

II-142 - DESCARGA DE ESCUMA DO SEPARADOR TRIFÁSICO EM REATOR UASB MODIFICADO

Jackson de Oliveira Pereira⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades da Universidade Federal de São João Del-Rei – (DTECH/UFSJ).

Cláudia Thayara da Silva Moreira

Engenheira Civil pela Universidade Federal de São João Del- Rei. Pós-graduanda em Gestão Ambiental na Universidade Norte do Paraná.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades - Universidade Federal de São João Del-Rei - Campus Alto Paraopeba (CAP). Rod. MG 443, km 07- Fazenda do Cadete - Ouro Branco MG - Cep: 36420 000 - Brasil - Tel (31) 3741-3193 – e-mail: jackson@ufsj.edu.br

RESUMO

O reator UASB constitui a primeira alternativa de projeto de estações de tratamento de esgoto no Brasil devido aos seus baixos custos de implantação, operação e manutenção, além do baixo consumo de energia. Um dos maiores problemas na concepção UASB, entretanto, é a formação de espuma – camada composta por material flutuante como óleos e graxas – no interior do separador trifásico, que ocasiona uma série de problemas, até mesmo o colapso da estrutura. Objetivando contribuir para redução deste subproduto gerado e os seus inconvenientes, o presente trabalho vem propor modificações no projeto do separador trifásico do reator UASB. Tais modificações foram avaliadas em reatores UASB em escala semidemonstração, dois reatores, um convencional e o outro modificado, foram operados tratando esgoto doméstico e avaliados quanto ao acúmulo de espuma em uma estação de tratamento de esgoto real. O novo protótipo foi projetado com duas distintas aberturas de passagem do esgoto da zona de digestão para zona de decantação do reator (reator modificado). Os resultados demonstraram uma satisfatória redução na formação de espuma no reator modificado, quando comparado ao convencional, com uma redução média em massa (ST) de 47% e de até 92% na espessura da camada, além de uma discreta melhor remoção da matéria orgânica. Esses resultados promissores indicam que as modificações testadas na configuração proposta, representa um importante caminho no equacionamento de um dos principais problemas dos reatores UASB tratando esgoto doméstico no estado da técnica.

PALAVRAS-CHAVE: Espuma, Reator UASB, Separador Trifásico, Esgoto Sanitário, Controle de Espuma.

INTRODUÇÃO

O aperfeiçoamento tecnológico de reatores UASB para tratamento de esgoto doméstico constitui uma demanda premente dos prestadores de serviços de saneamento no Brasil, uma vez que a tecnologia demonstrou sérias limitações durante os anos do seu uso e aplicação. Entre estes, destacam-se o acúmulo de espuma no separador trifásico, a perda de gases para atmosfera, a geração de maus odores, e a descarga excessiva de sólidos no efluente final (CHERNICHARO *et al.*, 2015).

A espuma é um subproduto sólido do tratamento que pode se acumular na superfície dos decantadores e no interior do separador trifásico. Segundo METCALF & EDDY (1991), a espuma pode conter gordura, óleos, ceras, sabões, restos de comida, cascas de frutas e vegetais, cabelos, papel e algodão, pontas de cigarros, materiais plásticos, partículas de areia e materiais similares, apresentando massa específica menor que 1,0 e usualmente perto de 0,95.

O equacionamento da acumulação de espuma no decantador foi bem resolvido ao se permitir a descarga do material flutuante com o efluente final (retirando-se os retentores de espuma), uma vez que o impacto na qualidade do mesmo é ínfimo, cerca de 2% (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; SOUZA *et al.*, 2006). Em contrapartida, no caso da espuma do separador, a solução dos problemas mencionados tem sido alcançada com o projeto de dispositivos que possibilitam a remoção periódica da espuma, a exemplo de calhas,

tubulações de descarte ou aberturas (comportas) dispostas no separador. O sucesso dessa solução, entretanto, está condicionado ao rigoroso controle operacional da acumulação de espuma, para que a mesma se apresente com a fluidez necessária ao seu escoamento pelos dispositivos de descarte. Quando isso não se verifica, a solução empregada acaba sendo mais dispendiosa, com o emprego da sucção do material por caminhão limpa-fossa (VAN LIER *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2009).

Entretanto, pouco se avançou no conhecimento sobre acumulação de espuma nos projetos de reatores em escala plena e a incerteza sobre previsão da espuma acumulada é recorrente. Pode-se dizer que somente após a metade da década passada o problema se tornou um consenso no meio técnico, o que levou ao desenvolvimento de pesquisas e a publicação dos primeiros trabalhos específicos sobre o assunto no país (SOUZA *et al.*, 2006; PEREIRA *et al.*, 2009; CHERNICHARO *et al.*, 2009).

Reveste-se de relevância o estudo e controle da acumulação deste subproduto no separador trifásico não apenas a vertente dos custos elevados de manutenção, mas também o fato de que esse acúmulo pode bloquear a interface de separação do biogás da fase líquida, ocasionando a perda de gases para o decantador; a redução da eficiência da retenção de sólidos e a deterioração da qualidade do efluente; emissões descontroladas de gases de efeito estufa (CH_4 e CO_2), e de maus odores (H_2S); comprometimento do uso do biogás para fins energéticos (perda de CH_4); a supersaturação, seguida da perda para atmosfera, das parcelas de metano e sulfeto que se encontram dissolvidos no efluente; e até mesmo danos estruturais aos separadores trifásicos, entre outros (SOUZA *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2007; MIKI, 2010; VAN LIER *et al.*, 2011; GASPERI, 2012; PEREIRA *et al.*, 2015; CHERNICHARO *et al.*, 2015).

Neste contexto, e considerando que a remoção periódica da espuma, de fato, não é exatamente a solução mais vantajosa (pois requer muitos cuidados no projeto e na operação dos reatores), o presente trabalho tem por objetivo investigar o desempenho de uma configuração modificada de reator UASB, concebida com um formato de separador que possa permitir a descarga contínua da espuma do separador trifásico para o decantador, e, conseqüentemente, para o efluente final.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aparato Experimental

O aparato foi composto por dois reatores em escala semidemonstração, sendo um deles, um reator UASB convencional (Reator Controle - RC), e o outro, o protótipo de reator testado (Reator Modificado - RM), que foram instalados na Estação de Tratamento de Esgoto de Ouro Branco/MG de propriedade da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Os reatores foram construídos em fibra de vidro, em formato circular (diâmetro de 1000 mm), com altura total de 4,65 m. O sistema de alimentação e controle de vazão dos reatores foi composto de uma bomba submersível, que encaminhava uma parcela do esgoto bruto afluente à ETE, após a etapa de tratamento preliminar (composto de grade e desarenador mecanizados), até uma caixa divisora de vazão; um inversor de frequências e dois temporizadores, que permitiram variar as vazões de maneira a simular um hidrograma típico de uma ETE. Além disso, pôde-se contabilizar a quantidade real de horas de alimentação dos reatores através da instalação de um horômetro ao aparato. Tal dispositivo foi necessário devido a intermitência da vazão afluente, em decorrência da presença de 3 estações elevatórias no sistema de esgoto municipal. O sistema de medição do biogás, por sua vez, foi composto por dois medidores de gás GLP (LAO/G1-0,6) precedidos de sistemas de remoção do sulfeto de hidrogênio (BGS - Equipamentos para biogás) para garantir sua proteção contra corrosão.

Na Figura 1 representa-se esquematicamente a configuração detalhada do reator modificado (RM) e do reator UASB convencional (RC), com a identificação dos seus elementos componentes, que são importantes para o entendimento das suas diferenças físicas e do seu funcionamento. Resumidamente, o reator RM possui a porção superior do separador (elemento 1.1) desacoplada da coifa (elemento 1.2), que tem por objetivo permitir o trânsito da maior parte do esgoto em tratamento pelo interior do separador (através da passagem APS), para que este possa transportar a espuma dessa região para o decantador (através da passagem AP2). O lodo acumulado no decantador pode retornar ao fundo do reator (através da passagem AP1).

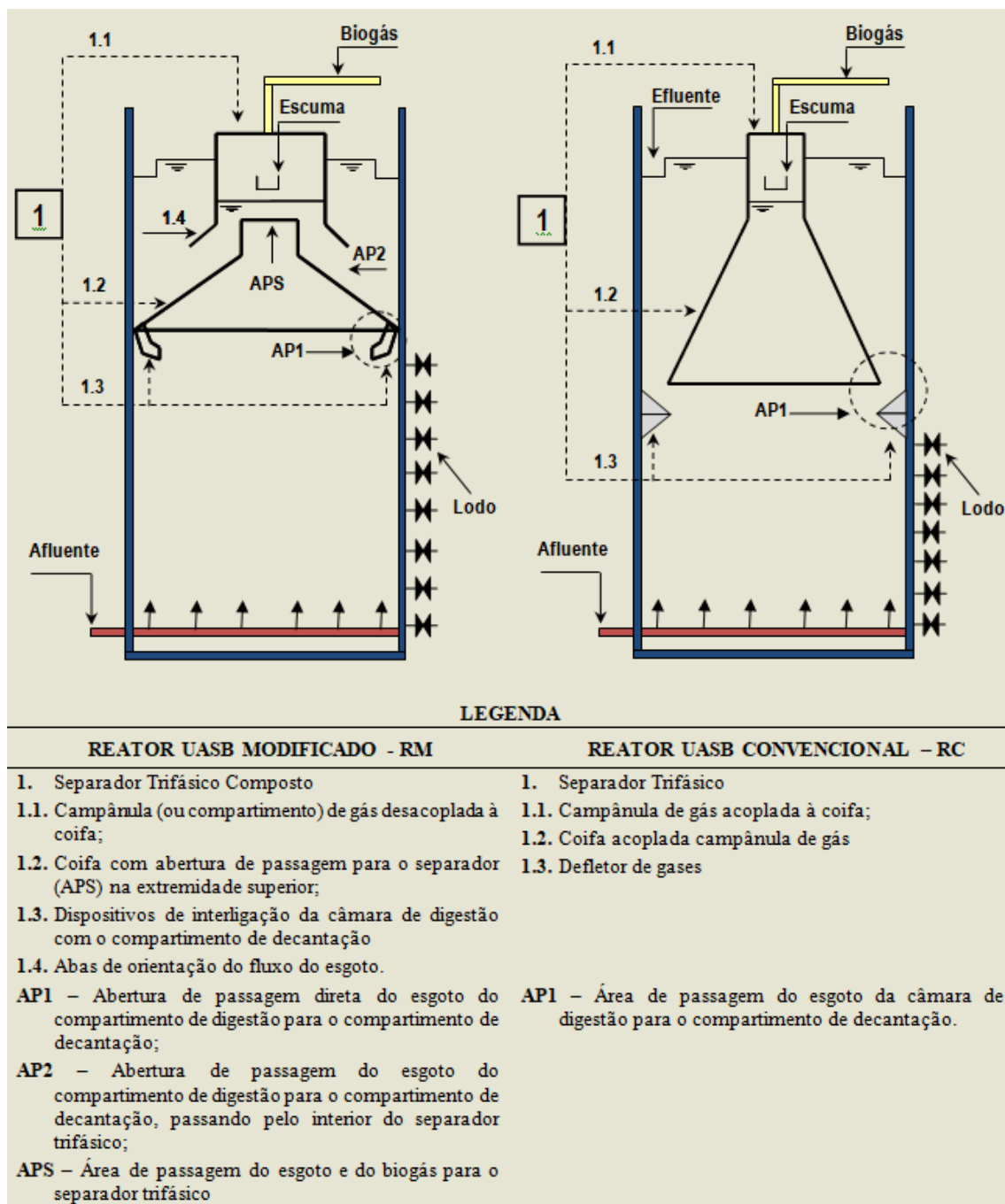


Figura 1- Representação esquemática da configuração interna dos reatores RM e RC e identificação dos elementos componentes.

O carregamento da espuma por meio do fluxo de esgoto passante pelo separador de fases pode vir a trazer outros supostos benefícios além de sua remoção contínua, como por exemplo, uma maior produção e recuperação do biogás uma vez que há uma agitação promovida pela passagem do esgoto favorecendo o desprendimento da parcela do biogás que permanece dissolvido no efluente.

Parâmetros de projeto e operação dos reatores experimentais

Os reatores foram operados diariamente aplicando-se um hidrograma de vazão afluente que teve por objetivo de simular as condições de funcionamento de reatores em escala real. Sobre este aspecto, vale ressaltar que esse trabalho reveste-se de grande relevância, uma vez que a grande maioria dos estudos realizados sobre o

assunto utiliza um valor de vazão constante (com o objetivo de distinguir os efeitos dos demais parâmetros a serem avaliados), o que não ocorre na prática na maioria das estações de tratamento de esgoto em escala real. Como apresentado na Figura 2, os acréscimos na vazão corresponderam a 1,15 (0,53 m³/h), 1,30 (0,60 m³/h) e 1,50 (0,69 m³/h) da vazão média de projeto dos reatores (0,46 m³/h), e foram aplicados durante o intervalo de 8 às 18h em função do intervalo de amostragem praticado.

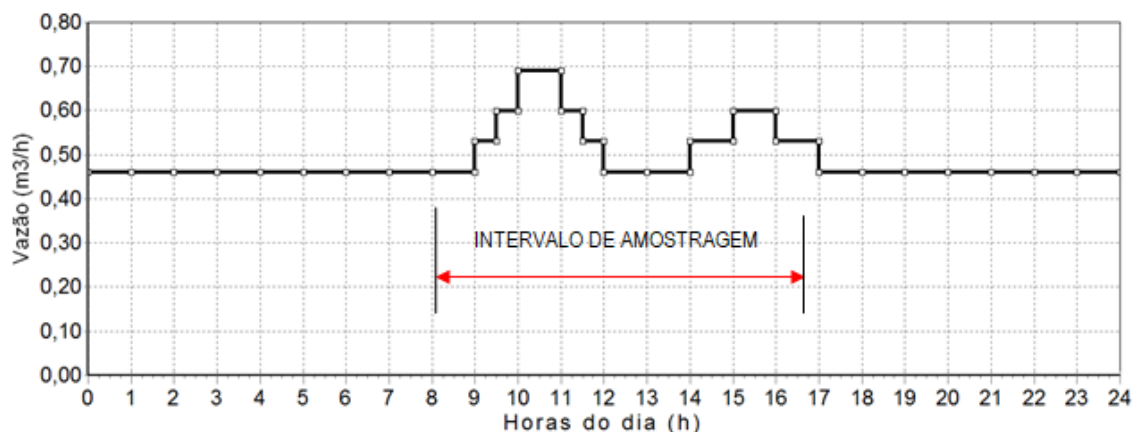


Figura 2 - Hidrograma do esgoto bruto afluente aos reatores durante as etapas de operação.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos parâmetros de projeto e operação dos reatores experimentais.

Tabela 1 - Parâmetros de dimensionamento adotados nos reatores UASB.

Parâmetros	RM	RC
Vazão média	0,46 m ³ /h	0,46 m ³ /h
Vazão máxima	0,68 m ³ /h	0,68 m ³ /h
Tempo de Detenção Hidráulica (vazão média)	8,00 h	8,00 h
Tempo de Detenção Hidráulica (vazão máxima)	5,33 h	5,33 h
Velocidade ascensional (vazão média)	0,58 m/h	0,58 m/h
Velocidade ascensional para vazão máxima	0,87 m/h	0,87 m/h
Área da abertura de passagem para o decantador	AP1 = 0,035 m ² AP2 = 0,306 m ²	AP1=0,218 m ²
Velocidade na abertura de passagem para o decantador (vazão média)	AP1 = 2,41 m/h AP2 = 1,22 m/h	AP1=2,12 m/h
Velocidade na abertura de passagem para o decantador (vazão máxima)	AP1 = 3,62 m/h AP2 = 1,83 m/h	AP1=3,18 m/h
Área de passagem para o separador (APS)	0,196 m ²	-
Velocidade na passagem para o separador (vazão média)	1,90 m/h	-
Velocidade na passagem para o separador (vazão máxima)	2,86 m/h	-
Área da campânula de gás	0,384 m ²	0,049 m ²

Parâmetros de Monitoramento em Campo e Laboratoriais

O monitoramento da fase líquida constou da coleta de amostras compostas no intervalo de 24h por meio de um amostrador automático, com uma frequência de duas vezes na semana. As amostras coletadas do esgoto bruto e efluentes de ambos os reatores eram conservadas utilizando-se um isopor com gelo, preservando-as assim, à 4°C até o momento da análise. Por essa razão, a temperatura e o pH eram medidos a partir da tomada de uma amostra pontual, coletada do esgoto bruto e dos efluentes dos reatores. Em laboratório foram analisados os parâmetros DQO, DQO filtrada, SST, SSV. A espuma foi coletada do interior do separador trifásico através de calhas e tubulações de descarte em média a cada 15 dias (corrigidos para tempo real de alimentação dos reatores, medidos no horômetro instalado no aparato). Para permitir a realização das análises laboratoriais, as amostras eram previamente trituradas em um moinho de bolas planetário (Retsch – PM 100), durante 20 minutos, em uma rotação de 500 rpm. Foram analisados os parâmetros ST, STV e DQO. Em todos os casos as análises laboratoriais foram realizadas de acordo com *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Remoção de Matéria Orgânica

Os valores medianos das concentrações de DQO_{total} efluentes foram, respectivamente, de 220 mgDQO/L e 223 mgDQO/L, nos reatores RM e RC, e 956 mg/L no esgoto bruto (FIGURA 3A). Por outro lado, os valores medianos das eficiências (FIGURA 3B) observadas ao longo do período operacional foram de 80,4% (RM) e 76,2% (RC). Os resultados das concentrações e das eficiências de remoção de SST nos dois reatores são apresentados nos gráficos das Figuras 3C e 3D. Para esse parâmetro, as concentrações medianas observadas foram de 456 mgSST/L (EB), 88 mgSST/L (RM) e 106 mgSST/L (RC), e as medianas das eficiências de 80% (RM) e 76% (RC). De acordo com esses resultados, percebe-se que o desempenho dos dois reatores foi bastante similar. E, nesse caso constata-se que a configuração diferenciada do reator modificado não apresentou perda de desempenho na remoção de matéria orgânica frente à configuração do reator convencional.

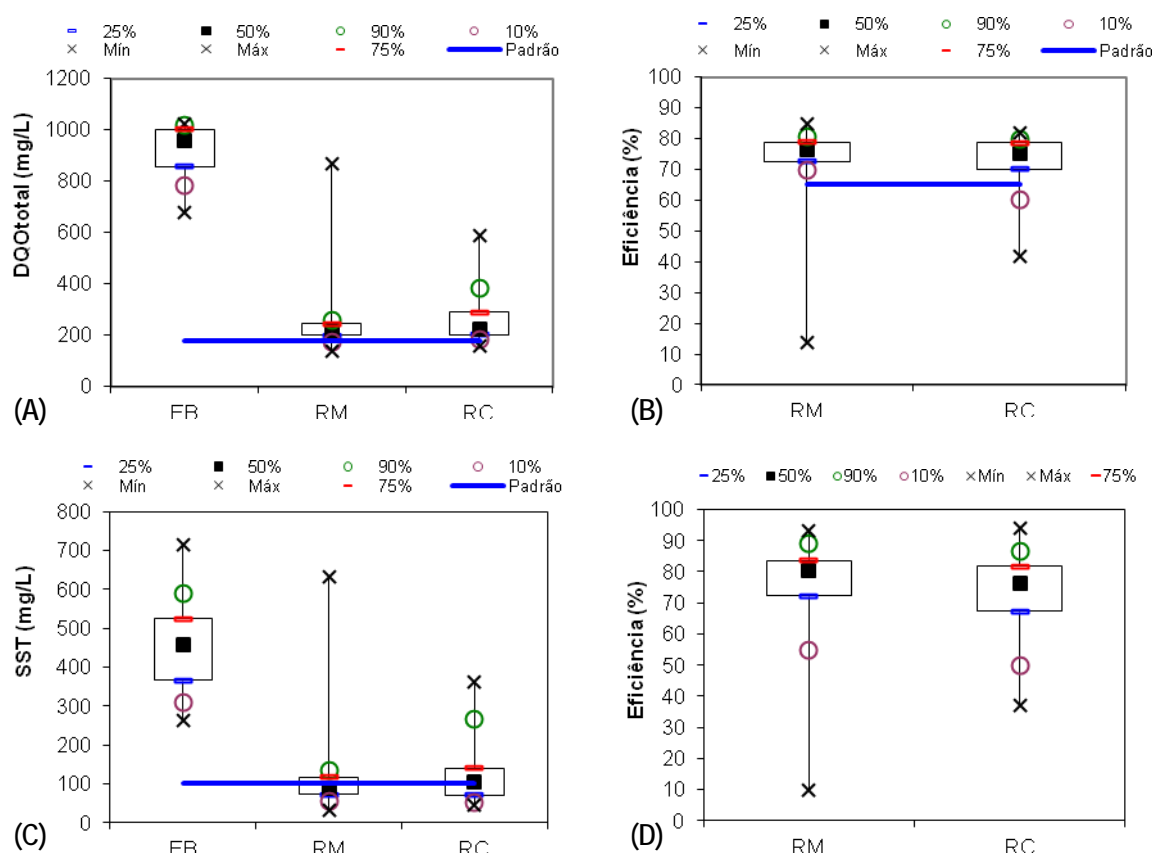
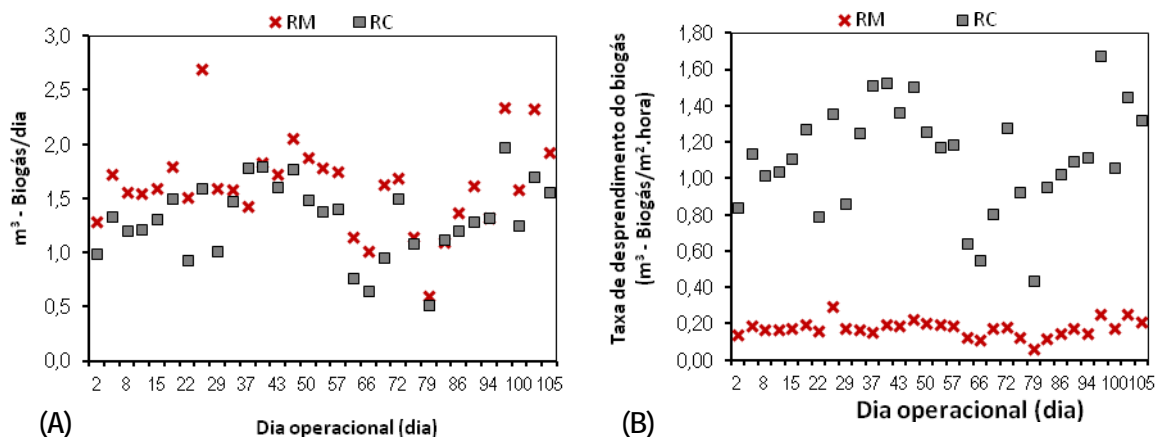


Figura 3 – A) Concentrações de DQO_{total} no esgoto bruto e nos efluentes dos reatores RM e RC; B) eficiência de remoção de DQO nos reatores RM e RC; C) concentrações de SST no esgoto bruto e nos efluentes dos reatores RM e RC; D) eficiência de remoção de DQO nos reatores RM e RC.

A produção de biogás se manteve, sistematicamente, superior no reator RM, ao longo dos experimentos (Figura 6.20A). Os valores medianos das taxas de produção de biogás foram de 1,59 m³/dia no reator RM e de 1,32 m³/dia no reator RC. Essa maior produção de biogás no RM pode estar associada à maior área do separador trifásico e/ou à agitação promovida pela passagem do esgoto pelo interior do separador trifásico, que pode ter promovido o desprendimento da parcela do biogás que permanece dissolvido no efluente (a exemplo do CH₄ e H₂S). Ou, de outra forma, que a menor espessura da camada de espuma no reator RM tenha facilitado sua liberação para fase gasosa, propiciando menor concentração dos gases dissolvidos. Conforme discutido se observa na Figura 4B, a taxa de desprendimento do biogás foi bem inferior no reator RM, sendo em média de 0,17 m³/m².h, e de 1,11 m³/m².h no reator RC. Essa diferença corresponde a uma taxa 84%

menor no reator RM em comparação à taxa no reator RC. Tal fato não ocasionou problemas de acumulação de espuma com elevada consistência, mesmo que o critério estabelecido por Souza (1986), não tenha sido atendido, qual seja: taxa mínima de $1,00 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$.



Descarga de espuma

Na Tabela 2 apresenta-se a caracterização qualitativa da espuma acumulada no interior do separador trifásico dos dois reatores experimentais, em termos de DQO, ST, STV e do % STV/ST, e os principais parâmetros de estatística descritiva.

Considerando os valores médios dos parâmetros, as concentrações observadas no reator RM de $106,7 \text{ gDQO/L}$; $92,2 \text{ gST/L}$ e $81,3 \text{ gSTV/L}$ foram inferiores aos valores registrados no reator RC sendo, $119,5 \text{ gDQO/L}$; $105,0 \text{ gST/L}$ e $94,1 \text{ gSTV/L}$. Os resultados revelam que a espuma acumulada no reator modificado, portanto, apresentou-se ligeiramente menos concentrada em relação à espuma do reator convencional. Essas características conferem maior fluidez à espuma do reator RM, e maior facilidade de descarga do separador. Com relação aos percentuais de sólidos orgânicos na espuma (%STV/ST), os valores também foram elevados (acima de 78%), confirmando o alto teor de matéria orgânica presente na espuma.

Tabela 2 - Caracterização da espuma produzida no separador trifásico dos reatores RM e RC.

Coleta	Configuração do reator RM	DQO (g/L)		ST (g/L)		STV (g/L)		%STV/ST	
		RM	RC	RM	RC	RM	RC	RM	RC
1	1 – com descarte de lodo	104,4	162,6	70,9	89,3	61,1	78,8	86,2	88,3
2		103,7	121,6	63,3	75,1	56,7	66,8	89,5	89,0
3		117,4	121,3	135,2	144,9	121,5	131,3	89,9	90,7
4		100,1	107,6	115,5	140,1	103,6	121,5	89,7	86,7
5		87,6	92,0	93,2	106,5	84,9	100,4	91,1	94,3
6		93,4	85,6	86,4	99,0	77,5	90,8	89,7	91,7
7		140,1	145,8	81,1	80,0	63,5	69,3	78,3	86,6
Média		106,7	119,5	92,2	105,0	81,3	94,1	87,8	89,6
Mediana		103,7	121,3	86,4	99,0	77,5	90,8	89,7	89,0
Desvio Padrão		17,5	27,7	25,3	27,8	24,0	25,1	4,4	2,8
Coef. de Variação (%)		16,8	22,8	29,3	28,0	31,0	27,6	4,9	3,1

A produção volumétrica de espuma, para os tempos reais de alimentação dos reatores (considerando o número de horas reais de alimentação dos reatores), e as cargas orgânicas medianas afluentes aos reatores, são apresentados na Tabela 3 abaixo, assim como os principais parâmetros de estatística descritiva. Nesta, observa-se que a produção média, para os diferentes parâmetros de avaliação, foi, respectivamente, de $1,59 \text{ L}$; $0,12 \text{ L/dia}$; $0,31 \text{ L/m}^2$; $4,12 \text{ L/m}^2\text{dia}$; e $14,55 \text{ mL/kgDQOaplicada}$, no reator RM. Para o reator RC, os resultados médios destes parâmetros foram de $2,62 \text{ L}$; $0,19 \text{ L/dia}$; $3,92 \text{ L/m}^2$; $53,39 \text{ L/m}^2\text{dia}$; e $23,51 \text{ mL/kgDQOaplicada}$.

Tabela 3 - Coeficientes volumétricos de produção de espuma no separador trifásico dos reatores RM e RC.

Coleta	Tempo de acumulação (dias)		Carga orgânica mediana afluente (kgDQO/dia)	Volume (L)		Taxa de acumulação (L/dia)		Taxa de acumulação específica (L/m²dia)		Volume específico (L/m²) ou espessura da camada de espuma (mm)	
	Teórico	Real		RM	RC	RM	RC	RM	RC	RM	RC
1	16	15,93	8,52	2,40	4,50	0,15	0,28	0,39	5,75	6,24	91,65
2	14	10,57	7,45	1,90	2,50	0,18	0,24	0,47	4,82	4,94	50,92
3	14	13,46	11,22	1,50	1,60	0,11	0,12	0,29	2,42	3,90	32,59
4	28	21,66	8,27	1,70	3,60	0,08	0,17	0,20	3,38	4,42	73,32
5	14	13,39	10,04	1,25	2,20	0,09	0,16	0,24	3,35	3,25	44,81
6	10	8,63	8,47	0,75	1,25	0,09	0,14	0,23	2,95	1,95	25,46
7	14	11,53	6,54	1,60	2,70	0,14	0,23	0,36	4,77	4,16	54,99
Média			8,64	1,59	2,62	0,12	0,19	4,12	53,39	0,31	3,92
Mediana			8,47	1,60	2,50	0,11	0,17	4,16	50,92	0,29	3,38
Desvio Padrão			1,56	0,52	1,13	0,04	0,06	1,34	22,94	0,10	1,20
Coef. de Variação (%)			18,41	32,2	45,0	33,7	35,5	32,2	45,0	33,7	35,5

Com base nestes valores, a análise da produção volumétrica de espuma conduz à constatação de que a acumulação no reator RM foi inferior à observada no reator RC, sendo 39% menor no caso do volume de espuma coletada (L) e 37% para taxa de acumulação (L/dia); 92% no caso do volume específico (L/m²) ou da taxa de acumulação específica (L/m²dia). Ressalta-se que, no caso das taxas obtidas em relação à área de separador trifásico (L/m² ou L/m²dia), os percentuais elevados se devem às maiores dimensões do separador trifásico do reator RM. Isso sugere que o projeto de separadores de maiores larguras pode assegurar uma camada de mais fácil transposição pelo biogás produzido nos reatores. Por outro lado, essa análise contraria o critério de projeto dos separadores, estabelecido por Souza (1986). A análise de frequência destes dados revela que a produção volumétrica de espuma (em L, ou L/dia) no reator RM foi inferior à observada no reator RC em 100% das amostras coletadas, confirmando o observado na avaliação dos valores médios. Para cada uma destas, a magnitude da diferença percentual entre o volume de espuma do RM e do RC está apresentada no gráfico da Figura 5. Neste, é possível observar que o reator RM alcançou percentuais de redução na produção volumétrica de espuma que variaram de 6% até 53%.

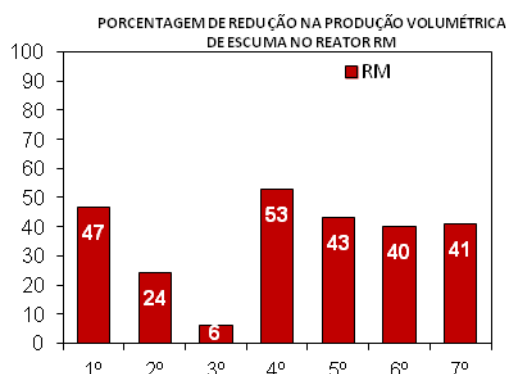


Figura 5 - Produção volumétrica de espuma: Percentual de redução dos coeficientes de produção de espuma (massa/massa) no reator RM

Da mesma forma que para avaliação da produção volumétrica, a análise de frequência revela que em 100% dos resultados o coeficiente de produção de espuma em massa no reator RM foi inferior ao observado no reator RC. Os percentuais de redução nos coeficientes de produção em massa para cada um dos 7 ciclos de acumulação atingiram valores de até 66% para DQO, 61% para ST e 60% para STV, como mostra os gráficos da Figura 6. Estes resultados revelam que o desempenho do reator RM foi expressivo, apesar dos valores observados na 2ª e 3ª coletas. Isso porque, a menor massa contida na espuma que se acumula no separador

trifásico do reator RM faz com que a mesma possa ser mais facilmente removida por calhas coletoras, em razão da sua maior fluidez.

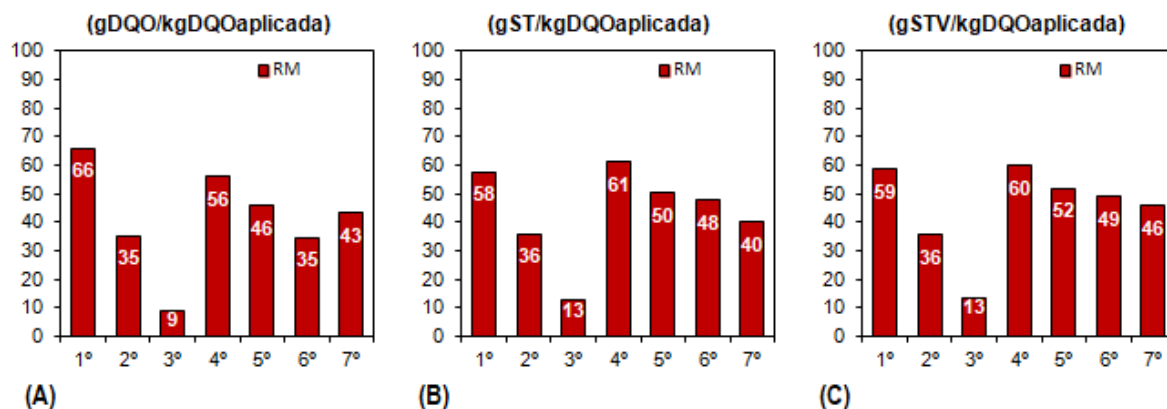


Figura 6 - Percentual de redução dos coeficientes de produção de espuma (massa/massa) no reator RM na Etapa 1: (A) gDQO/kgDQOaplicada; (B) gST/kgDQOaplicada; (C) gSTV/kgDQOaplicada acumulada x massa de DQOaplicada.

CONCLUSÕES

Na comparação com o reator convencional (RC), o reator modificado (RM) apresentou em 100% das amostras coletadas volume e massa de espuma acumulada inferiores. Com base na análise de produção volumétrica, constatou-se que está redução foi de 39% no volume de espuma coletada (L), 37% na taxa de acumulação (L/dia) e, 92% na espessura da camada de espuma acumulada no interior do separador de fases. No que concerne à produção mássica, a redução percentual média no reator RM foi de 58% para DQO e de 47% para ST e STV. Esses resultados evidenciaram o bom desempenho desta configuração no controle da espuma no separador.

Além disso, não houve perda de desempenho na remoção de matéria orgânica devido às modificações empregadas, e sim o oposto, foi possível observar até mesmo um melhor desempenho do reator modificado (RM), ainda que ligeiramente. Notadamente no caso do biogás, observou-se a maior recuperação do biogás da fase líquida.

Desta forma, conclui-se que os aperfeiçoamentos tecnológicos empregados no reator modificado foram eficazes, e que essa tipologia de reator proposta tem potencial de aplicação prática. Notadamente devido ao fato de não haver a introdução de novos elementos no reator, que possam elevar seus custos, sendo praticamente uma simples mudança de geometria.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte e o apoio financeiro concedidos pelo CNPq, FAPEMIG, e a COPASA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. In: Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Recife PE. 2009.
- CHERNICHARO C. A. L.; VAN LIER, J. B. NOYOLA, A.; RIBEIRO, T. B. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Rev Environ Sci and Biotechnol, v.5: p. 3-19, 2015.
- GASPERI, R. L. P. Caracterização de resíduos de caixas de gordura e avaliação da flotação como alternativa para o tratamento. Dissertação (Mestrado em Ciências, Escola de Engenharia de São Carlos) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. 71p.

4. GOMES, C.S.; ALVES, H.B.; SQUIBA, L.M. Escumas como pesadelos dos tratamentos RALF e UASB, para esgotos sanitários. In. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte MG. 2007.
5. MIKI, M. K. Dilemas do UASB. Seção “Práticas operacionais e de Empreendimento”. Revista DAE, n.183, p. 25-37, 2010.
6. METCALF; EDDY Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse.3 ed. Metcalf & Eddy, Inc., 1991. 1334p.
7. PEREIRA, J.O., CELANI, J.S.S. AND CHERNICHARO, C.A.L. Control of scum accumulation in a double stage biogas collection (DSBC) UASB reactor treating domestic wastewater. Water Science and Technology, v. 59, n.6, p.1077- 1083, 2009.
8. PEREIRA, J.O.; RAPOSO, L. R.; RODRIGUES, A. F.; AGUIAR, W. D. S. Aplicação de uma inovadora configuração de reator UASB ao tratamento de esgoto doméstico objetivando o controle da espuma. In: Anais do 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. 2015.
9. SOUZA, M.E. Criteria for utilization, design and operation of UASB reactors. Water Science Technology, v. 18, n. 12, p. 55, 1986.
10. SOUZA, C.L., SILVA, S.Q., 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, n. 9, p. 201-208, 2006.
11. VAN LIER, J.B.; VASHI, A.; VAN DER LUBBE, J.; HEFFERNAN, B. Anaerobic sewage treatment using UASB reactors: Engineering and operational aspects. In: Fang, H.H.P. (Editor) Environmental anaerobic technology: applications and new developments; Imperial College Press -London-UK. p 59-87, 2011.
12. VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbico de esgoto. Um manual para regiões de clima quente. Ed. Campina Grande, Brasil: Universidade Federal da Paraíba, 1994.