

II-396 – AVALIAÇÃO HIDRODINÂMICA DO REATOR COMBINADO-ANAERÓBIO AERÓBIO DE LEITO FIXO

Aldria Diana Belini⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão

Karina Querne de Carvalho⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Fernando Hermes Passig⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Cristiane Kreutz⁽⁴⁾

Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre e Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Docente da Coordenação de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Campo Mourão.

Eudes José Arantes⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de São Paulo. Mestre e doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo pela Universidade de São Paulo. Docente da Coordenação de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Campo Mourão.

Endereço⁽¹⁾: Av. Raposo Tavares, 34 Conjunto 66 – Centro - Peabiru - Paraná - CEP: 87250-000 - Brasil - Tel: +55 (44) 3531-3097 - e-mail: a7belini@gmail.com

RESUMO

O estudo do comportamento hidrodinâmico, das características do fluxo, do tempo de residência, bem como da geometria dos reatores podem ser fundamentais para a otimização de processos de tratamento, possibilitando a detecção e solução de problemas operacionais que podem vir a melhorar a eficiência global do sistema de tratamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento hidrodinâmico de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo (RCAALF) com biomassa imobilizada, tratando efluente de abatedouro bovino. Para avaliar o comportamento hidrodinâmico foram realizados dois ensaios do tipo estímulo-resposta para cada fase operacional com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 14 horas, utilizando-se como traçador o corante eosina Y. Os resultados mostraram que para na 3ª fase ocorreram picos no início do escoamento e variações da concentração do traçador ao longo do tempo, indicando a existência de caminhos preferenciais. Outro fator observado foi o atraso na resposta do traçador, na 1ª e 2ª fases, cujos TDH's reais atingidos foram de 25 h e 19 h e 18h e 16 h, respectivamente. Esse atraso pode ser atribuído pelo tipo de material suporte utilizado e pela variação na velocidade do fluxo em cada fase. Por meio da análise das curvas de distribuição do tempo de residência, pode-se concluir que o comportamento hidrodinâmico do reator anaeróbio apresentou escoamento do tipo pistonado para a 1ª Fase, enquanto que as demais apresentaram comportamento tendendo ao de mistura completa. Em termos de eficiência global é possível dizer que a 2ª fase apresentou os melhores resultados devido a não ocorrência de curto circuito, satisfatória eficiência hidráulica, pouca formação de zonas mortas, maior estabilidade operacional, boa conversão de matéria nitrogenada e degradação de matéria orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: Reator de leito fixo anaeróbio aeróbio, hidrodinâmico, eosina Y.

INTRODUÇÃO

A quantidade e as características dos resíduos gerados em um abatedouro variam de forma significativa em função do tipo de animal a ser abatido, porte físico, tipo de planta industrial, técnicas utilizadas durante o abate, grau de automação, técnicas de limpeza e higienização de equipamentos e ambientes. O consumo de água é em torno de 2500 L por cabeça de boi abatida (SPERLING, 1997).

Embora os sistemas anaeróbios sejam amplamente utilizados devido a sua capacidade de suportar variações de cargas orgânicas e hidráulicas, estes são ineficientes na remoção de nitrogênio e fósforo (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994). Para que o tratamento desse tipo de efluente gerado seja eficiente e completo deve-se levar em consideração o emprego de técnicas de forma agregada e simultânea como a combinação de sistemas anaeróbio-aeróbio tendo em vista sua utilização em escala real. Domingues (2005) citou que a vantagem desta combinação reside na obtenção dos melhores resultados ao mesmo tempo em que também se minimizam deficiências individuais, convertendo-se em maior facilidade operacional com menor necessidade de manutenção a custos mais baixos.

Um dos problemas encontrados em sistemas combinados anaeróbio-aeróbio é encontrar a condição ótima de funcionamento para cada sistema de forma integrada (BODIK *et al.*, 2003). Desta forma tornou-se necessário também melhor entendimento dos aspectos hidrodinâmicos dos reatores utilizados, na medida em que a maioria dos trabalhos realizados aborda o problema sob o ponto de vista da eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos e outros parâmetros, pouco se conhecendo sobre as características hidrodinâmicas do sistema (PIRES; RIBEIRO, 1992). O estudo do comportamento hidrodinâmico, das características do fluxo, do tempo de residência e da geometria dos reatores pode ser fundamental para otimização do processo de tratamento anaeróbio, possibilitando detecção e solução de problemas operacionais que podem melhorar a eficiência global dessas unidades de tratamento.

Levenspiel (2000) menciona que existem dois modelos ideais de reator de mistura, sendo o primeiro conhecido como reator de mistura completa em série (*continuous stirred-tank reactor in series*- N-CSTR), cujo comportamento é de um tanque em que o líquido permanece em constante agitação, de forma homogênea, ou seja, com dispersão axial; e o segundo modelo de um reator de fluxo em pistão, no qual o fluxo passa através do tanque, perfeitamente misturado na direção radial, sem dispersão axial. Quando a distribuição do tempo de residência de um reator não pode ser descrita por um desses modelos, tem-se um reator não-ideal.

O comportamento hidrodinâmico de reatores pode ser avaliado usando o método experimental denominado estímulo-resposta, que se caracteriza pela injeção de um traçador de concentração conhecida, que não interfere nos processos físico-químicos e biológicos que podem alterar a hidrodinâmica do fluido. O objetivo principal deste artigo foi avaliar o comportamento hidrodinâmico de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo (RCAALF) no tratamento dos efluentes de um abatedouro bovino em diferentes condições operacionais de funcionamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo (RCAALF) foi confeccionado em *plexiglass* com diâmetro de 0,9 m e altura de 1,0 m, com volume útil de 4,75 L, compreendido por uma câmara de alimentação e um leito reacional (Figura 1). O reator era composto de seis compartimentos, sendo compartimento 1 para entrada do efluente, compartimento 2 com recheio de argila expandida, compartimento 3 com recheio de espuma de poliuretano, compartimento 4 como zona de reação, compartimento 5 com recheio de espuma de poliuretano e compartimento 6 para saída do efluente tratado.

Os recheios de argila expandida e espuma de poliuretano foram utilizados como meio suporte para a biomassa do reator. O compartimento com espuma de poliuretano foi inoculado com 5 L de lodo proveniente de uma lagoa anaeróbia componente do sistema de tratamento dos efluentes do abatedouro bovino. A operação do RCAALF foi realizada em três fases distintas a temperatura ambiente, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 14 h e vazão afluente de 0,340 L/h. Na 1ª fase, o reator foi operado anaeróbio sem recirculação; na 2ª fase foi introduzida aeração no compartimento 4, sem recirculação; e na 3ª fase, além da aeração, foi feita recirculação de 50% do efluente do compartimento 6 para o compartimento 2.

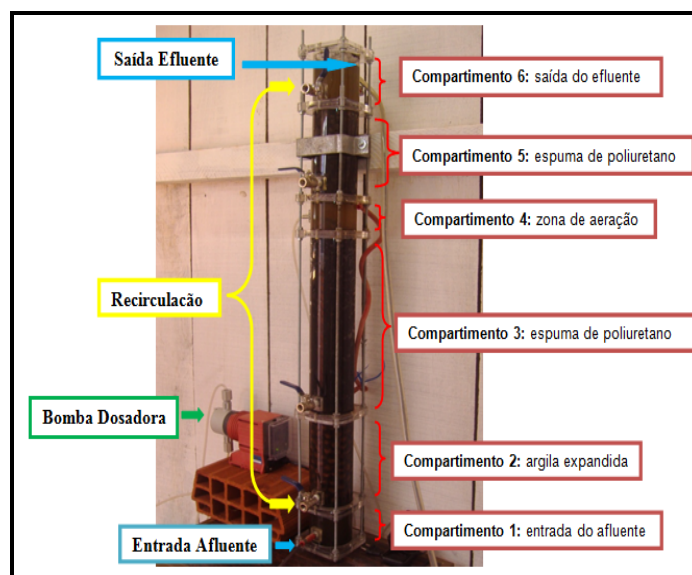


Figura 1: Vista lateral do reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo

O comportamento do reator foi avaliado durante 35 dias em cada fase com monitoramento dos parâmetros de controle em amostras do afluente (substrato) e efluente: temperatura (T), pH, alcalinidade a bicarbonato (AB), ácidos voláteis (AV), demanda química de oxigênio (DQO, bruta e filtrada), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-Amon), nitrito (NI), nitrato (NA), sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST) de acordo com APHA (2005).

Para avaliar o comportamento hidrodinâmico foram realizados dois ensaios de estímulo-resposta em cada fase de operação com o corante eosina Y como traçador. O volume de injeção do traçador e o tempo de injeção foram de 10 mL e 5 s, respectivamente, para cada ensaio. Para determinação da concentração do traçador nas amostras do efluente do reator, foi utilizado o método colorimétrico de leitura de absorbância em espectrofotômetro Hach uv-vis, modelo DR/5000, com comprimento de onda de 516 nm. O tempo total de duração dos ensaios foi de três vezes o tempo de detenção hidráulica teórico de 14 h, com intervalos para coleta do efluente de 45 min. As amostras coletadas foram centrifugadas durante 2 min a 3500 rpm para evitar interferência de sólidos na leitura das absorbâncias pelo método colorimétrico. As condições operacionais do reator, a concentração e a massa molecular do traçador são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características operacionais dos ensaios de estímulo-resposta realizados no reator

| Fase | Tempo de detenção hidráulica (TDH) teórico (h) | Período de operação (d) | Vazão afluente ($L \cdot h^{-1}$) | Massa do traçador aplicada (mg) | Concentração de traçador ($mg \cdot 10mL^{-1}$) |
|------|------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1º | 14 | 35 | 0,34 | 200 | 20 |
| 2º | 14 | 35 | 0,34 | 200 | 20 |
| 3º | 14 | 35 | 0,34 | 200 | 20 |

As curvas experimentais da variação de concentração do traçador ao longo do tempo ($C(t)$), foram normalizadas de acordo com Levenspiel (2000), resultando em curvas de distribuição do tempo de residência hidráulica ($E\theta$) em função do tempo adimensional (θ). A variância (σ^2_θ) de cada ensaio foi calculada após a normalização. O ajuste das curvas experimentais foi realizado com base nos modelos teóricos uniparamétricos de dispersão de pequena intensidade (PD), de grande intensidade (GD) e de tanques em série (N-CSTR), como pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos teóricos uniparamétricos de dispersão utilizados

| Modelo | Parâmetro | Equação |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dispersão de pequena intensidade | $\sigma^2_{\theta} = 2 \left(\frac{D}{u.L} \right)$ | $E_{\theta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi(D/u.L)}} \exp \left[-\frac{(1-\theta)^2}{4(D/u.L)} \right]$ |
| Dispersão de grande intensidade (tanque aberto) | $\sigma^2_{\theta,ta} = 2 \left(\frac{D}{u.L} \right) + 8 \left(\frac{D}{u.L} \right)^2$ | $E_{\theta,ta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi(D/u.L)}} \exp \left[-\frac{(1-\theta)^2}{4\theta(D/u.L)} \right]$ |
| Tanques de mistura completa em série | $N = \frac{1}{\sigma^2_{\theta}} = \frac{\bar{\theta}^2_h}{\sigma^2}$ | $E_{\theta} = \frac{N(N.\theta)^{N-1}}{(N-1)!} e^{-N.\theta}$ |

O volume de zonas mortas foi calculado de acordo com metodologia reportada por Peña *et al.* (2006) com base nos valores de TDH teórico e real, este último obtido a partir dos ensaios hidrodinâmicos, e do volume total do reator. A presença de curtos-circuitos foi verificada pela relação entre o tempo do primeiro aparecimento do traçador no efluente do reator e o TDH teórico de acordo com Thackston *et al.* (1987) e Sarathai *et al.* (2010). A eficiência hidráulica reflete o volume efetivo e o número de tanques de mistura completa em série e foi calculada de acordo com Sarathai *et al.* (2010) e Persson *et al.* (1999). As equações necessárias para o cálculo de zonas mortas, curto circuito e eficiência hidráulica estão descritas na tabela 3.

Tabela 3: Equações para determinação da presença de zonas mortas, curtos-circuitos e eficiência hidráulica

| | Equações | Significado |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zonas Mortas | $\beta = \frac{TDH_r}{TDH_t}$ $V_a = V_t \times \beta$ $V_d = V_t - V_a$ | B = relação entre o TDH real (h) e o TDH teórico (h); V_a = volume ativo do reator (m ³); V_t = volume total do reator (m ³); V_d = volume de zonas mortas (m ³). |
| Curtos-Circuitos | $\Psi = \frac{\tau_k}{\tau_r}$ | Ψ = presença de curto-circuito; τ_k = tempo em que ocorre pico da concentração (h); τ_r = TDH real (h). |
| Eficiência Hidráulica | $\lambda = V_e \left(1 - \frac{1}{N} \right)$ | λ = eficiência hidráulica; V_e = volume efetivo (m ³); N = número de tanques CSTR em série. |
| Número de Peclet | $Pe = \frac{1}{\delta}$ | Pe = número de Peclet; δ = número de dispersão. |

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A alcalinidade a bicarbonato na 1ª fase de operação indica capacidade de tamponamento do reator, com maiores valores nas amostras do efluente (983 mgCaCO₃.L⁻¹) em relação ao afluente (690 mgCaCO₃.L⁻¹). Este comportamento é típico de sistemas anaeróbios que alcançaram o estado de equilíbrio dinâmico aparente. Nas 2ª e 3ª fases foi verificada diminuição da alcalinidade a bicarbonato do efluente, com valores médios de 430 mgCaCO₃.L⁻¹ e 264 mgCaCO₃.L⁻¹, respectivamente, causada pelo processo de nitrificação/desnitrificação que ocorre no tratamento aeróbio. Na nitrificação ocorre oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrato via nitrito tendo o oxigênio molecular como aceptor final de elétrons e na desnitrificação quase exclusivamente o gás carbônico e carbonatos como fonte de carbono e consequente formação de nitrogênio gasoso.

Conforme Metcalf e Eddy (2003) em processos de remoção biológica de nitrogênio, o doador de elétrons é tipicamente um dos três tipos: 1) matéria orgânica solúvel presente na água residuária; 2) a matéria orgânica solúvel produzida durante o decaimento endógeno celular; e 3) uma fonte externa de carbono tal como metanol, etanol ou ácido acético. Embora tenha ocorrido a diminuição da alcalinidade nas 2ª e 3ª fases, a

relação alcalinidade a bicarbonato/ácidos voláteis de 0,18 e 0,24, respectivamente, não foi comprometida. Foi verificada concentração média de ácidos voláteis de 120 mgHAc.L⁻¹ no afluente e redução para 100 mgHAc.L⁻¹, 80 mgHAc.L⁻¹ e 64 mgHAc.L⁻¹ nas amostras do efluente das 1^a, 2^a e 3^a fases, respectivamente.

Foi possível verificar que as eficiências de remoção de DQO bruta e filtrada resultaram em 39% e 19%, 56% e 34%, 63% e 66% nas 1^a, 2^a e 3^a fases, respectivamente. A 2^a e 3^a fases apresentaram melhores desempenhos na remoção de matéria orgânica comparada com a 1^a fase. A baixa eficiência da remoção de carga orgânica na 1^a fase pode ser atribuída a não adaptação dos micro-organismos ao meio devido ao pouco tempo entre a inoculação e o início da operação e monitoramento do reator. Apesar das maiores eficiências na 2^a e 3^a fases, não foram observadas eficiências similares a 80% na remoção de carga orgânica comuns em sistemas de tratamento aeróbio. Na 2^a fase obteve-se temperaturas abaixo da faixa ideal de para os micro-organismos aeróbios de 18°C e na 3^a fase a eficiência foi comprometida por problemas operacionais. Em sistemas aeróbios parâmetros como pH, temperatura e concentração de nutrientes influenciam diretamente no desenvolvimento dos micro-organismos de forma mais significativa do que nos sistemas anaeróbios (CHERNICHARO, 2007). Quanto à remoção de sólidos totais e sólidos suspensos totais foram obtidas eficiências de 15% e 66%, 77% e 76%, 75% e 50%, para as 1^a, 2^a e 3^a fases, respectivamente.

Nas duas últimas fases é possível observar o crescimento de micro-organismos nitrificantes/desnitrificantes pela remoção de nitrogênio total de 63% na 2^a fase (com aeração) e 57% na 3^a fase (com aeração e recirculação); e de nitrogênio amoniacal de 72% na 2^a fase (com aeração) e 76% na 3^a fase (com aeração e recirculação). Foi verificado aumento na concentração de nitrito em 90% na 2^a fase e de 89% na 3^a fase e de nitrato em 80% na 2^a fase e de 76% na 3^a fase. Tais dados demonstram a capacidade do reator em converter nitrogênio total e amoniacal em nitrito e nitrato, pelos processos de nitrificação e desnitrificação.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos com o ajuste das curvas de distribuição do tempo de residência (DTR) pelos modelos matemáticos teóricos propostos por Levenspiel (2000).

Tabela 4. Resultados dos parâmetros obtidos com o ajuste dos dados experimentais

| Fase | Ensaio | TDH Teórico (h) | TDH Real (h) | N-CSTR (N) | Pequena Dispersão (D/uL) | Grande Dispersão (D/uL) |
|----------------|--------|-----------------|--------------|------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 ^a | 1 | 14 | 25 | 6 | 0,08 | 0,20 |
| | 2 | 14 | 19 | 5 | 0,11 | 0,30 |
| 2 ^a | 1 | 14 | 18 | 3 | 0,16 | 0,53 |
| | 2 | 14 | 16 | 2 | 0,23 | 0,73 |
| 3 ^a | 1 | 14 | 13 | 2 | 0,26 | 1,05 |
| | 2 | 14 | 14 | 3 | 0,19 | 0,68 |

Na Tabela 5 são apresentados os dados do cálculo da correlação existente entre os dados uniparamétricos.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos com o cálculo do volume de zonas mortas, eficiência hidráulica e presença de curtos-circuitos nos ensaios das 1^a, 2^a e 3^a fases.

Tabela 5: Resultados obtidos com o cálculo da correlação dos dados uniparamétricos

| Fase | Ensaio | TDH Teórico (h) | TDH Real (h) | N-CSTR (N) | Pequena Dispersão (D/uL) | Grande Dispersão (D/uL) |
|----------------|--------|-----------------|--------------|------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 ^a | 1 | 14 | 25 | 0,70 | 0,70 | 0,88 |
| | 2 | 14 | 19 | 0,84 | 0,78 | 0,85 |
| 2 ^a | 1 | 14 | 18 | 0,92 | 0,77 | 0,80 |
| | 2 | 14 | 16 | 0,97 | 0,76 | 0,43 |
| 3 ^a | 1 | 14 | 13 | 0,97 | 0,72 | 0,17 |
| | 2 | 14 | 14 | 0,96 | 0,88 | 0,35 |

Na Tabela 5 é possível observar a formação de picos da concentração de eosina Y ao longo do tempo, sendo os picos de concentração máxima nas 1ª e 2ª fases formados perto das 9 h de ensaio e na 3ª fase nas primeiras 3 h. Também pode ser verificado maior atraso do TDH real com média de 22 h para a 1ª fase e de 17 h para a 2ª fase. Por outro lado, o valor de TDH real obtido na 3ª fase de 13,5 h é similar ao TDH teórico de 14 h, mesmo com um leve adiantamento. Um fator que pode ter ocasionado essa diferença entre as três fases é a velocidade de escoamento do líquido dentro do reator que foi alterada em cada fase, devido a aeração e recirculação que foi variada em cada fase, embora o TDH teórico fosse o mesmo.

Vale destacar também que esses atrasos e picos podem ter sido ocasionados pelo material suporte do reator, composto por argila expandida e espuma de poliuretano, utilizadas para imobilização da biomassa e aceleração do tempo de partida. A espuma de poliuretano tem apresentado desvantagem quanto ao aspecto hidrodinâmico, em função de sua capacidade de compressibilidade e de retenção de sólidos no leito, contribuindo para a origem dos problemas operacionais em reatores de leito fixo conforme reportado por Lima *et al.* (2005), Ribeiro *et al.* (2005) e Zaiat *et al.* (2000). O atraso na saída do efluente na 1ª fase também pode ser justificado pela existência de zonas mortas ou de estagnação, provocando efeito de cauda longa nas curvas experimentais. Tal retardo também foi reportado por Calheiros *et al.* (2009), quando realizaram estudo dos aspectos hidrodinâmicos de um reator anaeróbio sequencial. Carvalho *et al.* (2008) igualmente atribuíram o atraso na resposta do traçador nos TDH's avaliados à existência de zonas mortas no interior do reator UASB, além de uma possível adsorção do traçador na biomassa. Bernardez *et al.* (2008), Capela *et al.* (2009) e Lourenço e Campos (2009) também observaram efeito de cauda longa nas curvas resposta dos experimentos utilizando corantes como traçadores.

Tabela 6: Resumo dos valores obtidos no cálculo do volume de zonas mortas, eficiência hidráulica e presença de curto circuitos nos ensaios das 1ª, 2ª e 3ª fases

| Fase | Ensaio | TDH Teórico (h) | TDH Real (h) | Pico (h) | Volume de Zonas mortas (m ³) | Eficiência hidráulica (%) | Curto-circuito |
|------|--------|-----------------|--------------|----------|------------------------------------------|---------------------------|----------------|
| 1ª | 1 | 14 | 25 | 6,75 | - 0,00370 | 0,85 | 0,30 |
| | 2 | | 19 | 9,75 | - 0,00166 | 0,80 | 0,50 |
| 2ª | 1 | | 18 | 15,0 | - 0,00122 | 0,65 | 0,85 |
| | 2 | | 16 | 9,75 | - 0,00078 | 0,50 | 0,60 |
| 3ª | 1 | | 13 | 3,00 | 0,00017 | 0,50 | 0,20 |
| | 2 | | 14 | 2,25 | - 0,00007 | 0,65 | 0,15 |

Pelos dados da Tabela 5 e da Tabela 6, é possível notar que o fluxo aproxima-se de grande dispersão na 1ª fase com eficiência hidráulica de 82,5% e de N-CSTR em série nas 2ª e 3ª fases com aproximadamente de 2 a 3 reatores e eficiência hidráulica satisfatória de 57,5%. Apesar da 3ª fase apresentar TDH teórico médio de 13,5 h, foi observada menor eficiência hidráulica que provavelmente deve ter sido afetada pela maior velocidade do fluxo devido à recirculação interna e à aeração que facilitam a formação de caminhos preferenciais, e consequentemente picos de concentração do traçador nas primeiras horas e variação da concentração ao longo do tempo. Passig e Blundi (1996) avaliaram o comportamento hidrodinâmico de um reator UASB, obtendo oscilações na concentração de Rodamina WT e atribuíram este fenômeno à existência de recirculação interna do reator.

As curvas experimentais de distribuição do tempo de residência (DTR) obtidas com o ajuste de modelos teóricos uniparamétricos das 1ª, 2ª e 3ª fases estão representadas na Figura 2, respectivamente.

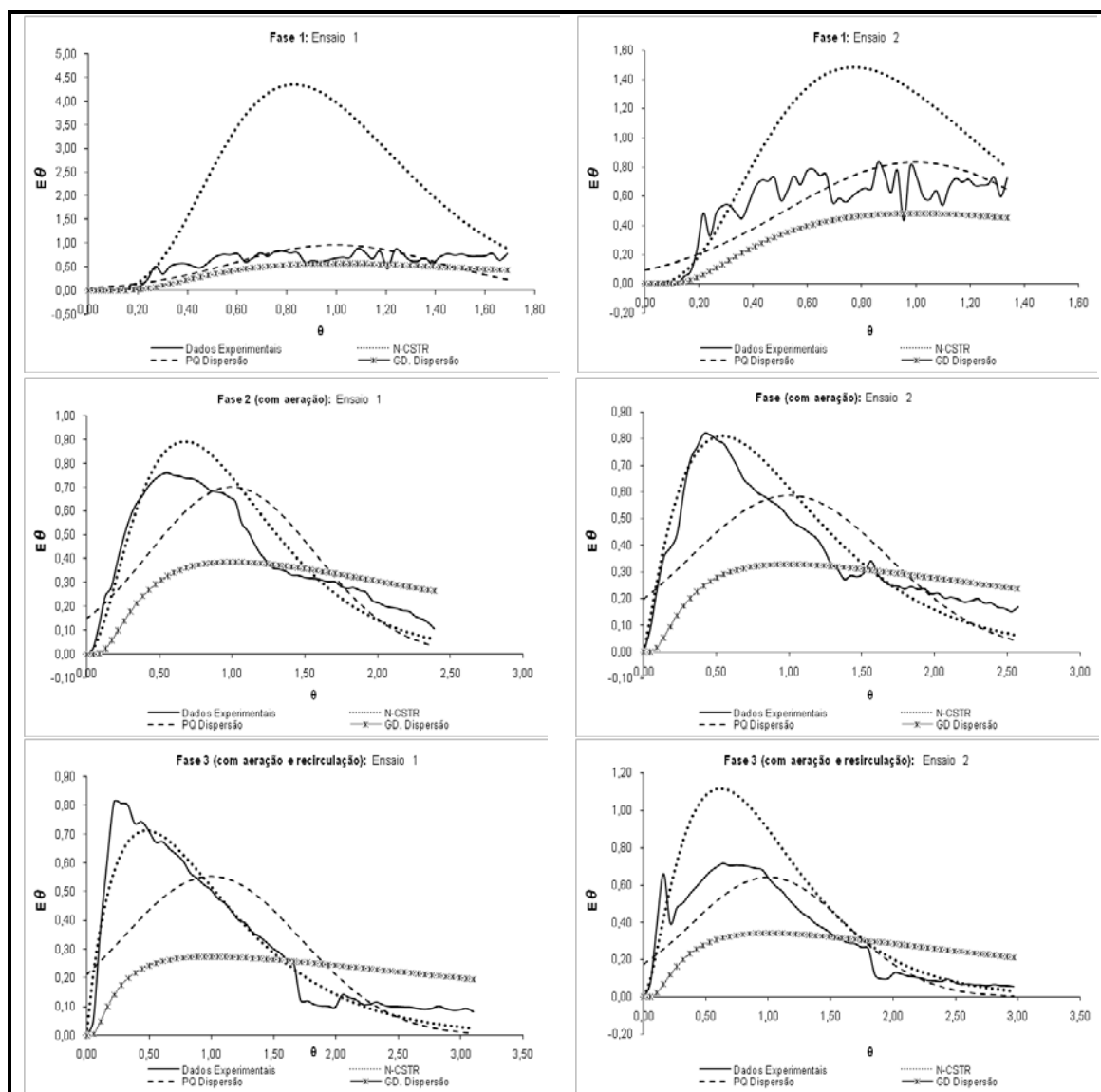


Figura 2. Curvas de distribuição do Tempo de residência para os ensaios do TDH de 14 da fase 1.

Apenas na 2ª fase não foi verificada qualquer formação de curto-circuito no reator. Durante os ensaios hidrodinâmicos foi possível observar variação da concentração do traçador ao longo do tempo na 1ª fase que pode ser explicada pelo fato dos micro-organismos não estarem ainda adaptados, facilitando a formação de zonas mortas e consequentemente caminhos preferenciais o mesmo não ocorre na 2ª fase.

CONCLUSÕES

Por meio da análise das curvas de distribuição do tempo de residência, concluiu-se que o comportamento hidrodinâmico do reator apresentou diferenças significativas entre as fases sendo que a 2ª e 3ª fases apresentam comportamento tendendo a N-reactores de mistura completa em série e na 1ª fase tendendo a fluxo pistonado.

Em termos de eficiência global é possível dizer que na 2ª fase foram verificados os melhores resultados devido a não ocorrência de curtos circuitos, eficiência hidráulica de 57,5 %, pouca formação de zonas mortas, maior estabilidade operacional, com conversão de matéria nitrogenada de 67% e eficiência de degradação de matéria orgânica de 57%.

Concluiu-se também que os tempos de detenção hidráulicos reais, obtidos experimentalmente, apresentaram divergências, sendo que na 3ª foram obtidos valores próximos ao TDH real e atraso nas demais fases. Um fator que pode ter contribuído para este resultado é a velocidade de escoamento do fluxo no interior do reator que pode facilitar a passagem pelo meio suporte além da formação de caminhos preferenciais e zonas mortas.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária, Secretaria da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI) e Governo do Estado do Paraná pela bolsa concedida e financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods of the examination of water and wastewater. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
2. BERNARDEZ, L. A.; ANDRADE LIMA, L. R. P.; ALMEIDA, P. F. The hydrodynamics of an upflow packed-bed bioreactor at low Reynolds Number. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, v. 2, n. 3, p. 114-121, 2008.
3. BODIK, I.; KRATOTCHVÍL, K.; GASPARIKOVÁ, E.; HUTNAN, M. Nitrogen removal in an anaerobic baffled filter reactor with aerobic post-treatment. *Bioresource Technology*, v. 86, p. 79-84, 2003.
4. CALHEIROS, H. C.; PERICO, A. C. S.; NUNES, C. F. Estudo experimental de aspectos hidrodinâmicos e da partida de um reator anaeróbio sequencial tratando esgotos domésticos. *Amби-Аgua, Taubaté*, v. 4, n. 3, p. 144-156, 2009.
5. CAPELA, I.; BILÉ, M. J. SILVA, F.; NADAIS, H.; PRATES, A.; ARROJA, L. Hydrodynamic behaviour of a full-scale anaerobic contact reactor using residence time distribution technique. *J Chem Technol Biotechnol* 84: 716–724. 2009.
6. CARVALHO, K. Q. et al. Avaliação hidrodinâmica de reator UASB submetido à variação cíclica de vazão. *Eng. Sanit. Ambient*, p. 226-235. Abr/jun. 2008.
7. CHERNICHARO, C.A.L. de. *Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 379 p. 2007.
8. DOMINGUES, L. M.; Sistema combinado filtro anaeróbio – biofiltro aerado submerso: avaliação da partida e da nitrificação de esgoto sanitário. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2005.
9. LEVENSPIEL, O. *Engenharia das Reações Químicas*. 3 ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher Ltda, 563 p, 2000.
10. LIMA, C.A.A.; RIBEIRO, R.; FORESTI, E.; ZAIAT, M. Morphological Study of Biomass During the Start-up Period of a fixed-bed Anaerobic Reactor Treating Domestic Sewage. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48, 841-849. 2005.
11. LOURENÇO, A. M. P.; CAMPOS, C. M. M. Hydrodynamic behavior of a lab-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) operated with an adopted hydraulic retention time (HRT) of 12 hours. *Ciência e Agrotecnologia – UFLA, Lavras*, v. 33, n. 4, p. 1139-1144, jul./ago. 2009.
12. METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse*. Mc Graw Hill, 4ª ed. 1819 p. 2003.
13. PASSIG, F. H.; BLUNDI, C. E. Caracterização hidrodinâmica de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 25., 1996, Cidade do México. Anais Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cidade do México: AIDIS, p. 2 - 7. 1996.
14. 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* ed. 40, p. 445 – 452, 2006.
15. PERSSON J, SOMES N L G, WONG T H F. Hydraulics e_iciency of constructed wetlands and ponds. *Water Science and Technology*, 40: 291–300. 1999.
16. PIRES, E. C.; RIBEIRO, A. P. Avaliação preliminar do comportamento hidrodinâmico de reatores anaeróbios de escoamento ascendente e manta de lodo. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1992.
17. RIBEIRO, R.; VARESCHE, M. B. A.; FORESTI, E.; ZAIAT, M. Influence of the Carbon Source on the Anaerobic Biomass Adhesion on Polyurethane Foam Matrices *Journal of Environmental Management*, v, 74, 187-194. 2005.

18. SARATHAI, Y., KOOTTATEP, T., MOREL, A. "Hydraulic characteristics of an anaerobic baffled reactor as onsite wastewater treatment system." *Journal of Environmental Sciences (China)*, 22(9), 1319-1326. 2010.
19. SPERLING, M. V. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*, Universidade Federal de Minas Gerais - 1997 – Volumes 1, 3 e 4.
20. THACKSTON E L, SHIELDS Jr F D, SCHROEDER P R. Residence time distributions of shallow basins. *Journal of Environmental Engineering*, 116(6): 1319–1332. 1987.
21. VAN HAANDEL, A. C., LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos: Um manual para regiões de clima quente*. Campina Grande: Epgraf, 240 p. (1994).
22. ZAIAT, M.; RODRIGUES, J. A. D.; FORESTI, E. External and Internal Mass Transfer Effects in an Anaerobic Fixed-Bed Reactor for Wastewater Treatment. *Process Biochemistry*, Vol. 35, 943-949. 2000.