

II-335 - AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DE UM REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO E FLUXO ASCENDENTE (UASB) TRATANDO EFLUENTE SANITÁRIO

Jayson Pereira Godinho⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão (UTFPR). Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental na UTFPR, câmpus Curitiba.

Amanda Sonego Zuntini

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão (UTFPR).

Karina Querne de Carvalho

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil e do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (UTFPR).

Cristiane Kreutz

Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão (UTFPR). Mestre e Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Coordenadora do curso de graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão (UTFPR).

Eudes José Arantes

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Engenharia Ambiental e da Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão (UTFPR).

Endereço⁽¹⁾: Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000 - Bloco C - Bairro Ecoville CEP 81280-340 - Curitiba - PR - Brasil. UTFPR-CT - Fone: (41) 3279 4575 - e-mail: jayson.godinho.eng@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento hidrodinâmico de reator UASB, com volume útil de 21 L, submetido a variação de carga hidráulica. O reator foi operado com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 e 4 h e mantido a temperatura ambiente. O comportamento hidrodinâmico do reator foi avaliado através de ensaios de estímulo-resposta tipo pulso, utilizando o traçador eosina Y, para obtenção da curva de variação de concentração do traçador ao longo do tempo (C(t)). Nos ensaios hidrodinâmicos foram verificados adiantamento do pico de concentração do traçador para o TDH de 8 h (em 2,25 h) e de 4 h (em 3 h), assim como lento decaimento dessa concentração ao longo do tempo nas condições avaliadas, indicando o fenômeno de cauda longa, que pode ser originado pela difusão do traçador nas zonas mortas do reator e sua lenta liberação no efluente. O modelo matemático teórico que melhor se ajustou ao experimental foi o de tanques de mistura completa em série (N-CSTR), que resultou em 2 reatores para TDH de 8 h e 3 reatores para TDH de 4 h. O coeficiente de correlação médio do modelo N-CSTR para TDH de 8 e 4 h foi de 0,957 e 0,970, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Sobrecarga hidráulica, Traçador, Fenômeno de Cauda, Modelos Uniparamétricos.

INTRODUÇÃO

No Brasil a falta de coleta e tratamento do esgoto sanitário ainda é um problema grave e varia de acordo com as regiões do país. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SNIS), referentes ao ano de 2012, em uma amostra de 5.770 municípios brasileiros, apenas 3.237 (56,1%) contavam com algum tipo de esgotamento sanitário, e somente 2.227 (38,6%) dos municípios possuíam serviço de tratamento dos esgotos gerados (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2014).

Diante desse cenário, e baseados nas condições ambientais, culturais e econômicas brasileiras, os sanitaristas se deparam com o desafio de utilizar processos mais eficazes, baratos e de fácil construção, operação e manutenção. Sendo assim, em alguns estados do Brasil com clima quente (regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste), os processos anaeróbios são eficientes na remoção de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis, já que as temperaturas ideais para esse processo variam na faixa de 25 a 40 °C (digestão mesófila) (FAGUNDES, 2010; CHERNICHARO, 1997; NASCIMENTO, 2001).

Dentre os reatores anaeróbios existentes, o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - UASB) se configura como uma boa opção para tratamento de efluentes industriais e esgotos sanitários, sendo possível aplicações de carga orgânica volumétrica de até 45 kgDQO/m³.dia, mas que na maioria dos trabalhos, não passam de 15 kgDQO/m³.dia. Esse reator também é capaz de absorver variações de até três vezes o valor da sua vazão afluente. Porém essas variações causam redução da eficiência do reator (DQO na faixa de 60 ~ 80%) e por isso devem ser avaliadas para que a estabilidade operacional seja mantida (FRANCISQUETO, 2007; CHERNICHARO, 1997; FORESTI et al., 1999; VIANA, 2006).

Também é necessário melhor entendimento do comportamento hidrodinâmico do reator quando submetido a essas variações de carga hidráulica e orgânica, pois os aspectos hidrodinâmicos influenciam na velocidade das reações biológicas, por meio de alterações na taxa de transferência de massa e na distribuição das reações ao longo do reator, acarretando na diminuição do volume útil e do tempo de detenção hidráulica necessários ao desempenho da atividade microbiana no reator (ZAIAT; FORESTI, 1997; LEVENSPIEL, 2000).

Comumente, tem-se observado por diversos autores (HATTORI et al., 2012; CARVALHO et al., 2008; PEÑA et al., 2006; PASSIG, 2005) que o modelo de n-tanques de mistura completa em série (N-CSTR) é o que mais se aproxima da curva experimental de distribuição do tempo de residência hidráulica (E_0) em reatores UASB.

Dentro desse contexto o objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento hidrodinâmico de reator UASB, submetido a variações de cargas hidráulicas e orgânicas pontuais com variação do tempo de detenção hidráulica (TDH) em 8 e 4 h no tratamento de esgotos sanitários.

MATERIAIS E MÉTODOS

O reator com volume útil de 21 L e volume total de 22 L é constituído de uma coluna cilíndrica de plexiglass, com diâmetro interno de 0,15 m e altura de 1,22 m. O separador trifásico (gás-sólido-líquido) possui altura total de 0,25 m e diâmetro de 0,14 m e está acoplado à coluna cilíndrica à distância de 0,95 m da base do reator.

O esgoto sanitário utilizado na alimentação do reator UASB foi coletado de uma caixa de passagem existente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão por meio de uma bomba dosadora, marca Dosaq® modelo DQDE - 20 e armazenado em um tanque de equalização com capacidade de 500 L. Esse tanque possui extravasor que possibilita armazenamento do esgoto bruto e despejo do excesso para a caixa de passagem.

O substrato armazenado no tanque de equalização foi conduzido para o reator por meio de bomba dosadora, marca Provitec® modelo DM 5000 ABS. O efluente do reator foi conduzido a um reservatório e posteriormente a caixa de passagem existente no câmpus por meio de um extravasor.

A inoculação do reator foi realizada com 6 L de lodo anaeróbio floculento (aproximadamente 34% do volume do reator), proveniente de um reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) que trata os esgotos sanitários do município de Campo Mourão, PR.

Para avaliar o comportamento hidrodinâmico do reator foram realizados, para os dois TDH testados, 3 ensaios de estímulo-resposta tipo pulso, utilizando solução com traçador eosina Y preparada através da mistura de 0,20 g do traçador em 10 mL de água. Antes de injetar a eosina Y, foi necessário coletar uma amostra do efluente do reator sem a presença do traçador (branco), que serviu de referência para realização das análises de absorbância das outras amostras pelo espectrofotômetro.

Após a coleta desta amostra foi injetado 10 mL do traçador na entrada do reator com auxílio de uma seringa de 15 mL no tempo de aproximadamente 10 s. A coleta das amostras do efluente (20 mL) foi feita em intervalos de 45 min com um coletor automático da marca Isco, modelo 6700C, com duração total de 12 h e 24 h (3 vezes cada TDH testado). As amostras coletadas foram centrifugadas por cerca de 5 min a 3500 rpm em uma centrífuga Sislabs, modelo Twister 12, para evitar a interferência de sólidos na leitura das absorvâncias pelo método colorimétrico.

Para determinação da concentração do traçador nas amostras do efluente, foi utilizado o método colorimétrico de leitura de absorvância, realizado em espectrofotômetro HACH UV-VIS, modelo DR5000, com comprimento de onda de 516 nm. Após a leitura, os valores foram transferidos para uma planilha Excel®, para obtenção de gráficos da variação da concentração do traçador pelo tempo.

De acordo com Levenspiel (2000), foi realizada normalização das curvas experimentais da variação de concentração do traçador ao longo do tempo ($C(t)$), que resultaram em curvas de distribuição do tempo de residência hidráulica (E_θ) em função do tempo adimensional (θ). Após a normalização, foi possível calcular a variância para cada ensaio (σ^2_θ). O ajuste das curvas experimentais foi realizado com base nos modelos teóricos uniparamétricos de dispersão de pequena intensidade (PD) e de grande intensidade (GD) e de tanques de mistura completa em série (N-CSTR).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados experimentais dos ensaios de estímulo-resposta foi possível traçar as curvas de variação da concentração de eosina Y, em função do tempo, nas amostras coletadas na saída do reator UASB, operado com TDH de 8 h (Figura 1).

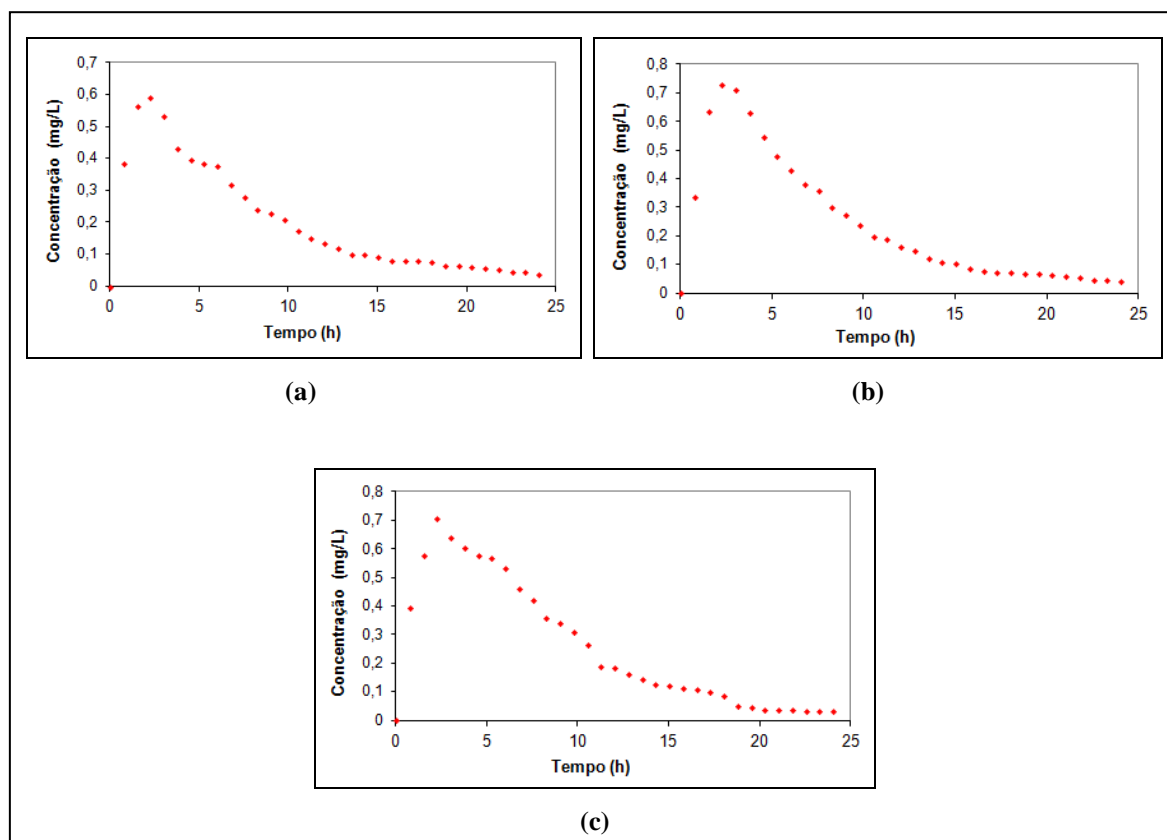


Figura 1: Curvas de variação da concentração de eosina Y para o reator UASB operado com TDH de 8 h: (a) Ensaio 1; (b) Ensaio 2; (c) Ensaio 3.

É possível observar pelos dados apresentados na Figura 1 o adiantamento dos picos de concentração da eosina Y de 2,25 h (com concentração média nesse ponto de $0,67 \text{ mg.L}^{-1}$) para os ensaios realizados, indicando a presença de caminhos preferenciais no interior do reator, que também contribuíram para que os valores de TDH experimentais fossem menores que os valores de TDH teóricos.

Hattori et al. (2011) e Martins (2012) também observaram esse efeito, sendo que os picos de concentração do traçador nos ensaios destes autores foram em média de 2,6 h e 2,3 h, respectivamente.

As curvas de variação da concentração de eosina Y nas amostras coletadas no efluente do reator UASB, operado com TDH de 4 h são apresentadas na Figura 2.

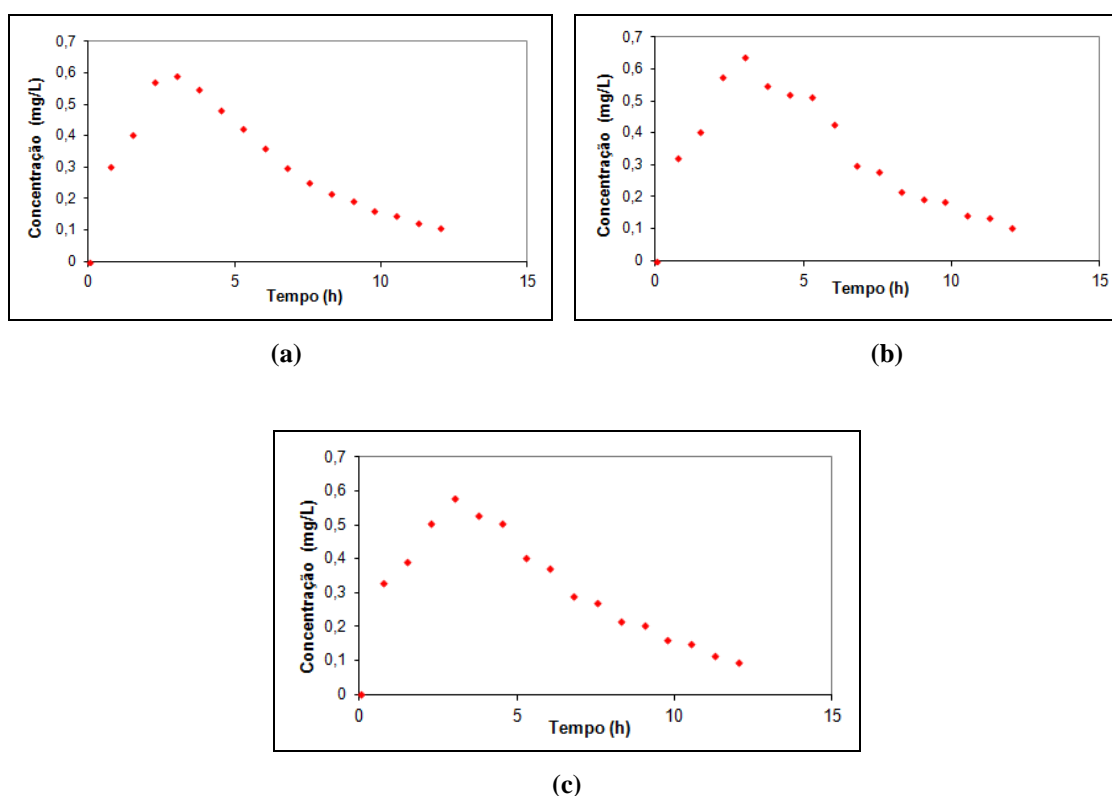


Figura 2: Curvas de variação da concentração de eosina Y para o reator UASB operando com TDH de 4 h : (a) Ensaio 1; (b) Ensaio 2; (c) Ensaio 3.

Os ensaios com o reator UASB operado com TDH de 4 h mostram que o pico de concentração do traçador foi de 3 h (com concentração média nesse ponto de $0,59 \text{ mg.L}^{-1}$), ou seja, adiantamento do pico de concentração que resultou no aumento do TDH real sobre o efeito de sobrecarga hidráulica de 50%.

Foi observado o lento decaimento na concentração do traçador ao longo do tempo nos ensaios, o que pode indicar o fenômeno de “cauda longa” pela presença de curtos-circuitos hidráulicos, difusão dos traçadores em zonas mortas do reator ou adsorção dos traçadores na biomassa do reator (lodo flocculento) segundo Levenspiel (2000). Outros autores também observaram o efeito de cauda longa (Passig, 2005; Peña et al., 2006; Carvalho et al., 2008; Castro, 2010; Sarathai et al., 2010; Hattori et al., 2011; Hattori et al., 2012; Baettker, 2012; Kreutz, 2012; Martins, 2012; Goffi, 2013).

Após se realizar o ajuste dos dados experimentais com os três modelos teóricos uniparamétricos para todos os ensaios hidrodinâmicos realizados, foi possível obter o número de dispersão para os modelos de Grande dispersão (GD) e Pequena dispersão (PD) e o número de reatores em série para o modelo de Tanques de mistura completa em série (N-CSTR) (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros obtidos com o ajuste dos dados experimentais para o reator UASB utilizando Eosina Y.

TDHt (h)	Ensaio	TDHr (h)	N-CSTR (N)	Pequena Dispersão (D/uL)	Grande Dispersão (D/uL)
8	1	7,3	2	0,615	1,372
	2	7,0	2	0,594	1,301
	3	7,0	2	0,514	1,041
4	1	5,0	3	0,348	0,590
	2	5,0	3	0,343	0,579
	3	5,0	3	0,337	0,565

Legenda: Tempo de detenção hidráulico teórico (TDHt); Tempo de detenção hidráulico real (TDHr); Número de reatores em série (N-CSTR); Número de dispersão do reator (D/uL).

Em relação à primeira etapa de operação (TDH de 8 h) foi verificado que o TDH real variou entre 7,0 e 7,3 h nos três ensaios, com diferença média de 10,6% em relação ao TDH teórico. Para segunda etapa de operação (TDH de 4 h) o TDH real não variou, sendo o mesmo de 5,0 h nos três ensaios, com diferença média de 25% em relação ao TDH teórico.

Martins (2012) observou o adiantamento do TDH real em relação ao teórico, quando trabalhou com Eosina Y na operação de um reator UASB de 160 L com TDH teórico de 10 h, na qual o TDH real obtido foi de aproximadamente 7 h. Hattori et al. (2011) notaram esse adiantamento e justificaram pela ocorrência de caminhos preferenciais, devido a ausência de quaisquer obstáculos que resultasse no atraso do traçador, em ensaios com os traçadores verde de bromocresol e cloreto de lítio em um reator UASB em escala de banca (1 L), operado com vazão afluente de 0,166 L/h, TDH de 6 h e mantido a temperatura ambiente e sendo alimentado com água (Abiótico).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos coeficientes de correlação (r^2) obtidos para os modelos matemáticos teóricos para as duas condições de operação do reator.

Tabela 2: Coeficientes de correlação obtidos com o ajuste dos dados experimentais aos modelos teóricos para o reator UASB utilizando Eosina Y.

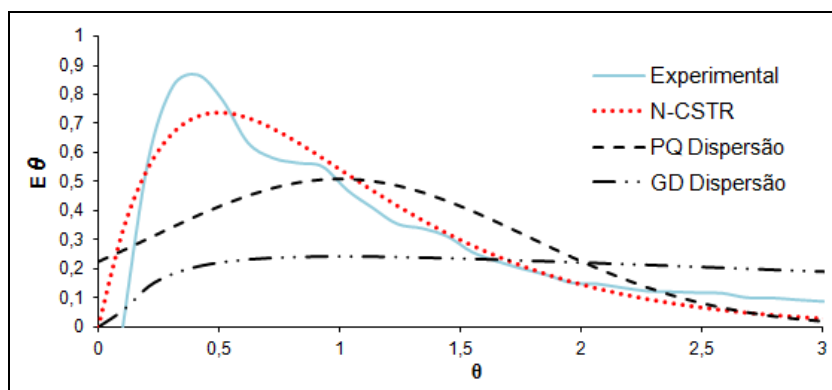
TDHt (h)	Modelo teórico	Ensaio			Média
		1	2	3	
8	Número de reatores em série (N-CSTR)	0,925	0,960	0,987	0,957
	Pequena dispersão (PD)	0,658	0,703	0,796	0,719
	Grande dispersão (GD)	0,060	0,170	0,239	0,156
4	Número de reatores em série (N-CSTR)	0,972	0,973	0,966	0,970
	Pequena dispersão (PD)	0,785	0,804	0,813	0,800
	Grande dispersão (GD)	0,422	0,418	0,441	0,427

Legenda: Tempo de detenção hidráulico teórico (TDHt).

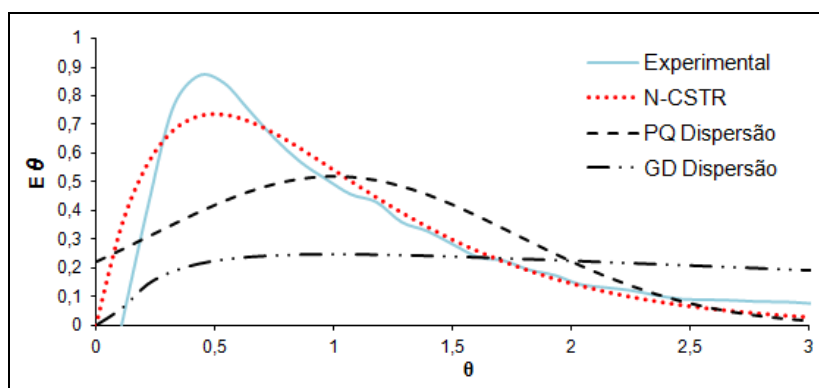
Os modelos de Pequena dispersão (PD) e Tanques de mistura completa em série (N-CSTR) apresentaram boa correlação, acima de 70%. Já para o modelo de Grande dispersão a correlação foi considerada baixa, valores menores que 43%.

Hattori et al. (2011) e Martins (2012) também observaram esse efeito, na qual a correlação do modelo de Grande dispersão (GD) ficou abaixo de 54% nos ensaios dos dois autores para o traçador eosina Y.

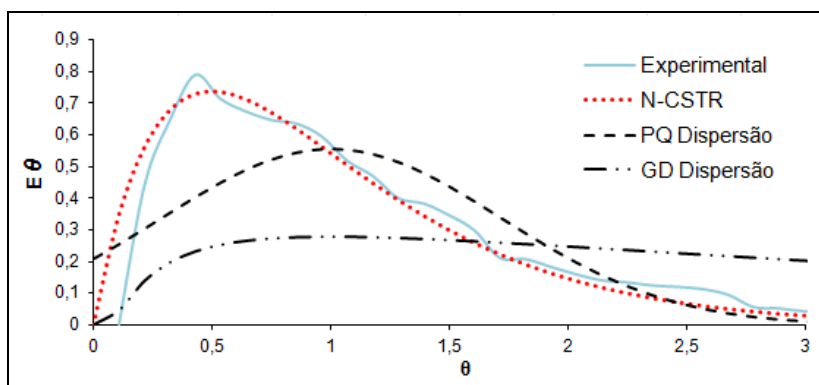
Através do ajuste dos dados experimentais dos ensaios realizados foram obtidas curvas de Distribuição do Tempo de Residência (DTR) em função do tempo adimensional para as diferentes condições de operação do reator (Figura 3 e Figura 4).



(a)

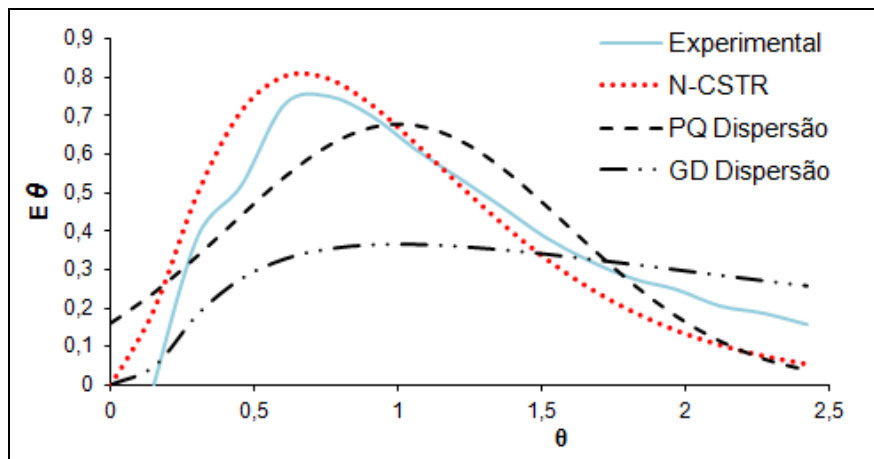


(b)

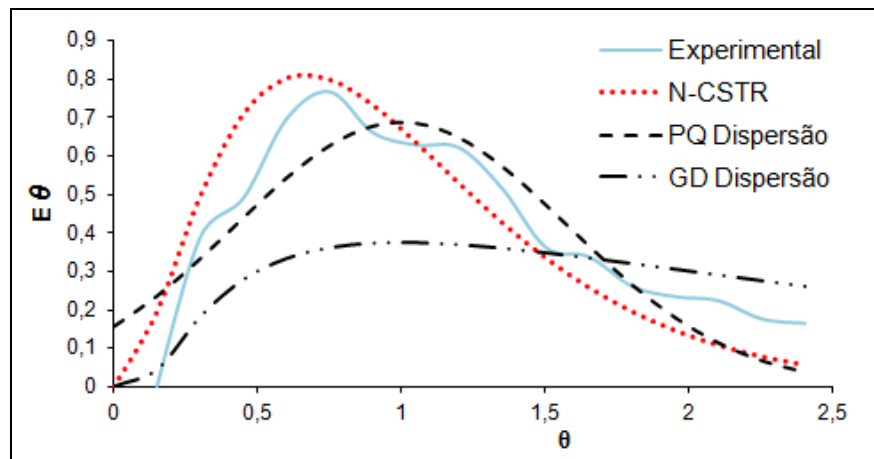


(c)

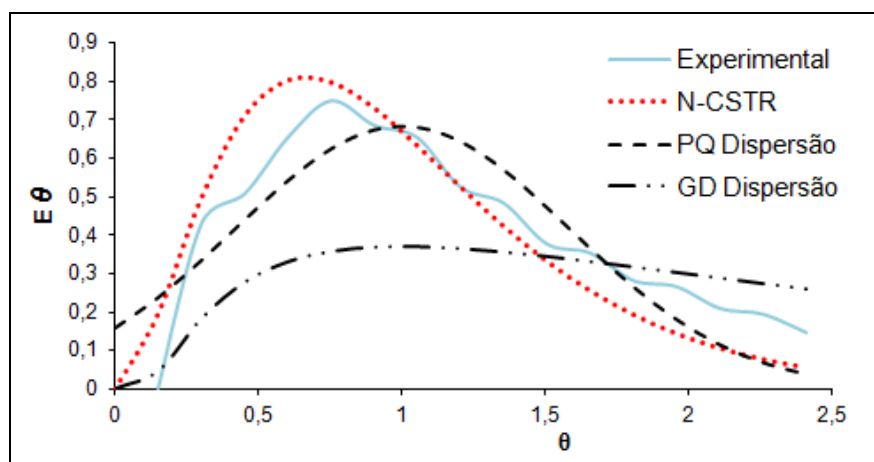
Figura 3: Curvas de DTR obtidas experimentalmente com o traçador para o reator operado com TDH de 8 h: (a) Ensaio 1; (b) Ensaio 2; (c) Ensaio 3.



(a)



(b)



(c)

Figura 4: Curvas de DTR obtidas experimentalmente com o traçador para o reator operado com TDH de 4 h: (a) Ensaio 1; (b) Ensaio 2; (c) Ensaio 3.

O modelo de tanques de mistura completa em série (N-CSTR) indicou 2 reatores para o TDH de 8 h e 3 reatores para o TDH de 4 h, valores semelhantes aos reportados por Martins (2012), Passig (2005), Hattori et al. (2011), Hattori et al. (2012) e Carvalho et al. (2008) de 2 a 5 reatores N-CSTR em série na operação de reatores UASB com vazão afluente constante no tratamento de esgotos sanitários.

Os valores obtidos para os modelos de pequena e grande dispersão foram em média de 0,574 e 1,238, respectivamente, para TDH de 8 h e de 0,342 e 0,578 para TDH de 4 h. Pode-se notar que houve diminuição dos valores dos números de dispersão com a diminuição do TDH e que com essa diminuição ocorreu aumento do número de tanques de mistura completa em série (N-CSTR) de 2 reatores para 3. Esse efeito também foi observado por Cruz (2013) na qual em seus ensaios com injeção de ar (simulando a geração de biogás) no interior de um reator UASB de volume útil de 18 L, o autor observou que com o aumento do grau de dispersão do modelo de grande intensidade ocorre redução do número de reatores em série.

O aumento do número de reatores na segunda etapa com o TDH de 4 h, se deve possivelmente, pelo fato da sobrecarga hidráulica fornecer melhores condições de mistura do líquido do interior do reator. Esse efeito também foi observado por Carvalho (2006), na qual a autora justificou o aumento do número de N-CSTR devido ao aumento da amplitude da variação da vazão afluente (sobrecarga hidráulica).

Os coeficientes de correlação apresentados na Tabela 2, analisados juntamente com os gráficos de distribuição do tempo de residência das Figuras 3 e 4, permitiram observar que o modelo teórico que melhor se ajustou em todos os ensaios experimentais foi de N-CSTR, com correlação média de 0,957 para o TDH de 8 h e de 0,970 para o TDH de 4 h.

Em relação aos modelos uniparamétricos de dispersão, o modelo PD apresentou melhor ajuste aos dados experimentais, para as duas etapas de operação, com r^2 médio de 0,719 (TDH de 8 h) e 0,8 (TDH de 4 h), apesar de inicialmente os ensaios não respeitarem suas premissas ($D/uL < 0,01$ e dispersão idêntica dentro e fora do volume de controle). Mas mesmo apresentando boa correlação, o ajuste feito pelo modelo de PD não foi satisfatório, devido a grande dispersão em relação aos valores experimentais. Esses resultados também foram observado por Martins (2012).

CONCLUSÕES

Os aspectos hidrodinâmicos influenciam na velocidade das reações biológicas, por meio de alterações na taxa de transferência de massa e na distribuição das reações ao longo do reator. Com base no trabalho realizado pelo estudo da hidrodinâmica por meio de modelos uniparamétricos concluiu-se que o fluxo no interior do reator UASB apresentou comportamento próximo ao reator de mistura completa em série (N-CSTR), com 2 e 3 reatores em série para o TDH de 8 e 4 h, respectivamente. Foi verificado ainda, o adiantamento do pico de concentração do traçador para o TDH de 8 h e de 4 h, assim como lento decaimento dessa concentração ao longo do tempo, caracterizado pelo fenômeno de cauda longa devido à difusão do traçador nas zonas mortas do reator e de sua lenta liberação no efluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARVALHO, K. Q. de. Resposta dinâmica de reator UASB em escala piloto submetido a cargas orgânicas e hidráulicas cíclicas: modelos matemáticos e resultados experimentais. 2006. 193 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
2. CARVALHO, K. Q. de; SALGADO, M. T.; PASSIG, F. H.; PIRES, E. C. Avaliação hidrodinâmica de reator UASB submetido à variação cíclica de vazão. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 226-235, 2008.
3. CASTRO, F. M. S. Estudo do comportamento hidrodinâmico de uma nova proposta de configuração interna para reator UASB. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
4. CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 5 – Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 245 p.

5. CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HAANDEL, Adrianus C; AISSE, Miguel M.; CAVALCANTI, Paula F. Reatores anaeróbios de manta de lodo. In: CAMPOS, José R (Coord). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, Cap. 2, 1999.
6. CRUZ, D. B. Estudo hidrodinâmico computacional de reator UASB em escala de bancada com validação experimental. 2013. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.
7. FAGUNDES, T. S. Uso de polímero natural a base de amido como auxiliar de floculação no pós-tratamento de efluentes UASB com flotação por ar dissolvido. São Carlos, 2010. 111p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Paulo. Universidade de São Paulo.
8. FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A. C; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F.F. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, José R (Coord). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, Cap. 2, 1999.
9. FORESTI, E., ZAIAT, M., VALLERO, M. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: Consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges, Reviews in: Environ. Sci. and Bio/Technol., v.5: p. 3-19, 2006.
10. FRANCISQUETO, L. de O. S. Comportamento de Reatores UASBs Frente a Variações Horárias de Vazão de Esgoto Sanitário. Vitória, 2007. 178 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.
11. GOFFI, A. dos S. Tratamento de esgoto doméstico em reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo com recirculação da fase líquida. 2013. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.
12. HATTORI, A. Y; CARVALHO, K. Q de; PASSIG, F. H; FREIRE, F. B; JESÚS, M. N. de. Análise do comportamento hidrodinâmico de um reator UASB em escala de bancada tratando esgoto sanitário sintético. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 16, 2011, Ponta Grossa, PR. Anais.... Ponta Grossa, PR. 2011.
13. HATTORI, A. Y; VIEIRA, T. A. P.; FREIRE, F. B.; CARVALHO, Karina Q. de; PASSIG, Fernando H. Comparação do Comportamento Hidrodinâmico de Reatores UASB Abiótico e Biótico. In: XXXIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2012, Salvador. XXXIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2012.
14. LEVENSPIEL, O. Engenharia das Reações Químicas. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.
15. KREUTZ, C. Comportamento de Reator Anaeróbio-aeróbio no Tratamento de Efluente Bovino. 2012. 114 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da UNIOESTE, Cascavel, 2012.
16. MARTINS, J. E. M. Avaliação do comportamento de um reator UASB tratando esgotos sanitários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão. 2012. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012
17. NASCIMENTO, M. C. P. Filtro biológico percolador de pequena altura de meio suporte aplicado ao pós-tratamento de efluente de reator UASB. 2001. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – DESA, UFMG, Belo Horizonte, 2001.
18. PASSIG, F. H. Reator anaeróbio híbrido para tratamento de esgoto sanitário. 2005. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
19. PEÑA, M. R.; MARA, D. D.; AVELLA, G. P. Dispersion and treatment performance analysis of an UASB reactor under different hydraulic loading rates. Water Research, v.50, n.3, p. 445-452, 2006.
20. SARATHAI, T.; KOOTTATEP, T.; MOREL, A. Hydraulic characteristics of an anaerobic baffled reactor as onsite wastewater treatment system. Journal of Environmental Science, 22(9): 1319-1326, 2010.
21. VIANA, A. B. Tratamento anaeróbio de vinhaça em reator UASB operado em temperatura na faixa termofílica (55°C) e submetido ao aumento progressivo de carga orgânica. São Carlos, 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Paulo. Universidade de São Paulo.
22. ZAIAT, M.; FORESTI, E. Method for estimating the kinetics of substrate degradation in horizontal-flow anaerobic immobilized sludge reactors. Biotechnology Techniques, 11, p. 315–318. 1997.