

II-226 - EMPREGO DO SISTEMA DE REATOR DE LEITO MÓVEL COM BIOFILME EM DOIS ESTÁGIOS PARA A REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E NITROGÊNIO AMONIAAL DE EFLUENTE SINTÉTICO

Paula e Siqueira Lima

Engenharia Química pela UFF, Mestre em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ

Márcia Walquíria de Carvalho Dezotti

Química pela UNICAMP, Doutora em Química pela UNICAMP, Professora do Programa de Engenharia Química, COPPE/UFRJ

João Paulo Bassin

Engenheiro Químico pela UFSC, Doutor em Biotecnologia Ambiental pela Delft University of Technology, Professor Doutor do Programa de Engenharia Química, COPPE/UFRJ

Endereço: Programa de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Bloco G, sala 115 – Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-972 - Brasil - Tel: +55 (21) 3938-8345 - Fax: +55 (21) 3938-8300 - e-mail: paula.eslima@gmail.com

RESUMO

Nessa pesquisa foi avaliada a capacidade de remoção de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal de um efluente sintético utilizando a tecnologia dos reatores de leito móvel com biofilme (MBBR) em configuração de pré-desnitrificação. Baixas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) (< 2 mg/L) foram usadas no estágio aeróbio. O sistema foi submetido a quatro regimes operacionais ao longo dos quais as cargas orgânicas e nitrogenadas foram aumentadas gradualmente com o intuito de avaliar o impacto provocado no processo. O aumento gradual da DQO afluente de 400 para 1200 mg/L não afetou significativamente o desempenho do sistema. Entretanto, com a redução subsequente do tempo de retenção hidráulica, a nitrificação foi afetada de forma expressiva, e um período de tempo maior foi necessário para a estabilização do sistema. Em suma, o sistema MBBR foi considerado eficiente em condições de alta carga orgânica, como ficou evidente pelas altas eficiências de remoção de DQO e nitrogênio amoniacal (95% e 91%, respectivamente).

PALAVRAS-CHAVE: Remoção de matéria orgânica, Nitrificação, Sistema MBBR, Pré-desnitrificação, Carga orgânica.

INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento industrial aliado ao indiscriminado crescimento populacional provocou a geração de uma grande quantidade de efluentes. Diante disso e de legislações ambientais cada vez mais restritas, surge a necessidade de buscar formas de aperfeiçoar o tratamento de águas residuárias (KUNZ et al., 2002). A remoção da matéria orgânica sempre foi uma questão relevante devido aos impactos ambientais provocados pelo seu descarte desmedido. No entanto, a presença em excesso de compostos nitrogenados nos corpos d'água receptores possibilita o desenvolvimento do processo de eutrofização, que também acarreta danos ao meio ambiente.

O tratamento biológico, atualmente, é considerado o meio mais econômico e eficiente de remoção de poluentes, principalmente quando comparado aos processos físico-químicos (AHN et al., 2006). Neste contexto, uma das tecnologias em evidência é o reator de leito móvel com biofilme (MBBR). Esse sistema é capaz de usufruir de todo volume útil do reator, uma vez que faz uso de suportes móveis presentes em suspensão no meio líquido para o crescimento do consócio microbiano. Além disso, ele assegura instalações compactas e operação estável (QUAN et al., 2012; BASSIN & DEZOTTI, 2008).

A nitrificação é responsável pela conversão aeróbia do amônio em nitrato. Ela consiste na etapa mais sensível do processo de remoção biológica de nitrogênio, e, por isso, é importante avaliar sua suscetibilidade a perturbações (CAMPOS et al., 2007). Os impactos ocasionados por variações na carga orgânica na nitrificação

já vêm sendo investigados na literatura. Bovendeur et al. (1990), por exemplo, constataram uma redução da atividade nitrificante para elevações na concentração de matéria orgânica em reatores de leito fixo com biofilme. Zafarzadeh et al. (2001) também comprovaram esse fenômeno operando reatores MBBR, quando perceberam que em elevadas razões DQO/N, há uma queda na taxa nitrificante. No entanto, estudos envolvendo reatores MBBR submetidos altas cargas orgânicas e baixos níveis de oxigênio dissolvido ainda são pouco observados.

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a capacidade de remoção de matéria orgânica e de nitrogênio amoniacal de um efluente sintético por meio da aplicação de um sistema de leito móvel com biofilme (MBBR) em dois estágios. Foi investigado como alterações na composição do afluente e nas condições operacionais podem afetar o desempenho do tratamento biológico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dois reatores de leito móvel com biofilme foram operados em série. O primeiro, designado por MBBR₁, foi operado em condições anóxicas, enquanto o segundo reator da série (MBBR₂) foi operado em condições aeróbias. A concentração de oxigênio no MBBR₂ foi mantida abaixo de 2 mg/L durante toda a operação. O primeiro reator, com um volume de 1L, e o segundo, com 2L, foram preenchidos com o suporte Kaldnes K1, cuja área superficial é de 500 m²/m³. A fração de enchimento foi mantida constante em 40% para ambos os reatores. Os reatores foram inoculados com biomassa proveniente de um reator de MBBR aeróbio em operação por 1 ano. O sistema foi submetido ao aumento gradual da carga orgânica por meio do aumento da DQO afluente ou da diminuição do tempo de retenção hidráulica (TRH). Durante os três primeiros regimes operacionais, o TRH foi de 6 h (para o MBBR₁) e 12 h (para o MBBR₂). Em seguida, o mesmo foi reduzido para 3 h (MBBR₁) e 6 h (MBBR₂). A Tabela 1 resume as condições operacionais adotadas.

O efluente utilizado para este estudo foi preparado em laboratório, e era constituído por 250 mg/L de NaHCO₃, 383,53 mg/L de Na₂CO₃, 56,24mg/L de K₂HPO₄, 43,94mg/L de KH₂PO₄, 230,93mg/L de NH₄Cl, 353,32 mg/L de acetato de sódio e 187,63mg/L de glicose. As concentrações de matéria orgânica e de amônio eram ajustadas de acordo com o regime empregado para se obter a DQO e nitrogênio amoniacal desejados. Adicionou-se também uma solução de micronutrientes (Vishniac & Santer, 1957), na proporção de 0,5 mL para cada litro de efluente produzido.

Tabela 1: Regimes operacionais investigados.

REGIMES	DQO (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	TRH R ₁ -R ₂ (h)	Carga Org. Vol. (KgDQO/m ³ .d)	Carga Nit. Vol. (KgN/m ³ .d)
1	400	80	6-12	0,5	0,15
2	800	80	6-12	1,0	0,15
3	1200	80	6-12	1,5	0,15
4	1200	80	3-6	3,0	0,30

MÉTODOS ANALÍTICOS

Para avaliar a eficiência de remoção de DQO e nitrogênio amoniacal, o desenvolvimento do biofilme e o funcionamento do sistema, amostras foram coletadas na entrada e saída dos reatores ao longo da operação do sistema MBBR de dois estágios. As concentrações dos compostos foram mensuradas através métodos colorimétricos, e para isso, utilizou-se um espectrofotômetro da HACH, modelo DR/2800. As análises de DQO, amônio e sólidos em suspensão foram realizadas de acordo com métodos padrões (APHA, 2005). Os sólidos aderidos foram quantificados segundo o método descrito por Bassin et al. (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram realizadas análises nos primeiros dias de operação, período no qual ocorreu a formação do biofilme nos suportes. A concentração de OD no estágio aeróbio foi mantida abaixo de 2 mg/L, de modo submeter o sistema a condições mais severas de operação. Na zona anóxica, o nível de OD foi mantido nulo por meio do borbulhamento de nitrogênio gasoso. A temperatura de operação do sistema foi de 23 ± 2°C, enquanto o pH

foi mantido na faixa compreendida entre 7 a 8 por meio da adição de uma solução de HCl 7,6%, quando necessário.

REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

A Figura 1 apresenta a DQO na entrada e saída dos reatores MBBR ao longo do tempo. Com exceção ao período de aclimação, o sistema foi capaz de atingir eficiências de remoção de matéria orgânica acima de 90%. A eficiência média para os regimes 1, 2, 3 e 4 ficou em torno de 94%, 96%, 95% e 97%, respectivamente.

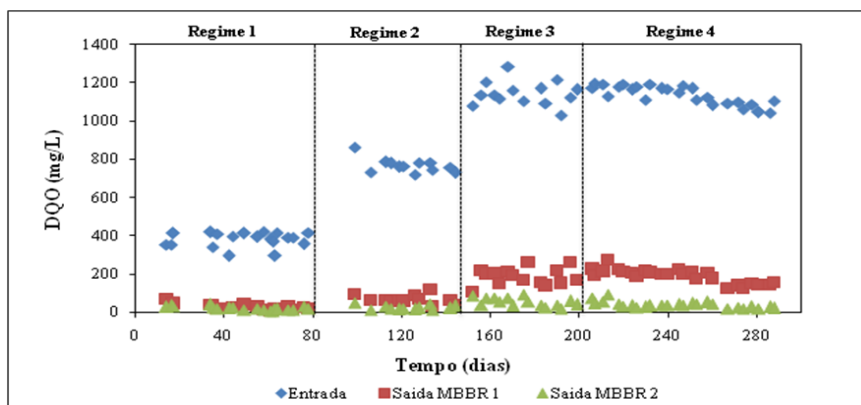


Figura 1: DQO na entrada e saída dos reatores MBBR ao longo do tempo.

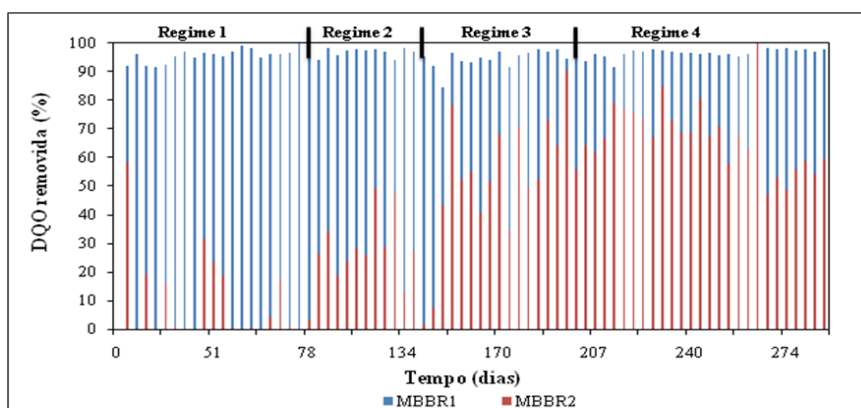


Figura 2: DQO removida nos reatores MBBR₁ e MBBR₂

A Figura 2 apresenta as contribuições de cada reator na remoção de DQO, obtidas por meio de um balanço de massa. No início, a maior parte da matéria orgânica era removida no tanque anóxico, como é característico de sistemas de pré-desnitrificação (VON SPERLING, 1996). Porém, diante do crescente aumento da carga orgânica volumétrica introduzida no sistema, o aporte de DQO que chegava à zona aeróbia sofreu um incremento. O reator anóxico não conseguiu manter constante o seu elevado percentual de remoção, e assim, a partir do terceiro regime, mais da metade do material orgânico passou a ser removido pelo MBBR₂. O percentual de DQO removido no MBBR₁ em relação ao total alimentado foi de 86%, 66%, 39% e 29% para os regimes 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Para o MBBR₂, esses percentuais foram de aproximadamente 8%, 30%, 56% e 68% para os regimes 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Na literatura, bons resultados em termos de remoção de matéria orgânica são encontrados para reatores MBBR operando com elevadas cargas orgânicas. Fu *et al.* (2010) analisaram o processo de nitrificação/desnitrificação simultâneas, em TRH de 10 h, fração de enchimento de 30% e concentração de oxigênio dissolvido variando de 3,0 a 4,0 mg/L. Os autores observaram elevadas eficiências de remoção de DQO em torno de 91%, 93% e 96% para razões C/N de 4,5, 8,9 e 13,4, respectivamente. Aygun *et al.* (2007) alcançaram boas eficiências de remoção de DQO, notadamente 95%, 95%, 89% e 69% para valores de DQO afluente de 500, 1000, 2000 e

4000 mg/L, respectivamente. Esses autores adotaram uma fração de enchimento de 50% e a concentração de oxigênio variou de 0,30 a 3,0 mg/L.

REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONIAL

A concentração de nitrogênio amoniacal alimentado ao sistema foi mantida em torno de 80 mgNH₄-N/L para todos os regimes. A Figura 3 apresenta os valores das concentrações de amônio na entrada e na saída dos reatores. Um bom desempenho de remoção foi alcançado, mesmo operando o reator nitrificante (MBBR₂) com baixas concentrações de OD (majoritariamente entre 1 - 2 mg/L). A eficiência média de remoção de amônio obtida nos regimes 1, 2, 3 e 4 foi de 92%, 94%, 96% e 85%, respectivamente.

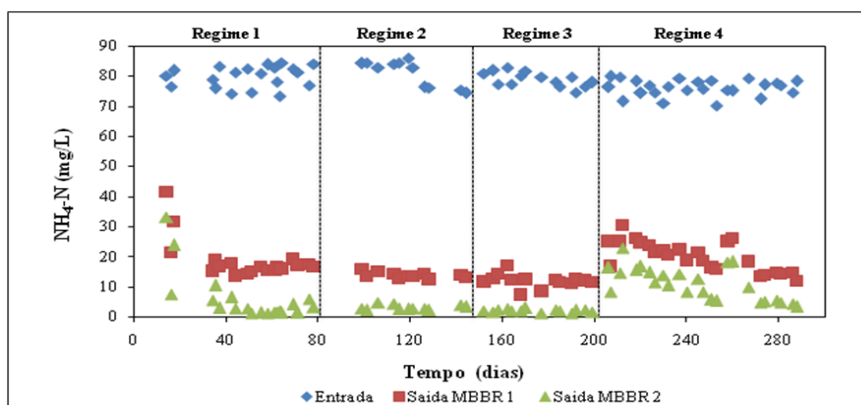


Figura 3: Concentração de nitrogênio amoniacal na entrada e saída dos reatores

A baixa relação carbono orgânico/nitrogênio (C/N) disponível na zona aeróbia, garantida pela remoção no tanque anóxico, favoreceu o desenvolvimento das bactérias autotróficas nitrificantes. Acredita-se, portanto, que a competição entre as nitrificantes e heterotróficas por oxigênio, nutrientes e espaço (no biofilme), que em geral ocorre em ambientes com alta C/N, foi minimizada. No entanto, a redução do TRH no regime 4 afetou adversamente o desempenho da nitrificação. Nesse período, a carga orgânica foi duplicada, e, por conseguinte, o sistema precisou de um longo período para restaurar os mesmos percentuais de remoção de amônio obtidos no final do regime 3.

Na literatura, é possível observar o efeito de elevadas cargas orgânicas na nitrificação. Carrera *et al.* (2004) analisaram essa influência operando uma planta com configuração Ludzack-Ettinger modificada. Os autores observaram que a relação DQO/N afeta a dinâmica das comunidades microbianas envolvidas, ou seja, a nitrificação foi afetada por uma competição entre as bactérias nitrificantes e as heterotróficas. Zafarzadeh *et al.* (2011) também observaram essa queda de desempenho para elevadas relações DQO/N durante a operação de sistemas MBBR.

SÓLIDOS ADERIDOS E SUSPENSOS

Conforme ilustram as Tabelas 2 e 3, durante os três primeiros regimes, a concentração de sólidos aderidos voláteis (SAV) permaneceu praticamente constante, apesar do aumento da carga orgânica. No entanto, no quarto regime, a diminuição do TRH favoreceu o crescimento imobilizado dos micro-organismos no MBBR₁ e com isso a concentração de SAV nesse reator aumentou. Em relação aos sólidos em suspensão (SSV), nota-se uma elevação em seu teor à medida que a DQO afluente foi aumentada. A diminuição do TRH no regime 4 acarretou em uma queda nessa concentração devido ao maior arraste dos sólidos, principalmente no reator aeróbio. Em ambos os reatores, o teor de sólidos aderidos fixos (SAF) e sólidos suspensos fixos (SSF) foi bem baixa. Desse modo, a relação SAV/SAT e SSV/SST, foi elevada e acima de 95%. Os resultados, portanto, indicam uma biomassa de caráter predominantemente orgânico.

Tabela 2: Sólidos Aderidos e Suspensos no MBBR₁

REGIMES	SAV (g/L)	SAF (g/L)	SSV (g/L)	SSF (g/L)
1	5,8	0,3	0,4	0,05
2	5,5	0,1	1,2	0,05
3	5,3	0,1	1,2	0,05
4	6,2	0,2	1,2	0,12

Tabela 3: Sólidos Aderidos e Suspensos no MBBR₂

REGIMES	SAV (g/L)	SAF (g/L)	SSV (g/L)	SSF (g/L)
1	5,4	0,00	0,2	0,03
2	5,5	0,20	0,6	0,03
3	5,8	0,00	1,2	0,03
4	5,5	0,02	0,7	0,04

CONCLUSÕES

A configuração de dois sistemas MBBR em série adotada foi bastante eficiente para a remoção de matéria orgânica para todos os regimes empregados. Foi alcançada uma média de remoção de DQO de 95%. O sistema também alcançou altos níveis de remoção de nitrogênio amoniacal, obtendo uma remoção média de 91%, apesar do aumento gradual da carga orgânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHN, Y.H. Sustainable nitrogen elimination biotechnologies: a review. *Process Biochemistry*, v.41, pp. 1709-1721, 2006.
2. APHA – American Public Health Association. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 21^a ed., Washington D.C., USA, 2005.
3. AYGUN, A., NAS, B., BERKTAY, A.. Influence of High Organic Loading Rates on COD Removal and Sludge Production in Moving Bed Biofilm Reactor. *Environmental Engineering Science*, v. 25, n. 9, 2008.
4. BASSIN, J.P., DEZOTTI, M. Tratamento primário, secundário e terciário de efluentes. In: DEZOTTI M., *Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos*, Rio de Janeiro: E-papers, 2008.
5. BASSIN, J.P. Remoção Biológica de Nutrientes em Sistemas Compactos e Estudo da Diversidade Microbiana por Técnicas de Biologia Molecular. Tese de doutorado, PEQ/UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2012.
6. BOVENDEUR, J., ZWAGA, A. B., LOBEE, B. G. J., BLOM, J. H. Fixed-Biofilm Reactors in Aquacultural water recycle systems: Effect of organic matter elimination on nitrification kinetics. *Water Research*, v. 24, n. 2, pp. 207-213, 1990.
7. CAMPOS, J. L., GARRIDO, J. M., MOSQUERA-CORRAL, A., MÉNDEZ, R. Stability of a nitrifying activated sludge reactor. *Biochemical Engineering Journal*, v.35, pp. 87-92, 2007.
8. CARRERA, J., VICENT, T., LAFUENTE, J. Effect of influent COD/N ratio on biological nitrogen removal (BNR) from high-strength ammonium industrial wastewater. *Process Biochemistry*, v.39, pp. 2035–2041, 2004.
9. FU, B., LIAO, X., DING, L., REN, H. Characterization of microbial community in an aerobic moving bed biofilm reactor applied for simultaneous nitrification and denitrification. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 26, n. 11, pp 1981-1990, 2010.
10. KUNZ, A., PERALTA-ZAMORA, P. Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. *Química Nova*, v. 25, n. 1, pp. 78-82, 2002.
11. QUAN, F., YUXIAO, W., TIANMIN, W., HAO, Z., LIBING, C., CHONG, Z., HONGZHANG, C., XIUQIN, K., XIN-HUI, X. Effects of packing rates of cubic-shaped polyurethane foam carriers on the microbial community and the removal of organics and nitrogen in moving bed biofilm reactors. *Bioresource Technology*, v. 117, pp. 201-207, 2012.

12. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Princípios básicos de tratamento de esgotos. 1ª ed., Editora DESA UFMG, Belo Horizonte, 1996.
13. VISHMAC, W., SANTER, M. The thiobacilli. Bacteriological Reviews, v.21, pp. 195-213, 1957.
14. ZAFARZADEH, A., BINA, B., NIKAEEN, M., ATTAR, H. M., KHIADANI, M. H. Effect of dissolved oxygen and chemical oxygen demand to nitrogen ratios on the partial nitrification/denitrification process in moving bed biofilm reactors. Iranian Journal of Biotechnology, v. 9, n. 3, 2011.