

## **BIORREATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO DE LEIO FIXO (BRC) TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO: RESULTADOS EM ESCALA PLENA**

**Moacir M. Araujo Jr.<sup>(1)</sup>**

Graduado em Engenharia Civil pela EESC-USP (2002), Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP (2006), pesquisador de pós-doutorado no Laboratório de Processos Biológicos da EESC-USP (2011-2015) e atual Diretor de Tecnologia na Bio Proj Tecnologia Ambiental. Experiência consolidada no desenvolvimento e aplicação de tecnologias para processos de tratamento de águas residuárias. Responsável pelo projeto e implementação de diversas estações de tratamento de esgoto no Brasil.

**Alessandro Daré Oliva<sup>(2)</sup>**

Graduado em licenciatura plena e bacharelado com atribuições tecnológicas em Química Industrial pela Universidade do Sagrado Coração USQ (2001) e atual Analista Técnico na Bio Proj Tecnologia Ambiental. Possui experiência no planejamento de partida, comissionamento de processo e operação de plantas de tratamento de águas residuárias, com foco na implementação de análises laboratoriais para controle operacional e monitoramento da qualidade de tratamento das ETEs.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua XV de Novembro, 656 - Pq. Santa Mônica - São Carlos - SP - CEP: 13261-206 - Brasil - Tel: +55 (16) 3416-7110 - e-mail: moacir@bioproj.com.br

### **RESUMO**

O presente trabalho apresenta os resultados da operação em escala plena de reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo, utilizando Biobob<sup>®</sup> como meio suporte para adesão da biomassa. O Biorreator Combinado (BRC) possui dimensão interna de 12,00 m x 12,00 m, com altura útil de 11,35 m, sendo 3,75 m do reator anaeróbio e 7,60 m do reator aeróbio, com volume útil total de 1305 m<sup>3</sup>. Mesmo com muitas variações de vazão e carga aplicadas ao sistema, o BRC apresentou eficiências de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos muito satisfatórias ao longo de todo o período operacional, mantendo as concentrações de DQO e SST no efluente tratado abaixo dos níveis exigidos pela legislação ambiental, com valores médios de 51 ± 21 mg/L e 14 ± 12 mg/L, respectivamente. Durante o período operacional, as eficiências médias de remoção de DQO e SST foram de 88 ± 6% e 90 ± 9%. No período monitorado (336 dias), a DQO média afluente foi de 432 ± 105 mg/L, com mínima de 195 mg/L e máxima de 1051 mg/L. Para SST, a média afluente foi de 173 ± 82 mg/L, com mínima de 54 mg/L e máxima de 800 mg/L.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biorreator Combinado, leito fixo, reator anaeróbio-aeróbio.

### **INTRODUÇÃO**

O tratamento de esgoto sanitário é um grande desafio, atualmente no Brasil, dado o crescimento populacional, a falta de infraestrutura em saneamento, o custo operacional e de implementação das plantas, juntamente ao atendimento à legislação ambiental. O que pode ser comprovado, através da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, a qual mostrou que somente 55,2% dos municípios brasileiros possuem rede coletora de esgotos sanitários, e apenas 28,5% realizam algum tipo de tratamento dos esgotos coletados (IBGE, 2010).

Historicamente, o tratamento de esgoto sanitário tem sido realizado por processo aeróbio. Desde o ano de 1960, os sistemas de lodos ativados convencionais e por aeração prolongada foram amplamente utilizados nas estações de tratamento de esgoto (ETE) brasileiras. Entretanto, apesar da excelente qualidade do efluente final, o tamanho das plantas, a necessidade de uma unidade posterior para separação da biomassa, a grande quantidade de lodo produzido e o elevado gasto energético para aeração determinaram a busca por outros processos de tratamento.

O desenvolvimento de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), operados com elevado tempo de retenção celular e baixo tempo de detenção hidráulica, revolucionaram o tratamento de águas residuárias industriais e de esgoto sanitário (Lettinga et al., 1980). O uso desses, para o tratamento de efluentes sanitário, têm-se mostrado economicamente vantajoso, devido à simplicidade operacional e o reduzido gasto energético, principalmente em regiões tropicais e subtropicais onde a temperatura ambiente favorece a digestão anaeróbia. O

Brasil é um exemplo mundial de utilização destes reatores para o tratamento de esgoto sanitário, com várias plantas em escala plena implementadas e em operação a décadas.

Aliados às grandes vantagens da tecnologia UASB, outros modelos de reatores foram desenvolvidos para o tratamento de esgoto sanitário nas ETÉs. As novas configurações investiram na redução dos custos de operação e implantação, juntamente à minimização dos problemas operacionais relacionados à manta de lodo dos reatores anaeróbios. Um desses modelos é o reator anaeróbio híbrido (HANR), desenvolvido pela BIOPROJ para tratamento de esgoto, que caracteriza-se por apresentar uma camada de material suporte (Biobob<sup>®</sup>), a qual auxilia na adesão da biomassa acima da manta de lodo.

O Biobob<sup>®</sup> é constituído por uma matriz de espuma de PU envolta por estrutura externa rígida de polipropileno para a adesão de biomassa microbiana. O uso dessa tecnologia maximiza a concentração de biomassa na área de reação, melhora o desempenho e permite velocidades ascensionais elevadas em reatores mais compactos (Araujo, 2014).

O Biobob<sup>®</sup> dispõe de várias vantagens em relação aos outros tipos de suportes disponíveis no mercado, como: capacidade de reter alta quantidade de biomassa sem prejuízo à hidrodinâmica do reator, aumentando substancialmente a eficiência do sistema; proporcionar, simultaneamente, alta porosidade do leito reacional, evitando o acúmulo excessivo de biomassa; não necessitar de lavagens para remover o excesso de biofilme formado; e conter baixa compressibilidade e alta resistência mecânica, o que possibilita a utilização em plantas em escala plena.

Apesar das expressivas vantagens e avanços da tecnologia anaeróbia, sistemas de pós-tratamento para remoção de matéria orgânica remanescente e nitrogênio amoniacal são indispensáveis para obtenção de efluente líquido final de qualidade para atendimento aos requisitos da legislação ambiental. Outro fator limitante para a utilização de reatores anaeróbios em centros urbanos é a geração de odores desagradáveis, presentes no biogás. Esta produção de maus odores tem causado grande impacto social na maioria das cidades que usam esta tecnologia, inviabilizando muitas vezes a sua utilização.

A necessidade de atendimento aos requisitos restritivos da legislação ambiental em relação à qualidade do efluente final e redução de odores das “ETÉs” levou a empresa BIOPROJ a desenvolver um reator biológico de leito fixo (utilizando Biobob<sup>®</sup> como meio suporte da biomassa) com combinação dos processos anaeróbio e aeróbio na mesma unidade. O reator é caracterizado por ser de fluxo ascendente, com uma etapa anaeróbia na parte inferior sobreposta por uma aeróbia. Essa tecnologia é chamada, comercialmente, de Biorreator Combinado (BRC) e a configuração possibilita a construção de estações mais compactas (verticalizadas), com custos de implantação e operação significativamente menores do que as configurações convencionais (UASB + Lodos Ativados). Outro fator importante é a oxidação na etapa aeróbia dos gases odoríficos gerados na etapa anaeróbia, anteriormente ao lançamento na atmosfera.

Considerando as desvantagens relacionadas aos sistemas convencionais apresentados para o tratamento de esgoto e visando o atendimento às condições restritivas da legislação, apontam-se que as alternativas tecnológicas eficientes e econômicas são necessárias e urgentes. Essas opções devem ser direcionadas para redução do uso dos insumos inerentes aos processos biológicos convencionais e para o aprimoramento dos processos biológicos.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta os resultados operacionais do Biorreator Combinado (BRC) no tratamento de esgoto sanitário em escala plena, como alternativa viável ao mercado de saneamento pela capacidade de operar com gasto energético reduzido e baixa produção de lodo, mantendo elevada redução de matéria orgânica e sólidos suspensos, por meio de tecnologia totalmente nacional.

## **METODOLOGIA**

O presente trabalho monitorou a partida e operação (336 dias) da Estação de Tratamento de Esgoto Esplanada, localizada na cidade de Campos dos Goytacazes – RJ. Essa ETE, operada pela Concessionária Águas do Paraíba – Grupo Águas do Brasil, iniciou as atividades operacionais em agosto/2018, com capacidade de tratar 90 L/s em dois módulos paralelos de 45 L/s.

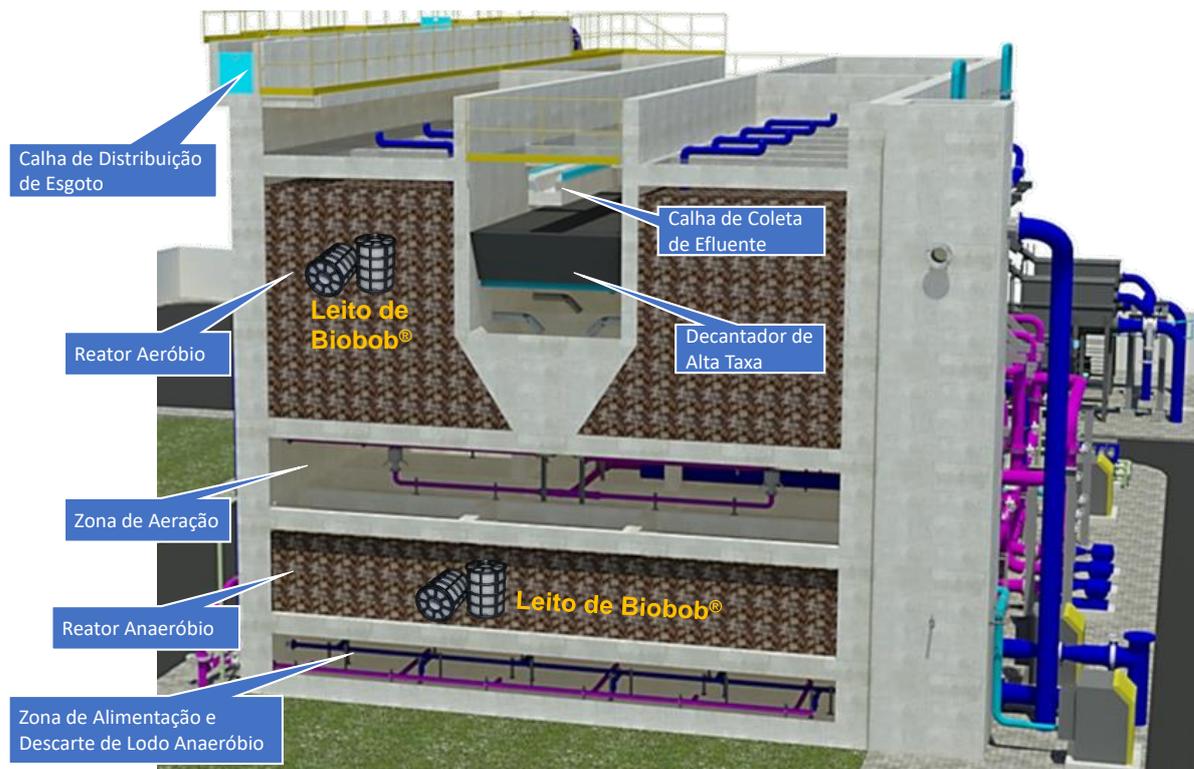
A vista em planta da ETE Esplanada é apresentada na Figura 1, sendo as principais operações unitárias descritas a seguir:

- Elevatória de esgoto de final de rede (EEE Bruto);
- Tratamento preliminar mecanizado com peneira rotativa (#3mm), caixa de areia aerada e remoção de gordura;
- Elevatória de esgoto pré-tratado (EEE Pré-Tratado);
- Tratamento secundário com reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo seguido de decantador de alta taxa (2 unidade de 45 L/s);
- Sistema de desidratação de lodo composto por adensador mecanizado e centrífuga horizontal;
- Sistema de filtração a disco para reuso de água na planta.



**Figura 1 – Vista em planta da ETE Esplanada**

Cada Biorreator Combinado (BRC) possui dimensão interna de 12,00 m x 12,00 m, com altura útil de 11,35 m, sendo 3,75 m do reator anaeróbio e 7,60 m do aeróbio, com volume útil total de 1305 m<sup>3</sup>. O decantador secundário, localizado na parte central superior do reator, possui dimensão de 3,00 m x 12,00 m e área superficial de 36 m<sup>2</sup>. Tanto na fase anaeróbia quanto na aeróbia utilizou-se Biobob<sup>®</sup> como meio suporte para adesão da biomassa, respectivamente, 200 m<sup>3</sup> e 450 m<sup>3</sup> em cada reator. Na Figura 2 é apresentado um corte transversal do Biorreator Combinado (BRC) em que se pode visualizar as diferentes zonas internas do reator.



**Figura 2 – Corte transversal do Biorreator Combinado (BRC)**

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as vistas frontais e em perspectiva da ETE Esplanada, sendo possível observar os equipamentos e tubulações utilizados no sistema de tratamento.



**Figura 3 – Vista Frontal do Tratamento Secundário da ETE Esplanada**



**Figura 4 – Vista em perspectiva do Tratamento Secundário e Desidratação de Lodo da ETE Esplanada**

Amostras compostas da entrada (P1) e da saída (P2) do reator biológico foram coletadas continuamente por sistema de bombeamento, onde as vazões de coleta eram balanceadas conforme a variação da vazão de tratamento da estação (intertravadas pelo CLP). Assim, essas amostras representavam de forma muito próxima a média diária ao longo das 24 h de operação. Na Figura 5 é mostrado o sistema utilizado para coleta composta das amostras.



**Figura 5 – Pontos de instalação e detalhe do sistema de coleta das amostras compostas.**

O sistema foi monitorado diariamente pela operação da planta, com análises das amostras no laboratório interno da ETE, conforme parâmetros e frequência descritos na Tabela 1. Para efeito de acompanhamento científico dos

parâmetros, apenas um reator biológico foi monitorado, sendo os resultados apresentados neste trabalho referentes ao Reator A.

**Tabela 1 – Parâmetros analisados, frequência de amostragem e método analítico.**

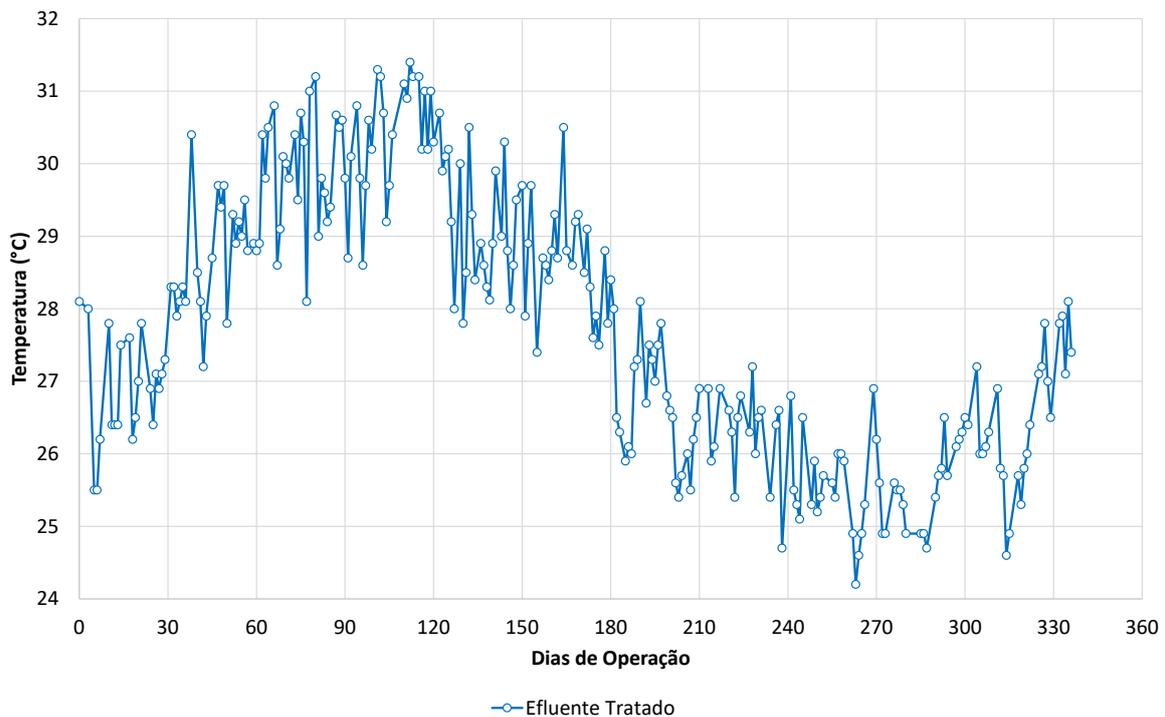
Parâmetros	Unidade	Método	Referência do Método	Tipo de Amostragem	Esgoto P 1	Efluente P2	Reator P 3	Frequência
Vazão de esgoto	m <sup>3</sup> /d	Medidor Magnético	-	On-line (CLP)	-	✓	-	Contínua
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	Espectrofotométrico	SMEWW Method 5220	composta 24h	✓	✓	-	5x por semana
DQO Filtrada	mg O <sub>2</sub> /L	Espectrofotométrico	SMEWW Method 5220	composta 24h	✓	✓	-	5x por semana
SST	mg/L	Gravimétrico	SMEWW Method 2540	composta 24h	✓	✓	-	5x por semana
Temperatura	°C	Termométrico	-	Pontual	-	-	✓	diária
pH	pH	Potenciométrico	-	composta 24h	✓	✓	-	5x por semana
Oxigênio Dissolvido	mg O <sub>2</sub> /L	Sonda	-	On-line (CLP)	-	-	✓	Contínua

SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 2017, 23th ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington DC, USA.

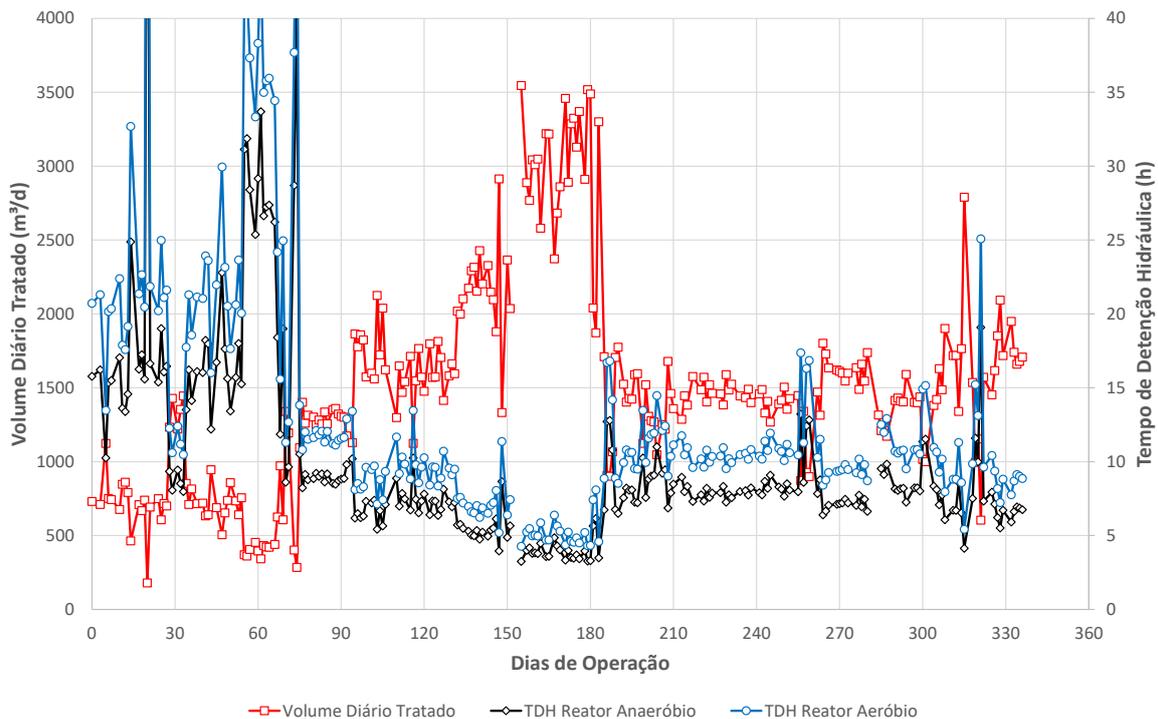
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desde a sua partida, a planta foi monitorada por 336 dias ininterruptos, com temperatura média do efluente de  $28 \pm 2$  °C, tendo mínima de 24°C e máxima de 31°C, no período, conforme mostrado no gráfico da Figura 6.

A partida foi realizada sem a inoculação dos biorreatores com biomassa proveniente de outras estações, sendo assim colonizados naturalmente pelos microrganismos presentes no esgoto afluente. Para tanto, durante os primeiros 60 dias de operação, os reatores biológicos foram alimentados com baixas vazões afluentes, com tempo de detenção hidráulica total (TDH) superior a 30 h, criando ambiente propício para a colonização natural da biomassa anaeróbia e aeróbia. Após este período, como observado no gráfico (Figura 7), iniciou-se uma rampa de alimentação com o aumento da vazão de esgoto bruto e consequente aumento da carga aplicada ao sistema e diminuição do TDH dos reatores.



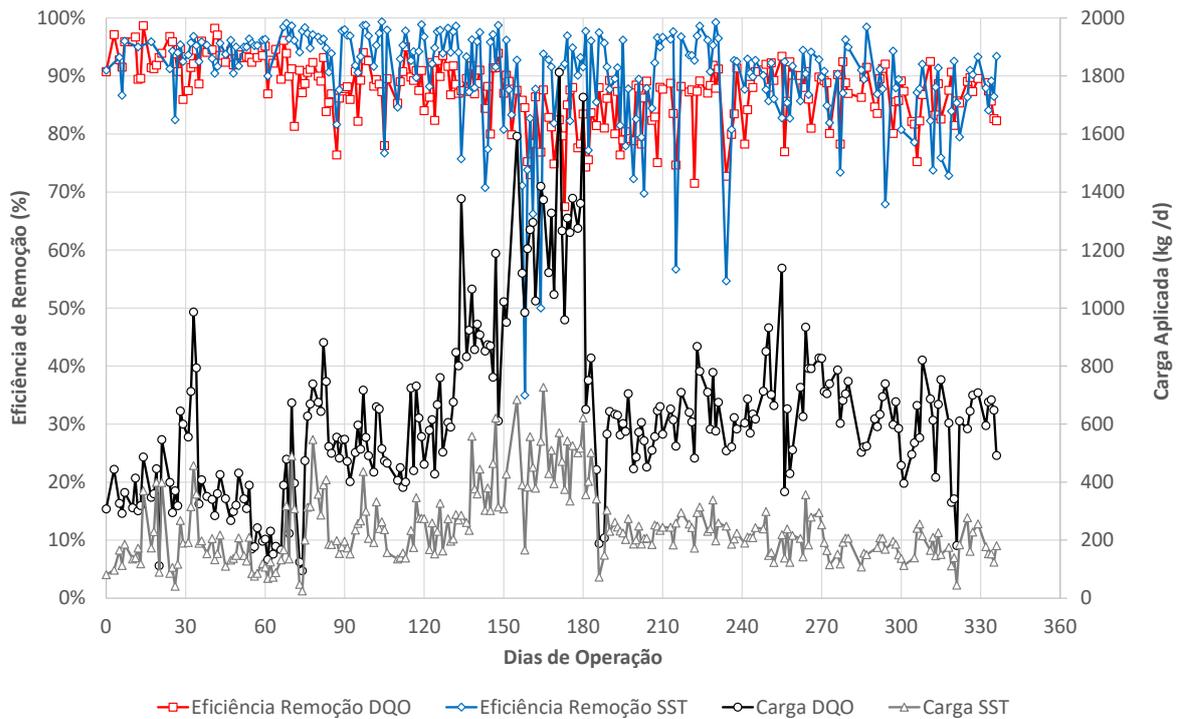
**Figura 6 – Variação da temperatura do reator biológico ao longo do período operacional monitorado.**



**Figura 7 – Variação da vazão af luente de esgoto e do TDH em cada zona de tratamento do Biorreator Combinado (reator anaeróbico e reator aeróbico).**

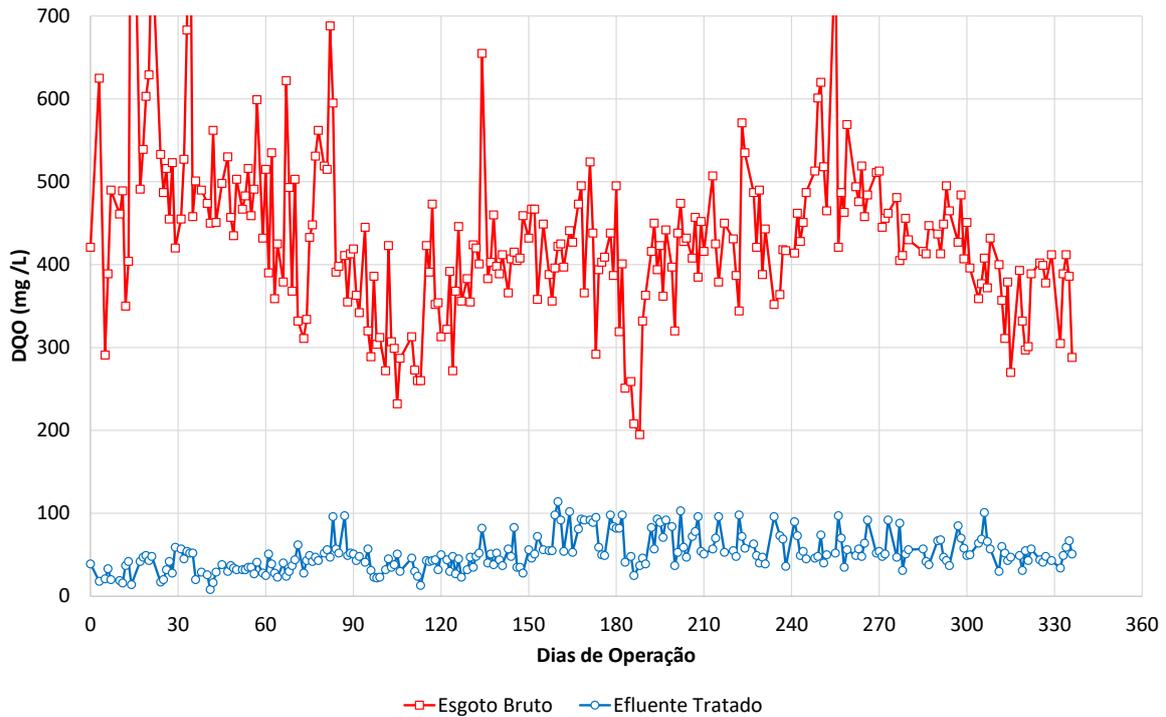
Mesmo com as variações de vazão e cargas aplicadas ao sistema, o Biorreator Combinado apresentou eficiências de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos af luente muito satisfatória ao longo de todo o período operacional (Figura 8), mantendo as DQO e SST no efluente tratado abaixo dos níveis exigidos pela legislação, com valores médios de  $51 \pm 21$  mg/L e  $14 \pm 12$  mg/L, respectivamente. No período monitorado (336 dias), a DQO média af luente de foi de  $432 \pm 105$  mg/L, com mínima de 195 mg/L e máxima de 1051 mg/L. Para SST, a média af luente foi de  $173 \pm 82$  mg/L, com mínima de 54 mg/L e máxima de 800 mg/L. Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os resultados diários de entrada e saída dos reatores biológicos (amostras compostas) para os parâmetros de DQO e SST.

Considerando todo o período operacional, as eficiências médias de remoção de DQO e SST foram de  $88 \pm 6\%$  e  $90 \pm 9\%$ . Mesmo no período de maior carga aplicada e com menor TDH dos reatores, entre os dias 150 e 180, a eficiência global do sistema se manteve alta, com valores médios para este período de  $82 \pm 6\%$  e  $84 \pm 15\%$ , respectivamente para remoção de DQO e SST. Neste período, o tempo de detenção hidráulica médio nos reatores anaeróbico e aeróbico foi de  $4 \pm 1$  h e  $5 \pm 1$  h, na ordem respectiva, obtendo efluente tratado com média de  $74 \pm 21$  mg DQO/L e  $23 \pm 17$  mg SST/L.

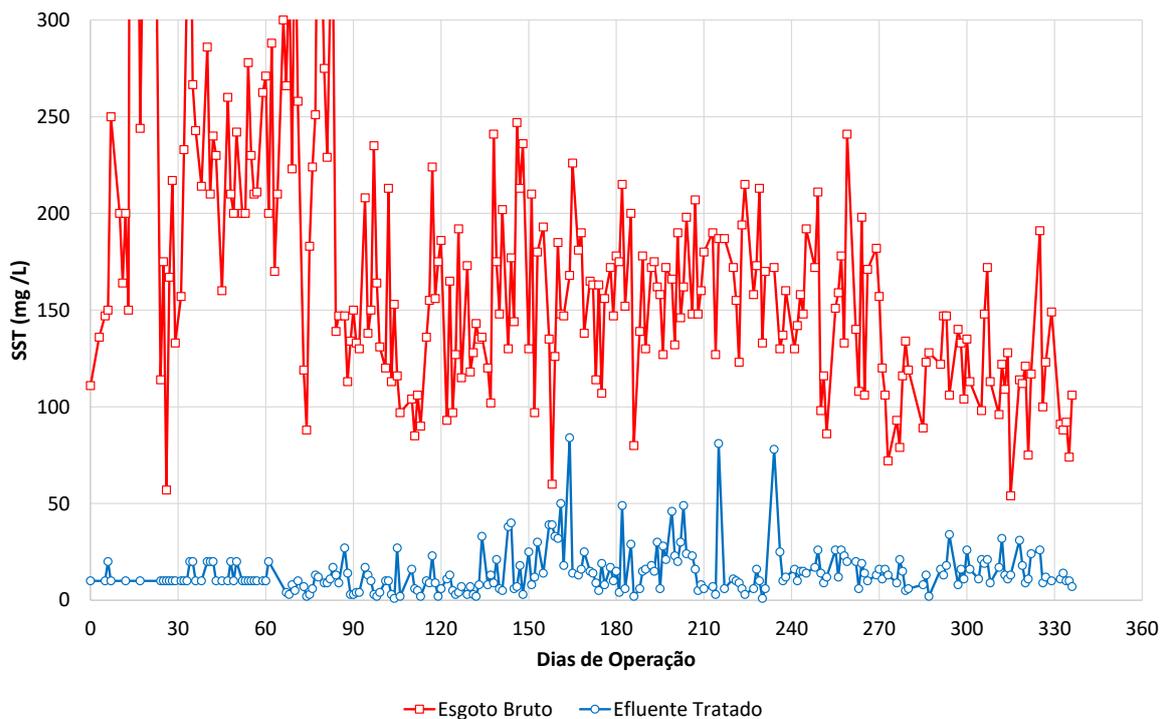


**Figura 8 – Cargas aplicadas e eficiência de remoção de DQO e SST ao longo da operação do Biorreator Combinado.**

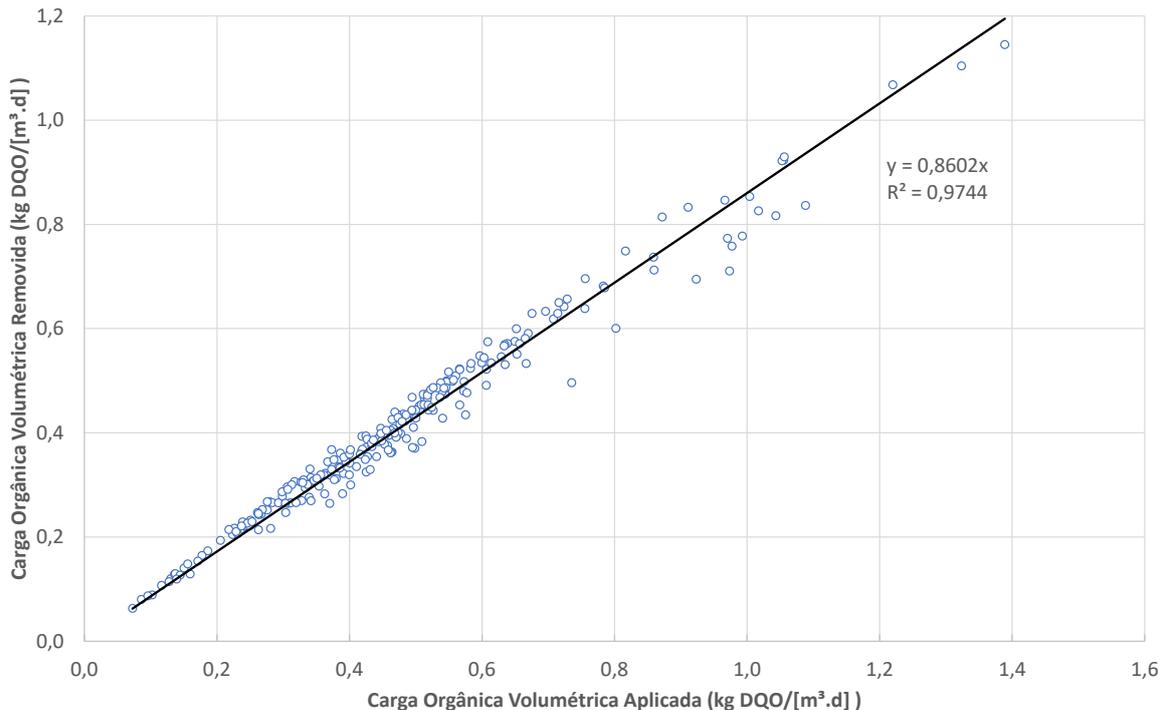
Plotando-se a carga orgânica volumétrica removida ( $COV_R$  [kg/(m<sup>3</sup>.d)] = carga de DQO removida [kg/d] / volume útil total do reator biológico [m<sup>3</sup>]) em função da carga orgânica volumétrica aplicada ( $COV_A$  [kg/(m<sup>3</sup>.d)] = carga de DQO aplicada [kg/d] / volume útil total do reator biológico [m<sup>3</sup>]) obtêm-se a regressão linear ( $R^2 = 0,97$ ) apresentada na Figura 11. Neste gráfico, pode-se observar que a eficiência de remoção de DQO não varia em função da carga aplicada para o range monitorado, sendo a relação  $COV_R/COV_A$  constante e igual a 0,86 para cargas aplicadas entre 0,7 a 1,3 kg DQO/(m<sup>3</sup>.d), o que evidencia a robustez do sistema de tratamento, que mesmo diante de uma grande variação da carga afluente de DQO, manteve-se com alta eficiência de remoção.



**Figura 9 – DQO afluente e efluente ao reator biológico (amostras compostas) ao longo do período operacional.**



**Figura 10 – SST afluente e efluente ao reator biológico (amostras compostas) ao longo do período operacional.**



**Figura 11 – Carga orgânica volumétrica removida em função da carga orgânica volumétrica aplicada ao Biorreator Combinado.**

## CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados, pode-se concluir que o biorreator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo torna-se uma alternativa promissora na substituição das tecnologias convencionais de tratamento de esgoto, pois consegue agregar as vantagens operacionais dos processos anaeróbio e aeróbio em reator único e compacto, mantendo as concentrações de DQO e SST no efluente tratado abaixo dos níveis exigidos pela legislação, com valores médios de  $51 \pm 21$  mg/L e  $14 \pm 12$  mg/L, respectivamente.

Mesmo com altas cargas aplicadas ( $1,3$  kg DQO/[m³.d]) e baixo TDH (9 h no total), o sistema alcançou altas eficiências de remoção de DQO e SST, respectivamente  $82 \pm 6\%$  e  $84 \pm 15\%$ , com concentrações médias efluentes de  $74 \pm 21$  mg DQO/L e  $23 \pm 17$  mg SST/L.

Outra vantagem do sistema BRC observada durante o período monitorado foi a ausência de maus odores na estação, pois todo o  $H_2S$  e ácidos orgânicos gerados na etapa anaeróbia foram oxidados na etapa aeróbia, tornando possível a sua implantação próxima a bairros residenciais, como o caso da ETE Esplanada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio institucional do Grupo Águas do Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO, P.L.S. Desempenho de reator anaeróbio híbrido (leito fixo e manta de lodo) tratando esgoto sanitário em escala piloto. Dissertação apresentado ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, São Carlos-SP. 2014.
2. LETTINGA G, van VELSEN A.F.M., HOBMA S.W., de ZEEW W., Klapwijk A. *Use of upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, specially for anaerobic treatment*. Biotechnol Bioeng, 22:699–734.1980.
3. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington DC, USA. 2005.*