



II-301 – ANÁLISE DA PERDA DE METANO DISSOLVIDO EM UMA VERSÃO MODIFICADA DE REATOR UASB NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Vanessa Dourado de Melo⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ). Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ).

Rafaela Caroline Pereira Santos⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ).

Eduardo Henrique Resende Santos⁽³⁾

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ).

Pâmella Passarini⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia de Bioprocessos pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ).

Jackson de Oliveira Pereira⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor da Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de São João Del-Rei - Campus Alto Paraopeba (CAP). Rod. MG 443, km 07- Fazenda do Cadete - Ouro Branco MG - Cep: 36495 000 - Brasil - Tel: +55 (31) 98221-7580 – e-mail: vanessamello-95@hotmail.com

RESUMO

O reator de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) é, atualmente, a primeira alternativa de projeto para tratamento de esgotos domésticos, no Brasil, devido às condições ambientais favoráveis. Apesar disso, essa tecnologia apresenta alguns problemas, como a perda de metano dissolvido no efluente, que pode desprender-se na atmosfera e contribuir para o aquecimento global. Além disso, a perda de metano dissolvido, que pode chegar a um percentual de cerca de 40% de todo metano que é produzido em reatores UASB, representa a perda de uma fonte de geração de energia renovável. Assim, a busca por soluções tecnológicas para sanar o problema dos gases dissolvidos constitui um desafio de extrema importância. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de uma modificação no projeto do separador trifásico de um reator UASB (reator modificado – RM) quanto à recuperação do metano dissolvido no efluente, comparando-o com um reator convencional (reator convencional – RC). Os resultados observados foram de 10,3 mg/L para o RM e 12,1 mg/L para o RC na análise de CH₄ dissolvido em termos de mediana, indicando que o reator modificado foi capaz de recuperar uma elevada quantidade de CH₄ dissolvido, o que foi corroborado pela maior produção de metano no reator RM.

PALAVRAS-CHAVE: Reatores UASB, Metano Dissolvido, Biogás, Separador Trifásico, Inovação Tecnológica.

INTRODUÇÃO

Os reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) são uma opção eficaz para o tratamento de efluentes sanitários, com uma eficiência de conversão da matéria orgânica entre 60% e 75%, transformando-a em subprodutos estabilizados por bactérias anaeróbias, incluindo o biogás. Entre as diversas vantagens do tratamento anaeróbio em reatores UASB, destacam-se a boa produção e captação de biogás, baixo consumo energético, requisitos de área reduzidos e baixo custo de implantação e operação (Campos, 1990; Sperling, 1996; Chernicharo, 2006).

O funcionamento dos reatores UASB é baseado em um fluxo ascendente de esgoto na região inferior do reator, onde passa por um leito de microrganismos antes de ser encaminhado para a região de decantação. Durante esse processo, os microrganismos removem a matéria orgânica, resultando na formação de efluente líquido tratado, lodo biológico e biogás. O metano é o principal componente presente na composição do biogás, fazendo com que o mesmo



apresente um elevado poder calorífico, e possa ser aproveitado para produção de energia (Leahey *et al.*, 2001; Brasil, 2017; Brandt *et al.*, 2018; Kaminski *et al.*, 2018).

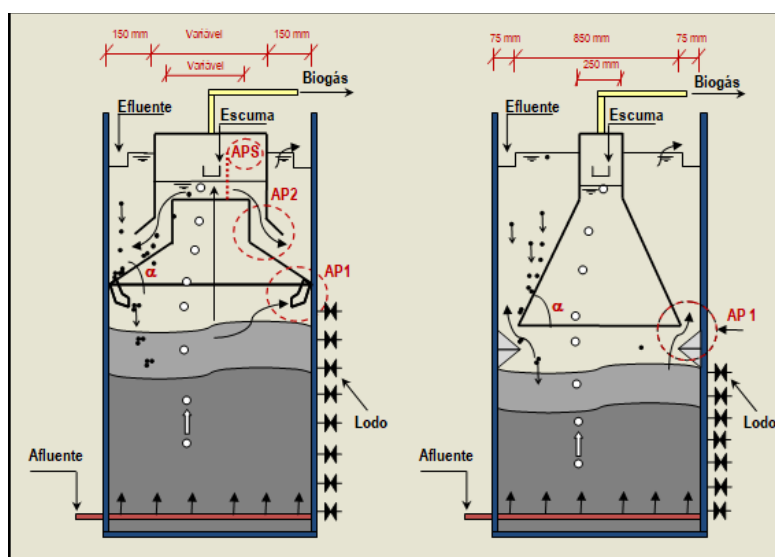
Apesar da baixa solubilidade do metano em compostos aquosos, uma grande parcela do metano (cerca de 40%) permanece dissolvida no efluente (Souza *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2012). O metano dissolvido pode se desprender para a atmosfera, causando impactos ambientais, por ser um gás causador do de efeito estufa (GEE), com potencial significativamente maior que o dióxido de carbono (CO₂). Estima-se que o seu potencial de contribuição para o aquecimento global seja cerca de 80 vezes maior, fazendo com que a sua liberação direta contribua para a aceleração das mudanças climáticas (Unep, 2024). Assim, o biogás com metano presente em sua composição deve ser enviado para uma unidade de aproveitamento energético ou no mínimo sofrer combustão para ser convertido em CO₂.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho na recuperação de metano dissolvido de um reator UASB modificado em comparação com uma versão convencional. O reator UASB modificado possui uma mudança na geometria do separador trifásico, permitindo a passagem do efluente pelo interior do mesmo, no qual cria-se uma turbulência nessa região, favorecendo o despreendimento do metano dissolvido na fase líquida.

MATERIAIS E MÉTODOS

APARATO EXPERIMENTAL

Os reatores experimentais foram instalados na Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais (COPASA), na cidade de Ouro Branco, que trata uma vazão de 60 L/s. Os reatores UASB, em escala de semi-demonstração, foram confeccionados em fibra de vidro, em formato cilíndrico, com diâmetro de 1,00 m da seção transversal, 4,70 m de altura útil, e volume total de 3,69 m³. Os reatores possuem características similares, exceto pelas modificações propostas no reator modificado. A figura 1 apresenta uma representação esquemática da configuração interna do reator modificado (denominado RM) e do reator convencional (denominado RC).



LEGENDA:

AP1 – Abertura destinada à passagem do efluente do compartimento de digestão para o compartimento de decantação e para retorno do lodo ao compartimento de digestão;
AP2 – Abertura destinada à passagem do efluente no interior do separador trifásico do compartimento de digestão para o compartimento de decantação;
APS – Abertura destinada à passagem do efluente do compartimento de digestão para o interior da campânula de gás.

AP1 – Abertura destinada à passagem do efluente da câmara de digestão para o compartimento de decantação e retorno dos sólidos ao compartimento de digestão.

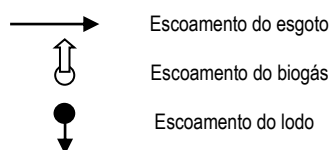


Figura 1: Representação esquemáticas do reator modificado e do reator convencional.

Conforme mostrado na figura anterior, o reator modificado possui três aberturas de passagem do efluente no separador trifásico. A primeira abertura (denominada AP1) é a abertura responsável pelo retorno dos sólidos para o compartimento de digestão. A segunda e terceira aberturas (denominadas AP2 e APS, respectivamente) foram criadas a partir da divisão do separador trifásico entre a coifa com extremidade superior aberta e a campânula de gás superior a coifa. A abertura AP1 é composta por 32 joelhos plásticos de 50 mm de diâmetro e inclinação de 45°, de maneira a concordar com o ângulo de inclinação do separador trifásico de (45°), resultando em um ângulo total de 90° nas áreas de passagem, de forma a impedir que o biogás tenha acesso ao compartimento de decantação. A campânula de gás do reator modificado apresenta um diâmetro de 700 mm, enquanto o diâmetro da campânula de gás do reator convencional é de 300 mm. A tabela 1 apresenta os parâmetros de dimensionamento de projeto dos reatores UASB.

Tabela 1: Características de projetos dos reatores UASB.

CARACTERÍSTICAS	REATOR - RC	REATOR - RM	UNIDADE
Diâmetro da seção transversal	1,00	1,00	m
Altura útil total	4,70	4,70	m
Volume total	3,69	3,69	m ³
COMPARTIMENTO DE DIGESTÃO			
Volume digestão	3,02	2,77	m ³
Profundidade mínima	3,60	3,15	m
COMPARTIMENTO DE DECANTAÇÃO			
Volume	0,67	0,92	m ³
Profundidade total mínima	1,05	1,50	m
Profundidade mínima da parede vertical	0,48	0,60	m
Inclinação da parede	45	70	°

CONDIÇÕES OPERACIONAIS

Os reatores foram operados diariamente, conforme o hidrograma de vazão do afluente apresentado na figura 2, que teve como objetivo simular as condições de funcionamento de uma estação de tratamento de esgoto. O aparato experimental também contou com dois temporizadores, um inversor de frequências e um horímetro para variar as vazões de entrada do efluente e quantificar o tempo real de operação dos reatores. O aumento da vazão correspondeu a 15%, 30% e 50%, em relação à vazão média de 0,46 m³/h, resultando em valores de variações de vazões de 0,53 m³/h, 0,60 m³/h e 0,69 m³/h.

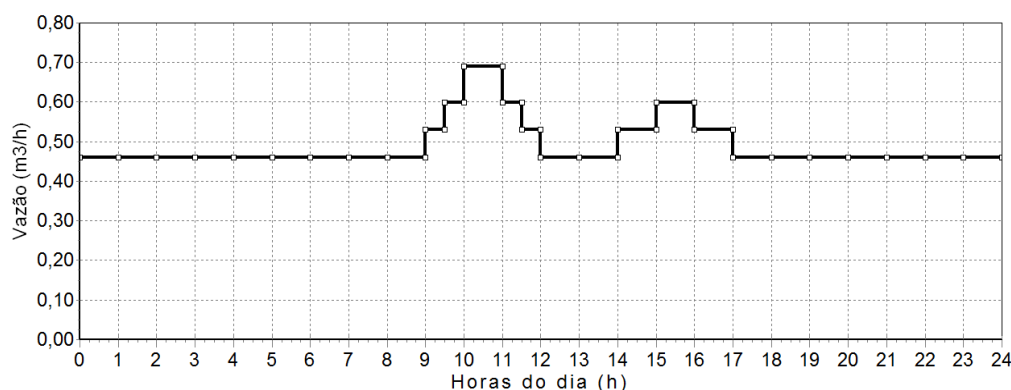


Figura 2: Hidrograma do afluente aos reatores durante operação.

A tabela 2 apresenta as informações de velocidade de aberturas de passagem do efluente do decantador, tempo de detenção hidráulica (TDH) e a taxa de aplicação superficial (TAS) para o decantador para o reator modificado (RM) e o reator convencional (RC).

Tabela 2: Parâmetro de projeto do compartimento de digestão dos reatores UASB.

PARÂMETROS	RM	RC	UNIDADE
TDH médio total	8,00	8,00	m ³
Vazão média	0,46	0,46	m ³ /h
COMPARTIMENTO DE DIGESTÃO			
TDH médio	6,54	6,00	h
Velocidade ascensional para Q _{média}	0,59	0,59	m/h
Velocidade ascensional para Q _{máxima}	0,87	0,87	m/h
COMPARTIMENTO DE DECANTAÇÃO			
Tempo de detenção hidráulica para Q _{média}	1,46	2,00	h
Tempo de detenção hidráulica para Q _{máxima}	0,97	1,33	h

PARÂMETROS DE MONITORAMENTO

As amostras analisadas neste presente trabalho foram: o esgoto bruto (EB), os efluentes tratados do reator modificado (RM) e o do reator convencional (RC) e o biogás. Para análise da fase líquida, os efluentes e o esgoto bruto foram coletados durante 24 horas (amostragem composta) e preservadas à 4°C até o momento da análise. O monitoramento da produção do biogás era realizado durante o intervalo de 24 horas, com medição nos gasômetros (marca LAO®/G1) instalados no laboratório na estação de tratamento de esgoto.

Para a análise do metano gasoso, as amostras foram coletadas em seringas de 20 mL e em seguida analisar por meio da cromatografia gasosa. Para a análise do metano dissolvido no efluente, as amostras foram coletadas no topo do reator utilizando-se frascos de antibiótico de 60 mL, e em seguida lacradas, pesadas e agitadas para análise por cromatografia gasosa posteriormente. A metodologia para análise do metano dissolvido foi uma adaptação da metodologia proposta por Souza (2010), e maiores detalhes podem ser encontrados em Souza (2010). A tabela 3 apresenta um resumo dos parâmetros e técnicas analíticas utilizadas para análise das amostras.

Tabela 3: Parâmetros e técnicas analíticas utilizadas.

AMOSTRA	PARÂMETRO	PRINCÍPIO DO MÉTODO	TÉCNICA ANALÍTICA	FREQUÊNCIA
Esgoto bruto e o efluente dos reatores	Demanda química de oxigênio (DQO _{total})	Colorimétrico	<i>Standard Methods</i> 5220D	2 vezes por semana
	Sólidos suspensos totais (SST)	Gravimétrico	<i>Standard Methods</i> 2540D	2 vezes por semana
Biogás	Produção de biogás	Leitura em gasômetros	-	3 vezes por semana
Metano	CH ₄ dissolvido no efluente	Cromatográfico	-	2 vezes por semana
	CH ₄ gasoso	Cromatográfico	-	2 vezes por semana

RESULTADOS E DISCUSSÃO

METANO

A tabela 4 apresenta os valores dos dados da estatística descritiva para a análise de CH₄ dissolvido no efluente para as amostras dos reatores modificado (RM) e convencional (RC). Os valores do desvio padrão foram da ordem de ±4 mg/L para ambos os reatores, e os valores do coeficiente de variação foram da ordem de 35% para o RM e RC, indicando uma elevada variabilidade dos dados, em razão das variações da qualidade do esgoto bruto e das condições climáticas ao longo do período de monitoramento da pesquisa. As concentrações de CH₄ dissolvido, em termos de mediana, foram de 10,3 mg/L para o RM e 12,1 mg/L para o RC.

Tabela 4: Dados da estatística descritiva da análise de CH₄ dissolvido.

PARÂMETROS	RM	RC	UNIDADE
Número de dados	23	23	-
Desvio padrão	3,6	4,5	mg/L
Média	11,2	12,8	mg/L
Mediana	10,3	12,1	mg/L
Coeficiente de variação	32	35	%

As figuras 3 e 4 apresentam os resultados do CH₄ dissolvido no formato de série temporal e gráfico Box-plot, respectivamente, para o reator modificado (RM) e o reator convencional (RC). Pela série temporal, é possível observar uma prevalência de menores concentrações de metano dissolvido no efluente do reator RM ao longo dos dias operacionais. As concentrações de CH₄ dissolvido apresentam valores no intervalo de 5 – 18,4 mg/L para o RM e 7,2 – 24,3 mg/L para o RC. Os valores das concentrações de CH₄ dissolvido encontrados estão coerentes com as concentrações reportadas na literatura. Cabral *et al.* (2020) apresentaram em sua pesquisa um intervalo de concentração de 6 – 25 mg/L de CH₄ dissolvido no efluente na saída do reator UASB, em escala piloto com TDH de 6 horas, entretanto outros autores também citam que a concentração de CH₄ dissolvido apresenta valores no intervalo de 6 – 25 mg/L (Lee *et al.*, 2021).

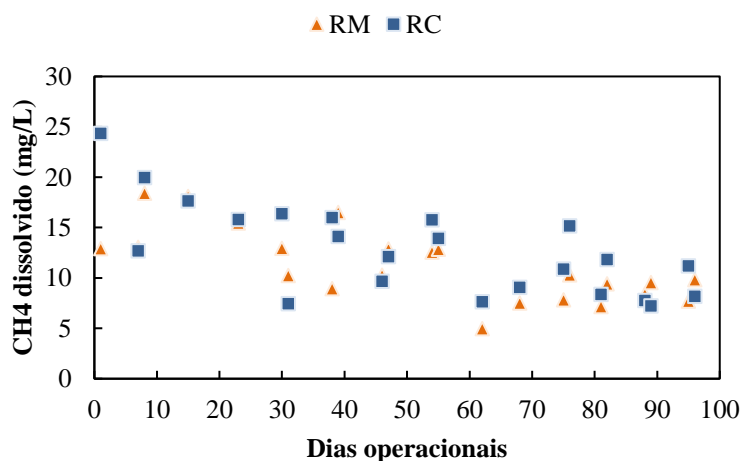


Figura 3: Série temporal da concentração de CH₄ dissolvido no efluente.

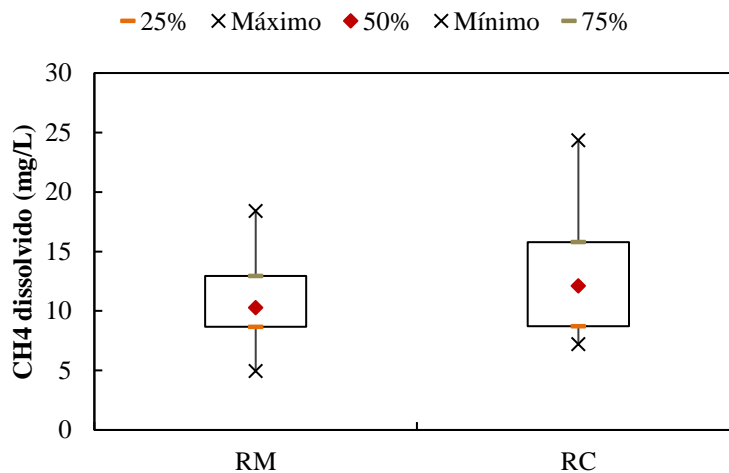


Figura 4: Gráfico Box-plot das concentrações de CH₄ dissolvido para os reatores RM e RC.

Conforme apresentado pelas figuras 3 e 4, o valor da concentração de CH_4 dissolvido foi inferior no reator modificado, indicando que as aberturas de passagem do efluente no decantador e no compartimento de digestão foram capazes de remover o CH_4 dissolvido no efluente. Segundo Souza (2010), o aumento da agitação na superfície do separador trifásico, melhora o coeficiente de transferência de massa, o que propicia uma maior transferência de massa entre o gás dissolvido no efluente e a fase gasosa.

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) E SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)

A tabela 5 apresenta os valores da estatística descritiva para as análises de $\text{DQO}_{\text{total}}$ para as amostras de esgoto bruto (EB), e os efluentes tratados dos reatores modificado (RM) e convencional (RC), e as para os efluentes tratados dos reatores modificado (RM) e convencional (RC). Na análise de $\text{DQO}_{\text{total}}$ os valores do desvio padrão foram da ordem de ± 115 mg/L para ambos os reatores, e os valores do coeficiente de variação foram da ordem de 50% para ambos os reatores. Estes resultados indicam uma grande variabilidade dos dados, o que é explicado pela variação na qualidade do efluente e as condições climáticas durante o período de amostragem. Entretanto, para a eficiência os valores do desvio padrão foram da ordem de $\pm 17\%$ para o RC e RM e os valores do coeficiente de variação foram de 30%.

Tabela 5: Resultados da estatística descritiva para as análises de $\text{DQO}_{\text{total}}$ e eficiência total.

ANÁLISES	PARÂMETROS	AMOSTRAS			
		EB	RC	RM	UNIDADE
$\text{DQO}_{\text{total}}$	Número de dados	37	37	37	-
	Desvio padrão	244	115	111	mg/L
	Média	628	242	240	mg/L
	Mediana	654	222	238	mg/L
	Coeficiente de variação	39	47	46	%
Eficiência	Número de dados	-	35	33	-
	Desvio padrão	-	17	17	%
	Média	-	61	64	%
	Mediana	-	65	66	%
	Coeficiente de variação	-	28	26	%

A figura 5 apresenta o gráfico Box-plot para a eficiência do reator modificado (RM) e do reator convencional (RC). Esta figura mostra que o intervalo da eficiência do reator convencional foi de 21 – 86%, e para o reator modificado foi de 24 – 87%, o que representa que as modificações realizadas no separador trifásico do reator modificado não afetaram o desempenho da remoção de matéria orgânica. Os valores da eficiência, em termos de mediana, foram similares para ambos reatores, da ordem de 65%. Segundo Chernicharo (2006) os valores típicos de eficiência de reatores UASB tratando esgotos domésticos são na faixa de 55-70%. Assim, os resultados das eficiências encontradas em ambos os reatores estão dentro da faixa reportada na literatura.

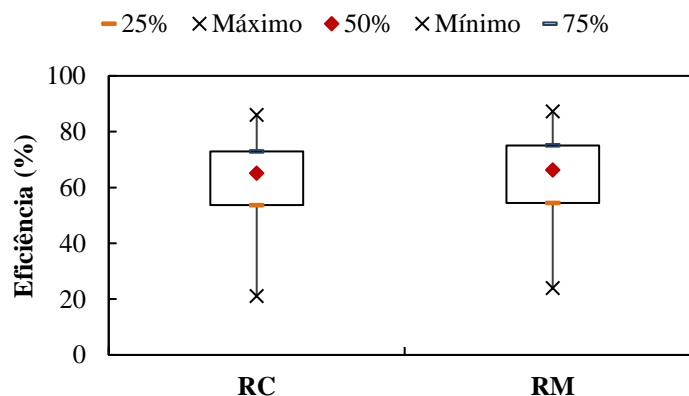


Figura 5: Gráfico Box-plot da eficiência total dos reatores RM e RC.

A tabela 6 apresenta os dados da estatística descritiva para a análise de sólidos suspensos totais (SST). Os valores do desvio padrão foram da ordem de ± 60 mg/L para o reator convencional convencional (RC) e ± 75 mg/L para o reator modificado (RM), e de ± 435 mg/L para o esgoto bruto (EB), mostrando que os dados apresentam uma grande variabilidade. Os valores do coeficiente de variação foram da ordem de 55% para o RC, 64% para o RM, e de 92% para o EB. A figura 6 apresenta o gráfico Box-plot das concentrações de SST para as amostras de esgoto bruto (EB), e os efluentes tratados dos reatores modificado (RM) e convencional (RC). As concentrações, em termos de mediana, foram de: 377 mg/L para o EB, 87 mg/L para o RC e 90 mg/L para o RM. Estes resultados também indicam que as modificações realizadas no separador trifásico não apresentaram resultado de perda quando à retenção de sólidos.

Tabela 6: Dados da estatística descritiva para a análise de SST.

PARÂMETROS	EB	RC	RM	UNIDADE
Número de dados	31	31	33	-
Desvio padrão	435	61	74	mg/L
Média	472	111	116	mg/L
Mediana	377	87	90	mg/L
Coeficiente de variação	92	55	64	%

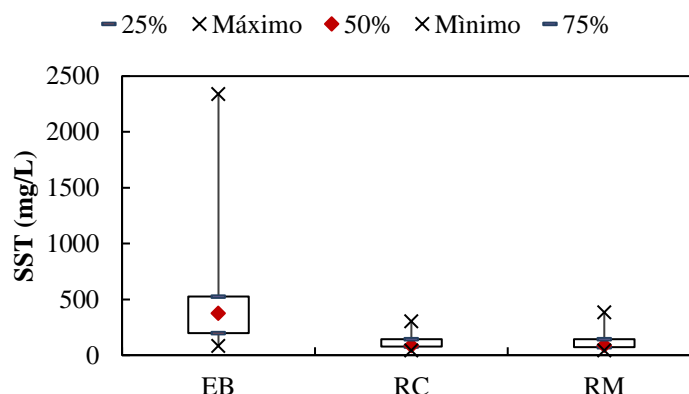


Figura 6: Gráfico Box-plot da concentração de SST para as amostras de EB e os efluentes tratados reatores RM e RC.

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos neste presente trabalho, concluiu-se que as modificações propostas no reator modificado apresentaram resultados positivos quanto à remoção do metano dissolvido no efluente, indicando que a agitação provocada pela passagem do efluente nas aberturas no compartimento de decantação favoreceu a transferência de massa, assim, reduzindo a concentração de metano dissolvido no efluente. Entretanto, a porcentagem de metano presente na composição do biogás foi similar em ambos os reatores. A maior campânula de biogás do reator modificado foi capaz de captar uma elevada concentração de gases, assim, o reator modificado teve uma maior produção de biogás quando comparado com o reator convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/WEF/ AWWA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24^a ed. Washington. 2023.
2. BRANDT, E. M. et al. Avaliação do potencial de biogás gerado em aterros sanitários a partir do uso de técnicas geofísicas. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 1, p. 111-120, 2018.



3. CABRAL, C. S.; SANSOS, A. L.; AFONSO, R. J. C. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; ARAÚJO, J. Impact of microaeration bioreactor on dissolved sulfide and methane removal from real UASB effluent for sewage treatment. *Water Science & Technology*, v. 81, n. 9, p. 1951-1950, mai. 2020.
4. CAMPOS, H. B. *Sistemas de tratamento anaeróbico: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Edusp, 1990.
5. CHERNICHARO, C. A. L. Post-Treatment Options for the Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 5, fev. 2006, p. 73-92.
6. KAMINSKI, P. E. et al. Potencial de geração de biogás a partir do tratamento anaeróbico de resíduos orgânicos em aterros sanitários no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 47, p. 141-154, 2018.
7. LEE, Y.; YUN, K. H.; SETHUNGA, D.; BAE, T. H. Membrane contactors for maximizing Biomethane recovery in anaerobic wastewater treatments: recent efforts and future prospect. *Applied Sciences*, v. 11, n. 4, fev. 2021.
8. ROSA, A.P.; CHERNICHARO, C. A. L.; LOBATO, L. C. S. SILVA, R. V.; PADILHA, R. F.; BORGES, J. M. Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant. *Renewable Energy*, v. 124, ago. 2018, p. 21-26.
9. SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A.; AQUINO, S. F. Quantification of dissolved methane in UASB reactors treating domestic wastewater under different operating conditions. *Water Science & Technology*, v. 64, n. 11, p. 2259-2264, 2011.
10. SOUZA, C. L. *Estudo das Rotas de Formação, Transporte e Consumo dos Gases Metano e Sulfeto de Hidrogênio Resultantes do Tratamento de Esgoto Doméstico em Reatores UASB*. Belo Horizonte. 2010. Tese de doutorado. Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
11. SOUZA, C. L.; SOUZA, M. A.; SILVA, L. M. S. Concentração de metano dissolvido em efluentes de reatores anaeróbios. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 2, p. 135-144, 2011.
12. SOUZA, C. L.; SOUZA, M. A.; SILVA, L. M. S. Estudo da solubilidade do metano em sistemas anaeróbios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 5, p. 507-514, 2012.
13. SPERLING, M. von. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.
14. UNEP. Fatos sobre o metano. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/explore-topics/energy/fatos-sobre-o-metano#:~:text=%C3%89%20um%20poluente%20poderoso%20com>>. Acesso em: 1 jun. 2024
15. SPERLING, M. von. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.