

**PROCESSO DE LODOS ATIVADOS INTEGRADO A FILTRO  
AUTOFORMADOR DE MEMBRANA DE BIOMASSA NATURALMENTE NÃO  
ADERIDA:  
A REVOLUÇÃO DO MBR, OU A EVOLUÇÃO DOS LODOS ATIVADOS.**

**Darren Lawrence<sup>(1)</sup>**

Tem 35 anos de experiência em águas residuais, filtração e MBR. Alguns de seus projetos são famosos no Brasil, e incluem TMBR Aquapolo, MBR Capivari 2, UF ETA Rio Grande e vários sistemas industriais. Todos funcionando conforme projetado. Desde 2017 tem se concentrado em inovação e em novas tecnologias sustentáveis e resilientes para forçar novas soluções de impacto para o mercado de água e esgoto. Ele morou no Brasil por 8 anos e tem um conhecimento fundamentado das questões hídricas do país.

**Sonia Mucciolo<sup>(2)</sup>**

Engenheira Materiais-Química pela Universidade Mackenzie com Mestrado em Engenharia Ambiental pelo Politécnico di Torino – Itália, com diploma revalidado pela USP. Quase 20 anos na área de sistemas de Tratamento de Água e Efluentes, com definição de rotas tecnológicas, dimensionamento, projetos, implantação e operação para vários processos, sejam físico-químicos (incluindo filtração por membranas: MF SABESP, UF DMAE POA, MF SANEP), biológicos (biomassa aderida ou suspensa), desinfecção e oxidação.

**Debora Nagamine<sup>(3)</sup>**

Engenheira Química com MBA em Gestão e Tecnologias Ambientais e 13 anos de experiência em sistemas de tratamento de água e efluentes municipais e industriais. Participação em projetos básicos e de detalhamento do Sistema de Água Desmineralizada, de Tratamento do Condensado e de Tratamento de Água para Petrobras REPAR, RNEST, COMPERJ; bem como acompanhamento da execução da ETE Barueri/SABESP (tratamento primário e secundário com sistema de aeração de bolhas finas) e ETA Rio Grande/SABESP (UF - 500 L/s).

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Rua Telmo Coelho Filho, 40 - Vila Albano – São Paulo – São Paulo - CEP: 05543-020 - Brasil - Tel: +55 (11) 3732-0150 - e-mail: sonia.mucciolo@xylem.com

## RESUMO

O presente trabalho visa apresentar a performance de testes em escala piloto de alta vazão  $>10 \text{ m}^3/\text{h}$ , de um processo de tratamento aeróbico de esgoto sanitário, disruptivo, chamado de **Processo de Lodos Ativados Integrado a Filtro Autoformador de Membrana de Biomassa Naturalmente Não Aderida**, decorrente do uso de um equipamento desenvolvido de forma especial para essa aplicação; que também é considerado um processo de filtração novo, inovador e modular, já que pode ser aplicado na filtração secundária direta de lodos ativados: o Filtro Dinâmico de Discos Rotativos (Filtro RDD).

Notou-se que a camada de biomassa acumulada na superfície do filtro, é de fato capaz de se comportar como uma membrana filtrante natural, a qual é responsável por produzir um efluente tratado de alta qualidade; propiciando baixos custos de implantação e operacionais do sistema, através de um processo contínuo, simples e estável.

Alguns estudos acadêmicos em escala laboratorial foram precedentemente realizados para desenvolvimento do conceito, e na literatura acadêmica esse processo foi denominado de *Self Forming Dynamic Membrane BioReactor* (SFD MBR) (Vergine et al. 2017), os quais serviram de base para desenvolvimento da tecnologia.

**PALAVRAS-CHAVE:** membrana dinâmica, Filtro RDD, ETE Compacta SFD MBR.

## INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que a evolução dos processos de tratamento de esgotos tem se mostrado contínua desde a percepção do cientista de que seria possível acelerar os processos naturais de depuração da carga poluente em meios conhecidos e controlados, já o que afastamento dos resíduos não se mostrava mais suficiente.

O paradoxo, em se tratando de reatores biológicos, é que a forma de vida e atuação dos microrganismos se mantém exatamente a mesma.

Então, como buscar alternativas mais viáveis, com implantação de sistemas compactos e de menor custo operacional; e ainda capazes de atender condições de descarte cada vez mais restritivas?

O tratamento em reatores biológicos a membrana (MBR), já se mostrou um grande avanço em relação ao processo aeróbico de lodos ativados convencional; vez que possibilita o aumento substancial da concentração de microrganismos vivos no reator; bem como provê uma barreira física bastante restritiva para garantir a qualidade final do efluente tratado, substituindo as próximas unidades de processo como sedimentação/clarificação secundária e filtração terciária. Para tratamento de efluente sanitário, as membranas mais adotadas são as poliméricas de fibra oca ou placa plana; e muito eventualmente as cerâmicas.

O MBR entretanto, apresenta pontos de melhoria a serem considerados, por exemplo: alto custo de implantação, necessidade de tratamento preliminar consistentemente avançado, alto consumo de energia elétrica, uso de químicos para limpeza das membranas e manutenção da permeabilidade; entre outros. Como conclusão: insustentável para o futuro do tratamento de esgotos.

## **OBJETIVO(S)**

O objetivo desse trabalho foi verificar o uso do Filtro Dinâmico de Disco Rotativo (Filtro RDD) inserido no Reator Biológico Aeróbio de Lodos Ativados, sua viabilidade, estabilidade e performance; além de compará-lo com tecnologias conhecidas de depuração de esgotos domésticos.

Essa pesquisa mais aprofundada, se deu pela fabricação e instalação de uma planta piloto compacta, a qual funcionou em paralelo ao sistema existente em uma Estação de Tratamento de Esgotos com processo de Lodos Ativados convencional.

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

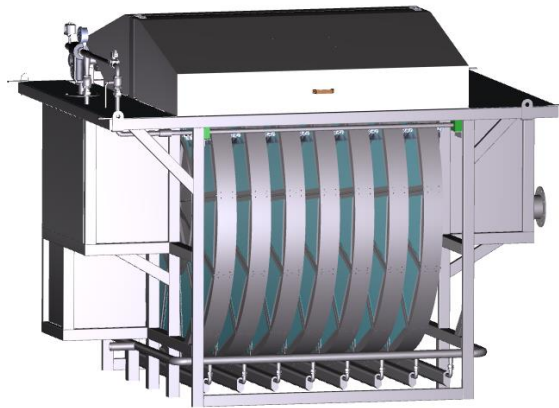
O teste piloto foi operacionalizado em uma Estação de Tratamento de Esgotos, e funcionou, de forma contínua, com um primeiro protótipo de outubro de 2.019 até abril de 2.020, quando se iniciou a operação do segundo protótipo, cujos dados são relatados neste trabalho.



**Figura 1: Instalação do Equipamento Piloto na ETE existente**

O protótipo de Filtro RDD utilizado foi fabricado em aço inoxidável, com conceito de ETE Compacta Modular, composta de todos os elementos necessários para seu pleno funcionamento. A superfície ativa do filtro em questão é de 8 m<sup>2</sup>.

Para compreender um pouco melhor o funcionamento do processo em análise, se faz necessário detalhar o equipamento utilizado nos ensaios. O Filtro RDD, fabricado para o teste, e efetivamente utilizado, é um dispositivo para filtração novo, inovador e modular; que propicia a criação e remoção dinâmicas de uma camada de biomassa em um meio suporte secundário de tela.

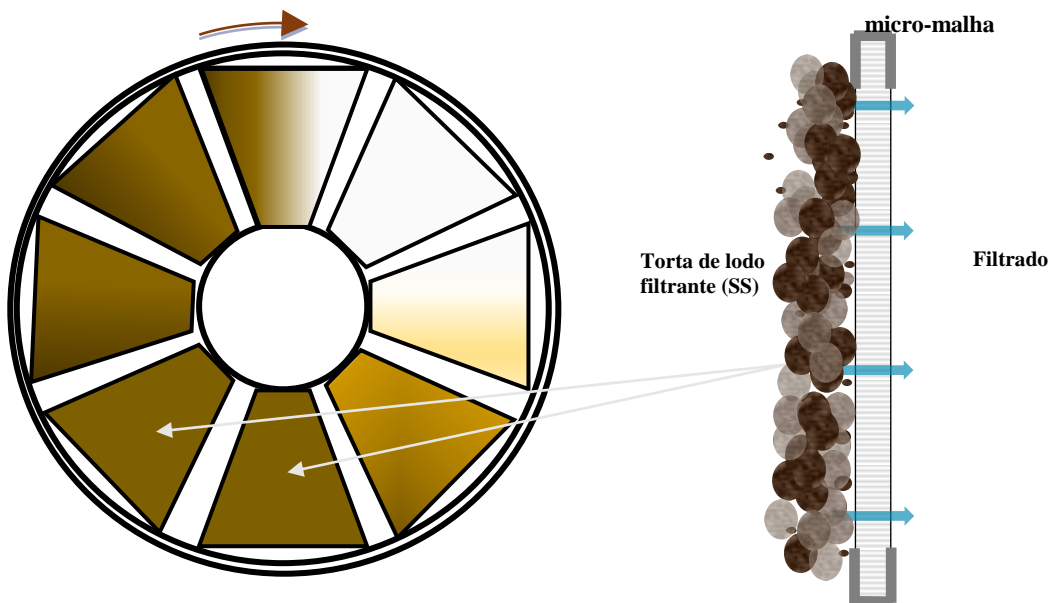


**Figura 2: Ilustração do Filtro RDD**

O dispositivo é composto por vários discos ocios verticais, com telas de malha filtrante microperfurada, cuja abertura é de 5 a 40  $\mu\text{m}$ .

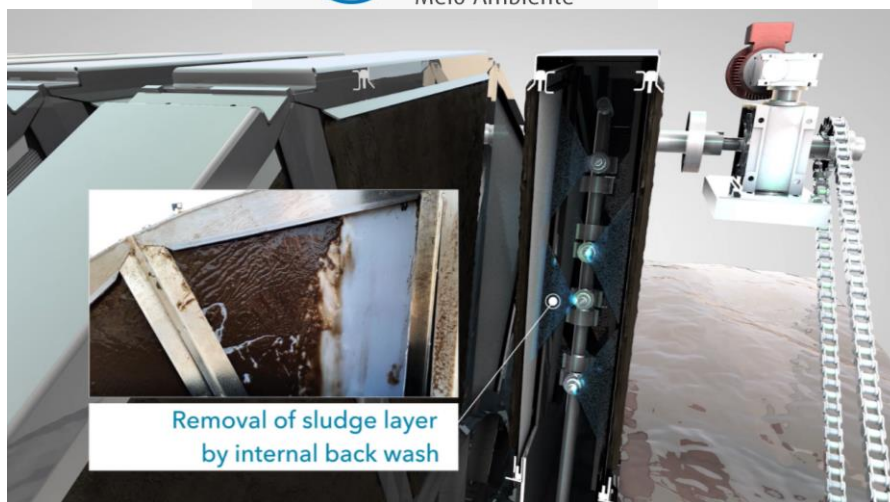
O Filtro RDD fica 70 % (setenta por cento) submerso no meio líquido, e gira lentamente nos lodos ativados. A rotação dos discos se dá no sentido horário.

A filtração ocorre de fora para dentro, e conforme o fluido atravessa a micro-malha, a biomassa é depositada sobre ela. A pressão hidráulica decorrente da gravidade compacta esse 'depósito de biomassa' formando uma camada de lodo (torta) adequada para a filtração de alta qualidade.



**Figura 3: Torta filtrante**

O processo é semelhante a um Filtro de Pré-Capa. À medida que os discos giram, a espessura da camada de lodo aumenta. Para que não haja diminuição ou interrupção do fluxo, a cada rotação do disco, a torta de lodo acumulada na parte externa da malha filtrante é removida por um sistema interno de retrolavagem, o qual limpa a malha antes que essa entre novamente em contato com o líquido a ser filtrado.



**Figura 4: Remoção de lodo através da retrolavagem**

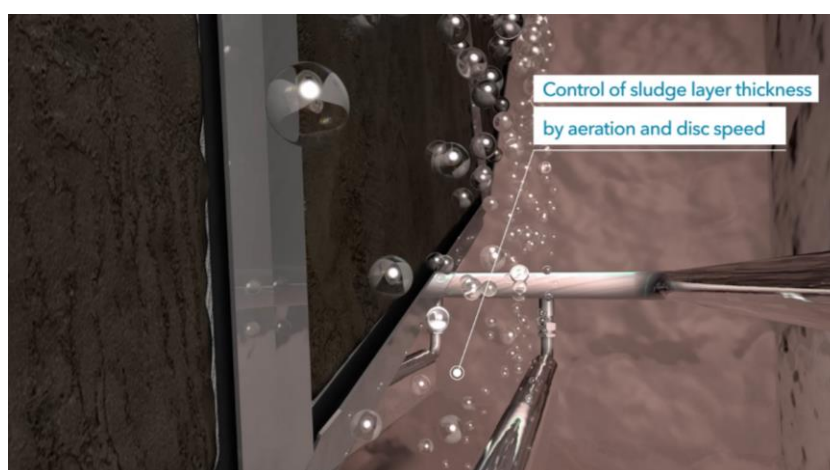
A espessura da camada de lodo é controlada através de vários dispositivos combinados, por meio da:

- variação da velocidade de **rotação**,
- variação da **aeração** de bolha grossa do filtro
- ajuste da água de **lavagem** da tela filtrante com fluxo interno-externo e vice-versa.

O Filtro RDD em estudo possui um sistema de controle operacional inteligente com base nos três parâmetros grifados; o qual possibilita a manutenção de uma camada de lodo na espessura e resistência adequadas ao processo.

Tal torta filtrante possibilita taxas de fluxo de magnitude bem superior às normalmente adotadas para as membranas poliméricas em processos de MBR.

Como o fluxo operacional é alto, o dispositivo de filtração é consequentemente muito compacto, e, portanto, não afeta o volume necessário para depuração biológica, o qual pode ser desconsiderado para efeito de dimensionamento do reator.



**Figura 5: Sistema de aeração do Filtro RDD**

Devido à longa duração do ensaio piloto, foi possível simular diversas condições e parâmetros operacionais, como:

- Variação da concentração de Lodo Ativado no tanque de filtração, com sólidos em suspensão (MLSS) na faixa entre 3.000 e 20.000 mg/L.
- Variação do Fluxo entre 700 e 2.000 Lmh (litros/metro quadrado x hora); decorrente da variação da vazão.
- Variação da vazão de ar no tanque com bolhas fina de 20 a 40 Nm<sup>3</sup>/h; para aeração do biológico com dupla função.

- Variação da vazão de ar do filtro com bolhas grossas de 0 a 40 Nm<sup>3</sup>/h; usado apenas na remoção do lodo aderido, quando necessário.
- Ajuste da vazão de retrolavagem entre 1 e 3 m<sup>3</sup>/h.
- Ajuste da Velocidade de rotação entre 0,3 a 2 RPM.



**Figura 6: Ajustes dos parâmetros de processo**



**Figura 7: Coleta de amostras para caracterização do efluente tratado.**

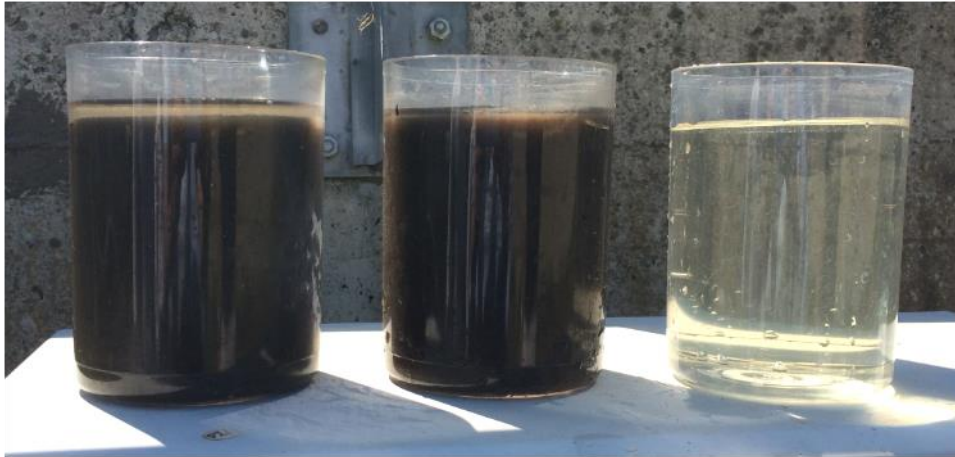
## RESULTADOS OBTIDOS

O teste piloto permitiu obtenção de vários resultados importantes para validação do processo que denominamos de **Processo de Lodos Ativados Integrado a Filtro Autoformador de Membrana de Biomassa Naturalmente Não Aderida**, dentre os quais, se observou:

- a concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração (MLSS);
- a qualidade do efluente tratado;
- fluxo adequado de operação.

Durante todo o período de ensaio, e em decorrência da variação de parâmetros, como vazão e outros, foi possível notar alteração na concentração dos Sólidos em Suspensão de Lodo Ativado (MLSS) no tanque de filtração de 3.000 a 20.000 mg/L; sendo que a média dos resultados analisados foi de 14.000 mg/L.

A figura abaixo – da esquerda para direita – materializa o registro das amostras coletadas para avaliação e comparação do MLSS do processo de Lodos Ativados da ETE em operação; MLSS do **Processo de Lodos Ativados Integrado a Filtro Autoformador de Membrana de Biomassa Naturalmente Não Aderida** em estudo; bem como do efluente filtrado final. Os valores de MLSS obtidos nesta amostragem foram 4.000 mgSST/L; e 12.000 mgSST/L respectivamente. A quantidade analisada de Sólidos Suspensos Totais do efluente tratado resultou em valor < 5 mg/L.



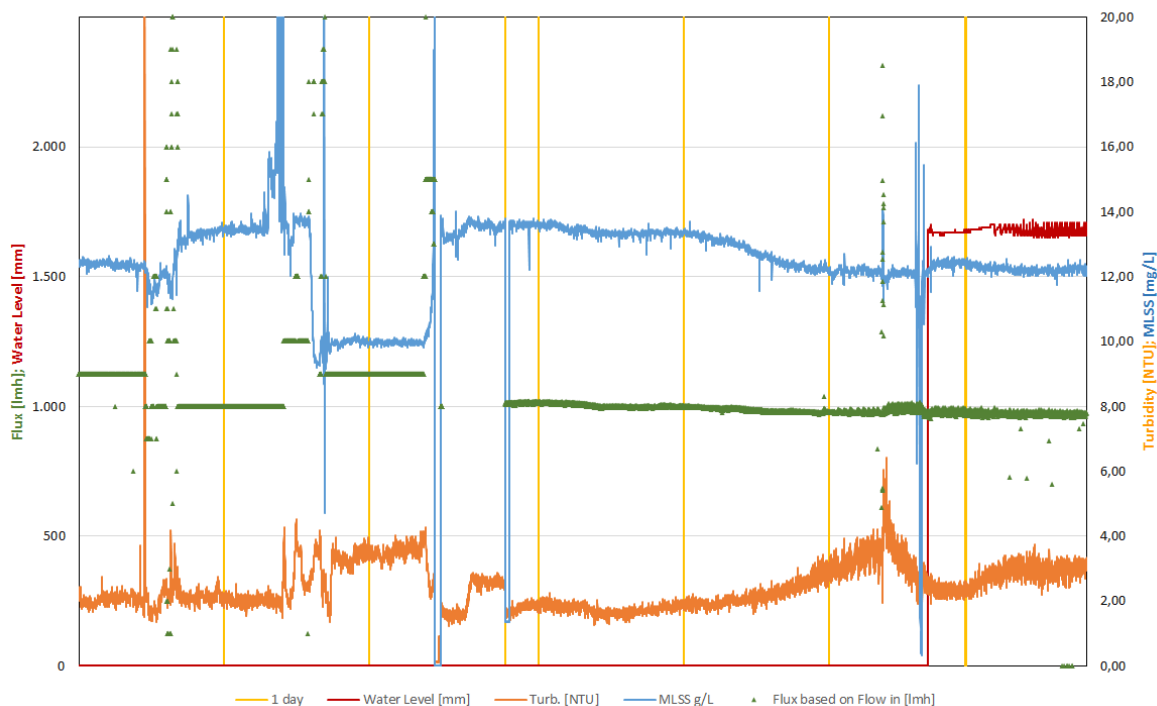
**Figura 8: Comparativo de MLSS dos processos existente e em avaliação; e do efluente tratado**

O protótipo de Filtro RDD, utilizado durante o período de testes, foi aparelhado com analisadores *on line* de Sólidos em Suspensão Total e Turbidez, para monitoramento e avaliação do processo em tempo real, permitindo que os ajustes fossem realizados de modo dinâmico e satisfatório. A figura abaixo, comprova alguns dos resultados observados.



**Figura 9: Registro do monitor dos analisadores de SST do processo em teste; e turbidez do efluente tratado**

Como também provido de medidores de vazão e nível, assim como de um Controlador Lógico Programável (CLP); foi possível registrar outros parâmetros analíticos e de processo durante a realização do teste com o Filtro RDD. Alguns dos dados operacionais obtidos podem ser observados no gráfico abaixo.



**Figura 10: Fluxo, Nível Líquido, MLSS no Tanque de Filtração, e Turbidez do efluente tratado.**

A partir dos dados registrados, foi possível compilar a tabela abaixo, com as médias dos parâmetros de processo estudados, quando a vazão do Filtro RDD foi ajustada em 8,5 m<sup>3</sup>/h.

**Tabela 1: Parâmetros e Resultados Analíticos Obtidos durante os testes.**

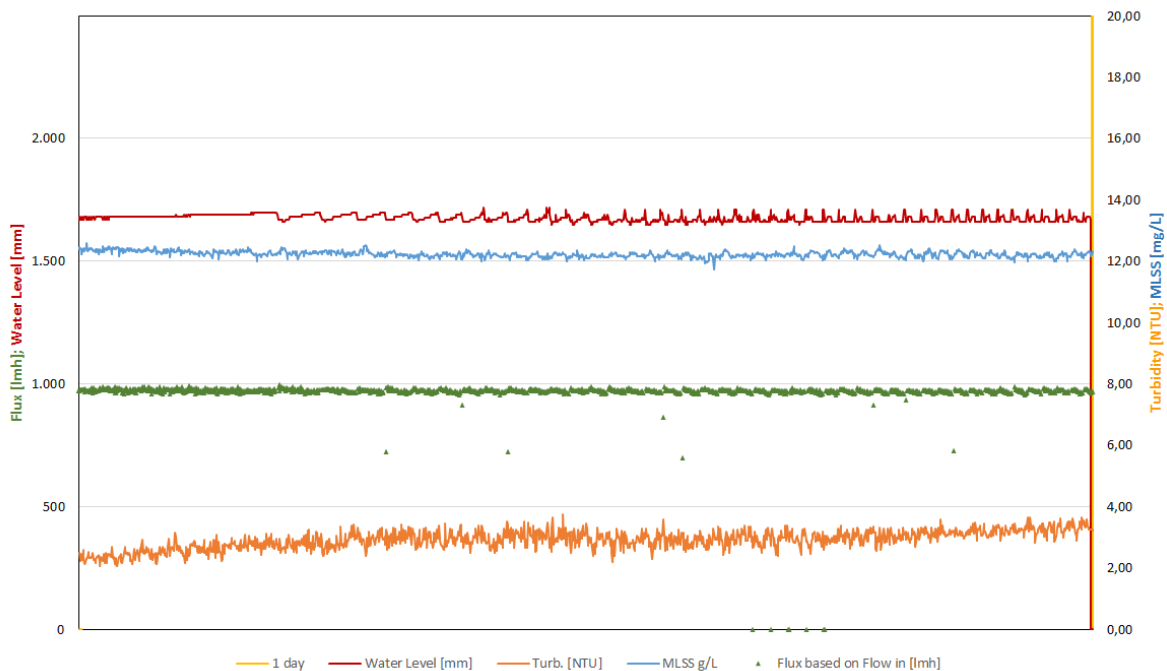
PARÂMETROS	FAIXA DE RESULTADO	RESULTADO MÉDIO	UNIDADE
MLSS no tanque de filtração	9.000 a 20.000	14.000	mg/L
Fluxo	700 a 2.000	1.070	Lmh
Turbidez do Filtrado	2 a 6	4,5	NTU

Verificou-se durante o estudo que o acúmulo da camada de lodo (torta) na superfície da tela filtrante microperfurada, com abertura de 5 a 40 µm, funcionou como uma camada de filtração secundária equivalente a uma retenção física de 0,1 a 0,4 µm. O mesmo foi observado nos testes de bancada realizados por Vergine et al. 2017.

Pode-se dizer que a torta filtrante funciona dentro do espectro operacional típico da microfiltração, capaz de separar partículas de tamanhos na faixa entre 0,08 a 2,0 micrometros; com efetiva remoção de sólidos em suspensão, entre outros. (Metcalf et al. 2003)

Essa característica pode ser comprovada pela qualidade do efluente filtrado cuja turbidez média registrada foi de 4 NTU, com variação entre cerca de 2 e 6 NTU durante o período de testes.

É possível ainda observar que o processo se mantém adequadamente estável, quando fazemos o corte de um dia de operação, visualizado no gráfico abaixo.



**Figura 11: Fluxo, Nível Líquido, MLSS no Tanque de Filtração, e Turbidez do efluente tratado; durante um único dia.**

O que, sem dúvidas, indica que não ocorreram entupimentos ou fouling temporários ou permanentes, e que o sistema de limpeza funciona perfeitamente, dispensando quaisquer tipos de limpezas químicas adicionais.



**Figura 12: Registro do Filtro RDD em funcionamento**

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS



A partir dos resultados obtidos com o uso do Filtro RDD inserido nos Lodos Ativados, mais especificamente em tanque de filtração anexo; se comprovou a formação de uma torta filtrante, em decorrência da interação do lodo ativado com o meio de separação.

A membrana móvel dinâmica produzida é formada naturalmente, compactada e então removida novamente para o conjunto de lodo em si. A própria torta é a membrana filtrante; e o equilíbrio entre sua espessura de deposição e sua taxa de remoção resulta no processo físico fundamental.

Se observou que a qualidade do filtrado obtido no período de testes foi muito superior ao efluente da Estação de Tratamento de Esgoto com processo de Lodos Ativados convencional, seguido de decantadores secundários que estava operando em paralelo no local.

Comparando-se com dados de literatura, o filtrado obtido apresenta características praticamente equivalentes à qualidade de permeado de MBR; já que se percebem concentrações muito baixas de sólidos em suspensão e turbidez no mesmo.

Esse filtrado sem sólidos, após a devida desinfecção por UV, ou eventualmente polimento por Processo de Oxidação Avançada (AOP); poderia ser utilizado facilmente para reuso não potável. Os processos complementares mencionados são mais indicados para eliminação de bactérias e vírus do que as próprias membranas poliméricas.

Outro ponto observado, foi que, apesar do volume de água de retrolavagem utilizado ser relativamente expressivo (cerca de 3 a 5% do volume de filtrado); grande parte desse volume fica retido do lado do filtrado; ou seja, basicamente a pressão exercida pelos jatos de limpeza sobre a tela, do lado interno, é suficiente para remover a biomassa do outro lado. Efetivamente, menos de 2% do volume de filtrado é perdido.

O grande desafio desse estudo foi verificar e comprovar que esse processo e o uso do RDD na filtração direta dos Lodos Ativados seria efetivo, eficaz e sem decaimento da capacidade filtrante ao longo do tempo. As taxas de fluxo observadas foram de magnitude muito superior às esperadas como resultado dessa experiência; e mesmo em comparação com membranas poliméricas em processos de MBR, cujo fluxo típico de operação indicado por literatura está na faixa de 405 a 1.600 Lmd (litros/ metro quadrado x dia) , portanto, em cerca de 16,9 a 66,7 Lmh (litros/ metro quadrado x hora) (Metcalf et al. 2003).

Outro benefício secundário pode ser percebido. No emprego do filtro RDD, não se faz necessário qualquer procedimento para regeneração da permeabilidade do meio filtrante com produtos químicos, como hipoclorito de sódio, hidróxido de sódio ou ácido cítrico ou sulfúrico, etc; que em processos de MBR são obrigatórios, os quais além de requisitarem medidas adicionais de segurança, têm um custo significativo impactando no fluxo de caixa operacional da planta.

## **CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES**

Na busca de se encontrar o próximo patamar do processo de MBR, se desenvolveu essa pesquisa sobre o uso dos Filtros Dinâmicos de Discos Rotativos (Filtro RDD) especiais instalados no tanque de lodos ativados para o desenvolvimento do **Processo de Lodos Ativados Integrado a Filtro Autoformador de Membrana de Biomassa Naturalmente Não Aderida**.

Se observou que tal processo, permite concentrações elevadas de sólidos suspensos no tanque de aeração (MLSS) que, por sua vez, possibilitam maior depuração orgânica no mesmo volume disponível para reação quando comparado com outras tecnologias. Para se ter uma ideia, ao considerarmos em um projeto Lodos Ativados convencional, este atingirá um máximo de 4g/l de MLSS; enquanto que o MBR com fibras ocas é usualmente dimensionado considerando-se que o reator trabalhe com 6 a 8 g/L de MLSS; e o resultado do teste piloto mostrou que os **Lodos Ativados Integrado a Filtro Autoformador de Membrana de Biomassa Naturalmente Não Aderida** é capaz de atingir facilmente de 8 a 12g/l MLSS.

Fica evidente a possibilidade de redução do tamanho do Reator Biológico pela alta concentração do MLSS, se em comparação com outras tecnologias.

Além desse benefício, e especificamente ao compararmos com um dos processos de tratamento mais avançados atualmente; percebe-se que o alto fluxo atingido pelo Filtro RDD testado, indicou taxas acima de 15 vezes maiores que as praticadas pelos reatores biológicos a membranas (MBR). Enquanto, durante os ensaios, alcançamos fluxos médios de 1.070 Lmh; um MBR típico, com membranas de fibra oca, seria possível atingir algo em torno de 30 Lmh; o que indica que a quantidade necessária de dispositivos de filtração, ou área de filtração ativa requerida para um mesmo dimensionamento, seria bastante reduzida ao adotarmos o **Processo de Lodos Ativados Integrado a Filtro Autoformador de Membrana de Biomassa Naturalmente Não Aderida**. Consequentemente, há indícios de alta viabilidade em termos de custos de implantação.

Essa característica torna esse processo extremamente compacto, ideal para Estações de Tratamento Descentralizadas; ou ainda para atualização de plantas existentes, com os devidos ajustes necessários; a fim de se atingir aumento de capacidade ou melhoria de performance da planta, onde a área de implantação seja um ponto crítico.

Para desenvolvimento do processo, o equipamento pode ser instalado no reator biológico ou ser implantado em unidades subjacentes – como nos sedimentadores secundários ou clarificadores de lamelas; ou até mesmo em unidades anexas – como num tanque de filtração externo, por exemplo.

Conclui-se que os objetivos desse estudo foram atingidos de forma bem sucedida; e que o **Processo de Lodos Ativados Integrado a Filtro Autoformador de Membrana de Biomassa Naturalmente Não Aderida** é robusto, eficaz e estável, podendo ser aplicado em escala real com grandes benefícios em relação a outras tecnologias em uso.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VERGINE, P., SALERNO, C., BERARDI, G., POLLICE, A. *Self-forming Dynamic Membrane as a Sustainable Alternative to Synthetic Membranes for MBR*, Livro *Frontiers in Wastewater Treatment and Modelling FICWTM 2017*, v.4, p. 178-181, mai. 2017.
2. METCALF & EDDY. , Livro *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, Singapore: McGraw-Hill, Inc. International Edition, 4<sup>th</sup> Ed., p.1104-1137, 2003.