

II-354 – COMPORTAMENTO E DESEMPENHO DO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS DE LEITO MÓVEL (MBBR) – CINCO ANOS DE INVESTIGAÇÕES

Eduardo Pacheco Jordão ⁽¹⁾

Dr. Eng., Pesquisador Visitante Emérito da Escola Politécnica/UFRJ.

Isaac Volschan Junior

D.Sc., Professor Associado do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - Escola Politécnica/UFRJ.

Juliana Bahiense

Mestranda do Programa de Engenharia Civil da COPPE/ UFRJ

Endereço ⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, nº 149, Centro de Tecnologia – Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Bloco D, sala 202 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil - Tel: +55 (21) 2562-7982 - e-mail: jordao@poli.ufrj.br.

RESUMO

O Centro de Saneamento Ambiental da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro vem realizando pesquisas, desde o ano de 2006, com reatores biológicos de leito móvel (MBBR) em sua unidade de demonstração e pesquisa de lodos ativados. Os resultados destas investigações têm sido apresentados e publicados em congressos técnicos (Brasil, Argentina, Chile), mostrando boa eficiência e facilidade operacional. Novo aumento de vazão, embora não seguido necessariamente de aumento de carga orgânica volumétrica, e novo aumento no percentual de enchimento de peças plásticas no interior do reator biológico, foram realizados recentemente, dando margem ao acompanhamento e monitoramento do processo sob estas novas condições operacionais.

O presente trabalho apresenta um resumo destes últimos resultados, englobando, porém, todas as pesquisas realizadas, de modo a acompanhar a evolução do comportamento do processo ao longo de todos os anos de operação, mostrando sempre bons resultados.

PALAVRAS CHAVE: Tratamento, Lodos ativados, MBBR, Leito móvel.

INTRODUÇÃO

Os trabalhos já clássicos sobre MBBR, de Odegaard, Rusten, Andreotola, Pastorelli, entre outros, na Europa, e os experimentos publicados de Minegatti, Jordão, Volschan, no Brasil, mostram com bom detalhamento a aplicabilidade dos sistemas de tratamento de esgotos empregando reatores biológicos de leito móvel.

Os experimentos realizados no reator de demonstração do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ, no Rio de Janeiro, apresentaram excelentes resultados, como publicado nas monografias e dissertações citadas de Hernandez (2006), e de Minegatti, Jordão e Volschan (2007, 2008, 2009). Trabalhando em fases subsequentes os pesquisadores aplicaram cargas crescentes ao reator biológico, ao mesmo tempo em que aumentaram a disponibilidade de área superficial para aderência da biomassa, com acréscimo de mais peças flutuantes ao reator. Uma avaliação global de todos os experimentos realizados, incluindo o último, desenvolvido em 2010, constitui o objetivo do presente trabalho.

CONCEITUAÇÃO

O Reator Biológico de Leito Móvel, tradução da terminologia em inglês “Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)”, representa uma tecnologia adaptada ao processo de Lodos Ativados, baseada na combinação entre sistemas de crescimento de biomassa em suspensão e de biomassa aderida (biofilme). Essa prática objetiva a melhoria do desempenho do processo de lodos ativados, sem que sua configuração original seja alterada, tendo sido desenvolvida originalmente na Noruega, nos anos 90.

A combinação desses dois sistemas no mesmo reator biológico possibilita a formação de uma maior massa de microorganismos no tanque de aeração, e eleva o tempo de retenção celular no processo. Com isso, pode-se conceituar uma concentração “equivalente” de sólidos voláteis (SSVETA), maior, assim como uma relação A/M “equivalente” (A/Meq), mais baixa, que juntamente com a idade de lodo mais elevada irão permitir que eficiências similares ao processo convencional ocorram em menor volume do reator biológico (Jordão, 2009).

Esta é uma grande vantagem no momento de se ampliar a capacidade de uma estação de tratamento, sendo suficiente, no tratamento biológico, a adição de um volume de peças com superfície disponível e adequada para a aderência da biomassa em quantidade suficiente.

Os meios suporte plásticos de baixa densidade são mantidos em suspensão no interior do tanque de aeração, e submetidos à agitação contínua através do sistema de aeração, com mobilidade elevada. Ao serem introduzidos no reator aerado, disponibiliza-se maior contato para formação de biomassa aderida, transformando na verdade o sistema em um reator biológico híbrido, com os organismos decompositores mantidos tanto em suspensão na massa líquida, como aderidos ao meio suporte. Resultará evidentemente uma maior massa total de sólidos voláteis no tanque de aeração, formada pela parcela de sólidos aderidos e em suspensão.

Normalmente o meio suporte possui formato cilíndrico e é fabricado com polietileno, variando sua densidade de acordo com o fabricante, devendo ser próxima e inferior a 1 g/cm³. A Tabela 1 mostra as peças normalmente disponibilizadas no país pelos fornecedores usuais.

Tabela 1: Configurações geométricas dos principais meios suporte no processo MBBR

| Empresa | Massa específica (g/cm ³) | Forma | Diâmetro (mm) | Altura (mm) |
|-------------------------------|---------------------------------------|------------|---------------|-------------|
| Kaldnes (K1) | 0,95 | Cilíndrica | 10 | 7 |
| Kaldnes (K2) | 0,95 | Cilíndrica | 15 | 15 |
| Kaldnes (K3) | 0,95 | Cilíndrica | 25 | 10 |
| Veolia (BiofilmChip M) | 0,99 | Disco | 2,2 | 45 |
| Aqwise | ND | Cilíndrica | 14 | 14 |
| Ambio | 0,99 | Cilíndrica | 25 | 25 |
| Degremont (ActiveCell450®) | ND | Cilíndrica | 22 | 15 |
| Degremont (ActiveCell515®) | ND | Cilíndrica | 22 | 20 |

ND = informação não disponível. Fonte: Minegatti (2008).

A dinâmica do processo MBBR obedece aos mesmos parâmetros operacionais e de controle aplicados ao processo de Lodos Ativados, com exceção de um fator específico e relevante: a massa de sólidos a se levar em conta no reator é a soma da biomassa suspensa presente na massa líquida, com a aderida ao meio suporte. A massa aderida é, evidentemente, tanto maior quanto maior for a quantidade de peças inseridas no reator biológico. Nesse sentido é importante considerar no projeto ou no “upgrade” de uma ETE, a melhor relação volumétrica entre o meio suporte e o tanque de aeração. É possível preencher-se o tanque de aeração com até cerca de 70% de seu volume (valor admitido na mais recente revisão da Norma Brasileira, 2009), sendo que nos experimentos realizados no CESA/UFRJ trabalhou-se com 10, 20 e 40% de enchimento.

Vê-se assim que a biomassa aderida representa fator primordial no comportamento do processo. Dois fatores devem ser considerados neste caso: primeiro, a disponibilidade de área superficial das peças. Este dado é característica de cada peça em si, devendo ser informada pelo fabricante. Tipicamente se encontram peças com área superficial disponível – ou superfície específica – da ordem de 300 a 600 m²/m³. O segundo fator a considerar é a capacidade de aderência da biomassa, ou Formação de Biomassa Aderida, FBA. As medições de campo de Minegatti et al no CESA/UFRJ (2009) indicaram o valor de FBA de 15,6 g SSV/m², sendo que a recente Norma Brasileira (2009) para projeto adotou como valor máximo até 12 g SSV/m².

Outro parâmetro de controle particular do MBBR tem sido a denominada Carga Orgânica Superficial (COS), que representa a relação entre a carga orgânica aplicada ao reator biológico e a área superficial total do meio suporte. Esse parâmetro é expresso em g DBO/m².d e é o que possui melhor associação com o processo analisado. Embora as indicações relatadas sejam bastante variáveis, os experimentos do CESA/UFRJ se situaram entre 3,9 e 11,0 g DBO/m².d.

Com a aplicação da tecnologia MBBR, há uma menor demanda de volume para o reator, reduzindo os custos de implantação e mostrando-se uma ótima alternativa para *upgrade* de uma estação de tratamento de esgotos já saturada. Outras vantagens conhecidas são a obtenção de sistemas compactos e robustos aos picos de cargas

orgânicas e hidráulicas e às variações de pH e temperatura, e a possibilidade de supressão da operação de recirculação do lodo. Além disso, podem ser realizadas no MBBR as mesmas adaptações para remoção de nitrogênio que no processo convencional de Lodos Ativados, como os processos Wuhman, prédesnitrificação e Bardenpho. Pesquisa neste sentido faz parte também dos objetivos experimentais no CESA.

APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental objeto do presente trabalho é principalmente constituído pela unidade de Lodos Ativados existente nas instalações do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da Escola Politécnica/UFRJ.

Em escala real, atendendo uma população da ordem de 500 habitantes, a unidade de Lodos Ativados é uma das 15 tecnologias de tratamento de esgotos que compõem este centro, cuja missão é atender aos objetivos acadêmicos dos cursos de graduação e pósgraduação.

A unidade de Lodos Ativados de Leito Móvel é precedida por um tratamento preliminar constituído por grade de barras e desarenador. Visando também a desnitrificação do efluente, a unidade é dotada de uma câmara anóxica a montante do tanque de aeração (com 20% do volume do tanque), reproduzindo o processo similar de prédesnitrificação aplicado ao processo convencional de Lodos Ativados. A Figura 1 ilustra o arranjo geral do aparato experimental.

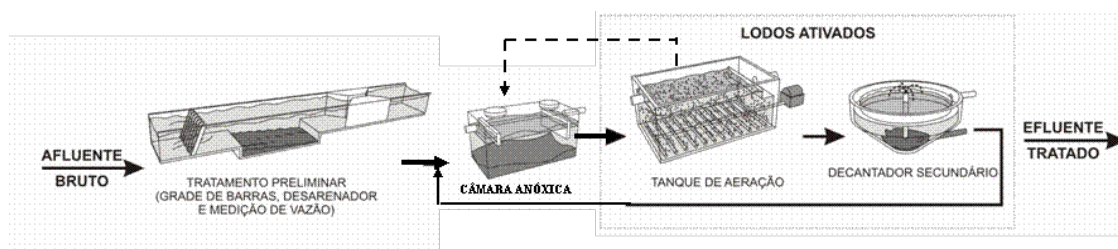


Figura 1: Fluxograma do aparato experimental

O sistema de aeração é constituído por um compressor de ar com potência de 2,2 HP (fornecimento OMEL) e uma malha difusora de bolhas finas com 20 discos de membranas elásticas (fornecimento Degremont), instalada junto ao fundo do tanque de aeração, cujo volume é de 20,25 m³.

O meio suporte utilizado é formado por peças de polietileno, ranhuradas e com divisões na parte interna. Esses pequenos anéis cilíndricos possuem 23 mm de diâmetro e 25 mm de altura. A densidade de cada peça encontra-se entre 0,99 e 1,00 g/cm³, sua área é de 0,00927 m² e a área superficial específica de cerca de 600 m²/m³. A Figura 2 ilustra o meio suporte plástico utilizado, cedido pela empresa Ambio.



Figura 2: Meio suporte

Cada decantador apresenta seção superficial quadrada e base tronco-piramidal, é estruturado em fibra de vidro e possui área superficial de 2,56 m² e profundidade total de 2,20 m. A Tabela 2 resume as dimensões principais das unidades envolvidas e a Figura 3 ilustra a unidade experimental de Lodos Ativados.

Tabela 2: Dimensões principais das unidades

| Unidade | Quantidade | Comprimento (m) | Largura (m) | Profundidade (m) |
|-----------------------|------------|-----------------|-------------|------------------|
| Câmara Anóxica | 1 | 2,0 | 0,90 | 2,33 |
| Tanque de Aeração | 1 | 4,5 | 1,5 | 3,0 |
| Decantador Secundário | 2 | 1,6 | 1,6 | 2,2 |



Figura 3: Unidade experimental de Lodos Ativados de Leito Móvel

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi concebido de modo a evoluir com os estudos anteriormente realizados e que já indicavam a estabilidade e a manutenção da qualidade do efluente final em termos de remoção de matéria orgânica carbonácea, quando submetido o processo MBBR à Carga Orgânica Volumétrica (COV) variando de 0,37 a 1,00 kgDBO/m³.d, Carga Orgânica Superficial (COS) de 6,4 a 11,0 g DBO/m².d, e vazão afluyente ao tanque de aeração de 0,59 a 1,00 L/s, sendo até então de 10% e de 20% a relação volumétrica de enchimento do reator com as peças.

O reator biológico passou a receber uma vazão de 1,50 L/s, e teve 40% de seu volume ocupado pelas peças constituintes do meio suporte. Assim o sistema foi monitorado desde julho a dezembro de 2010, segundo frequência de dois dias por semana de amostragem. As análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos seguem as prescrições do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados médios alcançados para matéria orgânica carbonácea e sólidos em suspensão, no último período citado, em que a vazão foi aumentada para 1,50 L/s e o percentual de enchimento de peças para 40%.

Tabela 3: Resultados do monitoramento operacional (*)

| Parâmetro (mg/L) | | Número | Média |
|------------------|----------------|--------|-------|
| DQO | Afluyente | 17 | 278 |
| | Efluente | 11 | 39 |
| | Eficiência (%) | | 86 |
| DBO | Afluyente | 7 | 156 |
| | Efluente | 9 | 20 |
| | Eficiência (%) | | 87 |
| SST | Afluyente | 17 | 204 |
| | Efluente | 17 | 29 |
| | Eficiência (%) | | 86 |

(*) janeiro a julho/2010, vazão de 1,50 L/s

A Tabela 4 apresenta os resultados médios de todos os experimentos realizados, os quais serviram de base para produzir os gráficos das Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Tabela 4 – resultados médios consolidados

| Período | Vazão l/s | DBO afl. mg/l | DBO efl. mg/l | SST efl. mg/l | COV kgDBO/m ³ .d | COS gDBO/m ² .d | Enchimento %V |
|---------|--------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 2006 | 0,59 | 145,00 | 16,00 | 9,00 | 0,37 | 8,20 | 10,00 |
| 2006 | 0,59 | 227,00 | 11,00 | 28,00 | 0,57 | 6,40 | 20,00 |
| 2006 | 0,78 | 215,00 | 23,00 | 35,00 | 0,72 | 8,00 | 20,00 |
| 2006 | 0,88 | 155,00 | 20,00 | 35,00 | 0,58 | 6,50 | 20,00 |
| 2006 | 0,95 | 205,00 | 23,00 | 28,00 | 0,83 | 9,40 | 20,00 |
| 2007-09 | 1,00 | 227,00 | 10,00 | 27,00 | 0,57 | 6,50 | 20,00 |
| 2007-09 | 1,00 | 215,00 | 18,00 | 38,00 | 0,73 | 8,40 | 20,00 |
| 2007-09 | 1,00 | 155,00 | 18,00 | 33,00 | 0,62 | 7,10 | 20,00 |
| 2007-09 | 1,00 | 246,00 | 25,00 | 28,00 | 0,96 | 11,00 | 20,00 |
| 2007-09 | 1,00 | 215,00 | 30,00 | -- | 1,00 | 7,70 | 20,00 |
| 2010 | 1,50 | 148,00 | 20,00 | 37,00 | 0,95 | 3,90 | 40,00 |

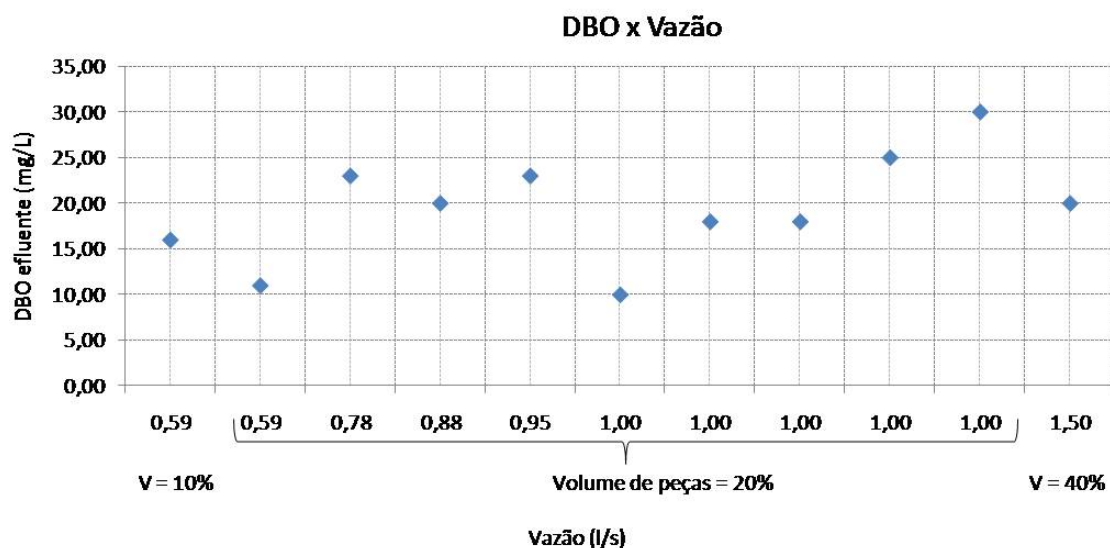


Figura 4: Comportamento da DBO efl. com o incremento de vazão

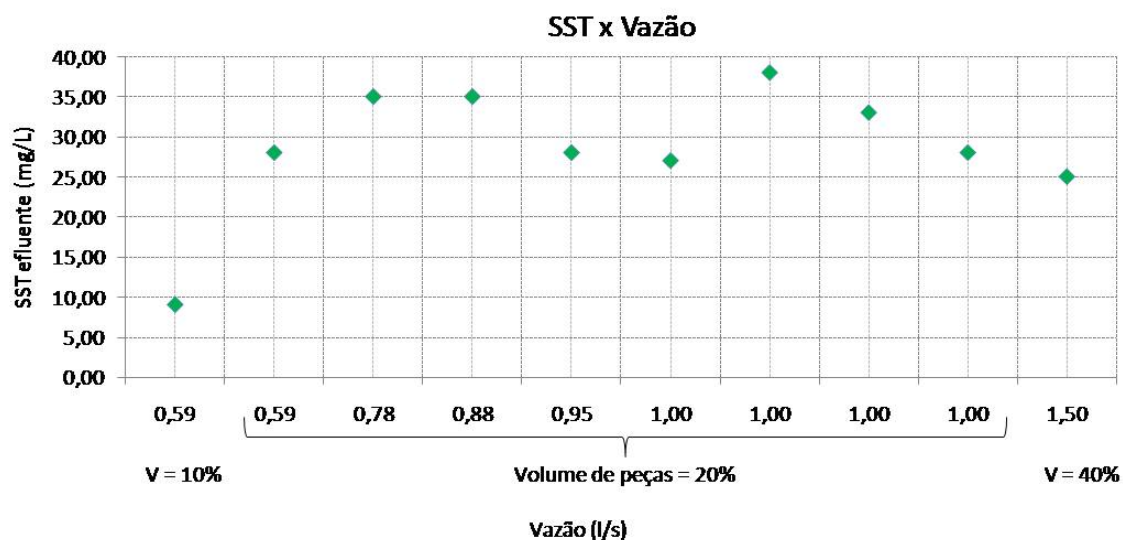


Figura 5: Comportamento de SST efl. com o incremento de vazão

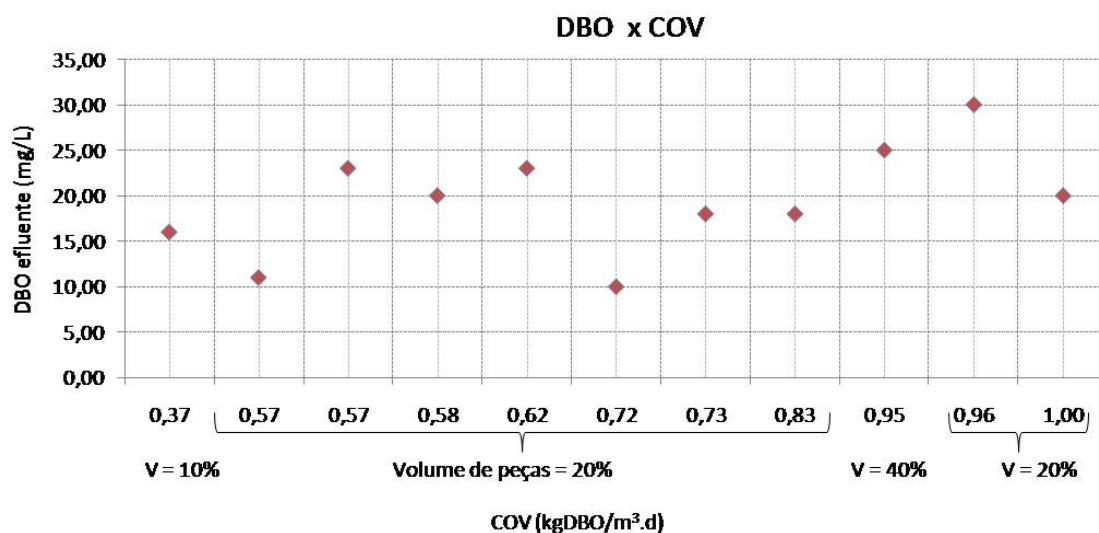


Figura 6: Comportamento da DBO efl. com o incremento da Carga Orgânica Volumétrica

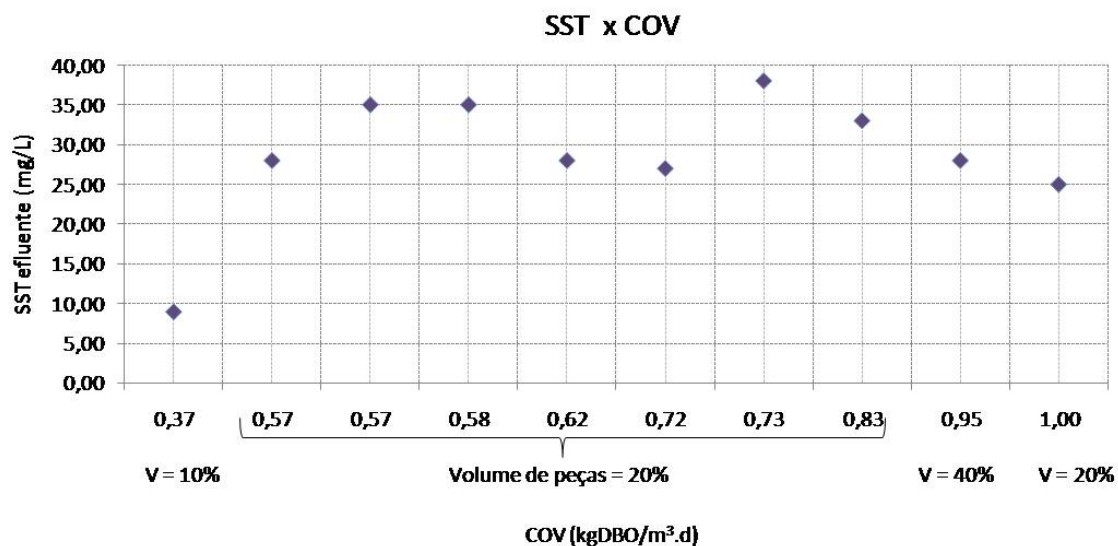


Figura 7: Comportamento de SST efl. com o incremento da Carga Orgânica Volumétrica

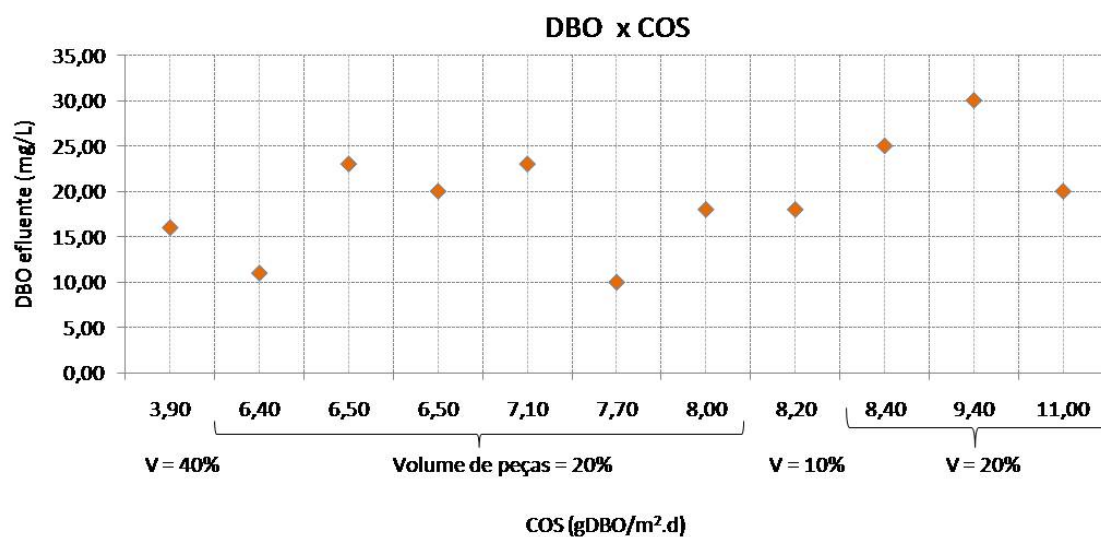


Figura 8: Comportamento da DBO efl. com o incremento da Carga Orgânica Superficial

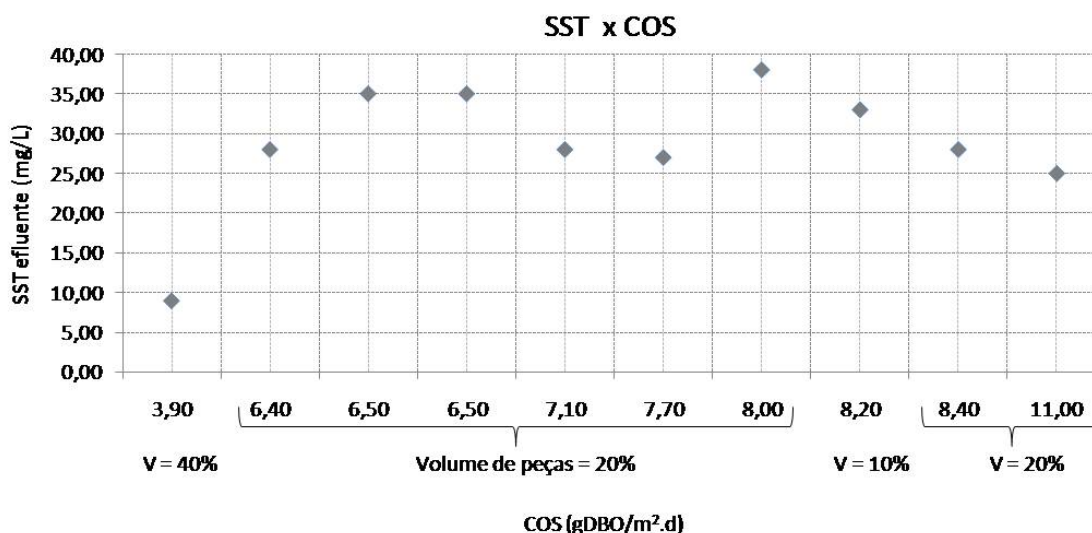


Figura 9: Comportamento de SST efl. com o incremento da Carga Orgânica Superficial

Ao observar estes gráficos pode-se comentar que o comportamento do sistema praticamente se manteve com a vazão variando desde 0,59 até 1,50 l/s, isto é, um incremento de quase 3 vezes. Para tal, no entanto, o enchimento com peças foi aumentado no interior do tanque de aeração, de modo a manter a Carga Orgânica Superficial em patamar mais baixo. Esta observação é claramente ilustrada nos gráficos apresentados.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O processo MBBR apresentou uma boa estabilidade para a remoção da matéria orgânica carbonácea, atendendo aos padrões exigidos, inclusive com o incremento da vazão afluyente e do volume preenchido do reator biológico.

A solução é muito interessante para casos de upgrade de ETEs, devendo ser no entanto cotejada com soluções clássicas nos casos de ETEs novas, tendo em vista o custo das peças de enchimento e da maior necessidade de oxigênio requerido para manter a concentração no interior do reator em pelo menos 3 mg/l.

CRÉDITOS

As investigações que deram origem a este trabalho foram realizadas pelos engenheiros Bibiana Hernandez Izquierdo, M.Sc. (2005, 2006), Daniel Minegatti de Oliveira, M.Sc. (2006, 2007, 2008), e Juliana Bahiense (2010), com orientação dos autores professores, e com suporte institucional da FINEP, da CAPES, do CNPq e da FAPERJ. As empresas Degremont e Ambio cederam o sistema de difusores e as peças plásticas do reator de leito móvel, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IZQUIERDO, B, K, H. "Estudo do comportamento de um sistema de lodos ativados com Reator de leito móvel (MBBR)". Dissertação de mestrado-Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2. JORDÃO, E, P; VOLSCHAN, I, J; MINEGATTI, D, V, O. "A Variante "MBBR" de Lodos Ativados – Uma Alternativa Vantajosa". VI Congresso da IV Região da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária – AIDIS. Buenos Aires, Julho/2007.
3. MINEGATTI, D, V, O; VOLSCHAN, I, J; JORDÃO, E, P. "Comportamento e Desempenho do Processo Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR) para a Remoção da Matéria Orgânica e Compostos Nitrogenados". XXXI Congresso Interamericano da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS). Santiago, Chile, Outubro/2008.

4. MINEGATTI, D, V, O. “Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de Desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR)”. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
5. MINEGATTI, D, V, O; VOLSCHAN, I, J; JORDÃO, E, P. “Avaliação das metodologias analíticas para determinação de biomassa aderida no processo reator biológico com leito móvel (MBBR)”. XXV Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Recife, PE, 2009.
6. JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. “Tratamento de Esgotos Domésticos”, ABES, 5ª edição, 2009.
7. ABNT “Norma Brasileira para Projeto Hidráulico-Sanitário de Estações de Tratamento de Esgotos”, 2009.
8. ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; WESTRUM, T. (1994) “A new moving bed biofilm reactor – application and results”. Water Science and Technology. Vol. 29 (10-11), pp. 157-165.
9. ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; BADIN, H (1993) “Small wastewater treatment plants based on moving bed biofilm reactor”. Water Science and Technology. Vol. 28 (10), pp. 351-359.
10. PASTORELLI, G; ANDREOTTOLA, G; CANZIANI, R; DARRIULAT, C; FRAJA FRANGIPANE, E; ROZZI, A. (1997) “Organic carbon and nitrogen removal in moving-bed biofilm reactors”. Water Science and Technology. Vol. 35 (6), pp. 91-99.
11. RUSTEN, B; MCCOY, M; PROCTOR, R; SILJUDALEN, JON G. (1998) “The innovative moving bed biofilm reactor/Solids contact reaeration process for secondary treatment of municipal wastewater”. Water Environment Research, Vol 70 (5), pp 1083-1089.
12. RUSTEN, B; SILJUDALEN, J, G; Nordeidet, B. (1994) “Upgrading to nitrogen removal with the KMT moving bed biofilm process”. Water Science and Technology, Vol 29 (12), pp 185-195.