



## II-173 – ESTABILIDADE E EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DE UM REATOR UASB OPERANDO SOB DIFERENTES CARGAS BIOLÓGICAS

**Daniele Silva Rodrigues<sup>(1)</sup>**

Graduada em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia CENTEC- Unidade Cariri (2008.1). Juazeiro do Norte – CE. Bolsista do programa de Iniciação Científica da Fundação Cearense de Amparo à pesquisa – FUNCAP (2007 – 2008).

**Vagner Sales dos Santos**

Graduado em Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia CENTEC - Unidade Cariri (2009.1) Juazeiro do Norte – CE. Graduando na Especialização em Saúde Coletiva pela Faculdade Integrada de Patos – FIP- (2009). Bolsista do programa de Iniciação Científica da Fundação Cearense de Amparo à pesquisa – FUNCAP (2007 – 2008).

**Maria Gorethe de Sousa Lima**

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB (1998). M.Sc. em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB - Área de Concentração: Recursos Hídricos/Engenharia Sanitária (2001). Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2008). Professora da Faculdade de Tecnologia CENTEC - Cariri. Juazeiro do Norte – CE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Virgílio Távora ,33 – Pio XII – Juazeiro do Norte - CE - CEP: 63020-470 - Brasil - Tel: (88) 8808-7670/3512-4583 - e-mail: [daniele\\_rodrigues@yahoo.com.br](mailto:daniele_rodrigues@yahoo.com.br)

### RESUMO

Na região do Cariri cearense, assim como em várias outras regiões do Ceará e do mundo, um dos maiores problemas ambientais enfrentados é a poluição dos seus recursos hídricos, causada pelo lançamento de águas residuárias *in natura* nos mesmos. Dentre as tecnologias de tratamento de águas residuárias existentes, tem sido observada, principalmente nos municípios de pequeno porte da região do Cariri cearense, uma grande tendência pelo uso de reatores UASB, devido, principalmente, a pequena demanda de área para sua instalação, bem como ao clima da região que é bastante propício para o funcionamento de reatores anaeróbios (quente ao longo do ano).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade operacional e a eficiência de remoção de matéria orgânica e de sólidos suspensos em um reator UASB tratando água residuária doméstica, operando sob diferentes cargas biológicas. O referido reator, com capacidade para reter 3000 litros de esgoto, foi instalado no município do Crato – CE. Sua alimentação foi realizada com água residuária predominantemente doméstica submetida ao tratamento preliminar (composto de grade, desarenador e calha parshall). O monitoramento do reator UASB foi realizado através da avaliação de sua estabilidade operacional, eficiência de tratamento e qualidade e quantidade do lodo produzido. Para isto, foram coletadas amostras no afluente e efluente do reator, bem como ao longo de sua altura. As variáveis analisadas durante o monitoramento foram pH, temperatura, alcalinidade total (AT), alcalinidade devido aos ácidos voláteis (AAV), alcalinidade de bicarbonato (AB), ácidos graxos voláteis (AGV), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos voláteis totais e sólidos suspensos totais. Os resultados mostraram que a temperatura está dentro da faixa considerada ótima para a digestão anaeróbia e, em relação aos resultados de pH, AAV, AGV, AB e AT, pôde ser constatado que o reator apresentou uma boa condição de tamponamento, sendo desnecessária a correção de pH. As eficiências de remoção de matéria orgânica apresentaram uma leve tendência de aumento com o aumento da carga biológica aplicada; porém, ainda foram consideradas baixas; os sólidos totais em suspensão apresentaram eficiências de remoção variando em torno 70 %. A distribuição dos sólidos totais ao longo da direção axial do reator UASB apresentou um comportamento decrescente à medida que se distanciava da seção de alimentação do reator, conforme já era esperado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carga biológica, Reator UASB, Esgoto doméstico.



## INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas ambientais enfrentados no Brasil e no mundo é a poluição dos recursos hídricos decorrente do lançamento de águas residuárias domésticas e industriais, sem tratamento prévio adequado. Neste contexto, o controle da poluição dos recursos hídricos é um importante aliado para a implementação de ações de prevenção da saúde e proteção do meio ambiente, tendo em vista a importância desse recurso para a vida humana.

Como forma de contribuir para o controle da poluição de corpos aquáticos, foram desenvolvidos, ao longo dos anos, diversos sistemas de tratamento de águas residuárias, dentre os quais podem ser citados: lagoas de estabilização, lodos ativados, reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB), filtros biológicos, dentre outros. A escolha do sistema de tratamento a ser utilizado depende, principalmente, da disponibilidade de área para a implantação do sistema e de fatores econômicos e climáticos.

De acordo com Ghangrekar et al. (2005), reatores UASB têm sido recentemente utilizados, com sucesso, no tratamento de uma grande variedade de águas residuárias domésticas e industriais. O sucesso de sua aplicação se deve ao processo de formação de lodo granular anaeróbico que apresenta excelentes características de sedimentabilidade e elevada atividade metanogênica específica (POL et al., 2004). Estes fatores possibilitam que o reator seja operado com reduzidos tempos de retenção hidráulica, o que implica em equipamentos de dimensões menores e, conseqüentemente, de menor custo (CAMPOS, 1999). Outras vantagens importantes, clássicas de sistemas anaeróbios, são: baixa produção de lodo, não requer aeração e produz gás metano (VAN HAANDELL e LETTINGA, 1994; ISIK e SPONZA, 2005).

Dessa forma, pelas razões acima expostas, reatores UASB têm se tornado uma opção bastante difundida, principalmente em países de clima tropical, sendo freqüentemente usados para o tratamento de águas residuárias com variadas faixas de concentração de matéria orgânica, tanto a solúvel quanto a complexa (FANG et al., 1994; NARNOLI e MEHROTRA, 1997).

No Brasil, de acordo com Campos (1999), a utilização de reatores UASB já é uma realidade. Experiências bem sucedidas em diversas localidades no Paraná, São Paulo, Ceará e, ultimamente, em Minas Gerais, com algumas estações já em operação e vários estudos e projetos contemplando esse tipo de reator, são um forte indicativo de seu potencial para o tratamento de águas residuárias domésticas. Contudo, estes reatores apresentam alguns aspectos negativos, dentre os quais pode ser citada a necessidade de uma etapa de pós-tratamento.

Durante anos acreditou-se que a aplicação de processos anaeróbios não seria boa alternativa para o tratamento de águas residuárias domésticas e industriais. Mas com o passar dos tempos, diversas pesquisas foram desenvolvidas nesta área e constatou-se que os processos anaeróbios apresentam bons resultados. No entanto, diversos países ainda se encontram reservados quanto ao seu uso devido aos resíduos orgânicos que ainda se fazem presentes após essa unidade de tratamento, sendo que países em desenvolvimento com baixo poder aquisitivo, assim como também as nações desenvolvidas que apresentam pequenas áreas disponíveis em seus centros urbanos podem fazer uso da tecnologia anaeróbia, por ser uma alternativa viável para a população e com isso possibilitando soluções eficientes e de reduzido custo para minorar a poluição hídrica devido a despejos residuais, pode ser considerada prioritária para preservar o meio ambiente. (ABREU e ZAIAT, 2008).

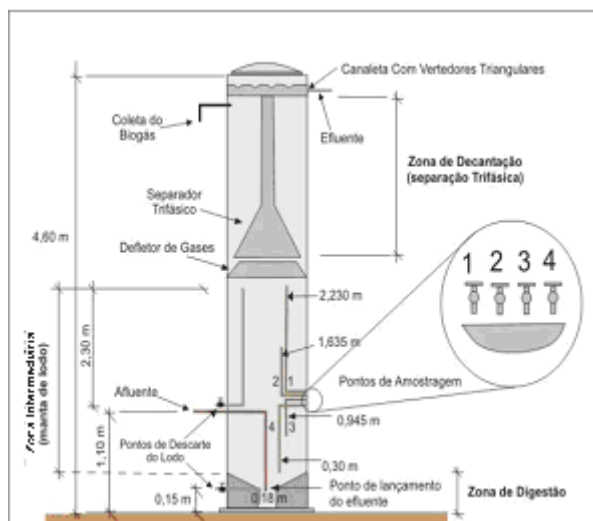
Neste sentido, torna-se imprescindível que seja realizado um monitoramento sistemático do reator UASB, isto considerando tanto as variáveis ambientais (temperatura, pH, alcalinidade, dentre outras) quanto os parâmetros operacionais (como cargas hidráulicas e orgânicas volumétricas e cargas biológicas), visando evitar variações bruscas ao longo do período de operação, já que estas variações podem causar uma drástica redução do desempenho destes reatores.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade operacional e a eficiência de remoção de matéria orgânica e de sólidos suspensos em um reator UASB tratando água residuária doméstica, operando sob diferentes cargas biológicas.



## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), instalado na estação de tratamento de esgotos (ETE) do município de Crato-CE. Este reator foi feito em poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV), com capacidade para reter 3.000 litros de esgotos e possui as seguintes dimensões: 4,5 m de altura e 1,0 m de diâmetro. Em diferentes alturas do reator (2,23, 1,64, 0,94 e 0,30 m) foram colocados pontos de amostragem com o objetivo de monitorar a distribuição da massa de lodo ao longo do reator, bem como a carga biológica (Figura 1).



**Figura 1 – Vista frontal interna do reator UASB.**

A alimentação do reator era feita com esgoto doméstico, após ser submetido ao tratamento preliminar, através de um único dispositivo de entrada, localizado a 1,10 m de altura, que lançava o esgoto na parte central do reator e a 0,18 m de sua base. A coleta do efluente era realizada por meio de uma canaleta com vertedores triangulares, seguida de um tubo de 50 mm de diâmetro, localizado a 4 m acima da base. O biogás era coletado, a partir da interface líquido – gás, por uma tubulação de 25 mm de diâmetro e, em seguida, lançado na atmosfera. A Tabela 1 apresenta os valores médios das condições operacionais do reator. A avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica e de sólidos em suspensão foi realizada com o reator sendo operado com valores médios de cargas biológicas de 0,168 (condição padrão de operação), 1,75 e 3,52 kg DQO/kg SVT.d.

O monitoramento da estabilidade e desempenho operacional do reator foi realizado por meio de coletas quinzenais de amostras, para a realização das seguintes análises físico-químicas: pH, temperatura, alcalinidade total, alcalinidade devido aos ácidos voláteis, alcalinidade de bicarbonato, ácidos graxos voláteis, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos voláteis totais e sólidos suspensos totais. Com exceção das coletas de amostras para análise dos sólidos voláteis totais, as quais foram realizadas em quatro pontos demarcados ao longo da altura do reator: P1 (2,23 m), P2 (1,64 m), P3 (0,94 m) e P4 (0,30 m), as amostras para as demais análises foram coletadas apenas no afluente e efluente do reator. Todos os procedimentos analíticos encontram-se descritos em American Public Health Association /Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

**Tabela 1 – Condições operacionais do reator UASB.**

Parâmetros	Valor médio
Vazão afluente ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	0,4
Tempo de funcionamento do reator (h)	10
Tempo de detenção hidráulica (h)	7,5
Carga hidráulica volumétrica ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ )	1,33
Carga orgânica volumétrica ( $\text{kg DQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ )*	0,616
Carga biológica ( $\text{kg DQO} \cdot \text{kgSTV} \cdot \text{d}^{-1}$ )**	0,168
Velocidade ascensional do fluido ( $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ )	0,53



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a faixa de variação (valores mínimos e máximos) e os valores médios das variáveis determinadas durante o monitoramento do reator UASB. Na Tabela 3, encontram-se os valores médios das concentrações de sólidos voláteis totais (SVT), da massa de sólidos voláteis totais e da carga biológica.

Ao se observar a Tabela 2, verifica-se que os valores de temperatura variaram entre 27 e 34 °C no afluente e entre 28 e 34 °C no efluente, com valor médio, para o efluente, dentro da faixa de temperatura considerada ótima para a digestão anaeróbia que, de acordo com Van Haandel e Lettinga (1994), é de 30 a 35 °C.

Com relação ao pH, pode ser verificado que os valores apresentaram uma pequena variação ao longo dos experimentos (7,2 a 7,8 no afluente e 6,9 a 7,5 no efluente). Apesar de apresentarem uma leve tendência à diminuição no efluente, estes valores ainda permaneceram dentro da faixa recomendada para o crescimento e manutenção da atividade das bactérias metanogênicas (pH entre 6,3 e 7,8). De fato, este comportamento já era esperado, pois, segundo Campos (1999) e Van Haandel e Lettinga (1994), a obtenção de valores de pH próximos à faixa neutra geralmente não é um problema em sistemas de tratamento anaeróbio de águas residuárias domésticas, pois, nestes sistemas, ocorre a predominância do sistema carbônico, responsável pela capacidade de tamponamento do meio.

As concentrações de ácidos graxos voláteis no afluente e efluente do reator se mantiveram baixas durante todo o período de monitoramento. Como consequência, as concentrações de alcalinidade devido aos ácidos voláteis, para o afluente (23 a 46 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) e efluente (13 a 19 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), se mantiveram inferiores às concentrações de alcalinidade de bicarbonato (229 a 274 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  no afluente e 278 a 356 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  no efluente). A explicação para este fato está relacionada tanto com a reação de hidrólise do nitrogênio orgânico (amonificação) como pelo consumo dos ácidos graxos voláteis no reator (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Além disto, pode ser observado que em torno de 85 a 90% da alcalinidade total é composta pela fração de alcalinidade de bicarbonato. Na verdade, este comportamento já era esperado, pois, para a faixa de pH em que o reator estava sendo operado (6,9 a 7,5), as concentrações dos íons  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  são consideradas pequenas quando comparadas com a do íon  $\text{HCO}_3^-$  e, por isso, a alcalinidade do sistema carbônico pode ser igualada à alcalinidade de bicarbonato. Dessa forma, com base nos resultados de pH, AAV, AB e AT, pode ser constatado que o reator apresentou uma boa condição de tamponamento, sendo desnecessária a correção de pH.

Quanto às concentrações de DQO no afluente, pode ser verificado, na Tabela 2, que estas variaram entre 326,4 e 861,8 mg/L, sendo essa ampla faixa de variação das concentrações de DQO afluente atribuída a descontinuidade do abastecimento de água à população do bairro do qual o reator era alimentado.

Com relação à eficiência de remoção de matéria orgânica (expressa na forma de DQO) e de sólidos totais em suspensão, considerando a carga biológica padrão de funcionamento do reator (0,168 kg DQO/kg SVT.d), foram obtidos valores em torno de 42 e 70 %, respectivamente. Contudo, deve-se ressaltar que a eficiência de remoção de DQO está abaixo dos valores comumente relatados na literatura, os quais se situam entre 55 e 70 % (LIMA, 2005). Este fato pode ser atribuído à descontinuidade da alimentação do reator UASB, em decorrência da contribuição de água residuária do bairro do município de Crato - CE, utilizado para alimentar o referido reator, ser praticamente desprezível no período noturno, resultando na alimentação do reator por um período de apenas 10 h por dia (7 as 17 h). Este período é suficiente para sedimentar os sólidos dispersos ao longo do reator e, conseqüentemente, desfazer a manta de lodo, a qual, juntamente com o leito de lodo, é responsável pela transformação da matéria orgânica biodegradável.

No que se refere à eficiência de remoção de matéria orgânica para as cargas biológicas consideradas como teste, 1,75 e 3,52 kg DQO/kg SVT.d, foi verificada uma tendência de aumento das eficiências de remoção com o aumento da carga biológica (em torno de 45 e 50 %, respectivamente), principalmente quando comparadas com a obtida para a carga biológica padrão, 0,168 kg DQO/kg SVT.d, que foi de 40%; indicativo de uma boa atividade metanogênica das bactérias, mesmo considerando-se a carga biológica de 3,52 kg DQO/kg SVT.d; porém, as eficiências de remoção ainda são consideradas baixas, sendo este fato atribuído à descontinuidade de alimentação do reator, conforme já explicado anteriormente. Com relação à eficiência de remoção de sólidos em suspensão, estas se mantiveram constantes (em torno de 70 %)

Quanto à distribuição dos sólidos totais (ST) ao longo da direção axial do reator UASB (Tabela 3), pode ser verificado que, conforme já esperado, apesar das bolhas de gás carregarem partículas de lodo para a parte



superior do reator, a concentração destes sólidos diminuiu com o aumento da posição axial, sendo as diferenças mais expressivas obtidas entre os pontos P4 (0, 30 m) e P3 (0,94 m), localizados nas regiões denominadas, respectivamente, leito de lodo (caracterizada pela presença de lodo bastante concentrado) e manta de lodo (caracterizada pela presença de lodo disperso).

**Tabela 2 – Caracterização do afluente e efluente do reator UASB.**

Variáveis	Faixa de variação (mínimo – máximo)		Valor médio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Temperatura (°C)	27 - 34	28 - 34	29	30
pH	7,20 - 7,80	6,9 – 7,5	-	-
Ácidos graxos voláteis (AGV: mgHAc.L <sup>-1</sup> )	42 - 93	25 - 38	82	31
Alcalinidade dos ácidos voláteis (AAV: mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	23 - 46	13 - 19	38	14
Alcalinidade de bicarbonato (AB: mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	229 - 274	278 - 356	244	304
Alcalinidade total (AT: mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	252 - 317	291 - 374	288	328
Demanda química de oxigênio (DQO: mg.L <sup>-1</sup> )	326,40 - 861,80	122 - 609	462	269
Sólidos totais suspensos (STS: mg.L <sup>-1</sup> )	132 - 189	49 - 66	169	51

**Tabela 3 - Concentrações de sólidos totais (ST) e de sólidos voláteis totais (STV) ao longo da direção axial do reator UASB.**

Pontos de amostragem	Altura do ponto (m)	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	STV (mg.L <sup>-1</sup> )
P1	2,23	804,50	380,80
P2	1,64	864,60	436,20
P3	0,94	1285	805,70
P4	0,30	52851	32896

## CONCLUSÕES

- O estudo da estabilidade operacional do reator UASB apresentou resultados satisfatórios no que se refere aos valores de pH, que se mantiveram na faixa neutra, e das concentrações de alcalinidade de bicarbonato (AB), que apresentaram valores superiores aos das concentrações da alcalinidade devido aos ácidos voláteis (AAV).

- As eficiências de remoção de matéria orgânica (expressa na forma de DQO) apresentaram uma leve tendência de aumento com o aumento da carga biológica aplicada; porém, ainda foram consideradas baixas, aproximadamente 42 % (0,168 kg DQO/kg SVT.d), 45 % (1,75 e 3,52 kg DQO/kg SVT.d) e 50 % (1,75 e 3,52 kg DQO/kg SVT.d); enquanto que para os sólidos totais em suspensão, as eficiências de remoção variaram em torno 70 %.

- A distribuição dos sólidos totais ao longo da direção axial do reator UASB apresentou um comportamento decrescente à medida que se distanciava da seção de alimentação do reator, conforme já era esperado.





## AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Tecnologia Centec Cariri (FATEC Cariri)**, por todo apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa **ACS Engenharia Ambiental LTDA**, por gentilmente ter cedido o reator UASB para o curso de Saneamento Ambiental da FATEC Cariri; indispensável para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao **Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Crato (SAAEC)**, por ter cedido o espaço físico para instalação do reator, bem como todas as condições necessárias para seu funcionamento.

À **Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP)**, pelo apoio financeiro concedido a este projeto de pesquisa; na forma de bolsas de iniciação científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU S. B, ZAIAT M. Desempenho de Reator Anaeróbio – Aeróbio de Leito Fixo no Tratamento de Esgoto Sanitário. Universidade de São Paulo – USP Escola de Engenharia de São Carlos - EESC. 2008.
2. APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998. 19ª ed
3. ARAÚJO, DYALLA RIBEIRO DE; SILVA, ROBERTO HENRIQUE DIAS; SOUSA, JONAS DOS SANTOS. Disponível em: <http://www.uepb.edu.br/eduep/rbct/sumarios/pdf>. Revista de biologia e ciências da terra. v.6,n.1,2006.
4. CAMPOS, J. R. Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. PROSAB. Rio de Janeiro. (1999).
5. CHERNICARO, C.A. L. Reatores anaeróbios-princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 1997 1ªed,vol.5.BELO HORIZONTE.
6. Fang H.H.P,Chui H.K., Li Y.Y Microbial Structure and Activity of UASB Granules Treating Different Wastewaters. . *Wat. Sci Tech.* Vol 30, pp 87 – 96. (1994).
7. Ghangrekar, M.M., Asolekar, S.R., Joshi, S.G. Characteristics of Sludge Developed under Different Loading Conditions during UASB Reactor Start-Up and Granulation. *Water Research.* Vol. 39(6), pp 1123-1133. (2005).
8. Isik, M, Sponza D. T. Effects of Alkalinity and Co-substrate on the Performance of an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor Through Decolorization of Congo Red Azo Dye. *Bioresource technology.* Vol.96, pp 633-643. (2005).
9. LIMA, F. P. Energia no tratamento de esgoto: Análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso de biogás. Dissertação de mestrado. Programa Interunidades de Pós – Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo. (2005).
10. Narnoli S.K., Mehrotra I. Sludge Blanket of UASB Reactor: Mathematical Simulation. *Water Research.* Vol 31 (4), pp.715-726. (1997).
11. Pol, W. H., Lopes, S.I.C., Lettinga, G., Lens, P.N.L. Anaerobic sludge granulation. *Water Research.* Vol 38, pp. 1376- 1389. (2004).
12. VAN HAANDEL, A.C; LETTINGA.G.Tratamento anaeróbio de esgoto.Um manual para regiões de clima quente.Universidade Federal da Paraíba - CAMPINA GRANDE.1994.