 5, de valores médios de remoção (%) de turbidez (uT) e cor aparente (uC) no tempo de sedimentação (Ts) de 7 minutos das amostras oriundas do reator R e tempo de detenção de floculação de 15 minutos por carreira de operação, com os resultados das amostras da água decantada da ETA Bragança Paulista com tempos médios de detenção de floculação de 38 min e de sedimentação de 170 minutos, foi observado que, a partir da taxa de 180 m³/m².dia, a água decantada obtida pelo sistema que constitui a ETA apresentou os melhores resultados de remoção de turbidez. No entanto, é importante observar que os valores obtidos para o efluente do reator R até a taxa de 180 m³/m².dia apresentaram melhor eficiência na remoção de turbidez e cor aparente do que os verificados nos efluentes do sistema da ETA. Isto sem falar na diferença dos tempos de produção dos efluentes, aproximadamente 170 minutos para o sistema ETA e 7

minutos para os produzidos pelo reator R.

Figura 4: Valores médio de porcentagens de remoção de turbidez (uT) dos efluentes do reator R no tempo de sedimentação (TS) = 7 minutos em função de taxas de aplicação (m³/m².dia) e da água decantada da ETA Bragança Paulista.

Figura 5: Valores médio de porcentagens de remoção (%) de cor (uC) do efluente do reator R no tempo de sedimentação (TS) = 7 minutos em função de taxas de aplicação (m³/m².dia) e da água filtrada da ETA Bragança Paulista.

As Figuras 6 e 7 mostram resultados de eficiências de remoção (%) de turbidez e cor aparente, respectivamente, dos efluentes filtrados da ETA (filtração rápida descendente) e reator R (em papel de filtro (Whatman 40), conforme preconizado por DI BERNARDO). Estes dados mostram que o efluente filtrado do reator R, após tempo de sedimentação Ts = 0 (zero) minutos, isto é, coletado no reator R e imediatamente filtrado, apresentou praticamente a mesma eficiência de remoção (%) de turbidez e cor aparente dos efluentes filtrados da ETA.

Figura 6: Valores médio de porcentagens de remoção de turbidez (uT) dos efluentes filtrados em papel de filtro (Whatman 40) do reator R no tempo de sedimentação (TS) = 0 (zero) minutos em função de taxas de aplicação (m³/m².dia) e da água filtrada da ETA.

Figura 7: Valores médios de porcentagens de remoção de turbidez (uT) dos efluentes filtrados em papel de filtro (Whatman 40) do reator R no tempo de sedimentação (TS) = 0 (zero) minutos em função de taxas de aplicação (m³/m².dia) e da água filtrada da ETA.

As Figuras 8 e 9 mostram resultados de eficiências de remoção (%) de turbidez e cor aparente dos efluentes filtrados da ETA (filtração rápida descendente) e reator R (em papel de filtro (Whatman 40), conforme preconizado por DI BERNARDO) mostram que o efluente do reator filtrado, após tempo de sedimentação (Ts) de 7 minutos e com velocidade de sedimentação de 1 cm/min apresentou praticamente a mesma eficiência de remoção (%) de turbidez e cor aparente dos efluentes filtrados da ETA.

Figura 9: Valores médio de porcentagens de remoção de cor aparente (uC) dos efluentes filtrados do reator R no tempo de sedimentação (TS) = 7 minutos em função de taxas de aplicação (m³/m².dia) e da água filtrada da ETA Bragança Paulista

Comparando-se estatisticamente os valores médios de percentuais de remoção de turbidez (uT) e cor aparente (uC) dos efluentes produzidos pelo reator R (tempo de sedimentação (Ts) de 7 minutos e com velocidade de sedimentação de 1 cm/min) e pela ETA Bragança Paulista (tempo de sedimentação de aprox-

Figura 8: Valores médio de porcentagens de remoção de turbidez (uT) dos efluentes filtrados em papel de filtro (Whatman 40) do reator R no tempo de sedimentação (TS) = 7 minutos em função de taxas de aplicação (m³/m².dia) e da água filtrada da ETA Bragança Paulista.

imadamente 170 minutos), pode ser observado que o reator R apresentou, estatisticamente, a mesma eficiência para remoção percentual de turbidez (uT) (Tabela 2) e eficiência de remoção de cor aparente maior que a verificada nas amostras de águas decantadas da ETA (Tabela 3).

Tabela 2 - Comparações múltiplas. Valores médios de porcentagens de remoção de turbidez. Teste SNK. Desvio padrão.

	MÉDIA	N	Desvio médio padrão	LOCAL
A	79,537	134	1,36	Efluente decantado da ETA
A	78,341	134	4,01	Efluente do R

Tabela 3 - Comparações múltiplas. Valores médios de porcentagens de remoção de cor aparente. Teste SNK. Desvio padrão.

	MÉDIA	N	Desvio médio padrão	LOCAL
A	81,965	134	17,87	Efluente do R
A	76,913	134	5,07	Efluente decantado da ETA

É importante observar que o reator R quando submetido à valores máximos de taxa de aplicação superficial de 180 m³.m²/d e de turbidez de água bruta de 13,0 uT operou como filtro/clarificador de água em tratamento obtendo efluente com valores médios de turbidez menores que 5 uT e cor aparente menor que 15,0 uC, o que possibilitaria o tratamento da água por filtração direta (DI BERNARDO, 2003), eliminando-se a etapa de decantação. Isto se torna significativo porque segundo Fadel & Baumann (1990) as unidades de sedimentação representam aproximadamente 1/3 do custo total de implantação de uma ETA.

A aplicação da malha no reator R favoreceu a formação de flocos em função da elevada porosidade do meio floculante através do aumento da taxa de colisões entre as partículas coloidais com formação de manta de lodo (Figura 10). Comprovando-se que quanto maior for o número de cavidades, mais se aproxima da teoria de um grande número de reatores em série.

Figura 10 - Fotos do reator R com formação de flocos (13ª carreira em 09/12/2007)

Figura 11 – Operação do reator R como unidade clarificadora ou de floculação em função da turbidez (uT) do rio Rio Jaguari (Bragança Paulista) no período de 26 de março de 2004 à 13 de março de 2008.

Foi realizado, junto aos boletins diários, estudos de dados operacionais da ETA Bragança Paulista e feito levantamento de valores médios e máximos de turbidez no Rio Jaguari, no período de 26 de março de 2004 a 13 de março de 2008 o que permitiu inferir que, dos 1.395 dias de informações obtidas, e considerando-se os valores médios e máximos de turbidez, o reator R operaria como unidade clarificadora 811 dias ou seja (58,14%) do tempo; e como floculador 716 (51,33%) dias (Figura 11).

CONCLUSÕES

Com base nos trabalhos realizados pode ser concluir que:

Os resultados obtidos dos efluentes do reator R sem filtração, tempo de sedimentação de 7 minutos e velocidade de sedimentação de 1 cm/min e da água decantada produzida pelo sistema da ETA, com tempo de sedimentação de aproximadamente 170 minutos, o reator R até a taxa de trabalho de 180 m³/m².dia apresentou melhores eficiências de remoção de turbidez e cor aparente do que a do efluente do decantador da ETA. Já para taxas acima de trabalho de 180 m³/m².dia a água decantada produzida pela ETA apresentou eficiências de remoção de turbidez e cor aparente semelhantes estatisticamente às verificadas pelas amostras do reator R;

Os resultados obtidos do efluente filtrado do reator R com tempo de sedimentação de 0 (zero) minutos e da água filtrada pela sistema da ETA, o reator R apresentou nas carreiras de operação de números 6, 7 e 8; efluente filtrado com melhores eficiências de remoção percentual de turbidez e cor aparente do que as verificadas pela água filtrada pelo sistema da ETA; e para as carreiras de números de 9 a 15, efluentes com remoção percentual de turbidez e cor aparente semelhantes as verificadas água filtrada pelo sistema da ETA;

Os resultados obtidos dos efluentes filtrados do reator R nos tempos de sedimentação de 0 e 7 minutos, apresentaram eficiências semelhantes de remoção de turbidez e cor aparente,

Para os resultados obtidos dos efluentes filtrados do reator R com tempo de sedimentação de 7 minutos, o reator R apresentou eficiências semelhantes de remoção de turbidez e cor aparente das verificadas pela água filtrada produzida pelo sistema ETA;

O reator R aumentou significativamente a eficiência de remoção de turbidez e cor aparente após filtração do seu do efluente nos tempos de sedimentação de 0 e 7 minutos, apresentando eficiências semelhantes às verificadas pela água filtrada pelo sistema ETA, mesmo para taxas

de aplicação superficial 180 m³/m².dia;

O reator R apresentou-se operacionalmente mais interessante por possibilitar, em função da qualidade de água bruta, a filtração direta do efluente; com possível eliminação da etapa da sedimentação (decanção); e por possibilitar a produção de efluentes com menor tempo de sedimentação (7 minutos) do que a ETA (aproximadamente 170 minutos) mesmo para aqueles efluentes que apresentaram resultados de remoção de turbidez e cor aparente semelhantes aos verificados pelo sistema que compõe a ETA;

O reator R foi submetido à taxas de aplicação superficial de 50, 75, 100, 150, 180, 200, 250, 300 a 350 m³/m².d enquanto a ETA Bragança Paulista operou em média com 66 m³/m².d, ou seja, com taxas de aplicação superficial menos críticas do que as aplicadas no reator, o que pode ter favorecido os resultados apresentados pela ETA. Porém, mesmo assim, os efluentes do reator R apresentaram, para taxas de aplicação superficial até 180 m³/m².d, melhores resultados de remoção de turbidez e cor para efluentes sem filtração e resultados semelhantes aos da ETA para efluentes filtrados, com o diferencial operacional de produção de efluente com menores tempo de sedimentação;

O uso de malha pode possibilitar sistemas e unidades de tratamento compactos, baixo custos, menor consumo de energia, maior tempo de operação, sem limpezas intermediárias em função da baixa velocidade de colmatação, do grande volume de vazios, bem como, da pequena evolução da perda de carga, facilidade na limpeza, redução de descargas, redução de lavagens e unidades transportáveis, o que viabilizaria econômica e operacionalmente a sua aplicação em pequenas comunidades. Proporcionando uma real contribuição na otimização de estações de tratamento de água, eventualmente com problemas nos sistemas de floculação e/ou decantação e na realização de projetos mais eficientes e econômicos.

RECOMENDAÇÕES

Realizar trabalho de aplicação de malhas e esferas em um sistema de floculação seguido de filtro rápido de areia para verificação da otimização do processo na realização de projetos mais eficientes e econômicos;

Controle das dosagens ótimas de produtos químicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DALSSASSO, L.. R. (2005) Estudo de diferentes materiais para floculação em meio granular, precedendo a filtração rápida descendente no tratamento de água para abastecimento. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC: [s.n.];
2. DI BERNARDO, L. (2003) Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. Rio de Janeiro: ABES, Rima, p.498. Projeto PROSAB;
3. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D. (2005) Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. São Carlos: RIMA, v.1, 2005. p.79.;
4. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. São Carlos: RIMA, v.2, p.792;
5. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2002) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Departamento de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, p.431;
6. PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Relatório do Desenvolvimento Humano 2006. Disponível em <http://www.pnud.org.br>. Acessado em 15/12/2008.
7. RAMOS, O. R. (2000) Desempenho de reatores hidráulicos de floculação em regime de escoamento laminar no trecho de transição. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP: [s.n.];
8. RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. (1991) Tratamento de Água - tecnologia atualizada. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, p.332;