

**Sistemas Produtivos e Desenvolvimento Profissional: Desafios e Perspectivas**

**Análise qualitativa de reator anaeróbio de fluxo ascendente preenchido com espuma de poliuretano expandido.**

RUBENS FRANCISCO DOS SANTOS

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – SP – Brasil  
rubens.ceetps@gmail.com

PAULO CESAR GUIMARÃES PEREIRA

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – SP – Brasil  
pcgpereiras@gmail.com

PATRICIA HASSATO

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – SP – Brasil  
patricia.hassato@gmail.com

FRANCISCO TADEU DEGASPERI

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – SP – Brasil  
ftd@fatecsp.br

SILVIA PIERRE IRAZUSTA

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – SP – Brasil  
silvia.pierre@hotmail.com

**Resumo** – O presente trabalho apresenta a montagem de um arranjo experimental visando a análise qualitativa de um filtro anaeróbio submerso preenchido com cubos de poliuretano expandido realizado em escala laboratorial. O experimento foi abastecido com efluente retirado da etapa de pós-decantação de uma estação de tratamento de esgoto e monitorado por um período de 30 dias, nos quais foram coletadas amostras semanais para monitoramento de pH, temperatura, DBO, DQO, SST e SSV a fim de avaliar a redução da carga orgânica. O monitoramento do sistema continua em andamento visando subsidiar a montagem em escala ampliada.

**Palavras-chave:** Reator Biológico, Filtro Anaeróbio, Saneamento, Esgoto.

**Abstract**

This paper presents the installation of an experimental arrangement aimed at qualitative analysis of a submerged anaerobic filter filled with polyurethane cubes expanded performed in laboratory scale. The experiment was loaded with the effluent removed from the post-sedimentation stage of a sewage treatment plant and monitored for a period of 30 days, in which weekly were collected samples for monitoring pH, temperature, BOD, COD, TSS and VSS in order to assess the reduction of the organic load. The system monitoring is ongoing in order to support the assembly on an enlarged scale.

**Keywords:**

Bioreactor, anaerobic filter, sanitation, sewer.

**1. Introdução**

A utilização de reatores biológicos de biomassa aderida para a redução da carga orgânica é prática difundida nos sistemas de tratamento de esgoto. A incorporação de novos materiais visando aumentar a área de formação do biofilme vem ganhando destaque à medida que possibilita a melhora do desempenho de tais equipamentos com redução dos custos de implantação se comparados com a brita convencional (JORDÃO e PESSÔA, 2005, p. 469).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi efetuar a montagem, em escala laboratorial, de um reator anaeróbio preenchido com cubos de espuma de poliuretano expandido. Sua validação será obtida por meio da avaliação qualitativa da remoção da carga orgânica, que subsidiará sua adoção em escala ampliada.

O projeto de biorreatores está relacionado ao entendimento dos mecanismos de nutrição da comunidade existente no esgoto doméstico, algas, fungos e principalmente as bactérias, e do seu metabolismo celular, que define o mecanismo de obtenção de energia das células, respiração ou fermentação, em suma, os aceptores de elétrons existentes no meio influenciam o desenvolvimento da comunidade de micro-organismos que realizam a redução da matéria orgânica, dessa forma, classificam-se três grupos principais de tratamento biológico, sistemas aeróbios, nos quais o acceptor de elétrons é o oxigênio ( $O_2$ ), sistemas anóxicos, cujo acceptor de elétrons é o nitrato ( $NO_3^-$ ) e sistemas anaeróbios, cujos principais aceptores de elétrons são o sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) e o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) (von SPERLING, 1996, p.17).

Comparativamente aos processos aeróbios, os reatores anaeróbios apresentam uma eficiência inferior em relação à remoção da DBO, contudo devido à simplicidade operacional e menor gasto energético, tem ampla aceitação em projetos de sistemas de tratamento de esgotos, em geral, associados a processos de pós-tratamento aeróbios. (JORDÃO e PESSÔA, 2005, p. 795).

Estes reatores são dimensionados em função do balanço da fase sólida e da líquida, que varia em função da incorporação da matéria orgânica no tecido das novas células e pela produção de gases na respiração endógena, dessa forma, através das equações da cinética biológica, pode-se avaliar o crescimento dos sólidos orgânicos baseados em taxas de utilização do substrato em termos de coeficientes cinéticos, relação alimento por micro-organismo e tempo de detenção média celular (QASIM, 1998, p. 382) e em relação ao número de bactérias viáveis ou da biomassa viável, limitando-se, neste caso, a capacidade dos micro-organismos de processar o substrato. O tempo para a duplicação, ou seja, o tempo em que uma massa de micro-organismos leva para dobrar é variável, segundo FOGLER (2011, p. 309) tempos típicos para bactérias variam de 45 minutos à uma hora, podendo chegar a 15 minutos, Qasim cita períodos de 20 min até vários dias (1999, p. 380).

Outra classificação adotada refere-se ao meio no qual os micro organismos se desenvolvem, caracterizando-se por crescimento disperso, quando o desenvolvimento ocorre pela formação de flocos dispersos no fluído;

crescimento aderido, quando os organismos formam uma colônia aderida a uma superfície (biofilme) e uma combinação dos dois (leito móvel), no qual se introduz elementos-suporte dispersos no meio líquido (QASIM, 1999, p. 388).

Dessa forma é possível enquadrar os processos usualmente adotados em sistemas aeróbios de crescimento disperso, tais como os lodos ativados; sistemas anaeróbios ou facultativos de crescimento disperso, tais como as lagoas anaeróbias e facultativas, sistemas aeróbios com biomassa aderida, tais como os filtros percoladores, os biodiscos e os biofiltros e sistemas anaeróbios de biomassa aderida tais como os filtros anaeróbios e os reatores do tipo UASB – *Upflow anaerobic sludge blanket*, no qual a própria biomassa aglomerada constitui o meio suporte. O presente trabalho se enquadra dentro dos limites de um sistema anaeróbio de fluxo ascendente e biomassa aderida.

## 2. Referencial Teórico

Em um processo de crescimento aderido, uma camada constituída por uma comunidade de micro-organismos envolvendo um material suporte, adsorve parte da matéria orgânica, oxigênio e nutrientes presentes no meio, os quais são metabolizados e consumidos por estes organismos. Dependendo das condições do crescimento e da hidrodinâmica, a espessura do biofilme pode variar entre 100 µm a 10 mm (METCALF & EDDY, 2003, p. 602). Entre os principais tipos de reatores desenvolvidos para o crescimento aderido citam-se o filtro anaeróbio de fluxo ascendente, o filtro percolador e os reatores do tipo biodisco (von SPERLING, 1996, p.294-316).

Tanto os filtros anaeróbios, quanto os filtros percoladores, possuem uma nomenclatura que não corresponde ao seu mecanismo de redução da carga orgânica, uma vez que não realizam propriamente um processo de filtração, mas sim a adsorção de parte da matéria orgânica pelo biofilme, que é digerida por bactérias anaeróbias e/ou facultativas.

Nos filtros anaeróbios a biomassa se desenvolve aderida a um meio suporte (von SPERLING, 2006, p. 294), em geral um leito de pedras britadas, anéis Rashig ou mesmo bambus cortados (NUVOLARI, 2011), sobre os quais percorre continuamente um fluxo de esgoto ascendente, preenchendo completamente os espaços vazios entre os elementos suporte. Sua utilização é amplamente difundida como pós-tratamento dos tanques sépticos, sendo seu dimensionamento baseado na relação entre a contribuição diária de esgoto e o tempo de detenção hidráulico, conforme previsto pela norma brasileira NBR 13.969 (BRASIL, 1997).

Os filtros percoladores baseiam-se na passagem de um fluxo descendente do esgoto orgânico sobre a superfície de um material de enchimento, que pode ser constituído por um leito de material grosseiro, tal como, pedras, brita, escória de alto-forno, ripas ou outro material, A percolação permite o crescimento de uma película fixa constituída por material bacteriano na superfície do enchimento (CORBITT, 1999, p. 6.106). A remoção da DBO<sub>5,20</sub> é realizada através do contato entre os micro-organismos aderidos e o material orgânico, o oxigênio necessário para o processo é fornecido por ventilação natural. O dimensionamento baseia-se na taxa de aplicação que relaciona a quantidade de DBO<sub>5,20</sub> do efluente aplicado por unidade de volume do filtro (VON SPERLING, 2005, p.312-313).

Nos reatores do tipo biodisco, biomassa cresce aderida a um tambor rotativo formado por discos justapostos imersos num tanque por onde passa o efluente a ser tratado. O tambor gira em baixa rotação, expondo os discos alternadamente ao ar atmosférico e aos sólidos contidos no meio líquido, facilitando, dessa forma, a adesão e o crescimento dos microorganismos em sua superfície (NUVOLARI, 2011, p. 405). Tais sistemas por suas particularidades não serão abordados neste estudo.

Considerando-se que sistemas biológicos são limitados pela capacidade de assimilação da matéria orgânica pelas bactérias contidas no meio, admite-se que o aumento da área superficial de contato entre fluxo e o elemento suporte possa melhorar o rendimento desses reatores com baixo *input* energético, nesse sentido EI-Tabl (2013), conduzindo experimentos em escala laboratorial avaliou o desempenho de reatores de fluxo descendente preenchidos com espuma de poliuretano para o tratamento do esgoto oriundo da decantação primária de um sistema de lodos ativados, obtendo resultados favoráveis, em termos de redução da DBO, da DQO e remoção de sólidos suspensos totais.

Em outro estudo realizado por Almeida et al (2011), avaliou-se a eficiência de filtros percoladores como pós-tratamento de reatores UASB, sem a decantação secundária. Esses filtros percoladores foram preenchidos com quatro tipos de meio suporte, escória de alto forno, anéis plásticos, aparas de eletroduto corrugado e espuma de poliuretano expandida, os resultados demonstraram em escala laboratorial que o:

“desempenho do sistema UASB/Filtro Biológico Percolador preenchido com mídia de espuma expandida apresentou-se significativamente melhor em relação aos demais sistemas e, ainda com menor efeito da variação da taxa de aplicação superficial – TAS e carga orgânica volumétrica – COV”.

Estes estudos apontam a relevância de se avaliar a incorporação de espumas no tratamento biológico de esgotos a fim de propiciar um maior entendimento sobre seu mecanismo de remoção da carga orgânica.

### **3. Método**

#### **3.1 Modelamento**

A montagem do arranjo experimental foi realizada a fim de permitir o estudo comparativo das taxas de remoção referentes à carga orgânica entre o meio suporte alternativo, espuma de poliuretano e o elemento tradicionalmente utilizado, pedra nº 04, operando em meio anaeróbio. O modelamento foi baseado na norma brasileira NBR 13.969, a qual estabelece um tempo de detenção mínimo em função da temperatura e da carga aplicada (BRASIL, 1997).

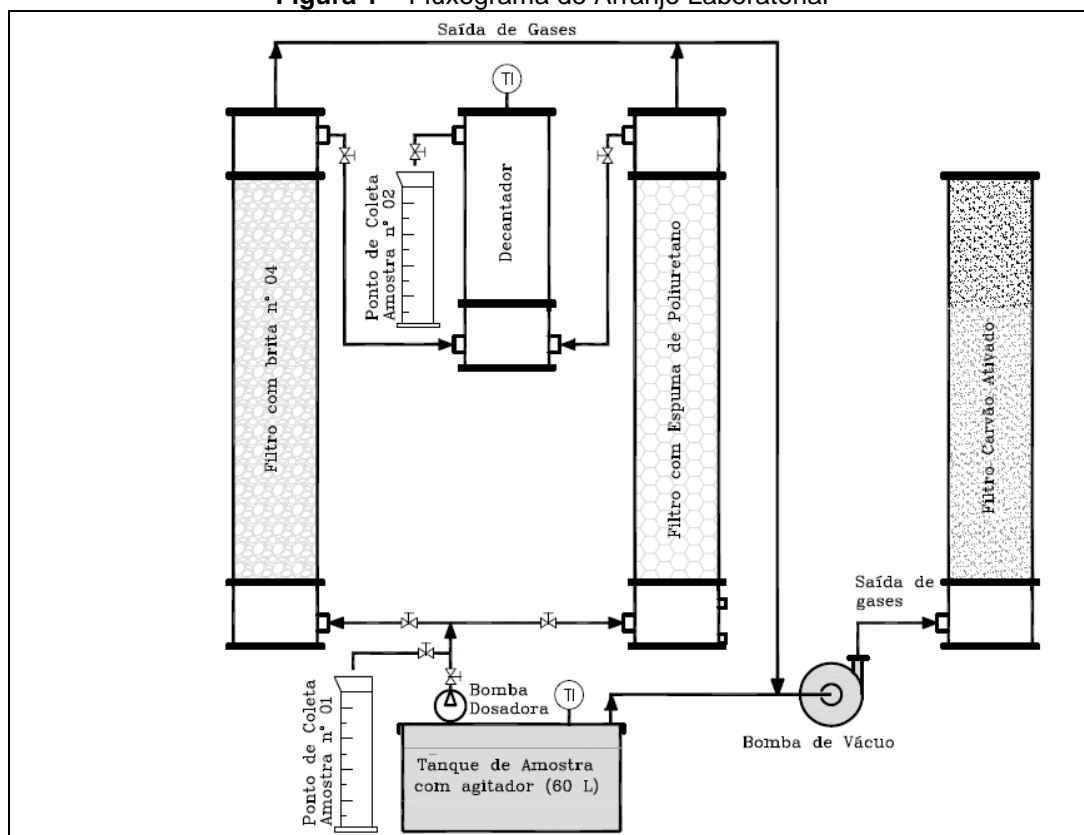
#### **3.2 Montagem do Arranjo Experimental**

O aparato experimental constituído de dois reatores anaeróbios de leito fixo confeccionados em PVC com dimensões Ø 100 mm x altura de 900 mm, foi montado no laboratório de Saneamento Ambiental da Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Um reator anaeróbio foi preenchido com brita nº 04, material de

uso corrente em tais aplicações e o outro foi preenchido com cubos de poliuretano expandido 30 mm x 30 mm x 15 mm. A montagem pode ser observada na Figura 2.

Os reatores foram inoculados com lodo de um reator do tipo UASB em operação, durante um período de 15 dias. Após esse período foram abastecidos continuamente por um período de 30 dias com o efluente pré-tratado retirado após as etapas de gradeamento, desarenação e decantação primária de uma estação de tratamento de esgoto situada na região metropolitana de São Paulo, sendo acondicionadas em um reservatório de 60 l e bombeadas por uma bomba dosadora a uma vazão constante de 1,0 l/h durante 30 dias.

Figura 1 – Fluxograma do Arranjo Laboratorial



Fonte: Próprio autor (2015)

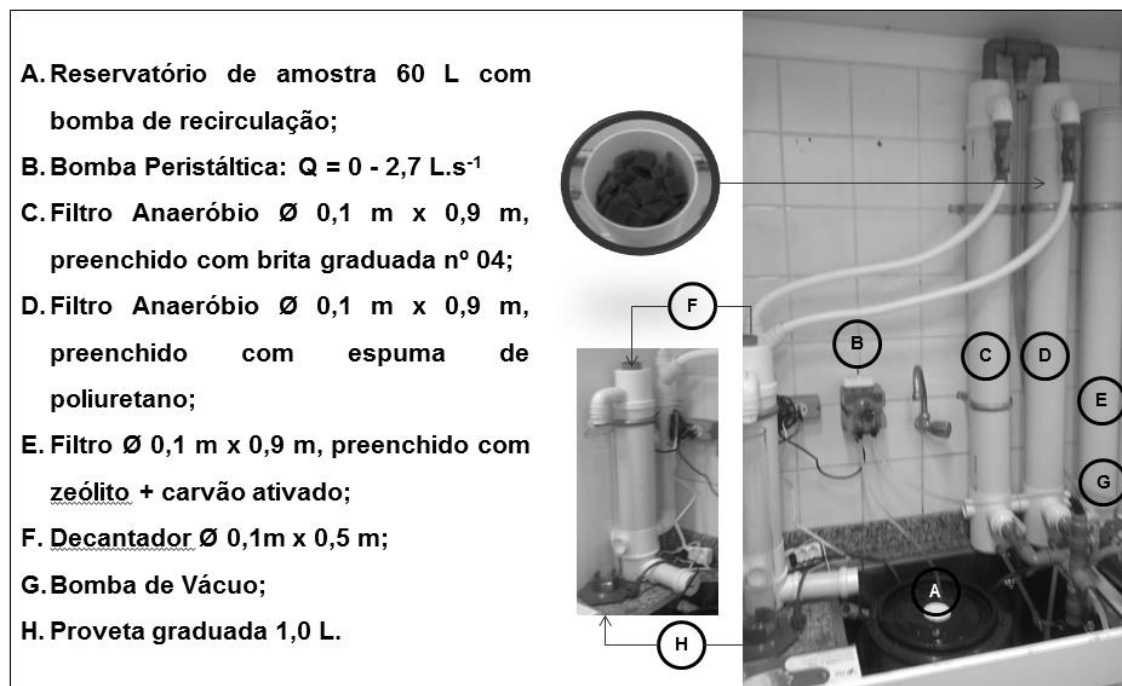
O local para coleta das amostras de esgoto foi adotado em virtude de ser rotina operacional o monitoramento periódico da DQO, SSV e SST, possibilitando o acompanhamento das variações das características do efluente por um período de dois anos, anterior ao estudo.

A fim de evitar a influência da possível digestão no reservatório devido ao tempo de detenção, as amostras para análise foram retiradas após a bomba dosadora e antes da entrada no filtro anaeróbico (ponto de coleta 1). A amostra referente ao efluente tratado foi retirada após o decantador (ponto de coleta 2), conforme indicado na figura 1.

Nesta etapa foram monitorados os parâmetros de remoção da carga orgânica, DBO e DQO, e produção de sólidos no sistema, SST, na entrada e

na saída dos reatores. Os resultados obtidos forma comparados com os resultados esperados para este tipo de equipamento.

**Figura 2** – Arranjo Laboratorial Montado



Fonte: Próprio Autor (2015)

#### 4. Resultados e Conclusão

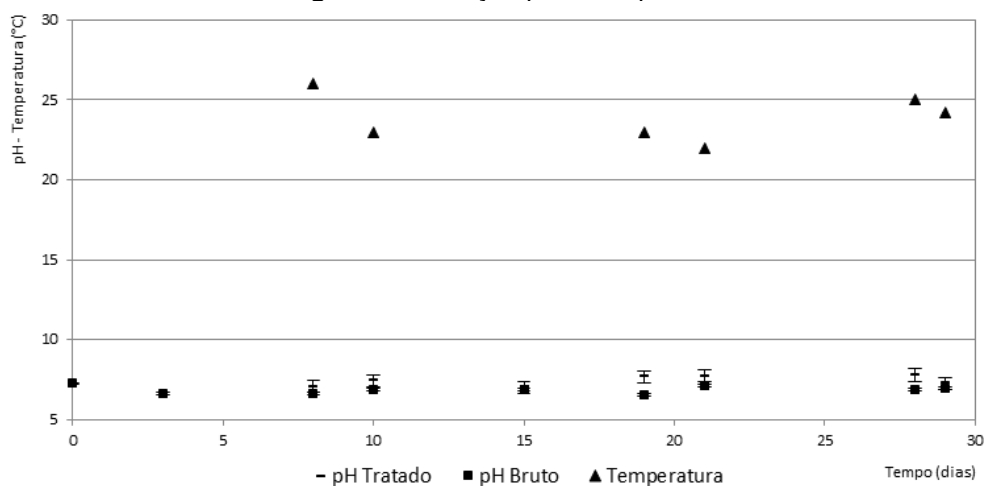
Temperatura, acidez e a alcalinidade são parâmetros relevantes em processos biológicos, pois as taxas de remoção superiores são obtidas em faixas limitadas de pH, em geral entre 6,5 e 7,5, limite considerado ótimo para o desenvolvimento das bactérias mesófilas, assim como em temperatura entre 25 a 40°C (METCALF & EDDY, 2005). Variações bruscas nessas condições podem reduzir a atividade ou mesmo eliminar os organismos responsáveis pela digestão da matéria orgânica.

Após um período de inoculação de duas semanas, foram efetuadas amostras semanais, constatando-se que o efluente no reservatório apresentava um pH estável, variando entre 6,8 e 7,3 e temperatura variando entre 22,9 °C, após o abastecimento e 27,7 °C próximo ao reabastecimento. Resultados pouco acima das temperaturas externas ao reator no momento da leitura, esses valores apresentam-se compatíveis com a situação estudada conforme indicado na figura 3. Contudo a variação da temperatura do reservatório e do ambiente externo ao sistema sugere o início do processo de digestão da matéria orgânica no reservatório de armazenagem, tal fato não interferiu nos resultados, tendo em vista que as amostras foram retiradas após a bomba dosadora.

O monitoramento do efluente pré-tratado utilizado para o experimento apresentou variação da DQO entre 150 a 300 mg.L<sup>-1</sup>, com pH na faixa de 7,0 no período compreendido entre 04/01/2012 a 09/04/2015, os valores como se apresentam são compatíveis com a capacidade de remoção da carga orgânica oriunda do esgoto residencial após a etapa de decantação primária.

Em relação à série de sólidos o monitoramento do ponto de coleta apresentou variações entre 300 a 450 mg.L<sup>-1</sup> para sólidos totais e 35 a 110 mg.L<sup>-1</sup> para os sólidos em suspensão. Valores compatíveis com essa etapa de tratamento, contudo relativamente baixos se considerarmos que os sólidos em suspensão representam uma parcela significativa da matéria orgânica biodegradável, essencial para a operação de sistemas biológicos. Tal característica pode limitar a partida do reator anaeróbio tornando necessária a recirculação do efluente tratado.

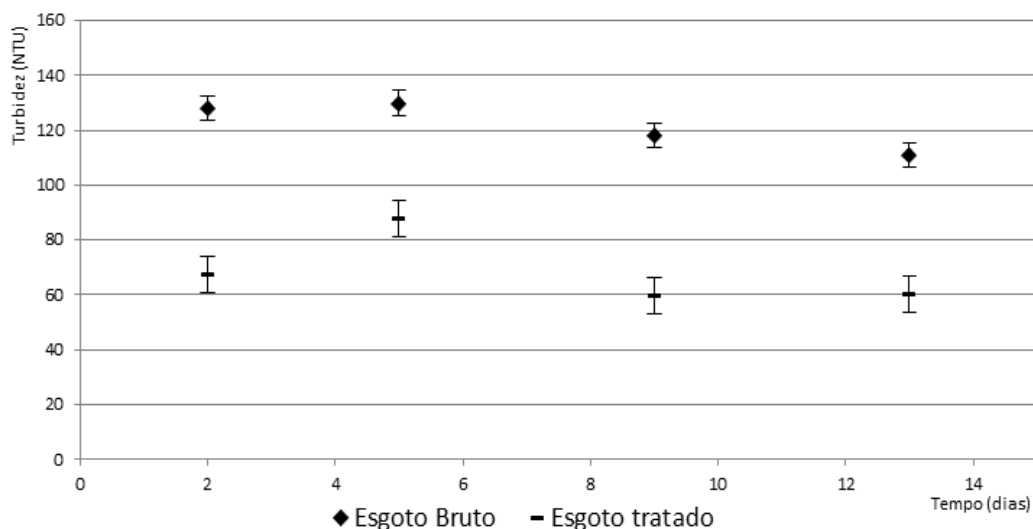
**Figura 3 - Variação pH - Temperatura**



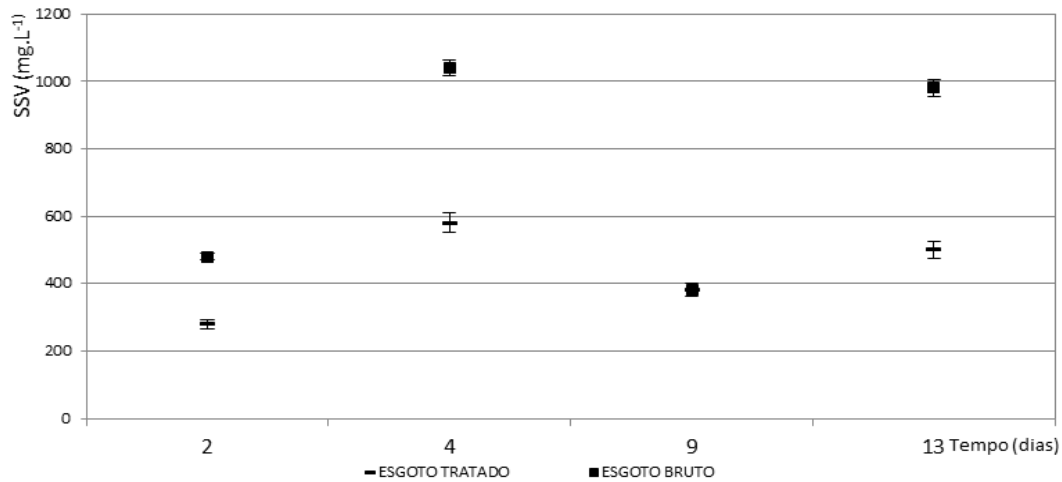
Fonte: Próprio autor (2015)

Os resultados iniciais apresentaram redução significativa no parâmetro turbidez, figura 4, e remoção de sólidos totais e suspensos, conforme indicado na figura 5, fato que pode estar ligado a sedimentação do material sólido em suspensão.

**Figura 4 - Variação da Turbidez**



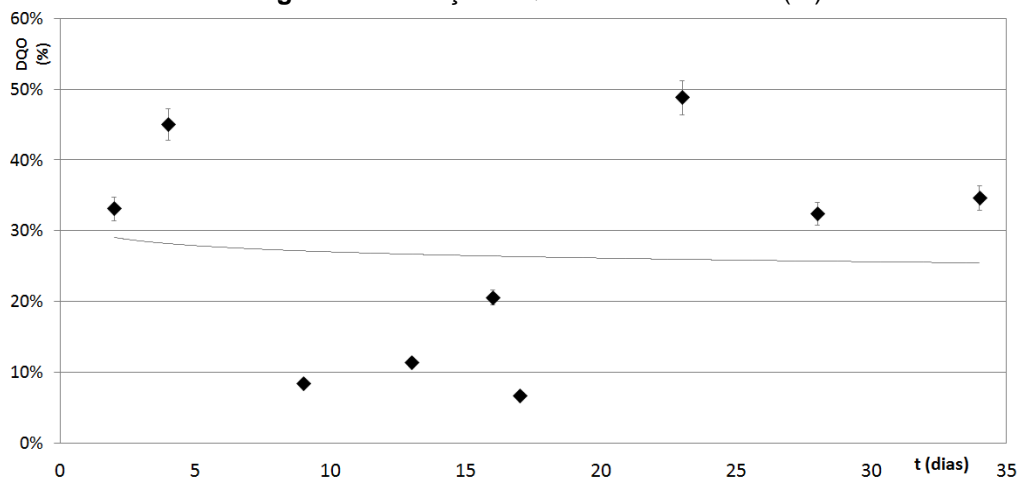
Fonte: Próprio autor (2015)

**Figura 5 – Variação de SSV (mg.L<sup>-1</sup>)**

Fonte: Próprio autor (2015)

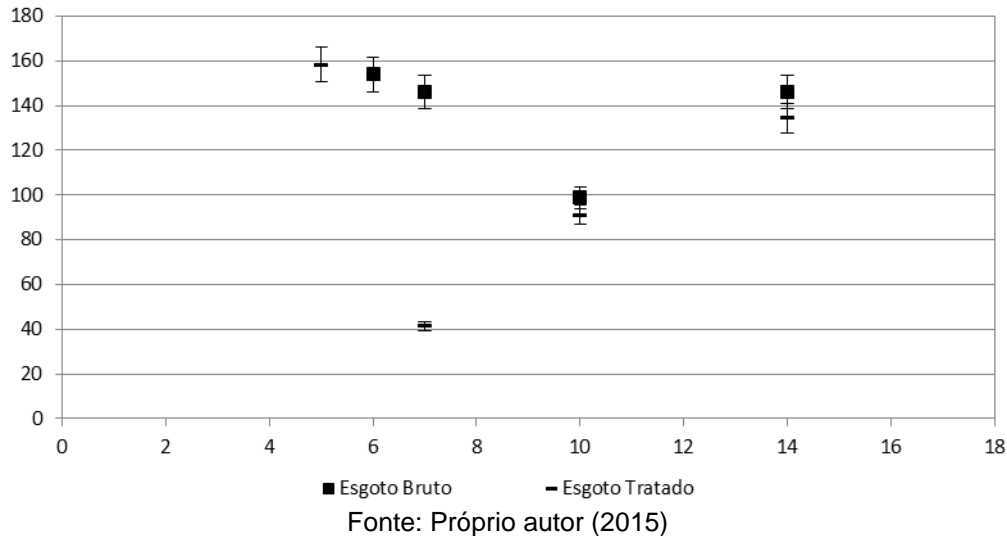
A eficiência de remoção da DBO variou entre 10 a 20%, o conforme indicado no gráfico da figura 6, valor relativamente baixo considerando a média de emissões em situações similares, Jordão e Pessoa (p. 431, 2005) citam valores entre 70 a 85%, contudo, os valores unitários apresentaram-se compatíveis com a remoção da carga orgânica proveniente do esgoto doméstico oriundo de sistemas com decantação primária ou fossas sépticas com baixa carga orgânica, variando entre 41 a 134 mg.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>, conforme indicado na figura 7.

A baixa taxa de remoção da DQO e da DBO pode estar relacionado ao processo inicial de decanto-digestão no reservatório de armazenamento, que tende a reduzir a carga orgânica do efluente antes da entrada no reator, média em torno de 125 mg.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>, tal situação leva ao fornecimento de uma quantidade reduzida de nutrientes aos necessários ao metabolismo celular dos microorganismos, prejudicando a eficiência do tratamento.

**Figura 6 – Variação DQO – Entrada / Saída (%)**

Fonte: Próprio autor (2015)



**Figura 7** – Variação DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) – Entrada e saída de efluente

## 5. Considerações finais

A montagem do arranjo experimental possibilitou a análise qualitativa dos parâmetros relacionados à eficiência de remoção da carga orgânica em reatores anaeróbios montados com diferentes meios de fixação da biomassa, com custo reduzido. As análises apresentadas nesse trabalho são, no entanto, preliminares e foram realizadas apenas no reator preenchido com espuma de poliuretano expandido para um tempo de detenção hidráulica de 6,0 h, a norma brasileira preconiza um período de aproximadamente 24 h para vazões de até  $1.500 \text{ L.dia}^{-1}$  considerando brita nº 04 como meio filtrante, dessa forma recomenda-se a continuidade do estudo para tempos de detenção hidráulica superiores ao apresentado, visando relacionar a eficiência de remoção em função do tempo de detenção.

Considera-se relevante também nesse estudo que o período da partida de reator anaeróbio, compreendido desde a carga inicial de duas semanas com a inoculação de material oriundo de um reator em operação e o início das análises, pode ter sido influenciado pelas condições ambientais do reator, incluindo temperatura e menor disponibilidade de nutrientes, dificultando o crescimento da biomassa aderida ao meio suporte, tendo em vista que o metabolismo de microorganismos adaptados funcionalmente aos ambientes anaeróbios é mais lento do que os adaptados a ambientes aeróbios.

Dessa forma, considerando-se o período reduzido do experimento e o número limitado de amostras, sugere-se a continuidade do monitoramento a fim de permitir avaliação mais significativa das tendências apresentadas na fase inicial do estudo, tanto para o reator preenchido com espuma de poliuretano, quanto para o reator preenchido com brita.

Da mesma forma a fim de aprimorar o estudo sugere-se ainda a inversão do fluxo do efluente para efetuar a análise qualitativa do meio suporte operando em meio aeróbio ou facultativo descendente.

## Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7229 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT. 1993.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13969 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT. 1997.

ALMEIDA, P.G.S.; OLIVEIRA, S.C. & CHERNICHARO, C.A.L. – Operação de filtros biológicos percoladores pós-reatores uasb sem a etapa de decantação secundária – Eng Sanit Ambient – v. 16 n.3 – jul/set 2011 – 271-280.

CORBITT, R. A. **Standard handbook of environmental engineering**. 2 Edition. McGraw-Hill Professional, 1999. 1216p. ISBN: 9780070131606

EL-TABL, A. S.; WAHAAB, R. A. & YOUNES, S. M. – Downflow hanging sponge (DHS) Reactor as a post treatment system for municipal wastewater – Life Sci J 2013; 10 (3): 409-4 – issn: 1097-8135.

FOGLER, H.S. - **Cálculo de reatores** - o essencial da engenharia das reações químicas. 1º ed. LTC Editora. 598 p. 2011. ISBN: 8521621620

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. – **Tratamento de esgotos domésticos**. 4º ed. – Rio de Janeiro, Segrac. 2005. 932p. ISBN 85-905545-1-1

METCALF, L e EDDY, H.P. **Wastewater engineering** – treatment and reuse, 4 ed. Tchobanoglous, G (ed.), McGraw-Hill, 2003.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2º ed. rev. Atualizada e ampl. - São Paulo: Blucher. 2011. ISBN 978-85-212-0568-5.

QASIM, S. R. - **Wastewater treatment plants**: planning, design, and operation, 2º Edition - EUA : CRC Press 1998. ISBN: 1566766885.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e a o tratamento de esgotos**. 3º ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG. 425p. 2005. ISBN 85-7041-114-6

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 3º ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG. 211p. 1996. ISBN 85-85266-05-8