



II-285 - EXPERIÊNCIA PRÁTICA COM A INOCULAÇÃO DE REATORES UASB EM ESCALA PLENA: ESTUDO DE CASO DA ETE LABOREAUX EM ITABIRA - MG

Thaiza Clemente Couto⁽¹⁾

Engenheira de Meio Ambiente pela Universidade Federal do Tocantins. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Paulo Gustavo Sertório de Almeida⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Yara Silveira de Lacerda⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Silvia Maria Alves Correa Oliveira⁽⁴⁾

Engenheira eletricista. Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo⁽⁵⁾

Engenheiro civil (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental (Universidade de Newcastle Upon Tyne, TYNE – Inglaterra). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Bambui, n° 1.020, Apt 202 - Bairro Anchieta – Belo Horizonte – Minas Gerais - CEP: 30.310-320 - Brasil - Tel: +55 (31) 9402 2388 - e-mail: thaizacouto@yahoo.com.br

RESUMO

Embora nos últimos anos diversas instituições de pesquisa e empresas de saneamento tenham contribuído significativamente para a evolução e disseminação do tratamento anaeróbico no Brasil, poucos são os relatos de estudos que apresentam comparação entre partidas de reatores UASB operando em escala real. Diante dessa lacuna e com intuito de apresentar uma consolidação de informações acerca do assunto, o presente trabalho visa avaliar o desempenho de reatores UASB em escala real operando com diferentes cargas biológicas iniciais durante o período de partida, tendo como foco principal a análise da estabilidade operacional dos reatores neste período de transições iniciais com vistas ao atendimento dos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental vigente no estado de Minas Gerais. Diante dos resultados encontrados, observa-se que embora tenham sido evidenciadas diferenças nos parâmetros de avaliação da eficiência e estabilidade operacional, em especial DBO, DQO e AGV, entre os reatores inoculados sob diferentes cargas biológicas iniciais, do ponto de vista estatístico não foram observadas diferenças significativas entre as condições de partida. Ressalta-se que as variações concentram-se na fase inicial da partida e que após 80 dias de operação houve uma estabilização das condições operacionais entre os diferentes reatores. No entanto, a estabilização operacional não foi suficiente para garantir o atendimento dos padrões de lançamento de DBO e DQO estabelecidos pela DN COPAM/CERH 01/08. Desta forma recomenda-se que as condições de partida dos reatores UASB sejam estabelecidas em função do pós-tratamento empregado e na avaliação da capacidade suporte do mesmo em tratar um efluente com características variáveis ao longo do tempo necessário para estabilização dos reatores que foram inoculados com condições menos favoráveis.

PALAVRAS-CHAVE: partida de reatores UASB, esgoto doméstico, experiência prática.

INTRODUÇÃO

A partida dos reatores UASB pode ser entendida como um período de transições iniciais marcado por instabilidades de processo onde a biomassa está se adaptando ao substrato afluente, podendo ser basicamente efetuada utilizando-se ou não lodo de inóculo. Caso a opção seja a utilização de lodo de inóculo, o volume ideal deverá ser determinado em função da carga biológica (kgDQO/kgSTV.d) inicial que será aplicada ao sistema de tratamento. Os valores dependerão basicamente do tipo de inóculo empregado e da atividade metanogênica específica (AME) apresentada pelo mesmo. Valores comumente encontrados situam-se entre 0,10 e 0,50 kgDQO/kgSTV.d (CHERNICHARO, 2007).

Ressalta-se que a aplicação de cargas biológicas situadas na faixa recomendada resulta em elevados volumes



de lodo de inóculo o que reflete em custos com transporte do material. Adicionalmente, a depender dos volumes resultantes aspectos operacionais para transporte e inoculação devem também ser considerados. Nesse sentido, tais questões podem, via de regra, dificultar a aplicação prática dos critérios de cargas biológicas baseadas nos valores de AME. Desta forma, grande parte dos sistemas é inoculada empiricamente em função do percentual de volume dos reatores. Um valor usualmente adotado encontra-se em torno de 10% do volume reacional do UASB (PIERROTI, 2007).

Alguns trabalhos têm demonstrado desempenhos similares, considerando a partida de reatores operando com cargas biológicas variadas (valores baseados na AME, valores intermediários e até mesmo sem inóculo). Contudo, exemplos de insucesso são relatados quando a partida de reatores foi realizada sem a adição de inóculo (GHANGREKAR *et al.*, 2004; PIERROTI, 2007).

Chernicharo (2007) destaca que desde o início dos anos 80 o uso da tecnologia anaeróbia vem passando por uma trajetória entre o descrédito e aceitação. Portanto, os insucessos de partida de reatores UASB podem vir a colocar essa etapa do processo como um entrave à ampla disseminação da tecnologia no país. Ademais, ressalta-se que embora nos últimos anos diversas instituições de pesquisa e empresas de saneamento tenham contribuído significativamente para a evolução e disseminação do tratamento anaeróbio no Brasil, poucos são os relatos de estudos que apresentam comparação entre partidas de reatores UASB operando em escala real.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho de reatores UASB em escala real operando em escala real com diferentes cargas biológicas iniciais durante o período de partida. Buscou-se analisar a estabilidade operacional dos reatores neste período de transições iniciais com vistas ao atendimento dos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental vigente no estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O trabalho fez parte uma série de estudos conduzidos mediante parceria firmada entre a UFMG o Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) da cidade de Itabira. A Estação de Tratamento de Esgotos avaliada (ETE Laboreaux) foi dimensionada para atender uma população de aproximadamente 130.000 habitantes a ser atingida em 2.029. A primeira etapa foi concluída no início de 2008, com capacidade para tratamento de aproximadamente 170 L/s, o que corresponde à vazão doméstica gerada por aproximadamente 70.000 habitantes e à vazão do Distrito Industrial da cidade.

A primeira etapa da ETE é composta por tratamento preliminar, oito Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB), dois Filtros Biológicos Percoladores (FBP) seguidos de decantadores secundários (DS) e unidade de desaguamento de lodo (filtros prensa). A Figura 1 apresenta vista aérea da estação.



Figura 1: Vista área da ETE LABOREAUX

Aparato experimental

O aparato experimental foi definido por quatro dos oito reatores UASB que compõem a ETE. A definição do número de reatores envolvidos na pesquisa foi realizada em função da disponibilidade de lodo existente para inoculação.

A Figura 2 apresenta desenho esquemático da ETE com destaque para os reatores envolvidos no trabalho e a Tabela 1 a descrição das principais configurações e características operacionais dos mesmos.

Tabela 1: Principais dimensões e características operacionais dos reatores UASB

Dimensões	Valores	Características operacionais *	Valores
Largura	6,20 m	Tempo de detenção hidráulica	7 horas
Comprimento	21,70 m	Carga hidráulica	2,98 m ³ /m ³ .d
Altura	4,50 m	Carga Orgânica	0,74 kgDBO/m ³ .d
Área	134,54 m ²	Velocidade ascensional	0,56 m/h
Volume útil	604,40 m ³	Eficiência de remoção de DBO	70 %

Obs: * Características estabelecidas no estudo de concepção da ETE

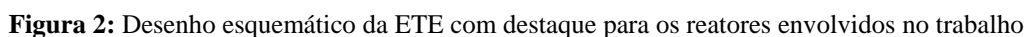


Tabela 2: Condições iniciais de partida e reatores relacionados

Obs: * AME do lodo de inóculo

Os procedimentos adotados durante a partida seguiram as orientações prescritas por Chernicharo (2007).

Para o presente trabalho serão apresentados apenas os dados de monitoramento da fase líquida com acompanhamento dos parâmetros de avaliação de eficiência (SST, DBO e DQO) e estabilidade operacional (pH, alcalinidade total e ácidos graxos voláteis - AGV). As análises foram realizadas no laboratório do SAAE e seguiram métodos descritos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*



(AWWA/APHA/WEF, 2005).

O delineamento das campanhas amostrais foi realizado com a previsão de duas coletas por semana nos pontos de coleta de esgoto bruto (caixa divisora de vazão – CDV 1) e efluentes de cada reator UASB (tubulações de coleta R1, R2, R3 e R4). , ademais com intuito de avaliar as características do efluente geral da ETE foi realizada uma composição entre os efluentes de cada reator, essa amostra recebeu o nome de RC.

As amostragens foram realizadas com composição de alíquotas ao longo de 24 horas de operação, a partir, A composição das amostras foi realizada manualmente da com a coleta de alíquotas horárias de aproximadamente 250 ml. As alíquotas eram transferidas para uma bombona de capacidade superior a 6 L (volume final a ser armazenado após as 24 horas de amostragem) e acondicionadas em refrigerador. Após a composição diária, as amostras eram encaminhadas para análise. Ademais, com intuito de avaliar as características do efluente geral da ETE, foi realizada uma composição entre os efluentes de cada reator, essa amostra recebeu o nome de RC.

Tratamento dos dados

Os dados foram avaliados por meio de estatística descritiva (sumário numérico) e exploratória (gráficos box-plot e séries temporais).

O desempenho de reatores UASB, operando com diferentes cargas biológicas iniciais, foi avaliado comparativamente, em função das concentrações efluentes e das eficiências alcançadas pelos diversos reatores, para determinação da melhor condição operacional. Esta avaliação foi efetuada por meio de testes estatísticos de comparação entre valores médios (Teste de Kruskal-Wallis). Adicionalmente, foi quantificado o percentual de atendimento alcançado pelos reatores aos padrões de lançamento vigentes no estado de Minas Gerais.

RESULTADOS

As Figuras 3 e 4 apresentam gráficos de série temporal e box-plot para as concentrações e eficiências de remoção do parâmetro DBO durante todo período de monitoramento.

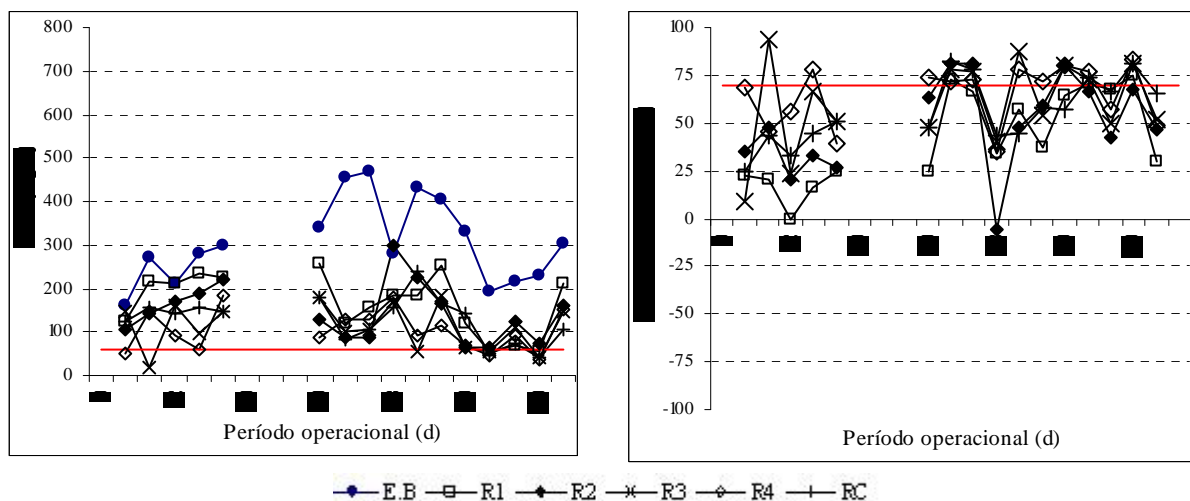


Figura 3: Série temporal das concentrações e eficiências de remoção de DBO

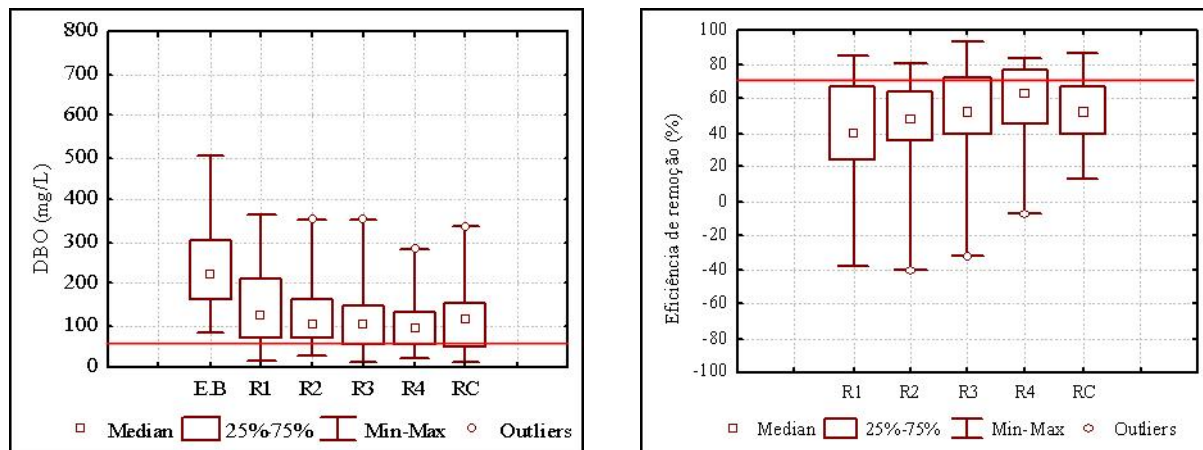


Figura 4: Box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DBO ao longo de 120 dias de operação

Avaliando-se os dados de maneira global, para todo o período de monitoramento (120 dias¹), observa-se um comportamento bastante similar entre os reatores inoculados com diferentes cargas biológicas iniciais. O R4, inoculado sob condição ideal (carga biológica tomando como base valor de AME), apresenta uma menor variabilidade de dados sem, contudo apresentar concentrações medianas efluentes que se diferenciem dos demais reatores.

Para as eficiências de remoção, observa-se uma tendência de aumento nas medianas quando passamos do reator que teve sua partida sob a condição menos favorável (sem inóculo - R1) para o R4. No entanto do ponto de vista estatístico (teste não paramétrico de Kruskal Wallis) não foram observadas diferenças significativas entre as concentrações efluentes ou eficiências de remoção de DBO entre os reatores avaliados.

A Figura 5 apresenta gráfico de percentis de atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela DN COPAM/CERH 01/08 para o parâmetro DBO ao longo dos 120 dias de operação.

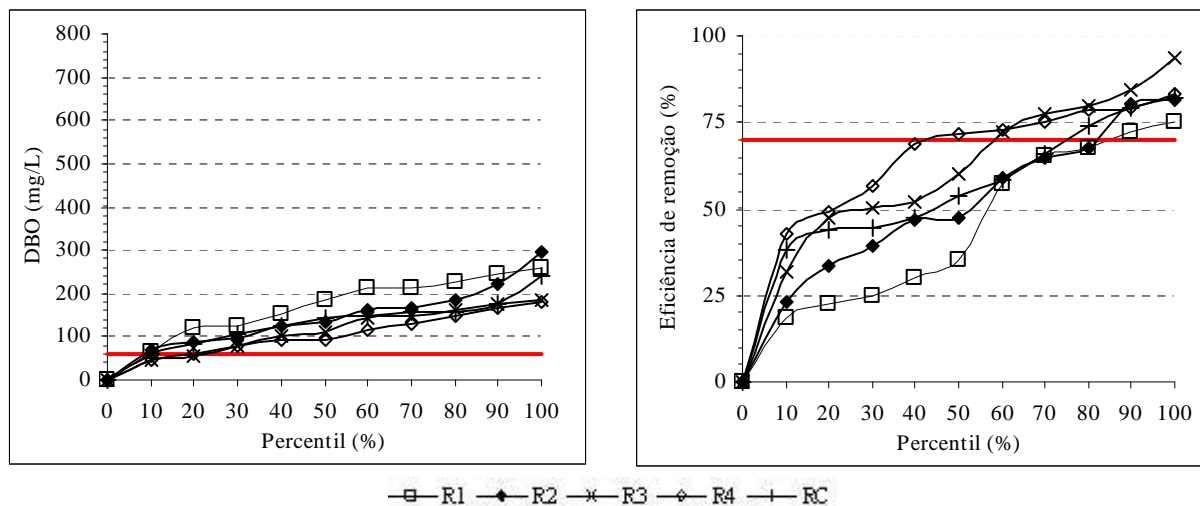


Figura 5: Percentis de atendimento aos limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH 01/08 para o parâmetro DBO ao longo de 120 dias de operação

O percentual de atendimento para o padrão de lançamento de DBO foi inferido a 20 % dos dados em todos os reatores avaliados. Quando se avalia a eficiência de remoção, o percentual de atendimento fica em torno de 20 a 30 %, no entanto, assim como observado nos gráficos box-plot de eficiências de remoção, nota-se o que reator R4 apresenta um melhor desempenho quando comparado aos demais, obtendo eficiências em torno de 50 % logo nos 10 dias iniciais de operação.

¹ A lacuna de dados de dados compreendida entre o 29º e 43º dia de operação ocorreu em função de problemas analíticos evidenciados nos resultados analisados



Com intuito de observar o comportamento dos reatores ao longo do período de partida foram estabelecidos períodos de 40 dias para apresentação de gráficos box-plot e análise estatística dos dados. Tal compartimentação foi realizada em função do número mínimo de amostras pó período ($n = 6$). As figuras 6 a 8 apresentam gráficos box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DBO referentes aos períodos 0 a 40, 40 a 80 e 80 a 120 dias de operação.

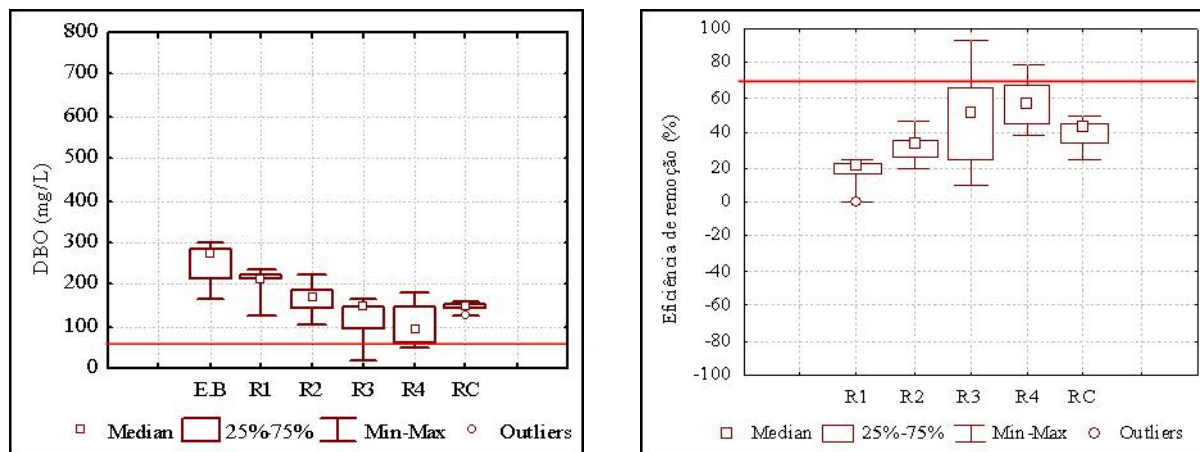


Figura 6: Box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DBO no período compreendido entre 0 e 40 dias de operação

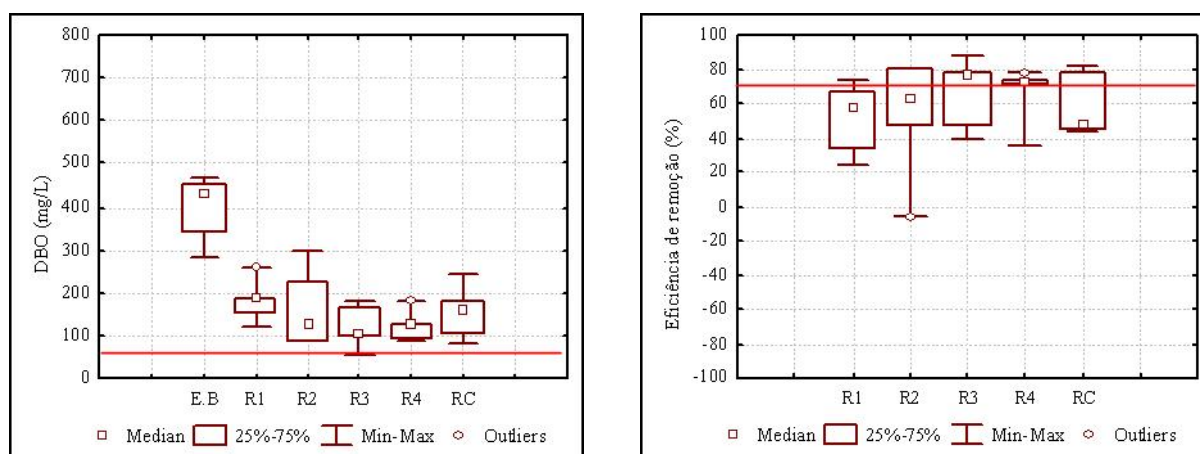


Figura 7: Box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DBO no período compreendido entre 40 e 80 dias de operação

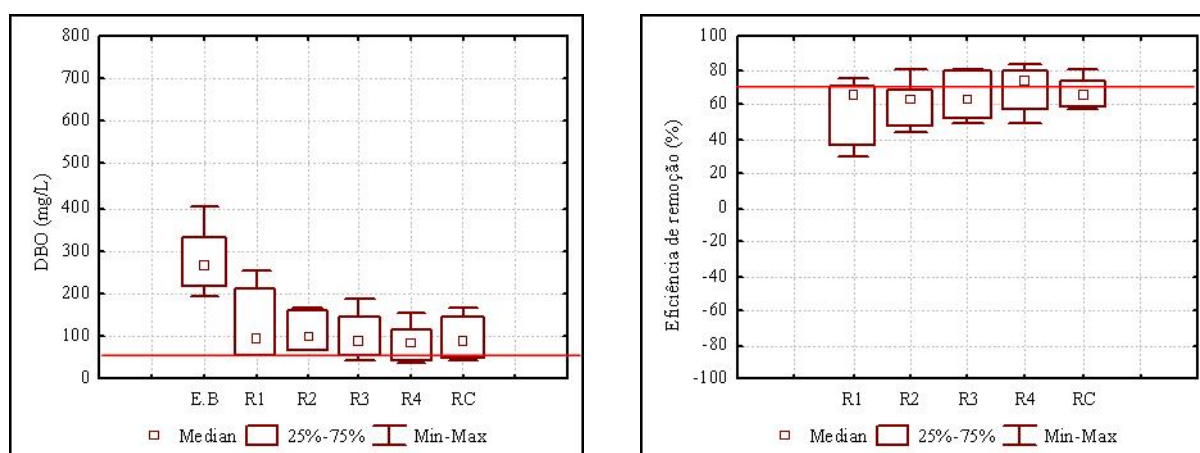


Figura 8: Box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DBO no período compreendido entre 80 e 120 dias de operação

Para o período compreendido entre o início da partida e os primeiros 80 dias de operação parece haver um comportamento diferenciado entre os reatores, com o R4 apresentando melhores resultados, tanto em termos de concentrações efluentes quanto de eficiências de remoção. No entanto, os testes estatísticos efetuados não detectaram diferenças significativas entre os resultados apresentados pelos quatro reatores. Tal fato pode ser atribuído ao pequeno número de dados disponíveis para análise.

Para as eficiências de remoção, o teste de Kruskal Wallis indicou diferença significativa apenas em relação aos reatores R1 e R4 (extremos do processo) nos primeiros 40 dias de operação. Para o período subsequente, as eficiências de remoção entre os reatores não se diferenciaram do ponto de vista estatístico.

As Figuras 9 e 10 apresentam gráficos de série temporal e box-plot para as concentrações e eficiências de remoção do parâmetro DQO durante todo período de monitoramento².

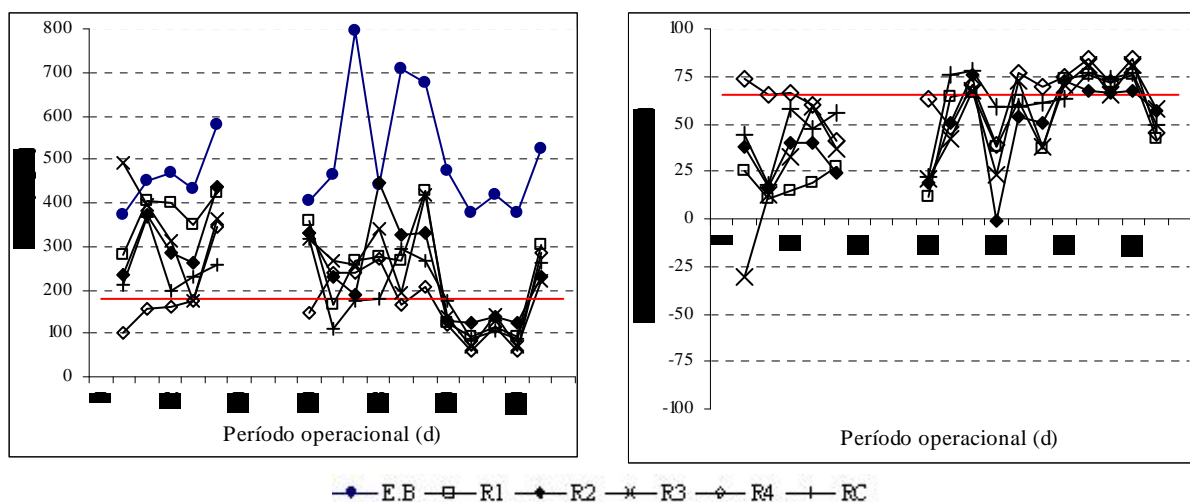


Figura 9: Série temporal das concentrações e eficiências de remoção de DQO

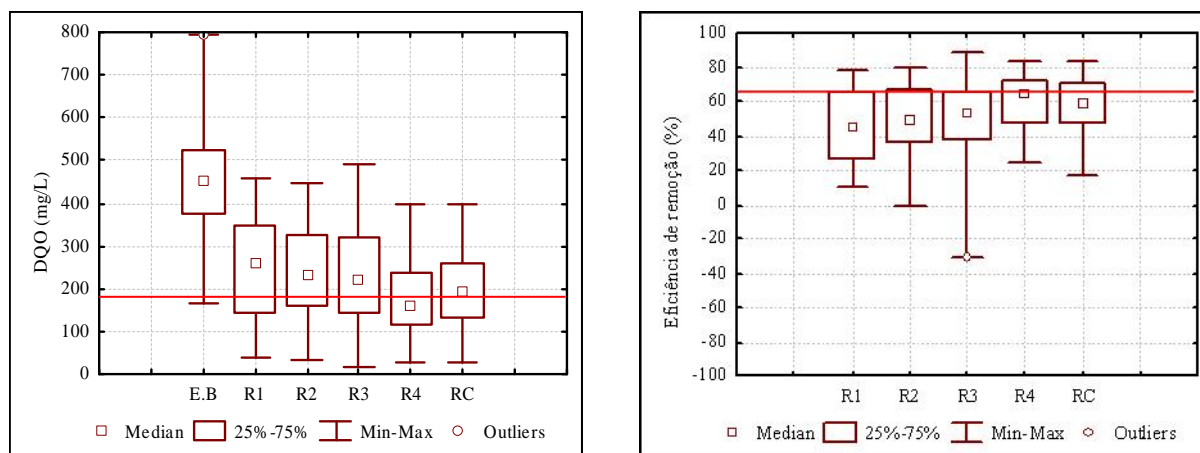


Figura 10: Box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DQO ao longo de 120 dias de operação

Para o parâmetro DQO, embora as concentrações medianas efluentes apresentem valores situados na faixa de 170 e 220 mg/L para os reatores R4 e demais reatores, respectivamente, também não foram encontradas diferenças estatísticas. A mesma observação é válida para as eficiências de remoção.

A Figura 11 apresenta gráfico de percentis de atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela DN

² A lacuna de dados de dados compreendida entre o 29º e 43º dia de operação ocorreu em função de problemas analíticos evidenciados nos resultados analisados



COPAM/CERH 01/08 para o parâmetro DQO ao longo dos 120 dias de operação.

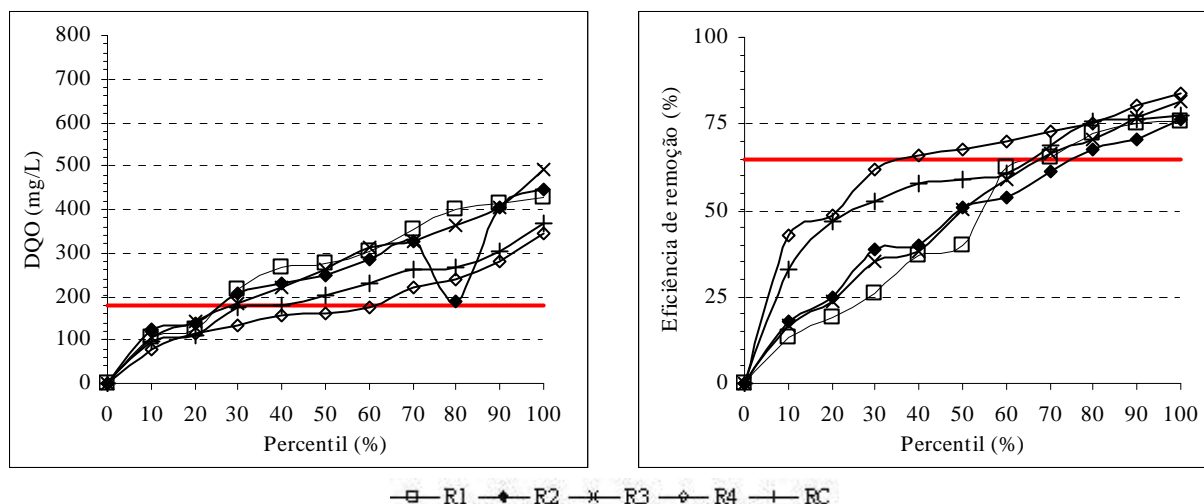


Figura 11: Percentis de atendimento aos limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH 01/08 para o parâmetro DQO ao longo de 120 dias de operação

Em relação ao percentual de atendimento das concentrações efluentes e eficiências de remoção, nota-se um melhor desempenho do reator 4, onde 60% dos dados atenderam tanto ao padrão de lançamento quanto a meta de eficiência de remoção estabelecida pela DN COPAM 01/08.

Assim como foi feito para o DBO, encontram-se nas figuras 12 a 14 os gráficos box-plot das concentrações efluentes e eficiências de remoção de DQO referentes aos períodos 0 a 40, 40 a 80 e 80 a 120 dias de operação.

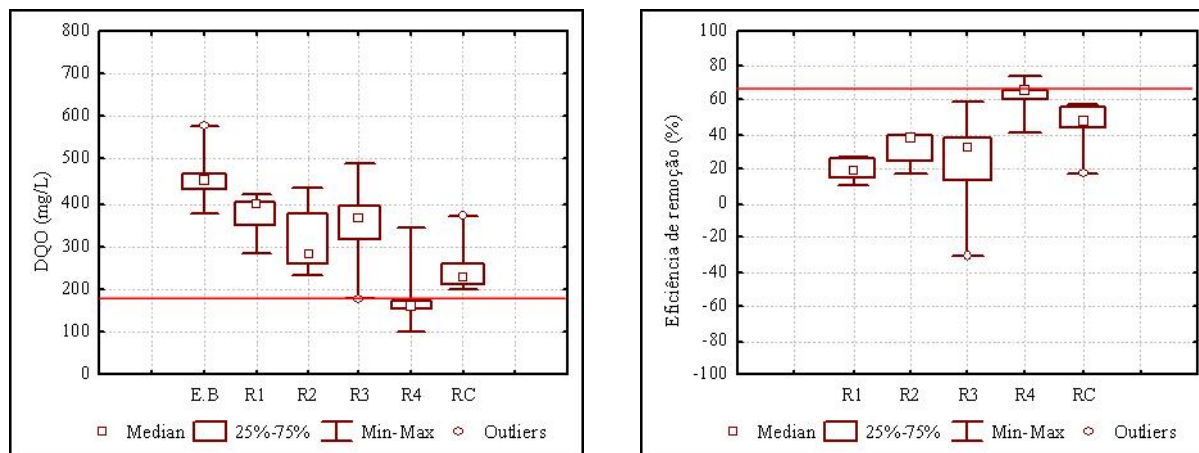


Figura 12: Box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DQO no período compreendido entre 0 e 40 dias de operação

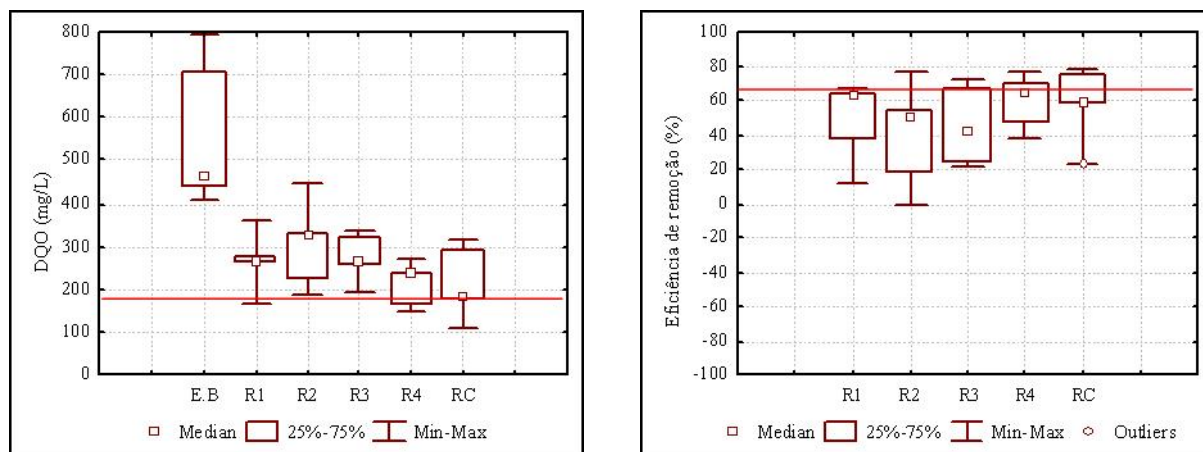


Figura 13: Box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DQO no período compreendido entre 40 e 80 dias de operação

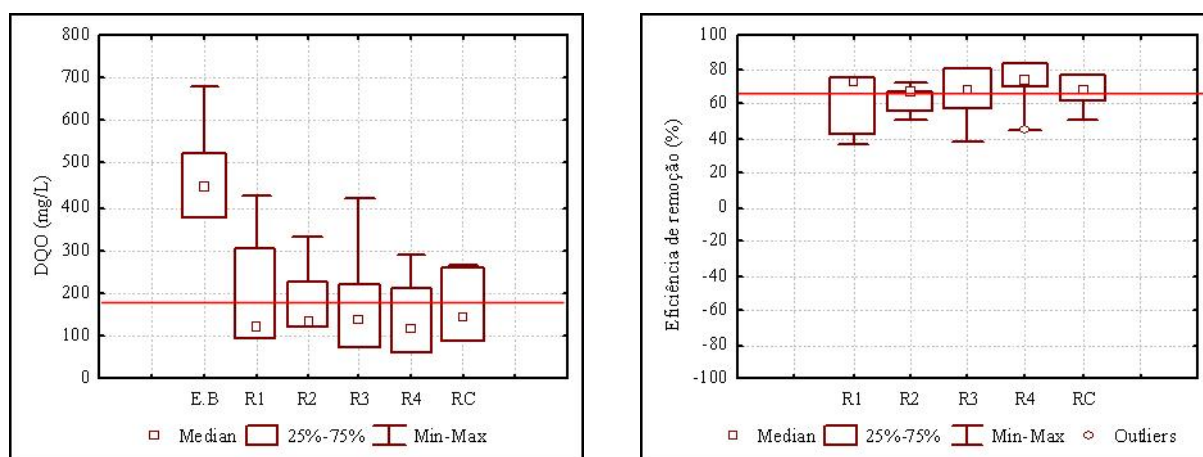


Figura 14: Box-plot das concentrações e eficiências de remoção de DQO no período compreendido entre 80 e 120 dias de operação

Também para a DQO, o melhor desempenho do reator 4 não foi confirmado pelos testes estatísticos, que detectaram diferença significativa apenas entre os reatores R1 e R4 (extremos do processo) nos primeiros 40 dias de operação.

Demais parâmetros

A Figura 15 apresenta visualização dos gráficos de série temporal e box-plot para o período de monitoramento avaliado.

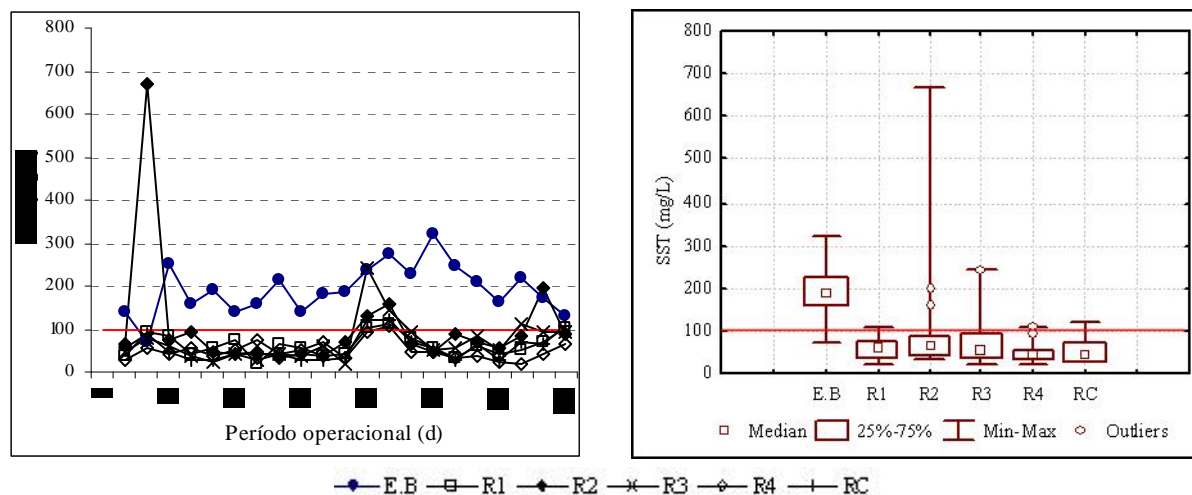


Figura 15: Série temporal e box-plot das concentrações de sólidos suspensos totais ao longo de 120 dias de operação

O parâmetro sólidos suspensos se comportou de maneira bastante similar a DBO e DQO sem, contudo apresentar diferença estatística entre os reatores em nenhum momento da avaliação de dados. Todavia, em relação aos percentuais de atendimento às concentrações efluentes estabelecidas pela DN COPAM/CERH 01/08, observou-se o atendimento à meta em praticamente 100% dos dados avaliados em todos os reatores.

As Figuras 16 a 18 apresentam os gráficos de série temporal e box-plot para os parâmetros pH, AGV e alcalinidade no período de monitoramento avaliado.

Os parâmetros de avaliação de estabilidade operacional situaram-se dentro das faixas previstas para processos anaeróbios de tratamento e também não apresentaram diferença estatística entre os reatores.

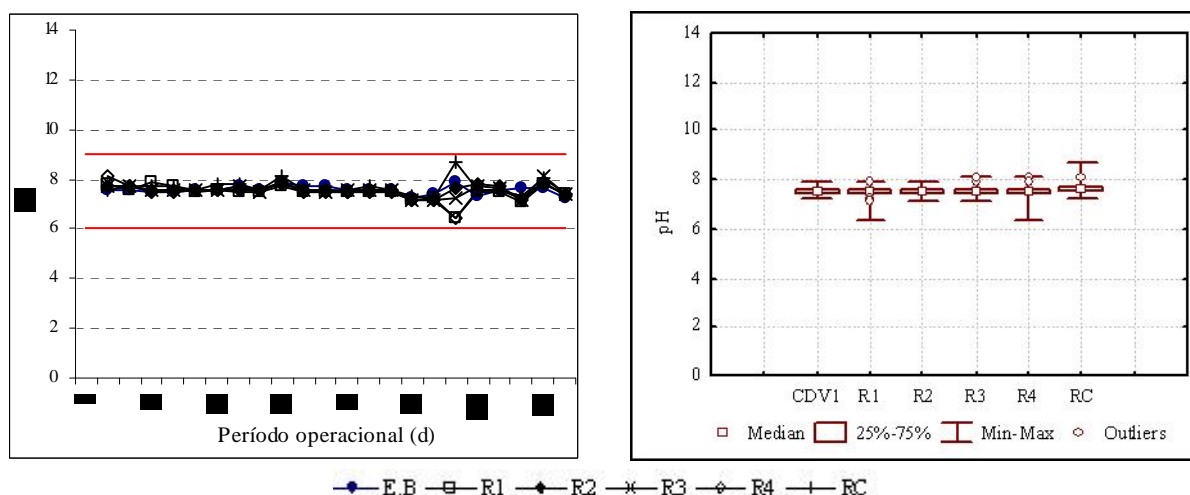


Figura 16: Série histórica e box-plot dos valores de pH ao longo do período de monitoramento

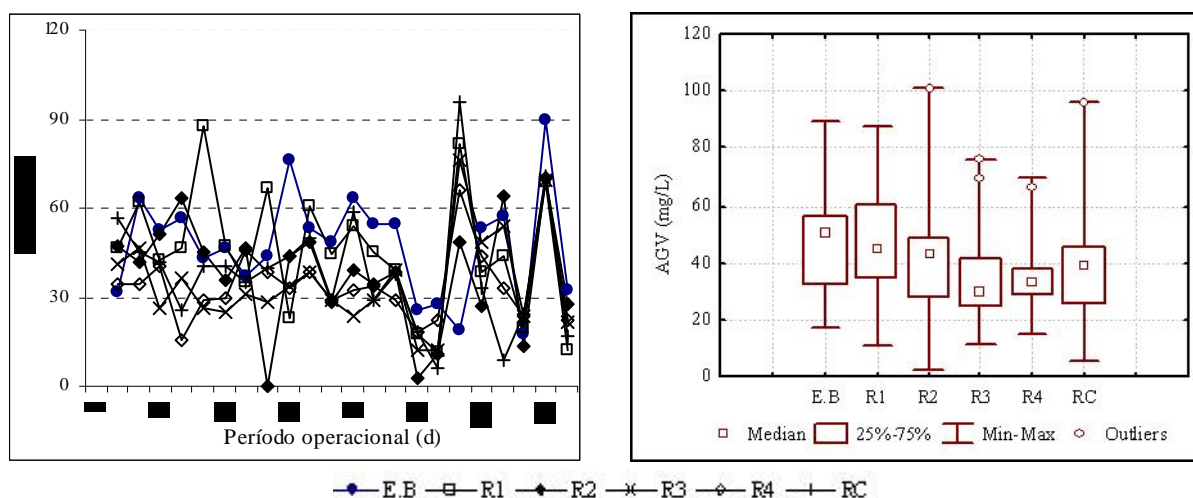


Figura 17: Série histórica e box-plot das concentrações de AGV ao longo do período de monitoramento

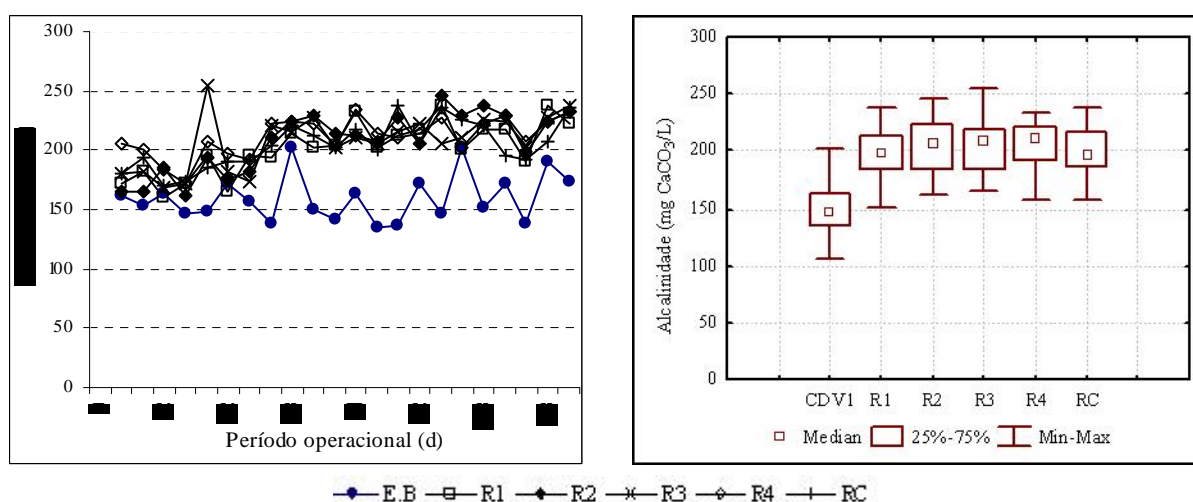


Figura 18: Série histórica e box-plot das concentrações de alcalinidade ao longo do período de monitoramento

Visualmente, pode-se notar que o R1 apresentou as maiores variabilidade nas concentrações efluentes de AGV nos primeiros 40 dias de operação, indicando que nem todo ácido gerado no processo estava sendo consumido e que nesta fase o processo ainda passava por instabilidades. Já o reator R4 se comportou da maneira oposta apresentando as menores concentrações efluentes e a menor variabilidade de dados, o que era esperado, tendo-se em vista que o processo de inoculação do mesmo seguiu todos os preceitos estabelecidos como ideais para uma condição de partida.

CONCLUSÕES

Embora tenham sido evidenciadas diferenças nos parâmetros de avaliação da eficiência e estabilidade operacional, em especial DBO, DQO e AGV, entre os reatores inoculados sob diferentes cargas biológicas iniciais, sob o ponto de vista estatístico não foram indicadas diferenças significativas entre as condições de partida.

No entanto, ressalta-se, que ao longo dos primeiros 40 dias de operação, foi observado um melhor desempenho do reator 4 (condição ideal de partida), com diferença estatística entre as eficiências de remoção de DBO e DQO deste reator para o reator 1 (condição mais desfavorável). A não diferenciação dos demais quesitos avaliados neste período pode ter ocorrido em função do pequeno número de dados analisados.

Para os períodos subsequentes, em especial após 80 dias de operação, parece haver uma estabilização das condições operacionais e eficiências de remoção para os parâmetros avaliados entre os diferentes reatores, ou



seja, a diferença entre a partida de reatores inoculados sob diferentes cargas biológicas iniciais só se fez notória nos primeiros dias de operação.

Diante de tais constatações, recomenda-se que a condição de partida com inoculação seja estabelecida tomando-se por base o atendimento de prazos e quesitos ambientais estabelecidos pela licença de operação da estação de tratamento de esgotos uma vez que, no que tange ao atendimento dos padrões de lançamento estabelecidos pela DN COPAM/CERH 01/08, só foram alcançadas metas satisfatórias em relação ao parâmetro sólidos suspensos. Para DBO e DQO, os percentis de atendimento estiveram em torno de 20 a 30 % dos dados para o período avaliado.

Desta forma, a definição da condição de partida que será utilizada deverá estar focada no tipo de pós-tratamento empregado e na avaliação da capacidade suporte do mesmo em tratar um efluente com características variáveis ao longo do tempo necessário para estabilização dos reatores que foram inoculados com condições menos favoráveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA/APHA/WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21.ed. Washington, 2005.
2. CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios*. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2007. 280 p.
3. GHANGREKAR, M.M.; ASOLEKAR, S. R.; JOSHI, S. G. Characteristics of sludge developed under different loading conditions during UASB reactor start-up and granulation. *Water Research*, v. 39, p. 1123-1133, 2004.
4. PIERROTI, S. M. *Avaliação da partida de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), em escala real, sob condições hidráulicas desfavoráveis. (Dissertação de Mestrado)*. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. 141 p.