

II-186 – AVALIAÇÃO DO EFEITO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO BRUTO NA GERAÇÃO DE ESCUMA EM REATORES UASB OPERANDO EM ESCALA PLENA

Bárbara Zanicotti Leite Ross⁽¹⁾

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 da UFPR (2015).

Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa⁽²⁾

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.

Clodoaldo José Marques⁽³⁾

Técnico em Química, gestor de estação de tratamento de esgotos da Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

Sandro Froehner⁽⁴⁾

Professor associado da UFPR no curso de Engenharia Ambiental, onde orienta alunos de mestrado e doutorado. Graduado, Mestre e Doutor em Química pela UFSC (1992, 1995 e 1999), com estágio sandwhich na Rutgers University. Pós-Doutorado em Engenharia Ambiental pela UFSC e Pós-Doutorado em Geoquímica Orgânica pela Bristol University.

Miguel Mansur Aisse⁽⁵⁾

Professor Titular do Mestrado e Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica (EP USP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, nº151 – Tarumã - Curitiba - PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: +55 (41) 3777 7261 - e-mail: barbarazl@sanepar.com.br

RESUMO

Os reatores UASB são muito utilizados para o tratamento de esgotos domésticos, porém, a formação de espuma é um sério problema operacional. Para que o uso deste tipo de tecnologia não seja desacreditado são necessárias recomendações de projeto e operacionais para o manejo da espuma. Este trabalho avaliou o efeito da velocidade ascensional do esgoto bruto na geração de espuma, em reatores operando em escala plena. Os testes foram realizados na ETE Vassoural, localizada no Estado do Paraná, Brasil, que possui três reatores UASB, operando em paralelo, e trata a vazão de 240 L.s⁻¹. Cada um dos três reatores foi regulado para operar com vazões diferentes, sendo que o reator que funcionou com TDH superior (8,75 h) formou 3 vezes mais espuma na área de decantação e 4,8 vezes mais espuma no interior do separador trifásico (IST) que o reator que funcionou com TDH inferior (5,83 h). O maior tempo de detenção apresentou maior eficiência na remoção de O&G do efluente dos reatores, tempos de detenção reduzidos causam uma piora de qualidade do efluente no tocante a este parâmetro.

PALAVRAS-CHAVE: Espuma, esgoto sanitário, reator UASB, velocidade ascensional.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado acarreta um desequilíbrio no fornecimento de água para a população e nos serviços de saneamento básico. Nos países da América Latina e Caribe, 91 % da população recebe água tratada em suas residências, 79 % possui a coleta de seus esgotos, mas apenas 15 % deste montante recebe o tratamento adequado antes de ser devolvido aos rios (Noyola *et al.*, 2012). O Brasil fez parte desta avaliação, portanto é fundamental o desenvolvimento de infraestrutura e tecnologias capazes de suprir esta demanda, oferecendo inovações e considerando as limitações e condições específicas de cada região.

Os reatores UASBs são a terceira tecnologia mais utilizada em países da América Latina e Caribe, atendendo a 17% das estações avaliadas, em primeiro lugar encontram-se as lagoas de estabilização (43%) (Noyola *et al.*, 2012). Nos novos projetos de estações de tratamento no Brasil os UASBs aparecem como a alternativa mais

empregada (Chernicharo, 2011). No Paraná, a tecnologia é utilizada desde 1979, no ano de 2005 a companhia estadual de saneamento já operava mais de 300 reatores, número que cresceu ao longo destes anos.

Apesar das vantagens de não consumir energia no tratamento e ocupar pequena área para implantação, um reator anaeróbico de manto de lodo apresenta não só limitações quanto ao atendimento dos padrões de lançamento, como também, um sério problema operacional relacionado à formação de espuma. Seu acúmulo pode prejudicar o desempenho do sistema em termos de qualidade do efluente, ocasionar perdas de biogás e até mesmo o rompimento do separador trifásico dos reatores.

TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZANDO REATORES UASB

Nos reatores UASB o fluxo do líquido a ser tratado é ascendente, seu funcionamento está baseado na formação de um manto de lodo, que ocupa o terço inferior do volume total do reator. A parte superior é formada por duas zonas, a zona de decantação, onde ocorre a separação entre as fases sólida e líquida, e outra conhecida como Interior do Separador Trifásico (IST), onde ocorre a separação das fases líquida e gasosa. Isso é conseguido com auxílio do separador trifásico, que também favorece a sedimentação dos flocos de lodo, mantendo os micro-organismos no interior do reator aumentando consideravelmente o tempo de retenção celular sem elevar o tempo de detenção hidráulica (Noyola *et al.*, 2013; Souza, 2006).

Os parâmetros de processo a serem controlados em reatores UASB são: tempo de detenção de sólidos, tempo de detenção hidráulico, as cargas volumétricas orgânicas e hidráulicas e a velocidade ascensional (Versiani *et al.*, 2005). O monitoramento da estabilidade do reator UASB passa também pelo controle do pH, a alcalinidade e a concentração de ácidos orgânicos.

A velocidade ascensional é um importante fator no desempenho do processo. A norma brasileira recomenda o uso de velocidades inferiores a $0,7 \text{ m.h}^{-1}$, sendo o máximo permitido de $1,2 \text{ m.h}^{-1}$ para as vazões máximas diárias (ABNT, 2011). Já reatores UASB projetados na Índia, possuem o valor de $0,5$ a $0,6 \text{ m.h}^{-1}$ como recomendação de velocidade ascensional (Chernicharo *et al.*, 2015). A aplicação de velocidades inferiores a 1 m.h^{-1} favorece o desempenho da unidade, devido a uma maior adsorção e captura de sólidos afluentes no próprio manto de lodo. Enquanto que o uso de velocidade ascensional superior a 1 m.h^{-1} implica na piora do desempenho da unidade, que pode ter sido responsável pelo aumento na força hidráulica de cisalhamento, promovendo uma desagregação dos sólidos capturados (Versiani *et al.*, 2005). A formação da espuma pode ser intensificada quando os reatores UASB estão operando com baixos tempos de detenção (5h), a alta velocidade ascensional ($1,1 \text{ m/h}$) aumenta a quantidade de sólidos arrastados para a superfície do reator contribuindo para uma maior formação de espuma (Souza *et al.*, 2006).

Desde sua implantação, a tecnologia UASB vem sofrendo uma série de indagações, inicialmente, difundiu-se a ideia de que suas eficiências seriam semelhantes as atingidas com o tratamento secundário convencional (lodos ativados). Depois disso, começou-se a combinar seu uso com pós-tratamento para melhoria da qualidade final do efluente da ETE, entretanto novos problemas como a geração de odor e espuma têm sido apontados (Souza *et al.*, 2012). Se não houver diretrizes adequadas de projeto e operação dos reatores UASB a tecnologia pode ser desacreditada e seu uso diminuído (Chernicharo *et al.*, 2009). Existem aspectos internos do reator como a forma de captação de biogás, sistema de distribuição do esgoto, forma de retirada de espuma e de lodo que não estão padronizados e por esta razão o desenho proposto e sua funcionalidade irão depender da experiência do projetista (Noyola *et al.*, 2013).

ESCUMA

A espuma pode ser definida como uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície de reatores e pode aparecer no tratamento de águas residuárias tanto domésticas quanto industriais (Souza *et al.*, 2006). A composição e quantidade gerada de espuma irá depender da composição do esgoto afluente, do sistema preliminar de tratamento e do modelo de reator empregado (Ross *et al.*, 2013).

FATORES QUE INFLUENCIAM NA FORMAÇÃO DA ESCUMA

Nos reatores UASB o acúmulo de espuma ocorre em dois compartimentos distintos: na superfície do compartimento de decantação e no IST (Figura 1). As duas subunidades apresentam diferenças funcionais

importantes na formação da espuma. Na superfície do decantador não deve haver desprendimentos de biogás, enquanto que no interior do separador há um importante desprendimento de biogás (Souza *et al.*, 2006).

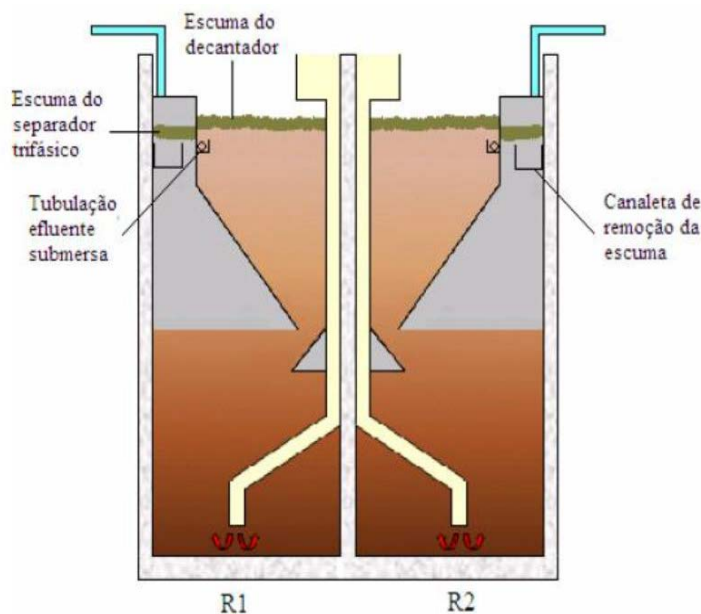


Figura 1: Corte esquemático de reatores UASB geminados (R1 e R2).
Fonte: Souza *et al.* (2006)

Considerando que o acúmulo de espuma está relacionado ao arraste de partículas do lodo do compartimento de digestão para o compartimento de decantação, devido à imposição de elevadas velocidades ascensionais (Souza, 2006), este trabalho objetivou avaliar o efeito da velocidade ascensional do esgoto bruto na geração de espuma, em reatores operando em escala plena.

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido na ETE Vassoural, localizada em Guarapuava, sudoeste do Estado do Paraná, Brasil. Inaugurada em 2010, opera com a vazão de $240 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, vazão para a qual foi projetada. O sistema de tratamento da ETE é composto pelo preliminar (gradeamento manual de 20 mm, gradeamento mecânico de 10 mm e peneiramento de 6 mm, desarenador ciclônico e calha *parshall*), três reatores UASBs, com capacidade nominal de $80 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ cada um, e um filtro biológico percolador com distribuidor rotativo seguido de decantador para o pós-tratamento do efluente (Figura 2).



Figura 2: Fotografia aérea da ETE Vassoural em obras.
Fonte: Arquivo fotográfico Sanepar (2010)

Os três reatores UASB da ETE Vassoural recebem esgoto, através de uma caixa divisora de fluxos. As comportas da caixa divisora de fluxos foram abertas de modo que cada um dos reatores recebesse uma quantidade diferenciada de esgoto, mas mantendo-se o somatório de 240 L.s^{-1} , assim tem-se uma variação da velocidade ascensional, controlada através da variação de vazão. Considerando que cada reator possui o volume de 2304 m^3 e uma altura de 4 m, obtiveram-se preliminarmente as seguintes correlações:

- Reator 1: vazão de 100 L.s^{-1} , equivalente a $\text{TDH} = 6,4\text{h}$ e $v = 0,62 \text{ m.h}^{-1}$;
- Reator 2: vazão de 80 L.s^{-1} , equivalente a $\text{TDH} = 8\text{h}$ e $v = 0,50 \text{ m.h}^{-1}$, e;
- Reator 3: vazão de 60 L.s^{-1} , equivalente a $\text{TDH} = 10,7\text{h}$ e $v = 0,37 \text{ m.h}^{-1}$.

Uma vez por semana foi retirada a espuma produzida em cada um dos reatores, tanto da superfície do decantador quanto do IST e este material foi encaminhado aos leitos de secagem. O volume de espuma produzido em cada uma das áreas foi determinado com o uso de coletores colocados na superfície do decantador e do IST. Os coletores foram elaborados com tubos de PVC (Figura 3), com diâmetro de 200 mm, cortados no comprimento de 1 m, em uma das extremidades do tubo foram fixadas duas ripas de madeira a fim de dar sustentação ao tubo, evitar a movimentação na superfície e o afundamento do mesmo no reator. A coleta da espuma contida no interior do tubo, foi feita com auxílio de uma escumadeira, o material teve seu volume determinado em um *becker* graduado e encaminhado ao laboratório. Para mensurar a quantidade de espuma produzida, foi calculada a área total de acúmulo do reator e este valor foi multiplicado pela quantidade obtida em cada tubo.



Figura 3: Fotografia do tubo armazenador de espuma.
Fonte: os autores.

As amostras das duas áreas de acúmulo foram misturadas e as concentrações de O&G, ST, STF e STV foram determinadas para cada um dos reatores. Foram avaliados igualmente a qualidade do esgoto bruto e do tratado, com o controle de DQO, pH e O&G, em coletas pontuais. Estes procedimentos ocorreram uma vez por semana, durante os meses de fevereiro e março de 2015. Paralelamente foi mensurada a temperatura ambiente, volume de chuvas, vazão da ETE e anotados procedimentos da remoção do lodo.

As etapas de preservação, transporte e armazenamento das amostras seguiram as especificações detalhadas pelo procedimento *Preservation and Storage* 9060 B, definidas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). As análises de pH, DQO, sólidos sedimentáveis (SSed), óleos e graxas (O&G), sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) também seguiram o preconizado na referida literatura. Maiores informações são encontradas no trabalho Ross (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas sete amostragens, totalizando um período de avaliação de 43 dias, durante este período a temperatura média do ar foi de 27,2 °C e a pluviosidade na ETE Vassoural apresentou média de 9 mm.d⁻¹, totalizando 65 mm de chuva durante as coletas. Na Tabela 1 nota-se que a divisão do esgoto na caixa distribuidora de fluxos foi eficiente, conseguindo-se diferenciar a quantidade de esgoto destinada a cada um dos reatores, sem prejudicar o funcionamento global da ETE. Obteve-se velocidade ascensional máxima de 0,69 m.h⁻¹ e mínima de 0,46 m.h⁻¹.

Tabela 1: Resultados médios de eficiência dos reatores UASB, operando com diferentes velocidades ascensionais.

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO	EFLUENTE DO REATOR 1	EFLUENTE DO REATOR 2	EFLUENTE DO REATOR 3
Vazão (L.s ⁻¹)	276 (±20,6)	110 (±8,2)	92 (±6,9)	73 (±5,5)
Tempo de detenção (h)	NA	5,8 (±0,4)	7,0 (±0,5)	8,7 (±0,6)
V _{asc} (m.h ⁻¹)	NA	0,69 (±0,05)	0,57 (±0,04)	0,46 (±0,03)
Temperatura (°C)	24 (±1,26)	23 (±0,9)	24 (±1,0)	24 (±0,9)
pH	7,41 (±0,3)	6,95 (±0,1)	6,93 (±0,1)	6,94 (±0,1)
DQO (mg.L ⁻¹)	421 (±182,1)	70 (±17,3)	74 (±20,2)	76 (±27,5)
E _{DQO} (%)	NA	82 (±4,9)	81 (±4,2)	80 (±6,3)
O&G (mg.L ⁻¹)	123 (±57,4)	136 (±30,6)	76 (±22,6)	75 (±21,7)
E _{O&G} (%)	NA	-22 (±44,5)	29 (±26,9)	30 (±26,9)

Obs.: NA = não se aplica.

Ainda na Tabela 1, pode-se analisar que o reator 1 apresentou eficiência negativa para a remoção de O&G. Das 7 amostras avaliadas neste reator, 4 apresentaram eficiência negativa para a remoção de O&G. Já no caso do reator 2, que operou com TDH superior ao reator 1, apenas em uma das amostragens obteve-se eficiência negativa para a remoção de O&G no efluente; e no reator 3 em todas as amostragens a remoção de O&G foi positiva. O maior tempo de detenção apresentou maior eficiência na remoção de O&G do efluente dos reatores, tempos de detenção reduzidos causam uma piora de qualidade do efluente no tocante a este parâmetro. A remoção de DQO foi elevada nos três reatores, sempre superior a 80 %, quando se compara com valores citados por Aisse *et al.* (2002) e Chernicharo *et al.* (2015), porém não se pode afirmar que exista diferença entre as eficiências para cada um dos casos. Outros parâmetros que não apresentaram modificação foram a temperatura do esgoto e o pH, sendo que o pH do esgoto bruto mostrou-se um pouco mais alcalino que o pH do esgoto tratado, porém sem diferença entre o efluente dos três reatores.

Os resultados médios de produção e características da espuma dos reatores UASB, operando com diferentes velocidades ascensionais estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados médios de produção de espuma dos reatores UASB, operando com diferentes velocidades ascensionais.

PARÂMETRO		ESCUMA REATOR 1	ESCUMA REATOR 2	ESCUMA REATOR 3
TDH (h)		5,83 (±0,4)	7,00 (±0,5)	8,75 (±0,6)
V _{asc} (m.h ⁻¹)		0,69 (±0,05)	0,57 (±0,04)	0,46 (±0,03)
Escuma acumulada (mL) no amostrador	do decantador	1109 (±248)	2821 (±1108)	3355 (±1149)
	do IST	31 (±40)	65 (±67)	149 (±151)
ST (%)		12,73 (±1,2)	13,98 (±1,3)	13,24 (±1,6)
STF (%)		3,72 (±0,3)	4,70 (±0,4)	4,43 (±0,8)
STV (%)		9,01 (±1,0)	9,28 (±1,0)	8,82 (±1,0)
O&G (mg.kg ⁻¹)		1076 (±69)	1171 (±213)	1566 (±257)

Obs.: O tempo de acúmulo da espuma foi de 7 dias.

Comparando-se os resultados das Tabelas 1 e 2 observa-se que a concentração de O&G no efluente do reator que trabalhou com TDH inferior foi mais alta que os demais, enquanto que os valores encontrados na espuma são contrários, ou seja, os maiores teores de O&G foram encontrados na espuma do reator que operou com TDH superior, sugerindo uma transferência deste conjunto de compostos quando o TDH é superior, evitando sua saída no efluente e migrando para a espuma.

Com relação à quantidade de espuma formada, o reator que funcionou com TDH superior (8,75 h) formou 3 vezes mais espuma (em volume) na área de decantação e 4,8 vezes mais espuma no IST que o reator que funcionou com TDH inferior (5,83 h). Acreditava-se, de acordo com o encontrado em literatura, que velocidades ascensionais menores permitiriam a formação de menos espuma. Porém, como os reatores recebem esgoto doméstico, a aplicação de velocidades inferiores permitiu maior degradação da matéria-orgânica e consequentemente maior produção de lodo e de biogás, que causou a flotação do lodo permitindo sua presença na espuma. A ocorrência de lodo flotado na espuma pode ser justificada pela grande produção de gás, o que transforma o reator UASB em um flutador natural, onde uma grande quantidade de sólidos passa a se acumular na superfície dos tanques (Ramos, 2008). Infelizmente, os reatores avaliados não possuem medidores de produção de biogás, o que permitiria a validação desta hipótese.

Os teores de sólidos totais, voláteis e fixos avaliados na espuma formada nos três reatores não apresentou variação significativa. O esgoto afluente à ETE Vassoural apresentou concentração de sólidos sedimentáveis média de $4,3 \text{ mL.L}^{-1}$ ($\pm 3,3$) enquanto que o efluente dos três reatores não apresentaram alteração, sendo que os valores médios são de $0,1 \text{ mL.L}^{-1}$. Acredita-se que caso tenha ocorrido o arraste de sólidos para fora do reator, estes ficaram retidos na espuma e não chegaram a impactar a qualidade do esgoto tratado.

Constatou-se que a ETE Vassoural apresenta eficiências de remoção de DQO bastante elevadas, que podem estar relacionadas a qualidade do esgoto afluente, boa condução nos procedimentos operacionais adotados pelos operadores responsáveis e o *design* do reator UASBs, que segue o modelo tradicional.

CONCLUSÕES

O reator que funcionou com TDH superior (8,75 h) formou 3 vezes mais espuma (em volume) na área de decantação e 4,8 vezes mais espuma no IST que o reator que funcionou com TDH inferior (5,83 h). A aplicação de velocidades ascensionais inferiores permitiu maior degradação da matéria-orgânica e consequentemente uma maior produção de lodo e de biogás que causou a flotação do lodo permitindo sua presença na espuma.

O maior tempo de detenção apresentou maior eficiência na remoção de O&G do efluente dos reatores, tempos de detenção reduzidos causam uma piora de qualidade do efluente no tocante a este parâmetro.

Não foram verificadas alterações significativas no teor de sólidos sedimentáveis nos efluentes dos três reatores, independente da velocidade ascensional utilizada, sugerindo que o lodo arrastado devido ao aumento da velocidade ascensional pode ser acumulado na espuma.

AGRADECIMENTOS

À toda equipe de operação da ETE Vassoural que contribuiu para a realização deste experimento, Marcia Mendes Costa Guareski, Arnaldo Felipe dos Santos, Dora Roberta de Arruda Bender, David Ida Junior, Edegar Morando, entre outros. Agradecemos também a Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, APD/DMA, da Sanepar e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, PPGERHA da UFPR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12.209: Elaboração de Projetos Hidráulicos-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários*. Rio de Janeiro, 2011.
2. 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, 2012.
3. AISSE, M. M., LOBATO, M. B., JÜRGENSEN, D., ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. (Treatment of Anaerobic Effluents with Discharge of Aerobic Sludge to the UASB Reactor) *In: VII Taller e Simposio Latino Americano sobre Digestion Anaerobia*. Merida, Mexico. 2002.

4. CHERNICHARO, C. A. L., ALMEIDA, P.G.S., COUTO, T.C., SOUZA, C.L., BORGES, J.M. Contribuição para a melhoria do projeto e da operação de reatores UASB tratando esgotos domésticos: gerenciamento da espuma, *XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Brasil, 2009.
5. CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores Anaeróbios*, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Brasil, 380pp, 2011.
6. CHERNICHARO, C.A.L., VAN LIER, J.B., NOYOLA, A., RIBEIRO, T.B. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constrains and challenges. *Rev. Environmental Science Biotechnology*, v.14 (4), 649-679, 2015.
7. NOYOLA, A., RIVERA-PADILLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J.M., GÜERECA, L.P., HERNANDEZ-PADILLA, F. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. *Clean-Soil, Air Water*. v. 40 (9), 926 – 932, 2013.
8. RAMOS, R.A. Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores UASB em estações de tratamento de esgoto no distrito federal. 135 f. *Dissertação* (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008.
9. ROSS, B.Z.L., CARNEIRO, C., AISSE, M.M., FROEHNER, S. Caracterização da espuma produzida em reatores anaeróbios de manta de lodo, Estado do Paraná, *XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Goiânia, Brasil, 2013.
10. ROSS, B.Z.L. Espuma de reatores anaeróbios tratando esgotos domésticos em escala real: produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento. 166 f. *Tese* (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
11. SOUZA, C.L. *Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada em reatores UASB tratando esgotos domésticos*, Tese de mestrado, Programa de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 105pp, 2006.
12. SOUZA, C.L., AQUINO, S.F., CHERNICHARO, C.A.L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science & Technology*, v. 54, 201-208, 2006.
13. SOUZA, C.L., CHERNICHARO, C.A.L., MELO, G.C.B. Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, v. 65, 1229 – 1237, 2012.
14. VERSIANI, B.M., JORDÃO, E.P., VOLSCHAN JUNIOR, I., DEZOTTI, M.W.C., AZEVEDO, J.P.S. Intervenientes no desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais. *XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande, Brasil, 2005.