

## **II-229 - AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO DA VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO DE ESGOTO BRUTO SOBRE A DINÂMICA DO MANTO DE LODO EM REATOR UASB OPERANDO EM ESCALA PLENA**

**Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa<sup>(1)</sup>**

Pesquisadora da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Engenheira de Alimentos pela UEPG – PR, Engenheira Química pela PUC-PR, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UEPG-PR e doutora em Engenharia de Alimentos pela UFPR.

**Bárbara Zanicotti Leite Ross**

Pesquisadora da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Engenheira de Alimentos pela PUC – PR, mestre em Tecnologia Química pela UFPR e doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR (2015).

**André Luiz de Faria**

Funcionário da Sanepar desde 1978, atuando na área de controle de qualidade de água e esgoto em Londrina e Curitiba. Licenciado em Química, Físico e Matemático pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Arapongas, 1984, compõe equipe na Gerência de Pesquisa e Inovação/GPIN, atua como químico em pesquisas voltadas a bioenergia, eficiência energética de processos de tratamento de esgoto, integra o grupo de analista da gerência na área de instrumentação analítica aplicada a processos físicos e químicos de tecnologia de processos de água e esgoto e medições de biogás.

**Karina Kriguel**

Mestre pelo Programa Internacional de Mestrado Profissional Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) pela UFPR, em parceria com o SENAI e a Universidade de Stuttgart. Graduada em Tecnologia em Processos Ambientais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pós-graduanda em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual do Norte do Paraná. Técnica Química da Gerência de Pesquisa e Inovação da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

**Rodrigo Augusto F. O. Zawadzki**

Graduado em Tecnologia em Química Ambiental pela UTFPR (2005), especialista em Química Analítica Ambiental também pela UTFPR (2007), mestre em Química pelo PPGQ-UFPR (2011) e doutorando em Engenharia Civil – Meio Ambiente pelo PPGEQ-UTFPR.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, nº151 – Tarumã - Curitiba - PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: +55 (41) 3777 7261 - e-mail: [janainaogc@sanepar.com.br](mailto:janainaogc@sanepar.com.br)

### **RESUMO**

Os sistemas anaeróbios para tratamento de esgotos, notadamente os reatores de manta de lodo (UASB), possuem grande aplicação no Brasil, face as adequadas condições climáticas no país. O manto de lodo no interior do reator UASB tende a manter um comportamento estático, desde que o reator opere com baixa velocidade ascensional, ou seja, na ordem de 0,5 a 0,7 m/h. Nesta condição os reatores conseguem manter a biomassa ativa no reator com boa eficiência de remoção de sólidos e matéria orgânica (SEGHEZZO et al., 1998; KATO et al., 1999). Ao longo do perfil vertical do manto, o lodo varia gradativamente a sua concentração, onde no fundo o lodo é mais denso e com capacidade elevada de sedimentação e no topo o lodo é mais leve e disperso (CHERNICHARO, 2011).

A eficiência de um reator UASB na remoção de matéria orgânica pode ser influenciada de acordo com o seu projeto e também das condições operacionais adotadas para o sistema, uma vez que a manutenção de velocidades (fluxo) adequadas e a definição de mecanismos de separação de fases são os elementos que garantem a efetividade do desempenho do reator (CHERNICHARO, 2011).

Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da variação na vazão de alimentação de esgoto bruto sobre a dinâmica do manto de lodo, fenômeno do arraste de sólidos com o efluente do reator e a eficiência na remoção de DQO, em reator UASB operando em escala plena.

Por meio dos dados obtidos foi possível concluir que ao longo de 24 h o manto de lodo varia em altura e na distribuição do teor de sólidos totais de acordo com a profundidade do reator, sendo que nos períodos de maior vazão de afluente e menor TDH o manto encontra-se mais alto e o teor de sólidos no fundo do reator é reduzido. Por outro lado, quando a vazão de esgoto é menor e o TDH é maior o lodo se concentra no fundo do reator. Tal comportamento demonstrou influência na eficiência de remoção de DQO, onde baixos TDH

promovem elevação na velocidade ascensional, o que provoca flutuação no manto de lodo e arraste dos sólidos e consequente queda na eficiência de remoção desse parâmetro. Portanto, a gestão da vazão afluyente é importante devido a sua influência na manta de lodo e na eficiência do tratamento do esgoto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto, lodo, TDH, sólidos.

## INTRODUÇÃO

Os sistemas anaeróbios para tratamento de esgotos, notadamente os reatores de manta de lodo (UASB), possuem grande aplicação no Brasil, face as adequadas condições climáticas no país. A tecnologia anaeróbia apresenta diversas características favoráveis para o tratamento de esgotos como a baixa produção de sólidos, menor consumo de energia, baixo custo de implantação e operação, dentre outros fatores. Entretanto, apresenta também características desfavoráveis como a remoção insatisfatória de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e patógenos (CHERNICHARO, 2011).

O manto de lodo no interior do reator UASB tende a manter um comportamento estático, desde que o reator opere com baixa velocidade ascensional, ou seja, na ordem de 0,5 a 0,7 m/h. Nesta condição os reatores conseguem manter a biomassa ativa no reator com boa eficiência de remoção de sólidos e matéria orgânica (SEGHEZZO et al., 1998; KATO et al., 1999). Ao longo do perfil vertical do manto, o lodo varia gradativamente a sua concentração, onde no fundo o lodo é mais denso e com capacidade elevada de sedimentação e no topo o lodo é mais leve e disperso (CHERNICHARO, 2011).

A eficiência de um reator UASB na remoção de matéria orgânica pode ser influenciada de acordo com o seu projeto e também das condições operacionais adotadas para o sistema, uma vez que a manutenção de velocidades (fluxo) adequadas e a definição de mecanismos de separação de fases são os elementos que garantem a efetividade do desempenho do reator (CHERNICHARO, 2011).

O Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) é um parâmetro fundamental para a operação dos reatores UASB, e pode ser definido como o tempo em que um volume infinitesimal de líquido permanece no reator. Desta forma, quanto maior o TDH, mais as reações bioquímicas são favorecidas no processo de digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 2011).

Com base nos critérios supra descritos, a norma ABNT NBR 12.209/2011 estabelece critérios de dimensionamento de reatores anaeróbios, dentre eles vazão, TDH e velocidade ascensional. As especificações da norma são para a vazão média e o TDH é orientado de acordo com a temperatura média do esgoto e o volume total do UASB, contudo podem-se admitir TDH inferiores ao da norma, desde que haja justificativa. De acordo com norma o TDH deve ser igual ou superior a:

- 6 h para temperatura do esgoto superior a 25° C;
- 7 h para temperatura do esgoto de 22 °C a 25° C;
- 8 h para temperatura do esgoto de 18 °C a 21° C;
- 10 h para temperatura do esgoto de 15°C a 17° C.

Já para velocidade ascensional os critérios da norma ABNT NBR 12.209/2011 são:

- No compartimento de digestão do reator deve ser igual ou inferior a 0,7 m/h para a vazão média e inferior a 1,2 m/h para a vazão máxima;
- A velocidade de passagem do compartimento de digestão para o de decantação deve ser igual ou inferior a 2,5 m/h para a vazão média e a 4 m/h para a vazão máxima.

O TDH influi diretamente nas condições operacionais dos reatores anaeróbios, onde baixos TDH promovem elevação na velocidade ascensional, o que pode provocar arraste dos sólidos e da biomassa ativa. Já com TDH mais longos a geração de espuma e perda de sólidos tende a ser menores, tendo em vista que a retenção de sólidos é maior (MAHMOUD et al., 2004).

De acordo com Chernicharo (2011), o manto de lodo estático nos reatores é prejudicial, pois acarreta em acúmulo de sólidos não biodegradáveis no sistema, formação de zonas mortas, curtos-circuitos hidráulicos e caminhos preferenciais no reator, diminuindo, assim, o volume de biomassa no sistema e a eficiência do processo de tratamento. Deste modo, o autor ressalta que boas condições de mistura podem ser alcançadas com o aumento da vazão afluente ao reator e, consequentemente, da velocidade ascensional.

Mahmoud et al. (2004), relata que o aumento da velocidade ascensional melhora a mistura no interior do UASB o que pode elevar a eficiência de remoção de sólidos. Por outro lado, esse acréscimo da velocidade ascensional pode aumentar a força hidráulica cisalhante e ocasionar o carreamento dos sólidos da manta de lodo e promover perda de sólidos do sistema.

Os processos operacionais empregados no reator UASB relacionados principalmente à variação do TDH e velocidade ascensional – baixo TDH e elevada velocidade ascensional - influenciam negativamente na remoção de DQO e sólidos particulados do efluente (MAHMOUD et al., 2004).

Peña et al. (2006) avaliaram o desempenho de reatores UASB em escala plena, tratando esgotos sanitários, operando em condições de TDH (10, 8, 6 e 5 h). Os autores concluíram que na condição de TDH de 6 e 8 h ocorreram as melhores eficiências na remoção de DQO e SST. Por outro lado, nas condições extremas de 5 e 10 h, foram detectadas zonas mortas e caminhos preferenciais do lodo que contribuíram para a perda de eficiência e perda de sólidos com o efluente.

Em um estudo com um reator UASB em escala plena, no Estado do Paraná, tratando esgotos domésticos, Ross et al. (2016) avaliaram o desempenho de reatores para diferentes condições operacionais de TDH (10,7; 8 e 6,4 h). A remoção de DQO foi positiva e elevada nos três tratamentos, sendo superior a 80%, porém não foi possível afirmar que houve diferença entre as eficiências e influência do TDH na remoção de matéria orgânica. Além disso, relataram que houve uma redução significativa na taxa de acumulação de espuma na superfície da zona de decantação na condição de maior TDH concluindo, então, que menores velocidades ascensionais promovem a formação de menos espuma. A geração e dispersão de lodo não foram avaliadas nesse estudo. O presente trabalho teve por objetivos avaliar os efeitos da variação na vazão de alimentação de esgoto bruto sobre a dinâmica do manto de lodo, fenômeno do arraste de sólidos com o efluente do reator e a eficiência na remoção de DQO, em reator UASB operando em escala plena.

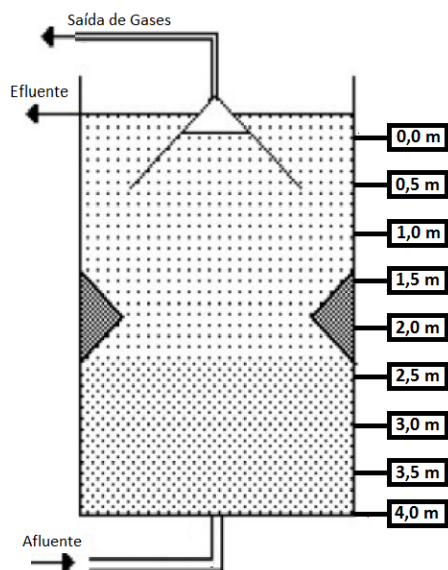
## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado ao longo de 24 horas em um reator UASB de uma ETE de grande porte localizada na cidade de Curitiba-PR com capacidade de tratamento de 440 L/s. O sistema de tratamento da ETE é composto por 6 reatores anaeróbios de manta de lodo tipo UASB seguido de pós-tratamento em lagoa aerada e lagoa de sedimentação.

A vazão afluente foi monitorada com medidor ultrassônico e o TDH foi calculado conforme equação abaixo:

$$\text{TDH} = \frac{\text{volume do reator (m}^3\text{)}}{\text{vazão (m}^3\text{/h)}}$$

No afluente e efluente do reator foram realizadas análises de DQO, em triplicata, sendo as coletas realizadas às 0, 2, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 e 22 horas. Já para a realização do perfil de sólidos do manto de lodo foram coletadas amostras com o coletor *sludge* às 5, 12 e 16 horas ao longo da profundidade do reator 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 4 (Figura 1). Todos os procedimentos analíticos foram realizados de acordo com APHA (2012).



(a)



(b)

**Figura 1: Pontos de coleta de lodo (a) e coletor *sludge* (b)**

Os dados obtidos para o teor de sólidos totais do lodo foram tratados pelo método de interpolação espacial *Natural Neighbor Interpolation* no software ArcGIS 10.3.1 e todos os resultados receberam tratamento estatístico com o cálculo do intervalo de confiança a 95% e significância para as médias, com o objetivo de se avaliar estatisticamente os valores com a visualização de gráficos de barras de erro.

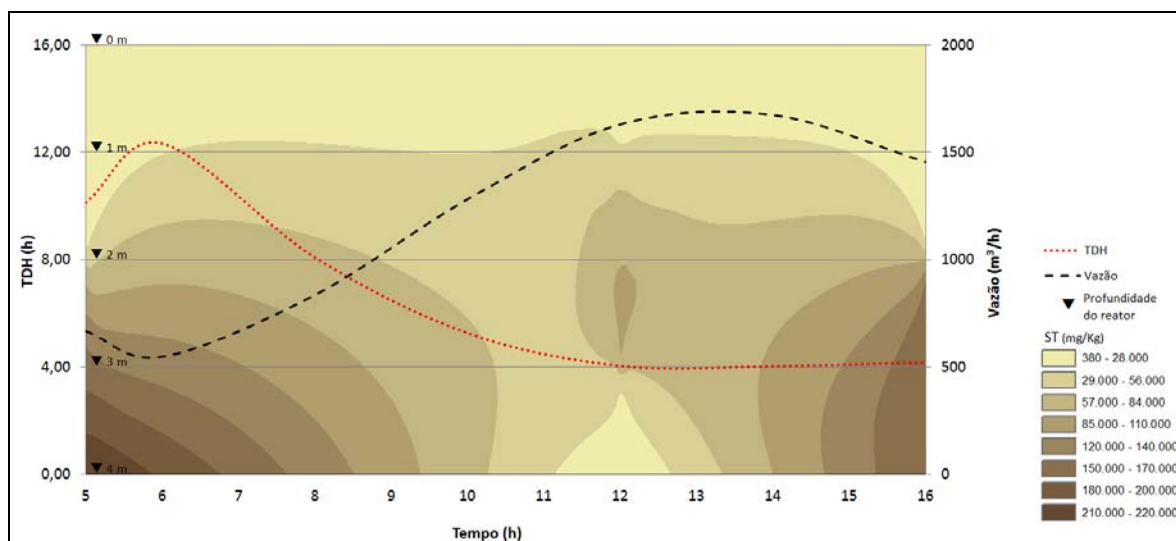
## RESULTADOS

Na Figura 2 estão apresentados os resultados do monitoramento do perfil do manto de lodo, vazão afluente de esgoto e TDH. Assim, foi possível observar a redução progressiva do teor de sólidos do manto de lodo ao longo da altura do reator, decorrente de arraste de sólidos excessivo com o efluente. No período inicial da avaliação (5 h), o teor de sólidos totais no fundo foi bastante elevado com valor de 220000 mg/kg e no topo o teor de sólidos foi menor, ou seja, de 380 mg/kg.

Com o passar do tempo e o aumento da vazão de entrada de esgoto no reator e consequente redução no TDH, nas etapas consecutivas, o teor de sólidos reduziu sensivelmente no fundo do reator, sendo que a redução mais drástica no teor de sólidos ocorreu às 12 h quando os valores obtidos de teor de sólidos situaram-se em 648,48 mg/kg no fundo e 772,10 mg/kg no topo. Tal fato resultou em um excessivo arraste de sólidos, com forte no teor de sólidos do lodo no fundo e aumento na altura de manto de lodo dentro do reator.

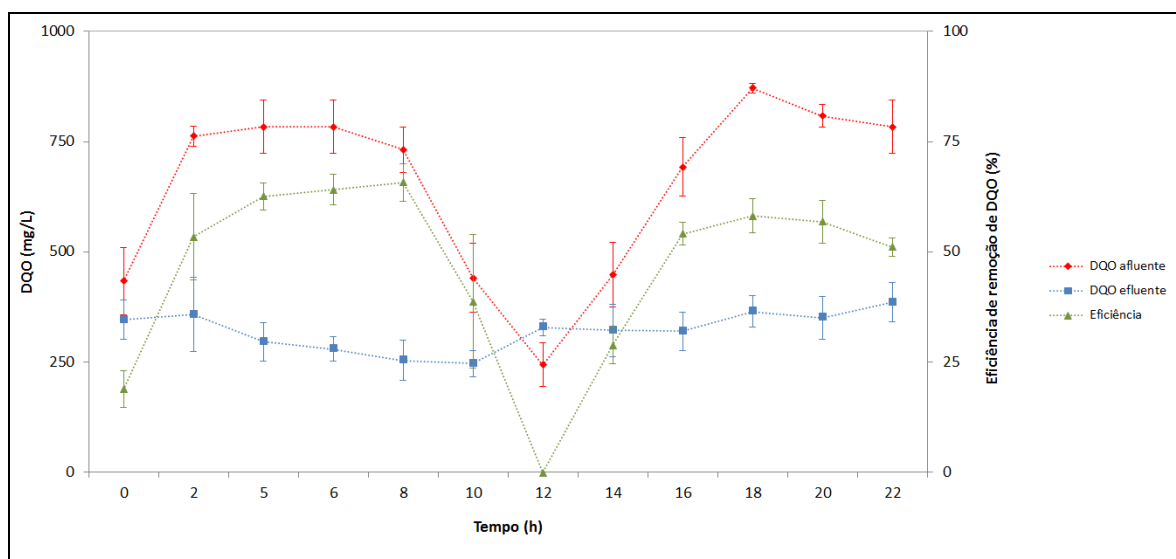
Contudo, quando a vazão de entrada de esgoto começa a diminuir e TDH a aumentar, a partir das 14 horas, o manto de lodo tende a adensar no fundo do reator, pois às 16 h foi possível observar uma redução na altura do manto de lodo e também o aumento do teor de sólidos totais no fundo com valores de 146803,78 mg/Kg.

Deste modo, foi possível observar que no período de 24 h o manto de lodo varia em altura e na distribuição do teor de sólidos totais ao longo da profundidade do reator, sendo que nos períodos de maior vazão de afluente e menor TDH o manto encontra-se mais alto e o teor de sólidos no fundo do reator é reduzido. Por outro lado, quando a vazão de esgoto é menor e o TDH é maior o lodo se concentra no fundo do reator. O comportamento observado corrobora com o descrito por Mahmoud et al (2004), de que o TDH influi diretamente nas condições operacionais dos reatores anaeróbios, onde baixos TDH promovem elevação na velocidade ascensional, o que provoca flutuação no manto de lodo e arraste dos sólidos



**Figura 2: Monitoramento do perfil do manto de lodo, vazão afluyente de esgoto e TDH.**

Na Figura 3 podem ser observados os resultados do monitoramento de eficiência de remoção de DQO e DQO afluyente e DQO efluente.



**Figura 3: Monitoramento de eficiência de remoção de DQO e DQO afluyente e efluente.**

Os valores de DQO indicam regularidade no comportamento, com maiores concentrações no afluyente entre 2 a 8 h e de 16 a 22 h, com diminuição de DQO no período de 10 a 14 h e também às 5 h. O perfil de DQO efluente se mostrou com pouca variação, ou seja, com mínimo de 246,56 e máximo de 385,33 mg/L. Os valores máximos na concentração de DQO efluente devem-se ao decorrente desprendimento de material biológico contido no reator, por conta da flutuação do manto do lodo em função da vazão de esgoto afluyente e TDH (MAHMOUD et al, 2004).

A avaliação da DQO e a eficiência média de remoção demonstram que o reator operou na maioria do tempo de modo satisfatório, pois as médias de DQO afluyente foram diferentes das médias de DQO efluente e ainda estão fora, ou pelo menos distantes, da banda de confiança de 95%. Também, as eficiências de remoção de DQO obtidas se encontram, em sua maioria, na faixa sugerida como aceitável por Chernicharo (2011), ou seja, a eficiência média de remoção de DQO em reatores UASB deve variar tipicamente entre 55 e 75%. Entretanto, cabe destacar que às 12 horas não houve eficiência de remoção de DQO, tendo em vista que o valor de DQO efluente foi superior a DQO afluyente. Tal fato corrobora com o indicado na Figura 2, onde é demonstrado que

o manto de lodo se eleva e provavelmente houve perda de sólidos junto com o efluente, aumento assim a DQO de saída.

## CONCLUSÕES

Por meio dos dados obtidos foi possível concluir que ao longo de 24 h o manto de lodo varia em altura e na distribuição do teor de sólidos totais de acordo com a profundidade do reator, sendo que nos períodos de maior vazão de afluente e menor TDH o manto encontra-se mais alto e o teor de sólidos no fundo do reator é reduzido. Por outro lado, quando a vazão de esgoto é menor e o TDH é maior o lodo se concentra no fundo do reator. Tal comportamento demonstrou influência na eficiência de remoção de DQO, onde baixos TDH promovem elevação na velocidade ascensional, o que provoca flutuação no manto de lodo e arraste dos sólidos e consequente queda na eficiência de remoção desse parâmetro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation) Standard methods for examination of water and wastewater, 22. ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, APHA, AWWA, WEF, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12.209 - Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 2011.
3. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2011. 380p.
4. KATO, M. T., ANDRADE NETO, C. O., CHERNICHARO C.A.L., FORESTI, E., CYBIS, L. F. Configurações de reatores anaeróbios; In: Campos (Coord.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. São Carlos: PROSAB, 1999. 443p.
5. MAHMOUD, N., ZEEMAN, G., GIJZENB, H., LETTINGA, G. Anaerobic stabilization and conversion of biopolymers in primary sludge effect of temperature and sludge retention time. Water Research, v.38, n.4, p. 983-991, fev. 2004.
6. PEÑA, M. R., MARA, D. D., AVELLA, G. P. Dispersion and treatment performance analysis of an UASB reactor under different hydraulic loading rates. Water Research, v.40, n.3, p. 445-452, fev. 2006.
7. ROOS, B. Z. L., GOMES DA COSTA, F. J. O., MARQUES, C. J., FROEHNER, S., AISSE, M. M. Avaliação do efeito da velocidade ascensional do esgoto bruto e a frequência de retirada de lodo na geração de espuma em reatores UASB operando em escala plena Revista AIDIS, v.9, n. 3. p. 349-362, dez. 2016.
8. SEGHEZZO L., ZEEMAN G., VAN LIER J.B., HAMELERS H.V.M., LETTINGA G. A review: The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. Bioresource Technology, v. 65, n.3, p. 175-190, set. 1998.