

## II-518 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O PROCESSO DE LODO ATIVADO E O REATOR COM BIOFILME MÓVEL NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO DE ESGOTO SANITÁRIO

**Fábio Yugo Fujii**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2006). Mestrando em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**Fábio Campos**

Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**Roque Passos Piveli**

Professor associado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**Pedro Alem Sobrinho**

Professor titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Dr. Bittencourt Rodrigues, 112, apto. 93 - Sé - São Paulo - SP - CEP: 01017-010 - Brasil - Tel: (11) 8501-0101 - e-mail: [fujii@jnsecg.com.br](mailto:fujii@jnsecg.com.br)

### RESUMO

O processo de tratamento de esgoto por lodo ativado é utilizado em larga escala no Brasil, podendo ser adaptado para o recebimento de maior carga orgânica ou para a remoção de nitrogênio por meio da introdução de corpos carregadores móveis, processo conhecido por MBBR - Moving Bed Biofilm Reactor.

O objetivo do projeto foi identificar as condições de funcionamento do sistema MBBR, tais como relação alimento/microorganismos, idade do lodo de referência à biomassa suspensa e concentração de oxigênio a ser mantida no tanque de aeração, associadas ao desempenho do sistema na remoção de matéria orgânica e nitrogênio para subsidiar a análise da viabilidade do emprego do processo de lodo ativado convencional ou híbrido, sob a forma de reator biológico de leito móvel.

A pesquisa foi desenvolvida em escala piloto, mantendo-se dois sistemas em operação em paralelo, um representando o processo de lodo ativado convencional e outro idêntico, exceto pela introdução dos corpos móveis. Desta forma, foi possível atribuir a diferença de resultados à presença da biomassa aderida. Os sistemas foram submetidos a um programa de controle operacional envolvendo determinações in loco e laboratoriais. Os resultados foram avaliados estatisticamente e interpretados.

Adicionalmente, se tem como objetivo o desenvolvimento de métodos para a quantificação de biomassa aderida em reator biológico de leito móvel e de bactérias nitrificantes e desnitrificantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remoção de Nitrogênio, Esgoto Sanitário, Lodo Ativado, Biofilme.

### INTRODUÇÃO

Para o tratamento de esgotos sanitários é necessário o acúmulo de microorganismos ativos num biorreator e posteriormente a sua separação do efluente tratado. Em reatores com biomassa em suspensão, como processos de lodos ativados, os microorganismos se desenvolvem e biofloclulam, e os flocos resultantes são suspensos livremente no mixed-liquor. Os reatores dependem dos lodos ativados que retornam dos decantadores, ou eventualmente do sistema de membranas, para que seja proporcionada a biomassa desejada para o processo.

O processo de tratamento de esgotos sanitários com o uso de reatores com biofilme em leito móvel (MBBR - Moving Bed Biofilm Reactors) é baseado na utilização de biofilmes para a degradação de matéria orgânica e remoção de nutrientes. Essa tecnologia permite o tratamento de efluentes com altas cargas, industriais ou domésticos, em plantas relativamente reduzidas.

A introdução de elementos suporte, que aumentam consideravelmente a área superficial para desenvolvimento de biofilme se mostra como uma alternativa atraente no que se refere à possibilidade de ampliação da capacidade nominal da planta e de remoção de nitrogênio. Fabricantes recomendam a utilização de tais elementos numa faixa de variação que varia de 30% a 70% em volume dos reatores biológicos.

Biofilmes consistem em comunidades de microorganismos desenvolvidas sobre superfícies. No caso em questão os elementos de suporte são pequenas peças de polietileno, que apresentam extensa área superficial específica ( $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) e se encontram suspensas e em movimento no lodo do reator. A agitação é proporcionada pelo próprio sistema de aeração, constituído por difusores de ar instalados no fundo do tanque (HEM, 1994). A solução pode ser utilizada como processo único ou numa configuração híbrida com um sistema de lodos ativados, em que há recirculação dos sólidos (ØDEGAARD et al., 1993), de maneira que combine as vantagens dos sistemas de lodos ativados (biomassa em suspensão) e de sistemas com biofilme (biomassa aderida).

As substâncias consideradas poluentes, matéria orgânica e nitrogênio na forma amoniacal, são o substrato para o crescimento da massa bacteriana cuja concentração, se apresentando na forma de biofilme, é muito maior que se estivesse em suspensão simplesmente. A atividade microbiológica é mais alta, fato devido à grande variedade de populações, principalmente bacterianas, nos biofilmes (RUSTEN et al., 1994). Por esse motivo, a quantidade de substrato que pode ser removida é também maior.

Os biofilmes têm como característica importante a estabilidade a variações operacionais, sejam de carga, vazão, ou composição do esgoto afluente. Uma vez que as culturas estejam plenamente estabelecidas no meio suporte móvel, oferecem robustez ao sistema, resistindo a condições que o lodo em suspensão não seria capaz. Os níveis de nutrientes e de oxigênio dissolvido são as variáveis mais importantes de controle do sistema. A nitrificação também é beneficiada por esse efeito de estabilidade, na medida em que as bactérias nitrificantes também ficam instaladas nessas comunidades.

Essa tecnologia pode ser implantada em sistemas existentes de lodos ativados convencionais, para aumento da sua capacidade de remoção de matéria orgânica (LESSEL, 1993) ou transformação numa planta com capacidade de remoção de nitrogênio. Isso se consegue com a simples introdução dos elementos de suporte nos reatores biológicos. Conforme o objetivo buscado no tratamento, pode ser implementada pré ou pós desnitrificação, inclusive com a possibilidade de utilização no interior das câmaras anóxicas. A melhoria das estações ocorre por diversos aspectos, sejam eles o aumento da quantidade de microorganismos, a melhoria na transferência de oxigênio para a fase líquida.

Rusten et al. (1995) desenvolveram pesquisa com MBBR em sistema com reatores em série envolvendo pré-desnitrificação por meio de recirculação interna. O esgoto utilizado na pesquisa, desenvolvida na Noruega, demonstrou-se diluído e de baixa alcalinidade, recebendo anteriormente apenas tratamento preliminar. A temperatura ambiente era inferior a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Um dos resultados mais importantes foi o co-relacionamento entre a carga de nitrogênio amoniacal aplicada e a taxa de nitrificação.

Outra condição de suma importância para o desenvolvimento do processo com MBBR é a concentração de oxigênio dissolvido a ser mantida nos tanques de aeração. Nos estudos desenvolvidos pelo mesmo grupo de pesquisadores noruegueses, principais responsáveis pela evolução dessa tecnologia, foi obtida a co-relação entre taxa de nitrificação e concentração de oxigênio dissolvido. Inferiu-se que a camada líquida à superfície do biofilme formado nos corpos móveis é limitante para a transferência de oxigênio. Como o oxigênio dissolvido é consumido para degradação de matéria orgânica por microrganismos heterotróficos, que se posicionam na parte externa do biofilme, para obtenção da nitrificação o nível de oxigênio dissolvido deve ser elevado para que haja penetração nas camadas internas, região em que predominam as bactérias nitrificantes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida por meio de experimento em escala piloto, por meio da operação de dois sistemas de lodos ativados de dimensões iguais, diferindo pela introdução em um deles de corpos móveis para o desenvolvimento de biomassa aderida. As unidades piloto foram instaladas no campo experimental de tratamento de esgoto do Centro Tecnológico de Hidráulica, Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. O esgoto sanitário que alimentará as unidades piloto será proveniente do CRUSP – Conjunto Residencial da USP, recebendo tratamento preliminar por peneiramento e desarenação.

Cada módulo de lodos ativados é composto por tanques de aeração com câmaras anóxicas providas de misturadores para a pré-desnitrificação e decantadores secundários, sendo que foram introduzidos anéis plásticos na câmara anóxica de pré-desnitrificação e no tanque de aeração de apenas um deles. Os módulos são

alimentados em paralelo, recebendo o efluente do decantador primário, também montado para a pesquisa. Na figura 1 está apresentada uma representação da configuração dos sistemas de tratamento em escala piloto.

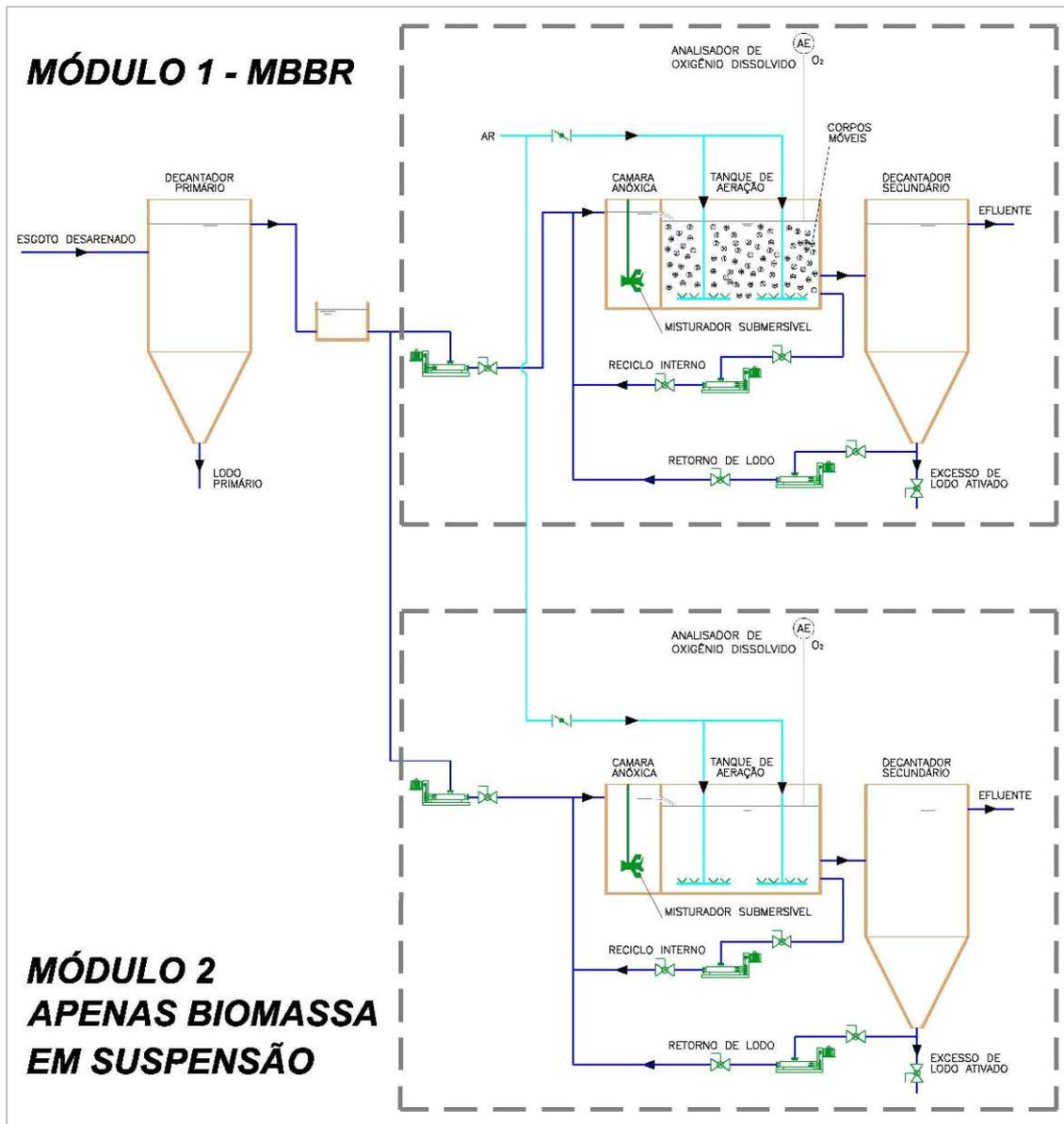


Figura 1 – Configuração dos sistemas em escala piloto

Para a pesquisa foram postos em operação e avaliados comparativamente os sistemas de lodo ativado convencional e MBBR operando simultaneamente, com a mesma relação alimento/microorganismo e mantidas as mesmas idades de lodo, medidas em relação à biomassa em suspensão. A variação da idade do lodo se deu de forma a compor 3 fases, descritas na tabela 1. São monitorados de forma a permitir, principalmente, a avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica e da ocorrência da nitrificação.

Tabela 1: Condições operacionais a serem mantidas nos reatores

Fase	Relação A/M kg DBO/kg SSV.d	Idade do Lodo Total dias	Idade do Lodo Aeróbia dias
1	0,2	9,3	6,5
2	0,3	6,2	4,3
3	0,4	4,6	3,2

## RESULTADOS

Ambos os processos foram mantidos sob operação estável e eficiente durante o período experimental. Observa-se que o afluente manteve-se relativamente estável, sendo que os efluentes apresentaram ligeira elevação de concentração no final do período. Em termos da DQO de amostras filtradas, observaram-se valores baixos nos efluentes, sobretudo no do MBBR, demonstrando efetiva remoção de matéria coloidal do esgoto e ocorrência de perda de matéria orgânica particulada com os efluentes tratados de forma a dobrar, aproximadamente, o valor da DQO total dos efluentes. A figura 2 apresenta os resultados obtidos para a DQO total.

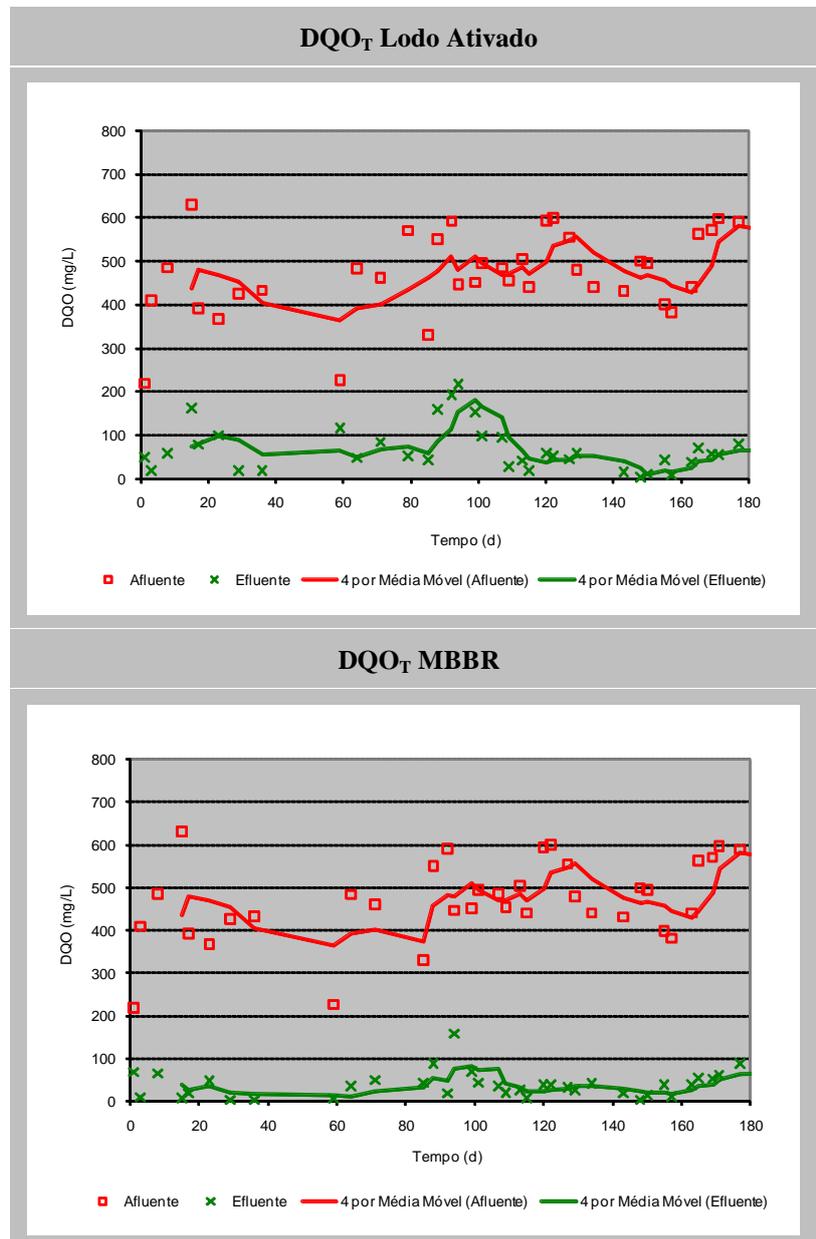
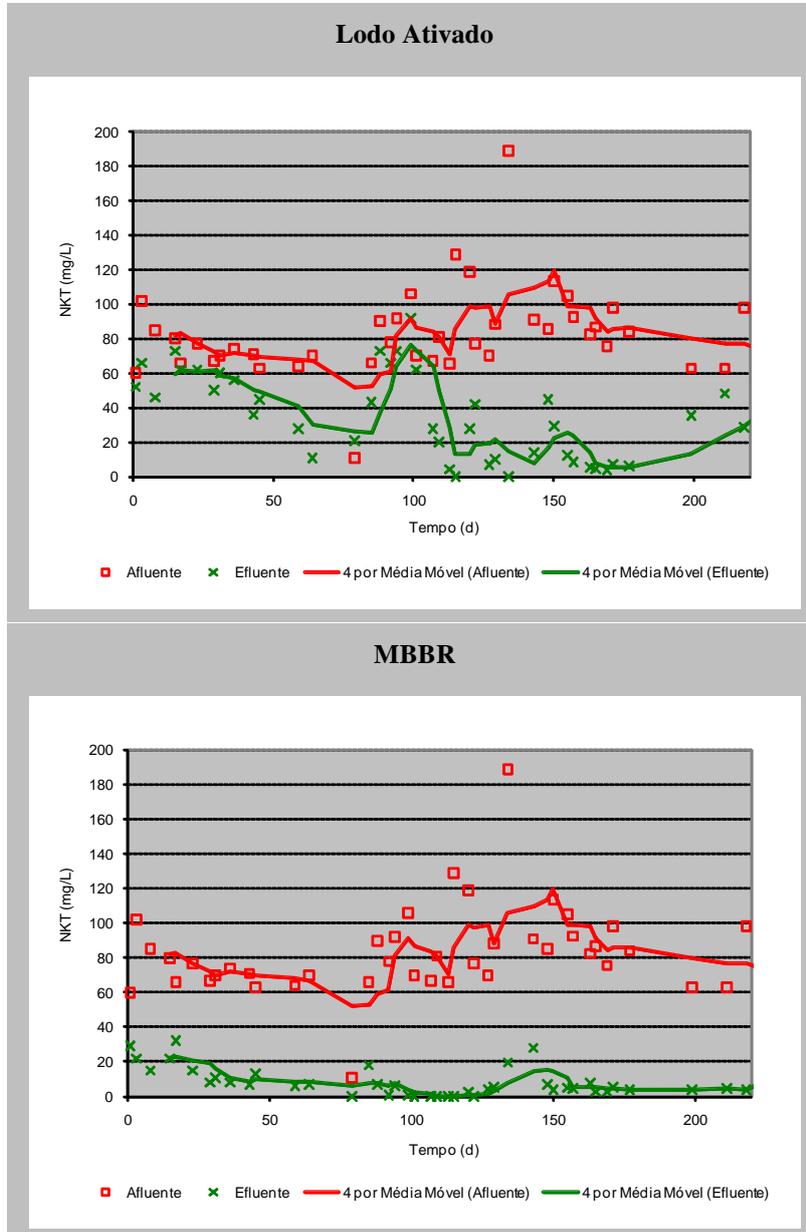


Figura 2: Séries Históricas e Resultados de DQO total

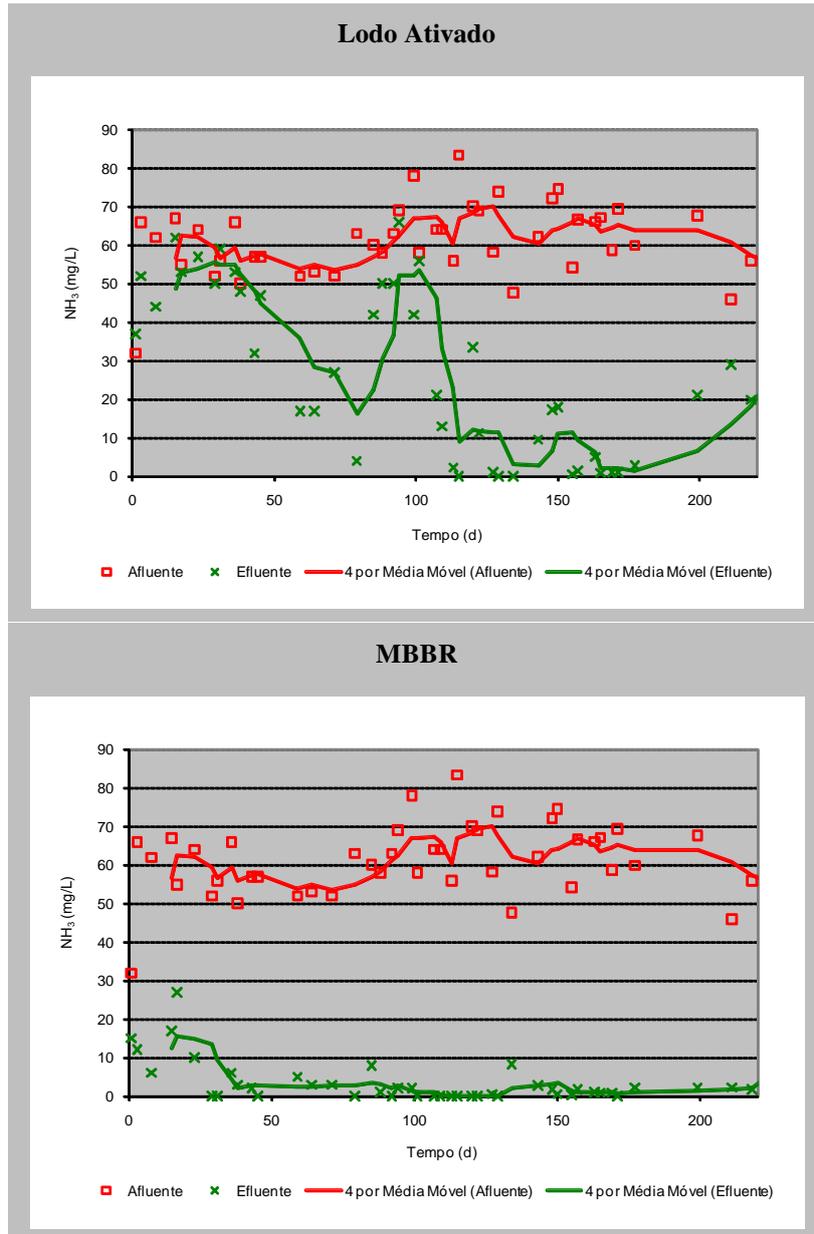
A diferença de comportamento entre os dois processos na primeira fase pode ser justificada pelo fato de que com idade do lodo de 9 dias da primeira fase, em relação à biomassa em suspensão apenas, a idade do lodo aeróbia, isto é, relativa apenas ao lodo do compartimento aerado do tanque, resulta em torno de 6 dias. Com as baixas temperaturas registradas no período, mínima de 14 °C nos lodos dos tanques, a nitrificação não ocorreu satisfatoriamente. Já no MBBR, a biomassa total disponível para a nitrificação, incluindo a biomassa aderida, garantiu a manutenção de uma idade do lodo efetiva de 9 dias ou mais.

Durante a segunda fase, que se desenvolveu do 110º até aproximadamente o 180º dia, a nitrificação e desnitrificação, e remoção de fósforo ocorreram de modo eficiente e estável no sistema de lodos ativados. Isso foi relacionado com as altas temperaturas registradas durante esse período. No sistema MBBR, a remoção de nitrogênio ocorreu de forma eficiente durante todas as fases, apesar dos incrementos na relação alimento/microorganismos e redução a idade de lodo.



**Figura 3: Resultados de Nitrogênio Total Kjeldahl**

A partir da terceira fase, um baixo nível de nitrificação pode ser observado no sistema de lodos ativados. A baixa idade do lodo considerando apenas a porção aeróbia, em torno de 3,2 dias, impossibilitou a manutenção das bactérias nitrificantes. No sistema MBBR este processo permaneceu ocorrendo com alta eficiência. Na série histórica de nitrogênio amoniacal, observou-se que, com exceção do período inicial de funcionamento, a nitrificação MBBR ocorreu como quase completa. Nas figuras 3 e 4 são apresentados os resultados e série histórica do Nitrogênio Kjeldahl Total e Nitrogênio Amoniacal.



**Figura 4: Resultados de Nitrogênio Amoniacal**

Foram realizados estudos de quantificação de biomassa aderida nos carregadores. Com relação à microscopia do lodo ativado e da biomassa suspensa no MBBR, não foram observadas diferenças em relação à diversidade biológica nos módulos experimentais. Entretanto, houve uma diferença significativa na quantidade de organismos por unidade de volume entre os módulos. No MBBR, com a presença dos carregadores, disponibiliza-se suporte para desenvolvimento de microfauna aderida como ciliados pedunculados, favorecendo um melhor desempenho do sistema. Com a adição de material suporte correspondente a 50% do volume do reator, o acréscimo de SSV é da ordem de 70% em relação ao sistema de lodos ativados convencional.

Foram feitas também contagens de bactérias nitrificantes e, como esperado, as densidades de nitritantes e nitratantes resultaram mais elevadas no MBBR e, neste, não houve diferença entre as densidades na biomassa suspensa e aderida.

## CONCLUSÕES

Os aspectos mais importantes foram observados, como o desempenho superior alcançado pelo sistema MBBR em termos de eficiências e estabilidade operacional e a caracterização da biomassa desenvolvida sobre a superfície dos carregadores.

Os resultados demonstram que é possível aumentar consideravelmente a capacidade de remoção de carga orgânica e de nitrogênio de um processo de lodo ativado quando se adicionam os elementos suporte. Com isso, será possível ampliar a capacidade de inúmeras estações de tratamento de esgoto sanitário sem necessidade de áreas complementares e de obras civis (no que tange a estes reatores biológicos), fazendo com que esta tecnologia se potencialize como alternativa promissora para o aprimoramento das estações. A tecnologia permite a adição de carregadores de forma gradual conforme a evolução da carga de poluentes afluente à estação de tratamento de esgotos. O desafio é a busca de condições operacionais que resultem em maior economia em termos de insumos para a implantação e operação dos sistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HEM, L. J., ØDEGAARD, H., RUSTEN, B., 1994, Nitrification in a Moving Bed Biofilm Reactor - Water Resources (G.B.), 28, 1425-1433.
2. LESSEL, T.H., 1993, Upgrading and nitrification by submerged bio-film reactors - experiences from a large scale plant - Anais da 2nd International Conference Specialize on Biofilm Reactors, Paris, France - pp. 231 – 238.
3. ØDEGAARD, H., RUSTEN, B., 1993, Wastewater treatment with aerated submerged biological filters, Journal Water Pollution Control Federation, v. 56, n. 5, pp. 424-431.
4. RUSTEN, B., HEM, L., ØDEGAARD, H., 1995, Nitrification of Municipal Wastewater in Moving-bed Biofilm Reactors - Water & Environment Research, 67, 75-86.
5. RUSTEN, B., SILJUDALEN, J. G., BUNGUN, S., 1995, Moving Bed Biofilm Reactors for Nitrogen Removal: From Initial Pilot Test to Start-Up of the Lillenhammer WWTP, Water Environment Federation, 68th Annual Conference. USA. October, 1995.
6. VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G., 1999, O Comportamento do Sistema de Lodos Ativados – Editora Campina Grande.