

SISTEMA FLOCULADOR DE MANTA DE LODO EM AÇO INOXIDÁVEL PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO*

Tarso Luís Cavazzana ⁽¹⁾

Tsunao Matsumoto ⁽²⁾

RESUMO

No atual contexto das Estações de Tratamento de Água de Abastecimento - ETAs -, e tendo em vista o grande desenvolvimento dos sistemas construtivos modulares, a importância de estudos relacionados a protótipos de tratamento que possibilitem o uso do sistema construtivo ganha importância fundamental, à medida que se poderá industrializar sua construção, tornando a execução mais rápida e racionalizada.

Assim, sob a óptica de um produto comercializável, propõe-se a construção de um Sistema Floculador de Manta de Lodo (SFML), do tipo apresentado por CAVAZZANA & MATSUMOTO (2003), em maior escala, com suas características de grande produção de água por espaço ocupado. Testes em escala Piloto apontaram possibilidades de aumento das carreiras de filtração, vida útil dos filtros, diminuição da água de lavagem e menor impacto ambiental do lodo descartado.

Esses atributos demonstram adequabilidade do SFML a ser executado em sistema construtivo do tipo modular em aço inoxidável austenítico, visto as características inertes, de resistência, e de não liberação de toxinas, quando em contato com água.

Palavras chaves: tratamento de água, sistemas construtivos modulares, aço inoxidável, impacto ambiental, praticidade.

ABSTRACT

In the current context of the Water Treatment Plant, and in view of the great development of the modular constructive systems, the importance of related studies about treatment prototypes that have possible to use these constructive system gains fundamental importance, to as if will get to manufacturing its construction, becoming the execution quickly and rational.

Thus, in a regard of a be able commercial product, it is the construction of a Sludge Blanket Flocculator System (SFML) purposes, like the type presented for CAVAZZANA & MATSUMOTO (2003), in large scale, with its characteristics of more quantity of water production for small space. Pilot scale test had directioned possibilities of increase of the filtration runs, useful life of the filters, reduction of the washing water and smaller environment impact of the sludge discharged. These attributes demonstrate suitable of the SFML to be executed in a modular type construction system with austenitic stainless steel, due to inert, resistance, and not toxin release characteristics, when in water contact.

KEY-WORDS: *water treatment, modular constructive systems, stainless steel, environmental impact, easiness.*

⁽¹⁾ Engenheiro Civil, mestrando em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais – FEIS - UNESP.

⁽²⁾ Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento – EESC - USP

INTRODUÇÃO

Conforto, praticidade, economia, reciclagem, durabilidade, competitividade segurança e flexibilidade descrevem bem as características inerentes aos produtos capazes de obter sucesso em sua comercialização.

Globalmente, a busca por maior produtividade dentre os mais variados mercados de produtos tem proporcionado grandes desafios a serem vencidos.

E, como não poderia ser diferente, a produção de Água para Abastecimento depende de todo um Sistema de Tratamento de Água, nesse momento a ser tratado como um produto, que deve apresentar da melhor forma possível características que possibilitem a sua real aplicação.

O SFML vem sendo estudado no Laboratório de Saneamento da UNESP/Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, desde 1996, em um Piloto, apresentando indícios de aplicação prática em função dos resultados obtidos (água decantada em torno de 5UT e filtrada menor que 0,1UT).

Para comprovar esses indícios, pretende-se construir um protótipo, numa escala maior que a piloto existente, em aço inoxidável. Esse material vem de encontro às exigências de aplicações em contato com água, em função de ser inerte à corrosão devido ao metal de sacrifício (cromo) nele contido, e também, por ser um material adequado à aplicação no Tratamento de Água de Abastecimento, por não desprender toxinas.

Por fim, pretende-se testá-lo junto à Represa do Ipê em Ilha Solteira/SP.

OBJETIVO

Demonstrar as potencialidades de aplicação do SFML nos moldes de um sistema construtivo modular compacto, em aço inoxidável.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há atualmente uma gama de variedade de Sistemas de Tratamento de Água, desde os de Filtração Direta, até os por Membrana, sendo cada um deles indicado conforme características físico-químicas e de qualidade final da água que se deseja obter.

Tradicionalmente, esses Sistemas possuem as fases mistura rápida, floculação, decantação e filtração, regidas basicamente por gradientes de velocidade, como descrito por DI BERNARDO (1993). Ver equação (01) abaixo:

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

onde:

- G: gradiente de velocidade (s^{-1});
- P: potência introduzida no sistema (W);
- μ : viscosidade dinâmica da água ($10^{-3}kg/m.s$);
- V: Volume (m^3).

A turbidez - uma característica física -, em geral representada pelos grãos de argila, são partículas coloidais de grande superfície específica e podem direcionar seus íons

*VII SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL de 23 a 25/11, São Paulo/SP - As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade dos autores

metálicos, porém com carga elétrica diferente, tornando-se eletricamente carregadas - freqüentemente negativas -, assim como o meio que as circunda; da mesma forma, as partículas húmicas, responsáveis pela cor, tornam-se eletricamente desequilibradas, quase sempre negativas, podendo-se, então, remover cor paralelamente à turbidez. (VIANNA, 1992).

Os colóides dispersos em água com pH entre 5 e 10 apresentam carga elétrica negativa, devido à adsorção de íons eletronegativos formando um campo elétrico denominado Potencial Zeta, o qual deve ser anulado para que haja a desestabilização das partículas e conseqüente remoção das propriedades físicas (cor e turbidez). Para tanto, utiliza-se coagulantes tradicionais como o sulfato de alumínio, ou alternativos, em especial os polieletrólitos catiônicos (GUILHERME, 2001).

Um fator que motiva o estudo da remoção de turbidez, é o apresentado por BASTOS et al (2003), no qual expõe que grupos coliformes não são indicadores adequados para presença de patogênicos na água de abastecimento, corroborados pela PORTARIA 1469 do MINISTÉRIO DA SAÚDE (2000), destacando as exigências quanto ao controle da filtração e desinfecção para remoção de patógenos (vírus e protozoários), apresentados nos Artigos 12 § 2 e 13 da referida Portaria. Observa-se, assim, a importância do monitoramento sistemático da qualidade da água filtrada para atingir metas de turbidez e de controle do processo de desinfecção por cloração.

Além das exigências normativas, deve-se também observar outros aspectos, por exemplo, os destacados nos estudos realizados por FERREIRA et al (2003), nos quais foram demonstrados bons resultados de remoção de fitoplâncton, paralelamente à remoção de turbidez, porém não igualmente procedeu-se a remoção de cianobactérias, recomendando uso de carvão ativado ou melhoria no processo de filtração para remoção destes microrganismos, já que sua lise ocasiona liberação de cianotoxinas, de características neurotóxicas, além de conferir gosto e odor prejudiciais à água.

TANGERINO et al (1998), mostrou, em seus estudos com o Floculador de Manta de Lodo, possibilidades de aumento da taxa de aplicação (vazão), em função da manta de lodo formada. GUILHERME & MATSUMOTO (2000), e GUILHERME (2001), demonstraram a aplicabilidade de diversos tipos de coagulantes na remoção de cor e turbidez num Sistema Decanto Floculador de Manta de Lodo Associado à Decantador de Alta Taxa, comprovando, no caso, um melhor desempenho dos polieletrólitos catiônicos. CAVAZZANA & MATSUMOTO (2003), utilizaram as indicações dos trabalhos citados anteriormente e analisaram o comportamento do SFML à taxas de aplicação maiores que as até então testadas, associadas a diferentes coagulantes catiônicos e diferentes situações de turbidez inicial.

SECKLER et al (2003) apresentou trabalhos experimentais de baixo custo relativo às soluções obtidas, que permitiram a diminuição da presença de algas na ETA Alto da Bela Vista/SP, comprovando a importância de estudos experimentais anteriores à aplicação prática de novas tecnologias.

CAVAZZANA & MATSUMOTO (2003), demonstraram as potencialidades do SFML em permitir aumento de produção de água com pequenas modificações, como aumento do volume do prolongador - entre o floculador de manta e o decantador, ver Figura 01.

E, com o intuito de somar as características do SFML, CAVAZZANA & MATSUMOTO (2004), mostram que a construção do sistema do tipo PMC automatizado em escala ampliada para estudos de comprovação e ajustes torna-se essencial para efetivar sua utilização prática, à medida que se conhece o comportamento do parâmetro principal

para os ajustes de dosagem (gradiente de velocidades), bem como a dinâmica de funcionamento do Sistema de Tratamento de Água – como os momentos de descarga da manta de lodo, lavagem do filtro e reinício do ciclo de operações.

Por fim, teve-se a necessidade de escolha de um material adequado para construção do SFML no Tratamento de Água de Abastecimento. O aço inox (aço carbono incrementado com 11% ou mais de cromo) austenítico apresenta características de boa aplicabilidade e de isenção de eliminação de toxinas quando em contato com água, além de preservar boas características de resistência mecânica (ARTINOX, 2004), sendo assim considerado adequado à construção do Sistema de Tratamento proposto.

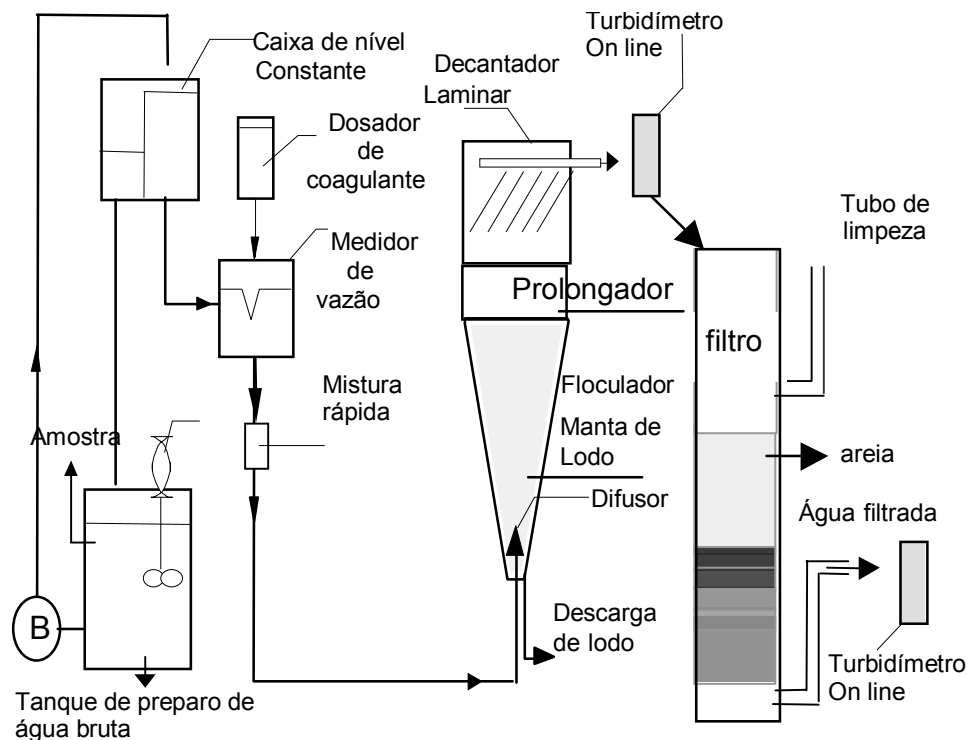


Figura 01: Esquema do Módulo Experimental. (CAVAZZANA & MATSUMOTO (2003)).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos Jar-Tests, foram levantados os parâmetros hidráulicos - gradientes de velocidade -, no piloto, a partir da equação (1), substituindo-se a potência (P), levando-se em consideração o coeficiente de resistividade apresentado por DI BERNARDO (1993) e o exposto por VIANNA (1992) quanto à relação de espaçamento e altura de encontro de jatos sucessivos, chegando-se à equação (2):

$$G = \sqrt{\frac{(L_f \times k_r) \times g \times Q^2}{v \times A \times V}} \quad (2)$$

onde:

- g: gravidade, m/s²;

*VII SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL de 23 a 25/11, São Paulo/SP - As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade dos autores

- Q: vazão de ensaio, m³/s;
- ν : viscosidade cinemática da água, 10⁻⁶ m²/s;
- A: área da seção em que se quer determinar o gradiente, m²;
- L_f: espessura do meio filtrante, m; k_r: coeficiente de resistividade, s/m.

Assim, discretizando-se o Módulo Experimental em início, meio e fim tornou-se possível o cálculo dos gradientes médios para cada taxa de aplicação. E, considerando-se o gradiente do meio igual à soma dos gradientes inicial e final dividido por três, tem-se que o gradiente para Jar-Test ($G_{\text{médio}}$) é uma ponderação dos gradientes pelas respectivas alturas, conforme a equação (3):

$$G_{\text{médio}} = \frac{G_i \times h' + G_{\text{meio}} \times h + G_f \times h_{p+d}}{h' + h + h_{p+d}} \quad (3)$$

onde:

- h: altura do floculador menos h', m.
- h' altura de encontro do jato de entrada com as paredes do floculador, m;
- h_{p+d} a altura do prolongador mais decantador, m;
- $G_{\text{médio}}$, o gradiente médio para o floculador, s⁻¹.

Os tempos de detenção de cada etapa foram obtidos conforme seus volumes e a taxa de aplicação no filtro (vazão). Em seguida, foram feitos ensaios como segue:

• JAR-TEST

Realizados em um aparelho apropriado – Figura 02 -, com turbidez de 10, 30 e 100 UT, para três diferentes polieletrólitos, nas taxas de 160, 200 e 240 m³/m²/dia equivalentes no filtro, possibilitando determinar o melhor polieletrólito, para cada par taxa - turbidez, para testes no Sistema Experimental.



Figura 02: Aparelhos utilizados nos ensaios de Jar-Test

- **TESTE NO MÓDULO FLOCULADOR DE MANTA DE LODO**

Esses testes eram realizados em correlação com as dosagens obtidas em Jar-Test, no módulo da Figura 01.

Por fim, comparou-se os resultados do Módulo com os resultados do Jar-Test e também com os obtidos por MATSUMOTO & GUILHERME (2000) (taxa de $120\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$), com a finalidade de avaliação da eficiência do Sistema para as taxas de 160, 200 e $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.

RESULTADOS

As Tabelas I e II mostram os gradientes e tempos de detenção usados nos Jar-Tests.

TABELA I: Gradientes médios no Floculador de Manta de Lodo.

Taxa de filtração	$160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$	$200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$	$240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$
$G_{\text{médio}} (\text{s}^{-1})$	33	41	50

TABELA II: Tempos de detenção no Sistema Floculador de Manta de Lodo.

Taxa de filtração	$160\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$	$200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$	$240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$
Mistura rápida*	7,5 s	6 s	5 s
Floculador	6,5 min.	5 min.	4 min.
Decantador	20 min.	15 min.	10 min.

*A mistura rápida possui gradiente 600 s^{-1} .

A Tabela III tem os resultados obtidos nos Jar-Tests para turbidez inicial de 30 UT.

TABELA III: Indicação do Jar-Test para teste no piloto, turbidez inicial de 30 UT .

Taxa ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)	Turbidez de ensaio (UT)	Polieletrólito	Melhor dosagem (mg/L)	Turbidez da água decantada (UT)	Polieletrólito a ser testado
160	30	A	50,0	2,0	
160	30	B	15,0	14,5	
160	30	C	15,0	2,0	X
200	30	A	10,0	15,3	
200	30	B	12,5	14,3	
200	30	C	27,5	1,9	X
240	30	A	12,5	14,0	
240	30	B	30,0	14,8	
240	30	C	27,5	1,6	X

As vazões de solução do polímero a ser testado estão indicadas na Tabela IV.

Em seguida à Tabela IV estão os resultados dos ensaios de bancada para os polieletrólitos A e C na turbidez de 30UT e taxa de $200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$. E, considerando-se

*VII SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL de 23 a 25/11, São Paulo/SP - As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade dos autores

como aceitável turbidez de 2UT na saída do decantador, tem-se a maior eficiência de C em relação à A, pois, apesar deste possuir melhor dosagem (10mg/L) menor que a de C (27,5 mg/L) para menor turbidez ao final do teste, possui água decantada com turbidez superior à aceitável (2 UT), indicando, dessa forma, o polímero C para teste no Sistema Experimental. Isso fica mais evidente observando as curvas das Figuras 03 e 04 para os respectivos polímeros, como segue:

TABELA IV: Vazão de solução de polieletrólito para os ensaios no Sistema.

Taxa (m ³ /m ² .dia)	Turbidez de ensaio (UT)	Polieletrólito	Melhor dosagem (mg/L)	Vazão (ml/s)
160	10	C	17,5	0,20
160	30	C	15,0	0,17
160	100	C	22,5	0,26
200	10	C	30,0	0,44
200	30	C	27,5	0,40
200	100	C	40,0	0,58
240	10	C	30,0	0,52
240	30	C	27,5	0,48
240	100	C	45,0	0,79

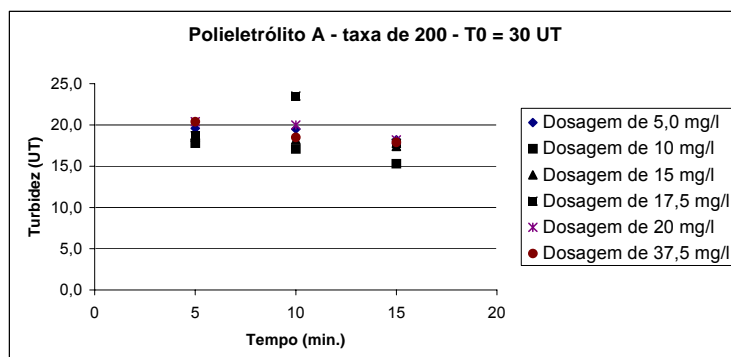


Figura 03: Resultados do polímero A em Jar-Test.

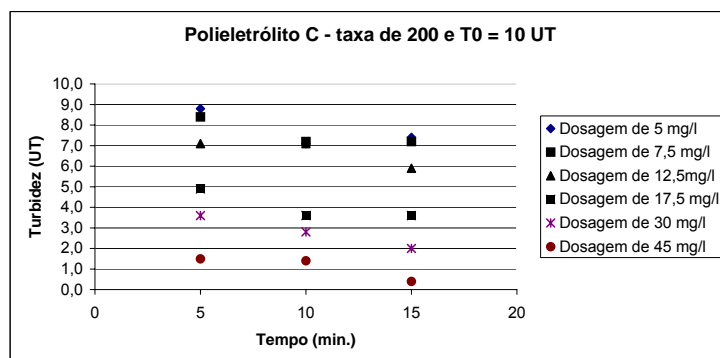


Figura 04: Resultados do polímero C em Jar-Test.

DISCUSSÕES

Analisando os resultados de dois testes semelhantes obtidos no SFML a partir dos ensaios de Jar-Test para o polímero C ($d=1,415$), conforme apresentados nas Figuras 05 e 06.

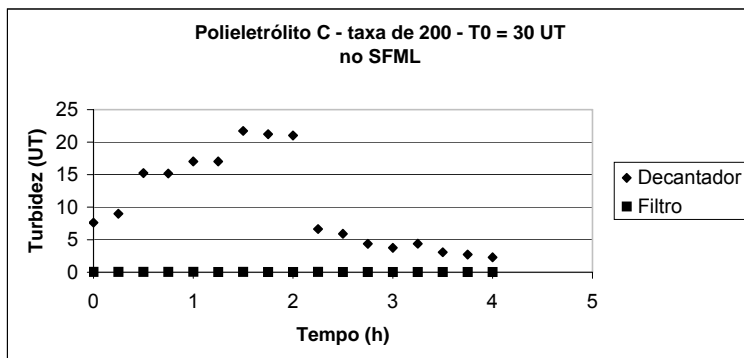


Figura 05: Resultados do Módulo - Polímero C, taxa de $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ e 30 UT.

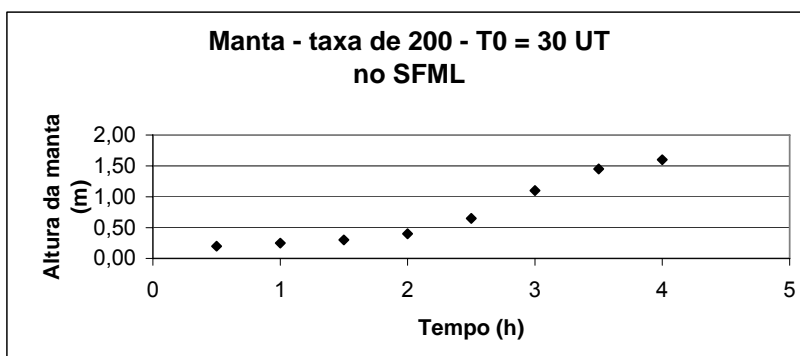


Figura 06: Resultados da manta no Módulo - Polímero C, taxa de $200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ e 30UT.

Observou-se neste teste, melhores resultados após o início da formação de uma manta com espessura maior que 0,50m. Já o filtro satisfaz o esperado, com água filtrada com turbidez menor que 0,1UT, durante todo o ensaio. Outro fator foi a formação bolhas na entrada do floculador, as quais impediam a formação de manta, prejudicando os resultados.

Por fim, conforme as observações feitas em um ensaio de 24 h - Figuras 07 e 08 -, resolveu-se colocar um tubo de purga antecedendo a entrada do floculador, com o objetivo de eliminar as bolhas de ar formadas no sistema de alimentação. A introdução do tubo melhorou os valores do teste anterior - Figuras 09 e 10. Os resultados finais talvez foram influenciados pela ocorrência de curto-circuito, pois a manta trabalhou, após 5h de ensaio, na interface floculador-decantador. Tal fator vem sendo estudado de forma a minimizar tais efeitos.

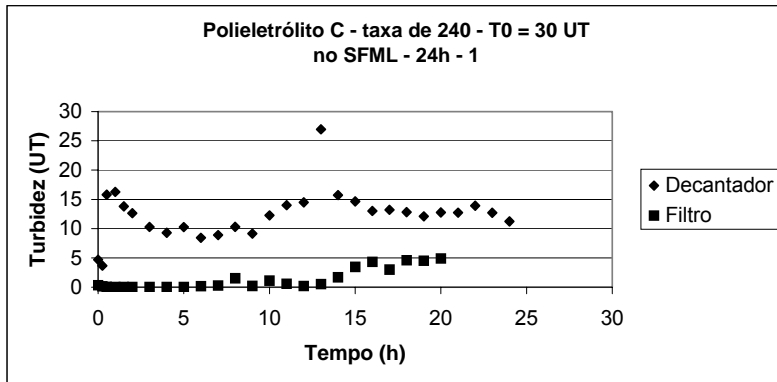


Figura 07: Resultados do teste 1 de 24 h à taxa de 240 e 30UT, sem a purga.

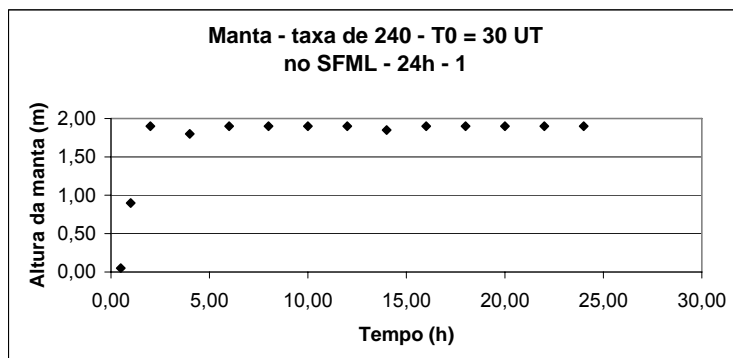


Figura 08: Resultados da manta no teste 1 à taxa de 240 e 30UT, sem a purga.

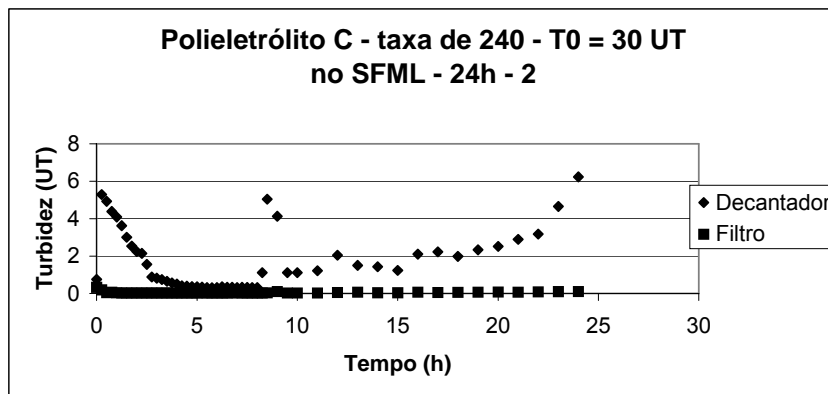


Figura 09: Resultados do teste 2 de 24 h à taxa de 240 e 30UT, com a purga.

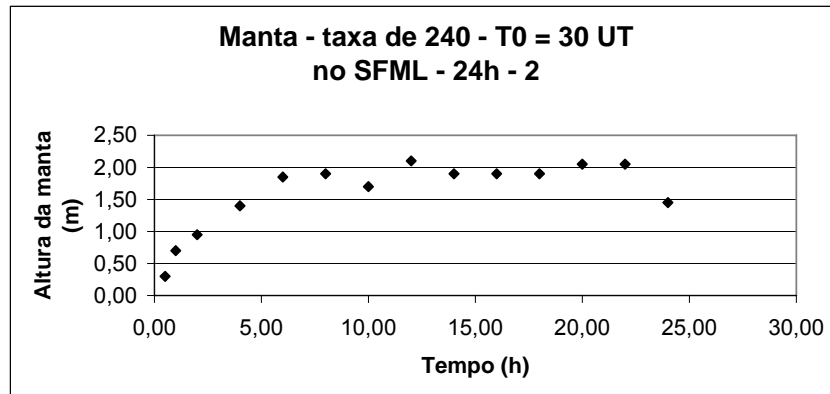


Figura 10: Resultados da manta no teste 2 à taxa de 240 e 30UT, com a purga.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados alcançados com o Jar-Test e o Módulo Floculador de Manta de Lodo foram bastante próximos no que se refere a dosagem, mas a turbidez remanescente para água decantada foi melhor no ensaio de Jar-Test, provavelmente em função da ocorrência de bolhas.

Pode-se dizer, também, que o aumento da taxa de aplicação no conjunto experimental foi positivo e bem sucedido, pois com a aplicação de uma taxa de filtração na ordem de $240\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ em ensaio de 24h, obteve-se água decantada com turbidez sempre abaixo de 5 UT e água filtrada abaixo de 0,1UT, uma vez que a unidade foi inicialmente projetada para uma taxa de $120\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.

Uma outra observação é quanto à manta de lodo, a qual demonstrou ser mais eficiente na remoção da turbidez quando atingia 0,50m.

E assim, em um contexto geral, pode-se dizer estar diante de um Sistema de Tratamento de Água para Abastecimento que garante:

- Maior produção de água para um mesmo espaço ocupado;
- Aplicabilidade do sistema em águas com grande variabilidade de turbidez – em função da formação da manta;
- Possibilidade de automação do Sistema, uma vez que se conhece a dinâmica de operação do sistema – como momentos de descarga da manta e de aumento de dosagem de coagulante em função da turbidez remanescente no decantador;
- Menor umidade do lodo formado – redução do impacto ambiental e do volume de transporte do lodo;
- Consumo reduzido de coagulante.

Todas essas características criaram a expectativa de se construir uma ETA, nos moldes do SFML tipo PMC (Protótipo Modular Compacto) automatizado, em escala maior que a até então existente, e testá-lo na Represa do Ipê, em Ilha Solteira.

E, para que as vertentes de durabilidade, resistência e saúde sejam cumpridas, pretende-se construir o SFML em aço inoxidável austenítico, garantindo, assim, um produto de características adequadas às exigências de comercialização. Isso porque o aço escolhido é inerte e não libera toxinas quando em contato com água, além de garantir boa resistência mecânica e industrialização da execução na forma modular.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela concessão de bolsas de Iniciação Científica e de Mestrado, bem como pelo auxílio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CAVAZZANA, T. L. & MATSUMOTO, T. (2003) - Avaliação e Aplicação dos Resultados de Jar-Test no Módulo Decanto Floculador de Alta Taxa - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXII, Joinville, SC, Anais em CD-ROM.

[2] DI BERNARDO, L. (1993) - Métodos e técnicas de tratamento de água - 2 vol, ABES, Rio de Janeiro, 498 p.

[3] VIANNA, M. R., (1992) - Hidráulica Aplicada às estações de Tratamento de Água - 1 ed, Belo Horizonte – MG.

[4] GUILHERME, C. M. (2001) – Comportamento do Decanto-Floculador de Manta de Lodo e Decantador de Alta Taxa no Tratamento de Água de Abastecimento Utilizando Sulfato de Alumínio e Diferentes Polieletrólitos – Comunicação Pessoal, Dissertação de Mestrado a ser defendida junto ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP.

[5] BASTOS, K. X.; NASCIMENTO, L. E.; BENTÔNICO, G. C.(2003) - Otimização do Controle de Qualidade da Água Tratada e Distribuída para Consumo Humano – Implementando A Portaria 1469/2000, In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XXII, Joinville, SC, Anais em CD-ROM.

[6] MINISTÉRIO DA SAÚDE (2000) - Portaria nº1469 de 29 de dezembro, Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

[7] FERREIRA, A.C.S.; MOTA, C.R.F.; PÁDUA, V.L. (2003) - Relação entre Turbidez e Contagem do Fitoplâncton na Avaliação da Qualidade da Água para Consumo Humano - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXII, Joinville, SC, Anais em CD-ROM.

[8] TANGERINO, E.P., MATSUMOTO, T. & DALL'AGLIO SOBRINHO, (1998) - Floculador de manta de lodo associado a decantador laminar em tratamento de água - In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL (AIDIS), XXVI, 01 a 05 de novembro de 1998, Lima, Peru. (Trabalho aceito para apresentação).

*VII SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL de 23 a 25/11, São Paulo/SP - As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade dos autores

[9] MATSUMOTO, T. & GUILHERME, C. M. (2000) – Comportamento do Decanto-Floculador de Manta de Lodo e Decantador de Alta Taxa no Tratamento de Água de Abastecimento Utilizando Sulfato de Alumínio e Diferentes Polieletrólitos - In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII, Porto Alegre, Brasil, Anais em CD-ROM.

[10] SECKLER, S.F.F.; LAGE, F.A.F.; MENDES, R.L.; FERNANDES, A.N., (2003) - Remoção de Compostos Orgânicos Causadores de Gosto e Odor em Águas de Abastecimento: Aplicação de Carvão Ativado em Pó - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXII, Joinville, SC, Anais em CD-ROM.

[11] CAVAZZANA, T.L., MATSUMOTO, T. (2004) - Proposta de Cálculo de Gradiente de Velocidade para Sistemas Modulares de ETAs Compactas - In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL (AIDIS), XXIX, 22 a 26 de agosto de 2004, Porto Rico. (Trabalho aceito para apresentação).

[12] ARTINOX (2004) – Escolhendo os Melhores Produtos em Aço Inoxidável – Disponível em: <http://www.artinox.com.br/pro_aco.htm> Acesso em: 19 out. 2004.