



## II-815 – PARTIDA OTIMIZADA DE UM REATOR UASB EM ESCALA REAL NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

### **Silvio Luiz de Souza Rollemberg<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC).

### **Amanda Nascimento de Barros**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC).

### **José Gilmar da Silva do Nascimento**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC). Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC).

### **Tatiana Bandeira**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Harmony Premium Business, 2929, Fortaleza -CE - Brasil (85) 99703-3516 e-mail: silviorollemberg@gmail.com

### **RESUMO**

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) são a principal tendência no tratamento de esgotos no Brasil, devido a suas vantagens como baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional, alta concentração de biomassa e baixa produção de lodo. Esses reatores permitem um tratamento eficaz devido à retenção prolongada da biomassa e um melhor contato com o substrato. No entanto, o processo de partida (start-up) dos reatores UASB ainda requer otimização para reduzir o tempo de estabilização.

O trabalho teve como objetivo avaliar a partida otimizada de um reator UASB em escala real (7,0 m<sup>3</sup>/h) para tratar efluente sanitário. A ETE está localizada em Caucaia, Ceará, com capacidade de 7,00 m<sup>3</sup>/h. Foi utilizada biomassa de uma ETE anaeróbia como inóculo, com características específicas de sólidos totais. Após um período de repouso para adaptação, o reator foi alimentado gradualmente com esgoto bruto. O reator foi monitorado por 9 semanas, com análises de parâmetros operacionais e físico-químicos, como temperatura, pH, SST e DQO, seguindo métodos padrões. A estratégia incluiu o aumento da carga orgânica, recirculação do efluente, aumento do tempo de funcionamento e retorno de lodo do pós-tratamento. Após a inoculação inicial, ajustes foram feitos para otimizar a eficiência de remoção de DQO e a concentração de lodo.

A técnica de inoculação com alta carga orgânica, recirculação do efluente e aumento gradual da vazão garantiu uma eficiência mínima de 70% na remoção de DQO e estabilidade do sistema em 60 dias. O estudo concluiu que a técnica de partida otimizada, aliada a estratégias de controle de vazão e carga orgânica, é eficaz para estabilizar reatores UASB em 60 dias, com eficiência mínima de 70% na remoção de DQO. A continuidade dos testes com aumento gradual da vazão e tempo de operação será importante para consolidar esses resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** UASB, Partida Otimizada, Efluente Sanitário, Escala Real, Tratamento Anaeróbio.

### **INTRODUÇÃO**

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket) são a principal tendência atual no tratamento de esgotos no Brasil, seja como unidades únicas ou seguidas de pós-tratamento. Suas vantagens reforçam essa tendência, destacando-se os baixos custos de implantação e operação, a simplicidade operacional, o reduzido volume útil devido à concentração de biomassa (200-600 mg.L<sup>-1</sup>) e a idade do lodo (> 30 dias), a ausência de meio suporte, face ao crescimento disperso da biomassa, a baixa



produção de lodo e nenhum processo de tratamento associado à demanda por energia elétrica (CHERNICHARO et al., 2018; SANTOS et al., 2017).

Esses reatores consistem em um sistema de tratamento de alta taxa, em que a biomassa é retida por um período muito maior que o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), devido à sedimentação proporcionada pela configuração do sistema, em especial causada pela existência de um decantador precedido por separador trifásico favorecedor da separação entre o biogás, a massa microbiana e o efluente líquido. O fluxo de alimentação é ascendente, proporcionando não só um melhor contato entre a biomassa e o substrato, mas também uma atividade mais efetiva da biomassa.

Embora esses sistemas sejam amplamente conhecidos, um dos pontos que ainda tem sido explorado é a partida (start-up) de reatores anaeróbios, especialmente quanto às estratégias otimizadas de partida de reatores UASB visando redução do tempo de estabilização. Como se sabe, a inoculação do reator deve ser realizada com quantidades suficientes de lodo anaeróbio e a alimentação deve ser iniciada em baixa taxa. A taxa de alimentação deve ser aumentada progressivamente, de acordo com o sucesso da resposta do sistema. Após alguns meses de operação ocorre o desenvolvimento de um leito denso de lodo no fundo do reator.

Nesse trabalho, foi avaliado a partida otimizada de uma Reator UASB em escala plena tratando efluente sanitário. O reator UASB possui vazão de 7,0 m<sup>3</sup>/h, possuindo como pós-tratamento um Filtro Biológico Aerado Submerso, instalado em Caucaia, Ceará. Entre os objetivos específicos estão: -Avaliar a formação da manta e leito de lodo no reator UASB; avaliar remoção de DQO durante a partida; avaliar remoção de SST no sistema; avaliar retorno de lodo do pós-tratamento para o reator UASB e avaliar alcalinidade e estabilidade de pH no processo de formação de grânulos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Descrição da Estação de Tratamento de Efluentes

A Estação de Tratamento de Efluente (ETE), objeto deste trabalho, está localizada no município de Caucaia, região metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará. A ETE possui capacidade para atender uma vazão de 7,00 m<sup>3</sup>/h, sendo projetada para tratar efluente sanitário. O sistema é uma combinação anaeróbio-aeróbia de tratamento, decantador lamelar, seguido por filtração ascendente e descendente em filtro de areia, desinfecção com hipoclorito de sódio. O efluente passa por tratamento preliminar convencional com posto por gradeamento e estação elevatória. Após, é direcionado para um tanque regulador de vazão (TRV), em seguida vai para o reator UASB (46,85 m<sup>3</sup>) e flui para um Filtro Submerso Aerado (FSA), seguido de decantador lamelar e filtração. Em seguida, o efluente passa por desinfecção por meio de bomba dosadora de diafragma e tanque de contato. A ETE também possui um tanque adensador de lodo (TAL) com capacidade para 14,30 m<sup>3</sup> e quatro leitos de secagem para tratamento do lodo de excesso.

### Partida do Reator UASB: Adição de Inóculo e Alimentação

Foi utilizada aproximadamente 15 m<sup>3</sup> de biomassa, não adaptada, proveniente de uma ETE anaeróbia tratando esgoto sanitário, como inóculo. A biomassa tinha as seguintes características: Sólidos Totais (ST) de 36 g/L e Sólidos Totais Voláteis (STV) de 30g/L com relação STV/ST=0,8. O start foi realizado com o reator vazio para minimizar as perdas de lodo durante a transferência. O lodo permaneceu em repouso por 72 horas com o objetivo de retirar o oxigênio do meio, causado pela transferência do lodo, além de proporcionar uma adaptação gradual à temperatura do interior do reator. Após o período de repouso, o reator foi alimentado com esgoto até a metade de seu volume útil e deixado em repouso por 24 horas, a fim de permitir a adaptação do lodo às características do efluente bruto (DQO = 738 mg/L, aproximada). Após, prosseguiu-se com a alimentação do esgoto bruto, considerando um período de trabalho de 8 horas/dia.

### Monitoramento do Reator UASB

O reator foi monitorado por nove semanas, iniciando no dia 03 de janeiro de 2024, o primeiro dia de operação após o processo de inoculação de biomassa. O monitoramento foi realizado empregando parâmetros operacionais e físico-químicos de forma a obter informações sobre a hidrodinâmica, a estabilidade operacional, a eficiência de tratamento e a acumulação de biomassa no reator.

### Parâmetros Operacionais



Foram monitorados a Vazão e Tempo de Detenção Hidráulica (TDH). As vazões foram medidas coletando amostra por um tempo de 6 segundos. As determinações do TDH foram realizadas pela relação Volume/Vazão.

#### Parâmetros Físico-Químicos

O monitoramento Físico-Químico do reator UASB foi realizado por análises na fase líquida dos parâmetros Temperatura, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais (SST) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), no afluente e efluente do reator avaliado. Para a fase sólida, foi realizada a análise dos Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Voláteis (STV). Todos os parâmetros foram analisados segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2012). As análises foram realizadas no laboratório interno de análises químicas da empresa localizada em Caucaia/CE.

#### Estratégia aplicada

A estratégia de otimização aplicada na inoculação do reator consistiu em:

1. Aumentar a carga orgânica utilizando efluente com alta concentração de matéria orgânica;
2. Recirculação do efluente até obter eficiência de 70%;
3. Aumentar tempo de funcionamento do sistema;
4. Retornar lodo do filtro biológico aerado submerso (pós-decantador)

## RESULTADOS

Após inocular, por dezesseis dias (até medição 3), não houve aumento na concentração do lodo de fundo, apesar da eficiência de remoção de DQO ter aumentado de 36% para 51%. Esse resultado pode ser principalmente devido à adesão do material particulado nas mídias do Filtro Submerso Aerado. Adicionalmente, observou-se que a DQO<sub>afluente</sub> era baixa, pois o esgoto estava sendo diluído com o lodo, predominantemente líquido, que estava dentro do reator. Assim, foi aplicada a estratégia de aplicar uma alta carga orgânica. Nesse sentido, no dia 19/01/2024, foi adicionada ao reator uma mistura de efluente contendo soro de leite (DQO = 200 g/L). Para isso, foi adicionado 1 m<sup>3</sup> desse efluente a 20 m<sup>3</sup> de efluente sanitário (0,7 g/L). Assim, a concentração final no reator anaeróbio foi de 4550 mg/L de DQO.

Após esse aumento de carga orgânica, o reator continuou a ser alimentado com esgoto sanitário (DQOb), porém o efluente tratado estava sendo recirculado de modo a obter um efluente tratado com DQO abaixo de 200 mg/L. Nesse período, a vazão adotada era 30% da vazão total (2,1 m<sup>3</sup>/h). Após doze dias, a eficiência de remoção em termos de DQO já tinha alcançado o patamar acima de 70%, apesar da média de sólidos sedimentáveis do lodo de fundo ser de 338 ml/L.h e com desvio padrão relativo de 1,59. Nesse sentido, considerando a eficiência de remoção, a vazão foi aumentada para 100% da sua capacidade (7,0 m<sup>3</sup>/h).

Após esse aumento, observou-se arraste de lodo, ao verificar redução nos sólidos sedimentáveis no lodo de fundo (480 ml/L.h para 4 ml/L.h) e aumento no lodo médio (20 ml/L.h para 1000 ml/L.h). Nesse sentido, houve redução da DQO de 57% para 17%, com medições chegando a 0%.

Diante dos resultados, em 07/02/2024 foi adicionado 20 m<sup>3</sup> de efluente com aproximadamente 30% de lodo oriundo de uma ETE anaeróbia, com características semelhantes ao que foi inoculado inicialmente. Adicionalmente, a vazão foi reduzida para 30% da máxima, ficando aproximadamente 2 m<sup>3</sup>/h. O reator ficou em repouso, por 24 horas e após esse período, observou-se aumento expressivo do lodo de fundo (1000 ml/L.h), assim como da eficiência de remoção da DQO, chegando a 77% em um período de 5 dias. Porém, após mais seis dias, apesar do lodo de fundo se manter na concentração, ocorreu aumento de sólidos no lodo alto e no meio do reator, o que ocasionou redução na eficiência de remoção de DQO. Nesse sentido, foi realizado descarte do lodo alto a cada 48 horas, abrindo a válvula de descarte por quinze segundos. Voltando a eficiência para o patamar acima de 70%, aumentou a vazão para 50% da máxima, ficando em 3,5 m<sup>3</sup>/h.



Tabela 2: Resultados obtidos.

Medição	Sólidos Sedimentáveis				pH	DQOb	DQOt	%	Vazão(m³/h)	TDH (horas)
	Lodo Fundo	Lodo Baixo	Lodo Alto	Meio						
1	2	2	25	21	7,9	176	114	36%	2,5	19
2	4	6	10	10	7,8	200	146	27%	2,3	20
3	21	3	16	10	7,5	452	221	51%	2,1	22
4	150	40	200	400	7	438	177	60%	2,1	22
5	700	20	30	20	7,2	236	130	45%	2,1	22
6	300	15	42	50	7,9	225	183	19%	2,2	21
7	220	20	150	200	8,2	267	123	54%	2,1	22
8	480	250	600	1000	7,9	452	126	72%	2,1	22
9	180	180	480	350	8,1	716	262	63%	3	16
10	90	395	400	1000	8,4	390	180	54%	4	12
11	100	500	150	1000	8	488	452	7%	5	9
12	8	3	400	1000	8,1	227	134	41%	7	7
13	4	10	350	1000	8,1	431	358	17%	2,1	22
14	532	925	876	509	8,1	1598	404	75%	2,1	22
15	876	760	693	344	8,1	754	289	62%	2,1	22
16	1000	800	700	30	8,2	903	206	77%	3,5	13
17	1000	200	400	150	7,8	255	165	35%	3,5	13
18	1000	300	150	30	8	498	192	62%	3,5	13
19	1000	200	100	35	7,8	606	133	78%	3,5	13
20	1000	170	40	25	7,5	311	122	61%	3,5	13

A figura 1 contém resultados obtidos em termos de remoção de DQO e sólidos sedimentáveis. Enquanto nas figuras 2 e 3 é apresentado o aspecto visual do lodo no reator UASB após vinte dias da segunda inoculação.

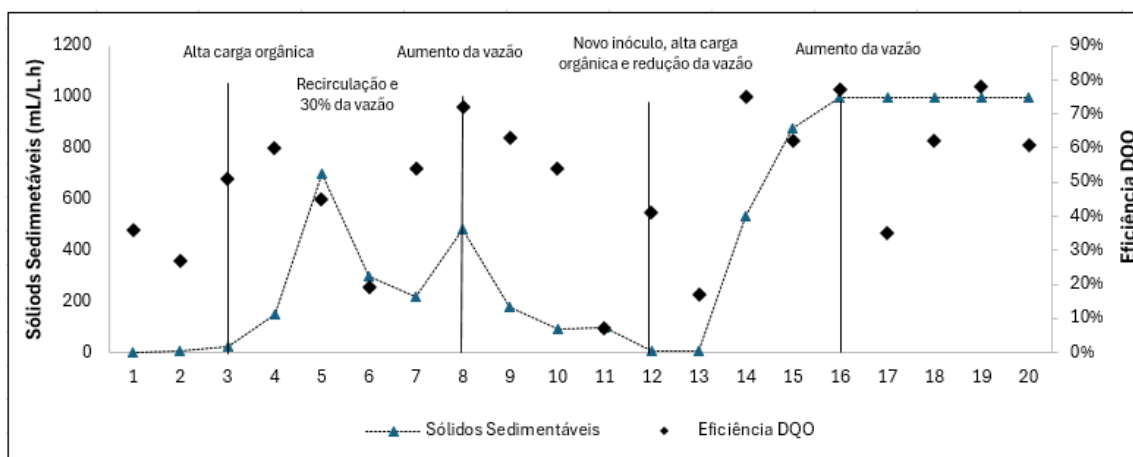


Figura 1: Evolução de sólidos sedimentáveis e remoção de DQO durante inoculação.

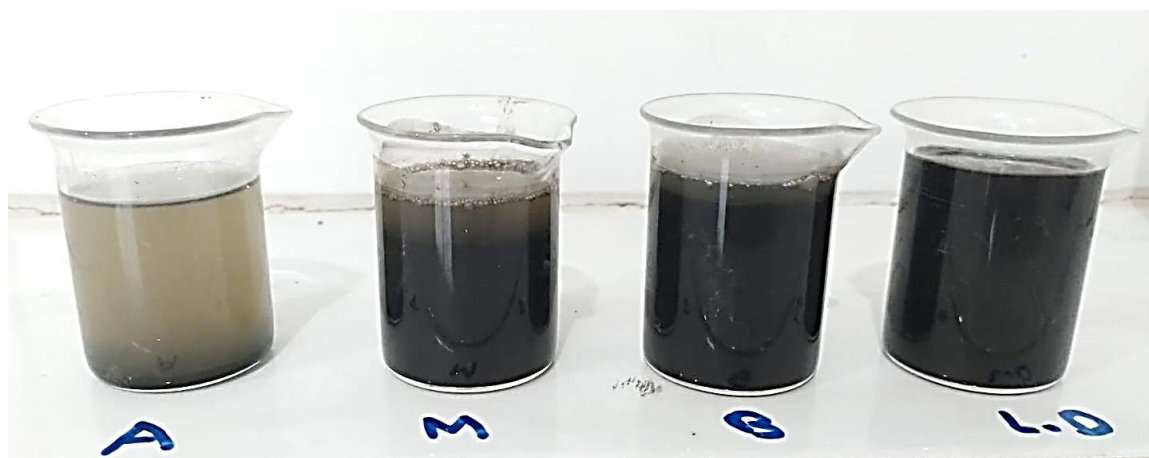


Figura 2: Aspecto visual do lodo alto (A), médio (M), baixo (B) e fundo (LD) do reator UASB.

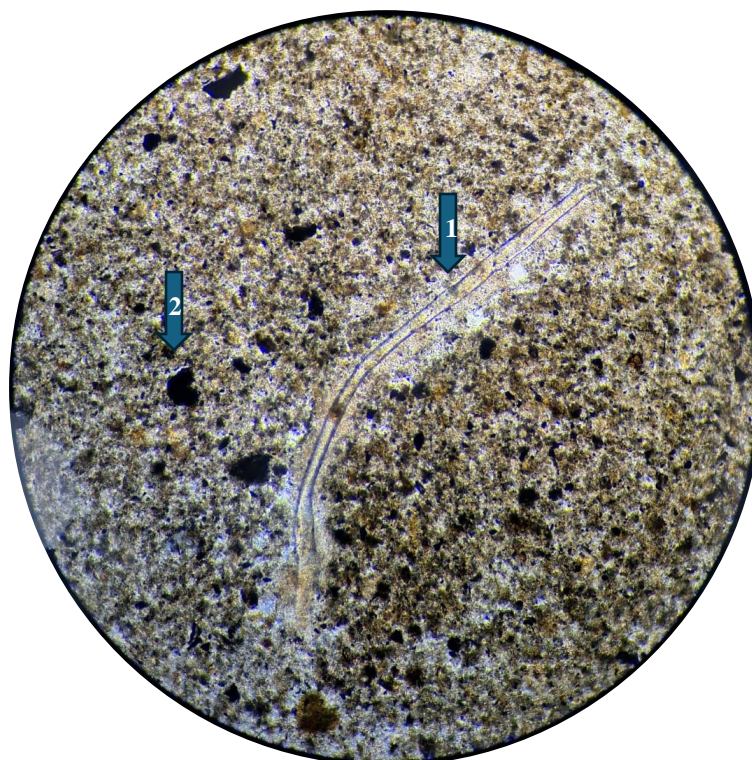


Figura 3: Lodo de fundo do reator UASB visto através de microscópio óptico (1 – possível *Methanosaeta*; 2 – grânulos anaeróbios).

A possível presença de *Methanosaeta* sp. está de acordo com as teorias que indicam que a chave da granulação anaeróbia é a presença dessas arqueas, além da presença de partículas inertes que funcionam como superfície para aderir bactérias e iniciar o processo de granulação. Durante a partida de reatores UASB, há predomínio de *Methanosarcinas* sp. e à medida que estabiliza, a concentração de *Methanosaeta* sp. aumenta, visto que possuem crescimento lento (2 a 12 dias) (Chernicharo, 2016).





Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

a técnica de inoculação utilizando alta carga orgânica aliada a recirculação do efluente e aumento gradual da vazão, garantiram eficiência mínima de 70% de remoção de DQO e estabilidade do sistema em 60 dias. Ressalta-se que durante esse período, ficou evidente o efeito negativo do aumento excessivo da vazão. Nesse sentido, continuará a ser testado o aumento gradual da vazão até 100% (7,0 m<sup>3</sup>/h) e, em seguida, deverá ser aumentado o tempo de trabalho de 8 horas para 12 horas. Com relação à formação de grânulos, como se sabe, em sistemas anaeróbios de fluxo ascendente, e sob certas condições, é observado que as bactérias agregam-se naturalmente em flocos e grânulos. Estes agregados densos têm boa propriedade de sedimentação e não estão suscetíveis a sair do sistema. O aumento gradativo da vazão, e por sua vez, a velocidade ascensional de esgoto, possibilita uma pressão de seleção de forma a manter no sistema apenas a biomassa com velocidade de sedimentação superior a velocidade ascensional de esgoto no sistema.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22.ed. Washington D C. 2012
2. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016. 379p.
3. CHERNICHARO, C. A. L.; RIBEIRO, T. B.; PEGORINI, E. S.; POSSETI, G. R. C.; MIKI, M. K.; SOUZA, S. N. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 1: Tópicos de Interesse. Revista DAE – edição especial, v. 66, n. 214, p. 5-16, 2018. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.041>
4. DÍAZ-GÓMEZ, Jaime; PÉREZ-VIDAL, Andrea; VARGAS-NUNCIRA, David; USAQUÉN-PERILLA, Olga; JIMÉNEZ-DAZA, Ximena; RODRÍGUEZ, Claudia. Start-Up Evaluation of a Full-Scale Wastewater Treatment Plant Consisting of a UASB Reactor Followed by Activated Sludge. Water, [S.L.], v. 14, n. 24, p. 4034, 10 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w14244034>.
5. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4. Ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 932 p
6. LIU, Jianfeng; WANG, Chengxian; WU, Kai; HUANG, Li; TANG, Zhengkang; ZHANG, Chengbo; WANG, Changmei; ZHAO, Xingling; YIN, Fang; YANG, Bin. Novel start-up process for the efficient degradation of high COD wastewater with up-flow anaerobic sludge blanket technology and a modified internal circulation reactor. Bioresource Technology, [S.L.], v. 308, p. 123300, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123300>.
7. METCALF, L; EDDY, H. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos; tradução: Ivanildo Hespagnol, José Carlos Mierzwa. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980p