

**II-154 - ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE MATERIAL SUPORTE PARA
ADESÃO CELULAR EM REATOR DE LODOS ATIVADOS TIPO CASS®
(CYCLIC ACTIVATED SLUDGE SYSTEM) TRATANDO
ESGOTO SANITÁRIO MUNICIPAL**

Moacir Messias de Araujo Junior⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Diretor Técnico da Bio Proj Tecnologia Ambiental.

André Lermontov

Engenheiro Químico pela Escola de Química da UFRJ. Mestre em Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ. Doutor em Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ. Gerente de Tecnologia do Grupo Águas do Brasil S/A com mais de 15 anos de experiência em saneamento ambiental, tratamento de água e efluentes.

Ricardo Massetto

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Gerente de Operação da Sanej.

Philippe Lopes da Silva Araujo

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB/UNESP). Coordenador Operacional de Esgotos da Águas de Niterói.

Alessandro Daré Oliva

Bacharel em Química pela Universidade do Sagrado Coração (USC-Bauru/SP). Supervisor Técnico da Bio Proj Tecnologia Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Rua Major José Inácio, 2920 - Vila Nery - São Carlos - SP - CEP: 13560-161 - Brasil - Tel: +55 (16) 3416-7110 - Fax: +55 (16) 3416-7110 - e-mail: moacir@bioproj.com.br

RESUMO

A maior parte das estações de tratamento de esgoto sanitário em operação no Brasil possuem problemas com o gerenciamento e disposição adequada do lodo biológico gerado, refletindo diretamente nos custos operacionais da ETE. Neste sentido, alternativas tecnológicas de sistemas de tratamento que possam aumentar a capacidade de tratamento das ETE's instaladas, juntamente com a redução da geração de lodo biológico são de extrema relevância para o setor. Uma das alternativas para a redução da produção de lodo é o aumento da concentração inicial de biomassa no sistema, fazendo com que o substrato seja fator limitante nos processos de produção e manutenção celular. Essa condição pode ser alcançada por meio de sistemas de células imobilizadas, nos quais tem sido observado um crescimento regulado de biomassa. Assim, o presente trabalho apresenta o estudo em escala piloto de um sistema de lodos ativados cíclico em batelada (CASS® - Cyclic Activated Sludge System) contendo material suporte para adesão de biomassa (Biobob®), operando como reator de leito móvel (MBBR® - Moved Bed Bio-Reactor), visando a remoção de matéria orgânica e nitrogênio, com alta carga volumétrica aplicada e baixa geração de lodo. Com os resultados alcançados na operação da planta piloto, pode-se concluir que a adição do material suporte Biobob® foi efetivo para a imobilização da biomassa presente no reator aeróbio de lodos ativados cíclico (CASS®). Os resultados mostraram que adicionando-se 8% e 20% do volume do reator aeróbio de Biobob® foi possível reduzir a produção mássica de lodo em 22% e 37%, respectivamente, mantendo-se a mesma qualidade do efluente tratado (DBO < 60 mg/L e N-Amônia < 20 mg/L).

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário, lodos ativados em batelada, MBBR®, Biobob®, biomassa fixa.

INTRODUÇÃO

A maior parte das estações de tratamento de esgoto sanitário em operação no Brasil se deparam com dois fatores principais em sua gestão e sustentabilidade socioeconômica: 1) o gerenciamento e disposição adequada do lodo biológico gerado e 2) a necessidade de se aumentar a capacidade de tratamento para acompanhar o crescimento populacional de suas cidades.

Estes fatores refletem diretamente nos custos operacionais da ETE, influenciando nas decisões de implantação e gestão das mesmas. Neste sentido, alternativas tecnológicas de sistemas de tratamento que possam aumentar a

capacidade de tratamento das ETE's instaladas, juntamente com a redução da geração de lodo biológico são de extrema relevância para o setor.

Uma das alternativas para a redução da velocidade de crescimento celular é o aumento da concentração inicial de biomassa no sistema, fazendo com que o substrato seja fator limitante nos processos de produção e manutenção celular. Essa condição pode ser alcançada por meio de sistemas de células imobilizadas, nos quais tem sido observado um crescimento regulado de biomassa.

No mesmo contexto, com a utilização de biomassa imobilizada nos reatores biológicos, pode-se aumentar consideravelmente a massa bacteriana contida nestes reatores, aumentando, consequentemente, a capacidade nominal de tratamento destes reatores.

Assim, o presente trabalho apresenta o estudo em escala piloto de um sistema de lodos ativados cíclico em batelada (CASS® - Cyclic Activated Sludge System) contendo material suporte para adesão de biomassa (Biobob®), operando como reator de leito móvel (MBBR® - Moved Bed Bio-Reactor), visando a remoção de matéria orgânica e nitrogênio, com alta carga volumétrica aplicada e baixa geração de lodo.

MATERIAL E MÉTODOS

A investigação experimental foi realizada nas dependências da estação de tratamento de esgoto da cidade de Jaú-SP. A ETE é composta por um sistema de lodos ativados em batelada contendo três linhas. Cada linha possui três reatores biológicos em série, sendo eles, respectivamente: seletor anóxico (490 m³), seletor aeróbio (600 m³) e reator aeróbio (5560 m³).

Cada linha faz 6 ciclos de 4 horas diariamente, sendo estas 4 horas divididas nas seguintes fases operacionais:

- 1ª hora: Alimentação do sistema com aeração ligada;
- 2ª hora: Alimentação do sistema com aeração ligada;
- 3ª hora: Alimentação do sistema com aeração desligada (etapa de decantação) ;
- 4ª hora: Retirada do sobrenadante (efluente tratado).

Durante as primeiras 3 horas do ciclo, a recirculação de lodo do reator aeróbio para o seletor anóxico fica ligada, sendo desligada apenas na etapa de retirada do efluente tratado.

Com o objetivo de utilizar os resultados deste trabalho para a melhoria da ETE, o piloto foi construído para reproduzir em escala reduzida a estação real, obedecendo as mesmas proporções volumétricas entre esgoto afluente e volume reacional do sistema real (volume de esgoto afluente por volume de reator por tempo, m³/m³/d).

Instalação piloto

Os reatores da planta piloto foram construídos em polipropileno (PP) com geometria cilíndrica, tendo volumes úteis de 2,1 m³, 2,5 m³ e 25,1 m³, respectivamente para o seletor anóxico, seletor aeróbio e reator aeróbio.

A aeração no seletor e reator aeróbios foi realizada por difusores tubulares de bolha fina, sendo o ar gerado por um soprador de lóbulos rotativos de marca Kaeser modelo 21P.

O fluxograma do sistema e as especificações dos principais equipamentos utilizados na planta piloto são apresentados na Figura 1. Na Figura 2 é apresentada a foto da instalação piloto nas dependências da ETE em Jaú.

Suportes para a imobilização da biomassa

Como suporte para imobilização da biomassa utilizou-se o produto comercial Biobob®, desenvolvido pela empresa Bio Proj Tecnologia Ambiental.

O Biobob® tem sido utilizado atualmente com sucesso em diversas plantas de tratamento de efluente industrial e sanitário, apresentando-se como um ótimo material suporte para reatores de leito móvel (MBBR®) ou leito

fixo, tanto anaeróbios quanto aeróbios. A sua principal característica é possuir uma alta área superficial ($270 \text{ mil m}^2/\text{m}^3$), o que lhe garante alta afinidade e eficiência na imobilização celular.

O Biobob® consiste em uma matriz de espuma de poliuretano envolta por uma estrutura rígida de polipropileno, especialmente desenvolvidos para este fim. A sua geometria é cilíndrica, tendo 45 mm de diâmetro e 60 mm de altura. Na Figura 3 é apresentada uma foto ilustrativa do Biobob®.

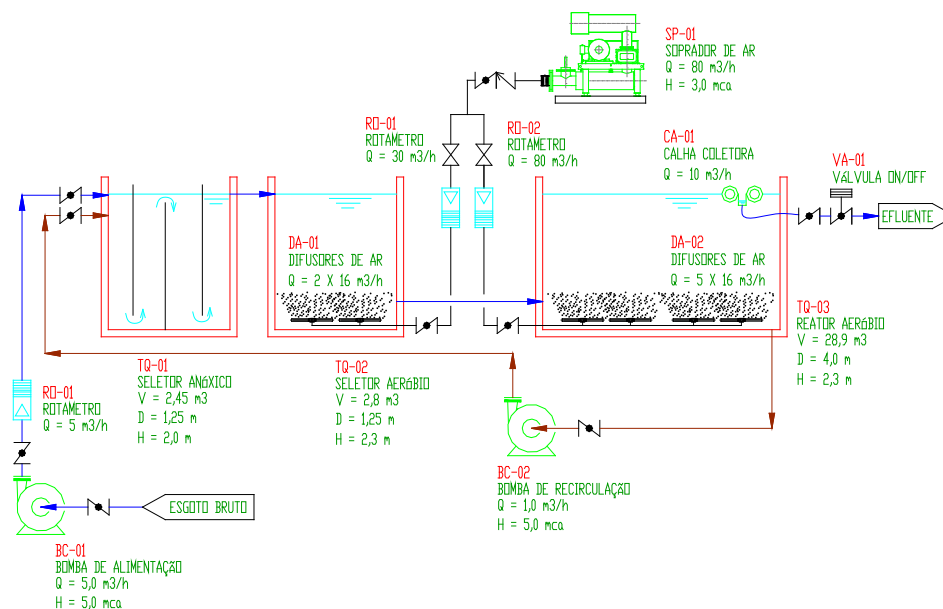


Figura 1: Fluxograma básico do sistema piloto utilizado no experimento.



Figura 2: Foto da instalação piloto na ETE da Sanej em Jaú-SP.



Figura 3: Foto ilustrativa do material suporte Biobob®.

Esgoto Sanitário

O afluente da planta piloto foi o mesmo esgoto bruto que alimentou os reatores da ETE. As características médias deste esgoto são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição média do esgoto bruto afluente ao longo do experimento.

Parâmetros	Valores médios
pH	7,0
DQO bruta	425 mg DQO/L
DQO filtrada (1,2 µm)	150 mg DQO/L
NTK	30 mg N/L
N-NH ₄ ⁺	18 mg N-NH ₄ ⁺ /L
Sólidos totais	570 mg ST/L
Sólidos suspensos totais	201 mg SST/L
Sólidos suspensos voláteis	153 mg SSV/L

Operação da planta piloto

A operação da planta piloto foi dividida em 4 etapas. Na primeira, o reator foi operado de forma semelhante ao sistema real, com 6 ciclos operacionais de 4 horas por dia (Figura 4), sem a adição de material suporte para fixação da biomassa. A vazão média afluente de esgoto foi de 9,1 m³/ciclo, totalizando 54,6 m³/dia.

Para a inoculação do sistema utilizou-se o lodo proveniente da própria ETE, retirado durante a etapa de aeração do sistema e transferido *in natura* para os reatores da planta piloto, até que o volume dos mesmos fossem completados.

Na segunda e terceira etapas foram mantidas as condições operacional da etapa anterior (operação em 6 ciclos de 4 horas por dia com vazão afluente de 9,1 m³/ciclo), contudo o reator aeróbio possuía, respectivamente, 2 m³ e 5 m³ de Biobob[®] (equivalendo a 8% e 20% do volume do reator).

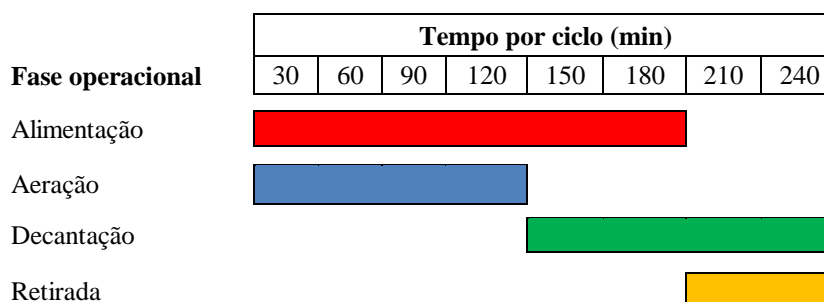


Figura 4: Fases operacionais do sistema para 6 ciclos diários de 4 horas (Etapas 1, 2 e 3)

Os Biobob[®]s foram adicionados apenas lançando-os na superfície do reator. Inicialmente, devido a grande quantidade de ar presente em seus vazios, os Biobob[®]s ficavam na superfície do reator (Figura 5a), contudo, decorrido aproximadamente 24 horas de operação, praticamente todos os suportes já estavam incorporados ao lodo e se movimentando juntamente com a biomassa em suspensão (Figura 5b).

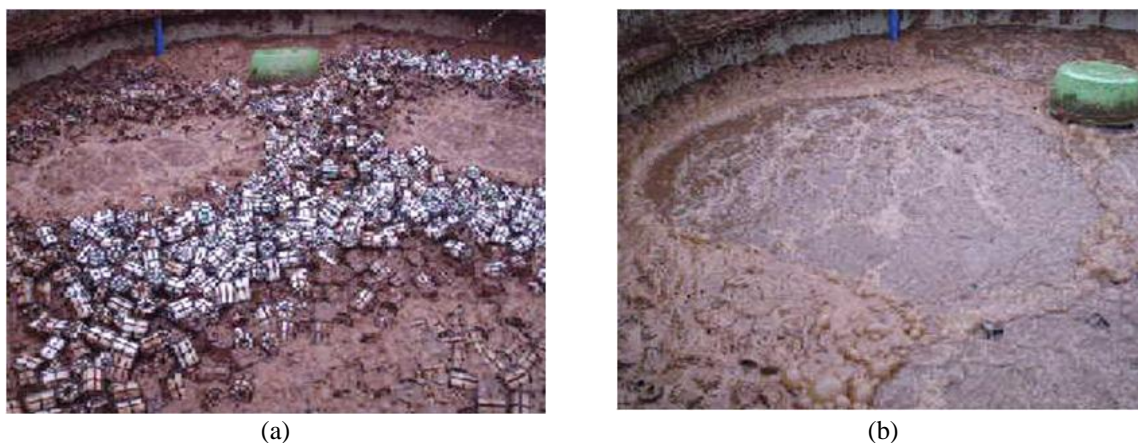


Figura 5: Fotos da adição de Biobob[®] no reator aeróbio da planta piloto. (a) reator imediatamente após a adição de Biobob[®]; (b) reator após 24 horas da adição de Biobob[®]

Na quarta e última etapa, manteve-se a mesma quantidade de Biobob[®] da terceira etapa (5 m³) e aumentou-se a vazão de alimentação em 33%, passando de 54,6 m³/dia para 72,8 m³/dia. Para tanto, a vazão de alimentação por ciclo foi mantida (9,1 m³/ciclo) mas o regime operacional passou a ser de 8 ciclos de 3 horas por dia (Figura 6).

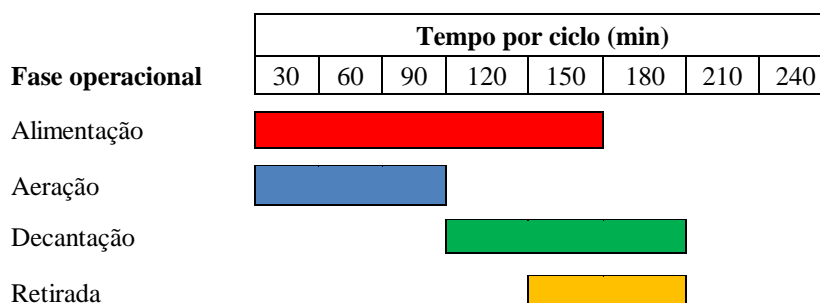


Figura 6: Fases operacionais do sistema para 8 ciclos diários de 3 horas (Etapa 4)

Durante a fase de alimentação do sistema, para todas as etapas operacionais, a bomba de recirculação de lodo do reator aeróbio para o seletor anóxico permanecia ligada com vazão de 1,92 m³/h, equivalendo a uma razão de recirculação ($R = Q_r/Q$) de 63% para as etapas 1 a 3 e de 53% para a etapa 4.

Em todas as etapas foram coletadas amostras diárias do afluente e efluente do sistema. As alíquotas amostrais eram coletadas por bombas peristálticas a cada ciclo de operação, tendo no final do dia amostras compostas representativas da operação naquele dia, as quais foram submetidas às seguintes análises: DQO, DQO filtrada, SST, SSV, ST, NTK, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, N-NH₄⁺, pH, alcalinidade e temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A planta piloto foi operada durante 192 dias, sem interrupção, com temperatura média nos reatores de 27,1±1,2 °C. O perfil de temperatura ao longo da operação é apresentado na Figura 7.

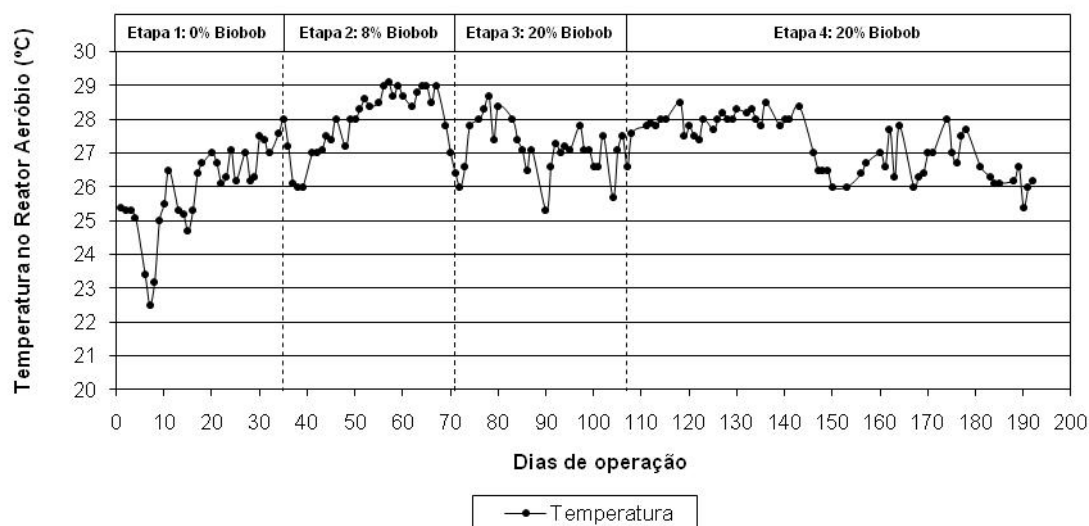


Figura 7: Temperatura do no reator aeróbio ao longo do tempo de operação.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentados, respectivamente, os gráficos temporais de carga orgânica volumétrica aplicada e de eficiência de remoção do sistema ao longo da operação.

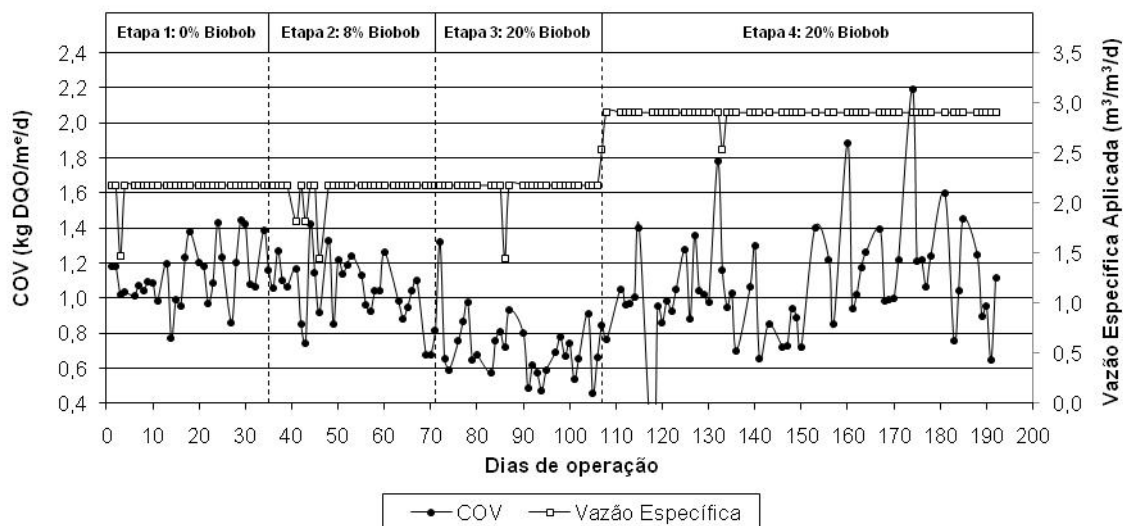


Figura 8: Carga orgânica volumétrica (COV) e vazão específica de esgoto aplicadas ao longo do tempo de operação.

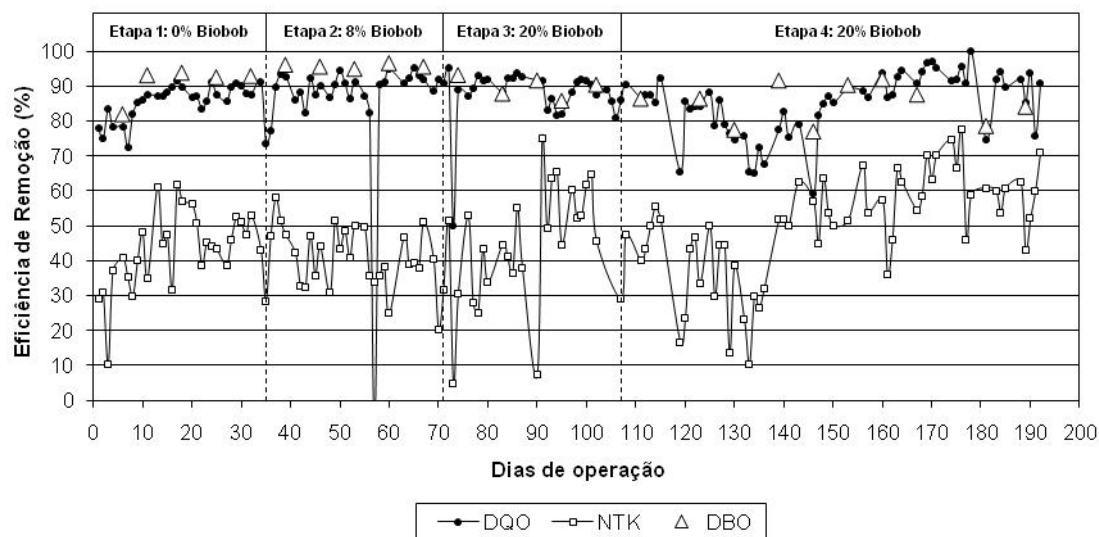


Figura 9: Eficiência de remoção de DQO, DBO e NTK ao longo do tempo de operação.

A primeira etapa de operação iniciou-se após a inoculação do sistema com o lodo aeróbio proveniente da ETE comercial da Sanej. O sistema teve partida relativamente rápida, obtendo estabilidade a partir do 10º dia de operação. A carga volumétrica média aplicada nesta etapa foi de $1,2 \pm 0,2$ kg DQO/m³/d, alcançando-se eficiências médias de remoção de $88 \pm 2\%$ DQO, $93 \pm 1\%$ DBO e $48 \pm 8\%$ NTK.

Na Etapa 2, com a adição de 8% do volume do reator de Biobob®, a carga volumétrica média aplicada foi de $1,1 \pm 0,2$ kg DQO/m³/d, alcançando-se eficiências médias de remoção de $86 \pm 19\%$ DQO, $96 \pm 1\%$ DBO e $41 \pm 9\%$ NTK.

Para a terceira etapa, embora tenha mantido a mesma vazão afluente que as etapas anteriores, a carga aplicada foi significativamente menor. Isto ocorreu devido à alta precipitação pluviométrica no período, a que causou a diluição da concentração do esgoto afluente à ETE (Figura 10). Nesta etapa, a carga volumétrica média aplicada foi de $0,7 \pm 0,2$ kg DQO/m³/d, com eficiências médias de remoção de $88 \pm 8\%$ DQO, $90 \pm 3\%$ DBO e $45 \pm 17\%$ NTK.

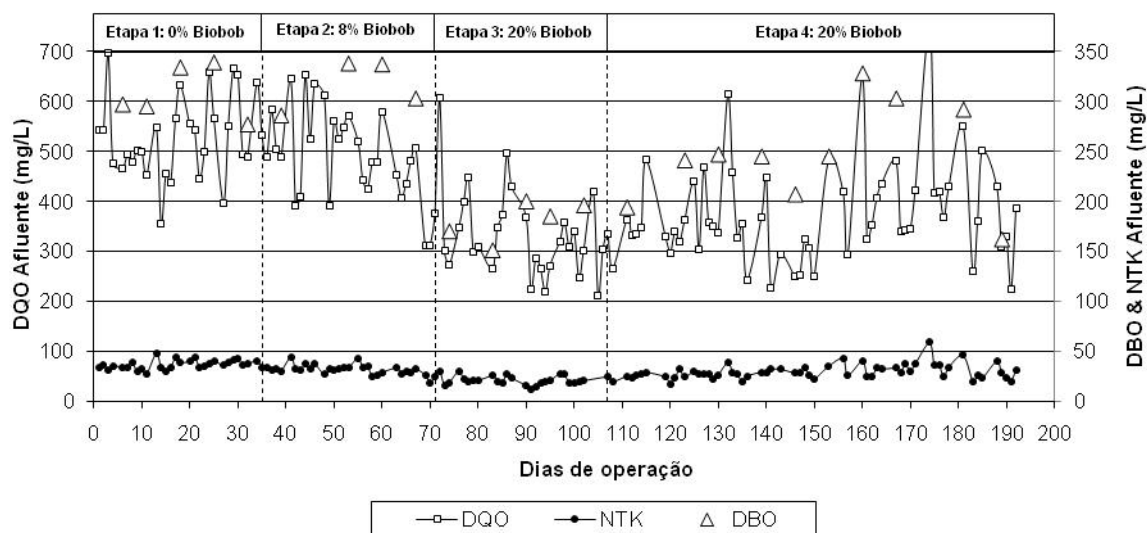


Figura 10: Concentração de DQO, DBO e NTK afluente ao longo do tempo de operação.

Devido ao aumento da temperatura ambiente (Figura 7) e da carga afluente aplicada (Figura 8), no início da quarta etapa houve insuficiência de oxigênio dissolvido no reator aeróbio, com concentrações abaixo de 1,0 mg O₂/L (Figura 11), o que causou uma queda na eficiência de remoção de matéria orgânica e nitrificação (Figura 9). Contudo, com o aumento da vazão de ar aplicada ao sistema a partir do 150º dia de operação, o problema foi resolvido, obtendo-se, a partir daí, eficiências de remoção de $91 \pm 6\%$ DQO, $86 \pm 5\%$ DBO e $59 \pm 10\%$ NTK, com carga volumétrica média aplicada no período de $1,2 \pm 0,3$ kg DQO/m³/d.

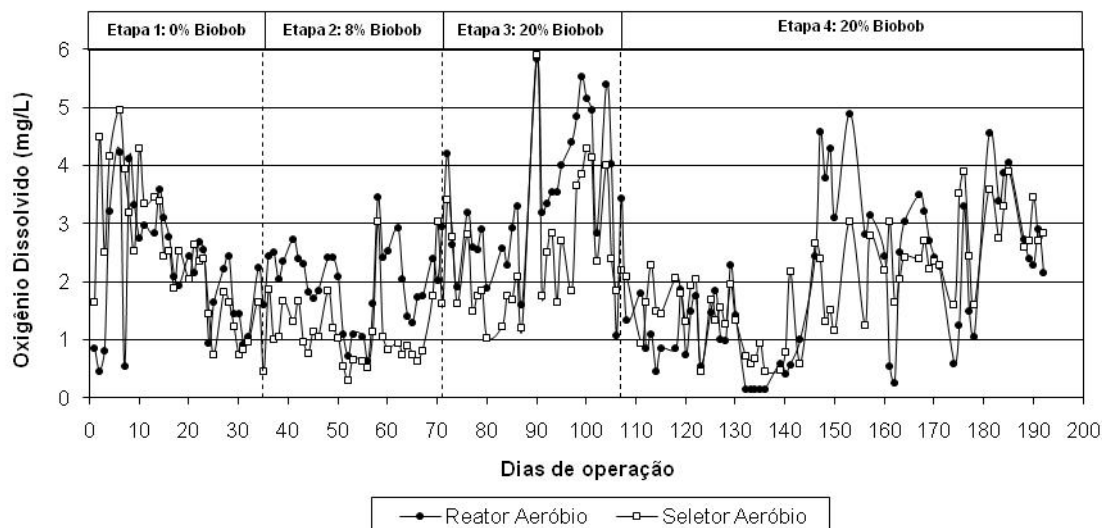


Figura 11: Concentração de oxigênio dissolvido nos reatores ao longo do tempo de operação.

Em toda as etapas do experimento, as concentrações de DBO e N-amoniacoal do efluente tratado ficaram abaixo dos valores máximos de lançamento estipulados pela legislação vigente na região de Jaú-SP (60 mg DBO/L; 20 mg N-NH₄⁺/L), como pode ser observado no gráfico da Figuras 12.

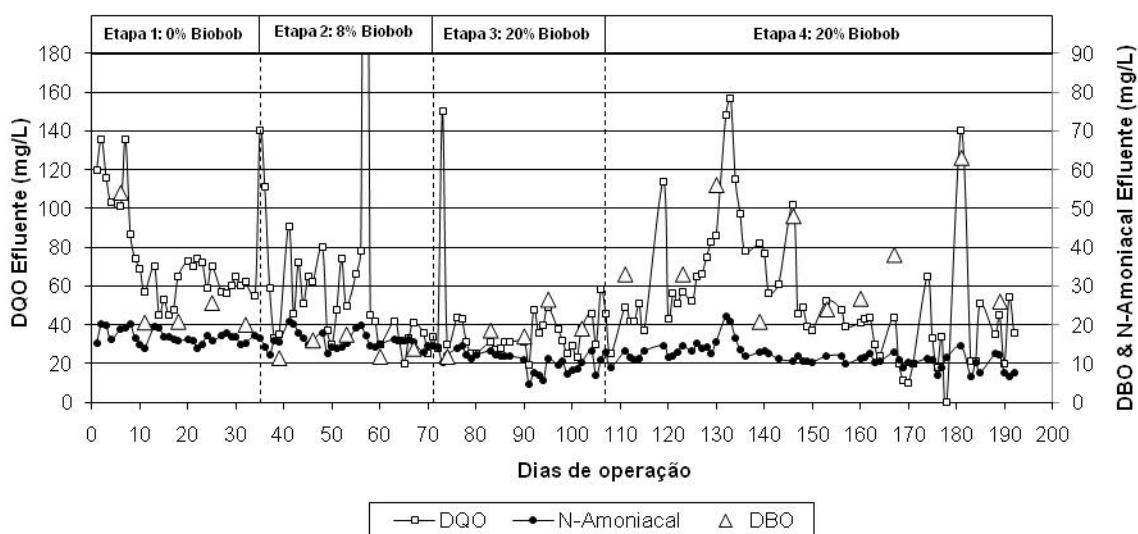


Figura 12: Concentração de DQO, DBO e N-Amoniacoal efluente ao longo do tempo de operação.

Com a adição de Biobob® houve uma significativa queda na concentração da biomassa suspensa nos reatores biológicos, como evidenciado na Figura 13. Comparando-se as concentrações de biomassa suspensa das etapas 2 e 4 com a etapa 1, nas quais a carga orgânica afluyente aplicada foi praticamente a mesma, observou-se um decréscimo da concentração média de sólidos suspensos voláteis no reator aeróbio a medida que se aumentou o volume de Biobob® no sistema, passando de 2954 ± 264 mg SSV/L na primeira etapa para 2328 ± 266 mg SSV/L e 1852 ± 418 mg SSV/L, respectivamente, para a segunda e quarta etapas.

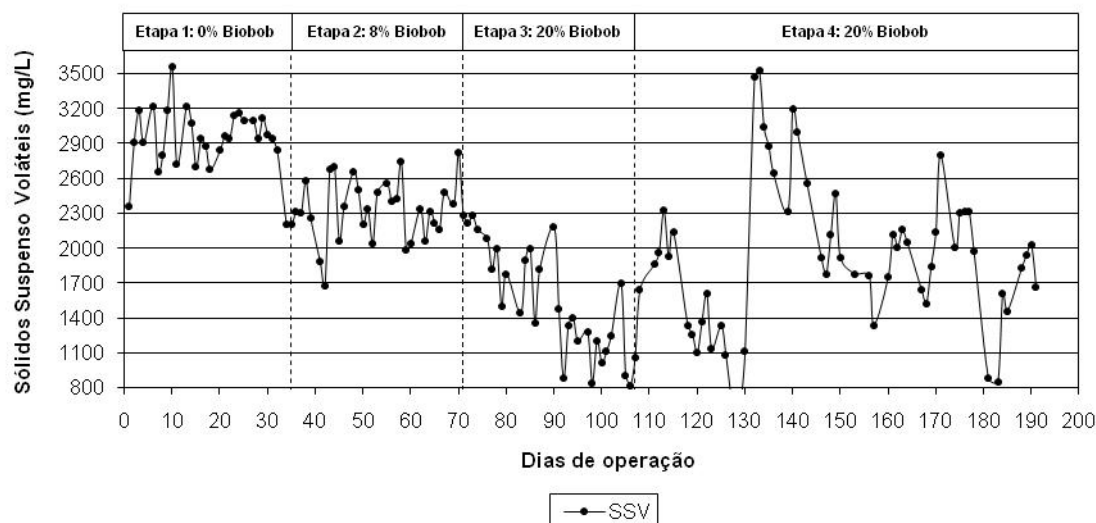


Figura 13: Concentração de sólidos suspensos voláteis no reator aeróbio ao longo do tempo de operação.

Em todo o experimento, descartou-se durante a fase de aeração $3,6 \text{ m}^3$ de lodo do reator aeróbio diariamente, mantendo a idade do lodo constante ao longo de toda a operação (7 dias). Assim, pôde-se calcular a massa de sólidos suspensos descartada por dia, a qual foi considerada como a massa de lodo produzida diariamente pelo sistema em regime estável de operação. A produção média de lodo para as etapas 1 a 4 foram de $10,6 \pm 0,9$ kg SSV/d, $8,3 \pm 1,0$ kg SSV/d, $5,6 \pm 1,7$ kg SSV/d e $6,6 \pm 1,5$ kg SSV/d, respectivamente.

Os resultados mostraram que adicionando-se 8% e 20% do volume do reator aeróbio de Biobob® foi possível reduzir a produção mássica de lodo em 22% e 37%, respectivamente, mantendo-se a mesma qualidade do efluente tratado ($\text{DBO} < 60 \text{ mg/L}$ e $\text{N-Amoniacal} < 20 \text{ mg/L}$). Fazendo-se uma regressão polinomial de segunda ordem com os resultados (Figura 14), obtêm-se a seguinte equação com $R^2 = 1$:

$$P_{\text{Lodo}} = 7,1183 \times (V_{\text{Biobob}})^2 - 3,2895 \times V_{\text{Biobob}} + 1$$

Onde:

$P_{\text{Lodo}} [\%]$: Fração de lodo produzida pelo sistema com Biobob® em relação ao sistema sem Biobob®

$V_{\text{Biobob}} [\%]$: Fração do volume de Biobob® adicionado no sistema em relação ao volume do reator aeróbio

Como apresentado na Figura 14, considerando uma situação hipotética de aumento em 33% da carga orgânica aplicada ao sistema, nota-se que a partir da adição de 10% do volume do reator aeróbio de Biobob® haverá uma diminuição da produção de lodo se comparado ao sistema sem antes do aumento da carga e sem adição de Biobob®.

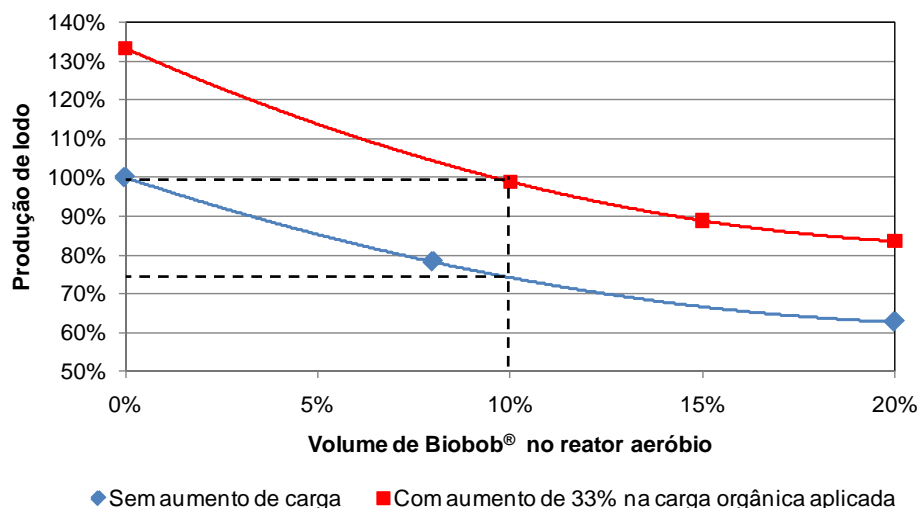


Figura 14: Produção de lodo em função do volume de Biobob® para a condição sem aumento de carga e para a condição com 33% a mais de carga orgânica aplicada.

CONCLUSÃO

Com os resultados alcançados na operação da planta piloto, pode-se concluir que a adição do material suporte Biobob® foi efetivo para a imobilização da biomassa presente no reator aeróbio de lodos ativados cíclico (CASS®), mostrando ser uma ferramenta viável para a diminuição dos custos operacionais com disposição do lodo e para o aumento da capacidade de tratamento sem a modificação da estrutura física da ETE.

Adicionando-se Biobob® no sistema, a concentração de sólidos suspensos voláteis nos reatores diminui devido à adesão da biomassa suspensa no meio suporte. Os resultados mostraram que adicionando-se 8% e 20% do volume do reator aeróbio de Biobob® foi possível reduzir a produção mássica de lodo em 22% e 37%, respectivamente, mantendo-se a mesma qualidade do efluente tratado ($DBO < 60 \text{ mg/L}$ e $N\text{-Amoniacal} < 20 \text{ mg/L}$).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO JR., M. M. & CAVALHERO, A. (2007). Operação de Reator Combinado Anóxico-Aeróbio de Leito Fixo em Escala Piloto para Remoção de Material Orgânica e Nitrogênio de Água Residuária de Indústria Produtora de Aminoácidos. Anais do II Seminário do Projeto Temático "Desenvolvimento de Sistemas Combinados de Tratamento de Águas Residuárias Visando a Remoção de Poluentes e a Recuperação de Energia e de Produtos dos Ciclos de Carbono, Nitrogênio e Enxofre". p.197-205.
2. ARAUJO JR., M. M. & ZAIAT, M. (2009). An upflow fixed-bed anaerobic-aerobic reactor for removal of organic matter and nitrogen from L-lysine plant wastewater. Can. J. Civ. Eng. 36: 1085 - 1094.
3. METCALF & EDDY, INC. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th edition. McGraw Hill.