

APLICAÇÃO DO MODELO DE TANQUES EM SÉRIE NA CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DE REATOR ANAERÓBIO DE LEITO FLUIDIFICADO

Henrique Azevedo Silveira (Professor; Universidade Estadual de Ponta Grossa) E-mail: henriqueazevedosilveira@yahoo.com.br
Maria Magdalena Ribas Döll (Professora Doutora; Universidade Estadual de Ponta Grossa)
Marcos Rogério Széliga (Professor Pós-Doutor; Universidade Estadual de Ponta Grossa)

Resumo: Este trabalho teve como objetivo estudar a hidrodinâmica de um Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado, em escala de bancada, no que diz respeito à formação de caminhos preferenciais (ou curtos circuitos) e de zonas mortas, de maneira a comprovar que parte do material efluente que adentra um reator não permanece em tratamento no tempo suficiente estipulado no dimensionamento do sistema. O estudo se baseou no comportamento do traçador cloreto de sódio; em regime pulso pelo modelo de tanques em série, sem e com biomassa. Os resultados em triplicata para o regime pulso sem biomassa indicaram uma tendência de aproximação a um escoamento pistonado, com valores calculados altos de reatores em série, de 44,64; 76,37 e 141,80; enquanto que para o regime pulso com biomassa, igualmente em triplicata, houve uma tendência do escoamento se aproximar de uma mistura completa, com valores calculados baixos de reatores em série, de 15,75; 7,25 e 6,57. Ambos os regimes ensaiados, no entanto, apresentaram respostas gráficas que apontam para patologias no escoamento, tornando o uso do Cloreto de Sódio inadequado para o estudo do comportamento hidrodinâmico.

Palavras-chave: traçador, escoamento pistonado, mistura completa, tempos de residência.

THE TANKS SERIES MODEL APPLICATION IN HYDRODYNAMIC CHARACTERIZATION OF UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET

Abstract: This work have had the meal study the hydrodynamic of an Upflow Anaerobic Sludge Blanket, in bench scale, with regards to the formation of preferential ways (or short circuits) and dead zones, so as to establish that part of effluent material that enters the reactor isn't untreated in enough time stipulated in sizing of the system. The study was based on the behavior of tracer sodium chloride; in pulse regime by tanks-in-series model, with and without biomass. The results in triplicate to the pulse regime without biomass showed a tendency to approach to a plug flow, with high calculated values of reactors in series; 44,64; 76,37 and 141,80; while for the pulse regime with biomass, also in triplicate, there was a tendency of the flow approaching a complete mixture, with low calculated values of reactors in series; 15,75; 7,25 and 6,57. Both testes regimes, however, showed graphic responses related to pathology in the flow, making the use of Sodium Chloride unsuitable for the study of the hydrodynamic behavior.

Keywords: tracer, plug flow; complete mixture; residence times.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os processos biológicos de tratamento de esgoto, Wagner (2013) destaca que o processo anaeróbio constitui o tratamento onde os micro-organismos que se alimentam da matéria orgânica não necessitam da presença de oxigênio para sua sobrevivência, uma vez que morrem na presença dele, não necessitando, portanto, de maquinários que provoquem a aeração do sistema.

Dentre os reatores anaeróbios, destacam-se o UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), o qual permite o tratamento do produto afluente através de fluxo ascendente, sendo característica a separação trifásica (sólida composta pelo lodo, líquida composta pelo efluente

tratado e gás composto pelo metano), tempo de detenção de 6 a 10 horas e baixa produção de lodo; e o RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado), uma variação do reator UASB testada e aperfeiçoada no Paraná, a qual tem como uma das características o formato tronco-cônico, no entanto de comportamento semelhante ao UASB, no que diz respeito à separação trifásica e ao fluxo ascendente (JORDÃO & PESSÔA, 2011; CHERNICHARO, 1997).

Para se caracterizar um reator de mistura, segundo Levenspiel (2000), necessita-se explicitar algumas características essenciais: forma geométrica do reator, da quantidade de energia introduzida por unidade de volume, do tamanho ou escala de unidade, etc. Quanto ao padrão de misturas, encontram-se dois modelos: o fluxo em pistão e o fluxo em mistura completa.

No tipo de reator de fluxo em pistão ideal, todas as partículas entram no reator e saem segundo uma ordem, ou seja, não ocorre antecipação de qualquer partícula no interior do reator, tal como não há distribuição nem dispersão, portanto, não há mistura. Sendo assim, estas partículas passam pelo mesmo tempo de tratamento (tempo teórico de detenção hidráulica). No reator de mistura completa ideal, entretanto, ocorre dispersão total dos elementos que adentram o reator, em caráter instantâneo. Sendo ideal, toda concentração medida deverá ser a mesma para qualquer ponto ou região do reator, tal como a concentração do efluente (ARCEIVALA, 1981 *apud* LEVENSPIEL, 2000, p.52).

Na prática, os dois modelos ideais de mistura completa e de fluxo em pistão não ocorrem, estando a situação real enquadrada entre estes dois extremos, não os atingindo, no entanto. Uma razão para tal fato pode advir dos seguintes aspectos (TCHOBANOGLIOUS e SCHROEDER, 1985 *apud* LEVENSPIEL, 2000 p. 66): *Dispersão*, onde há transporte longitudinal de partículas em razão de turbulências e difusão molecular; *Volumes Mortos*, onde há estratificação de parte das partículas, devido, por exemplo, a diferença de densidade, não exatamente a questões físicas do sistema, sendo o resultado uma diminuição no tempo de residência efetivo (tempo de detenção hidráulica); *Volumes mortos*, onde há locais do sistema que não contribuem para a passagem do fluxo, permanecendo “inativas”, resultando em fator semelhante ao que ocorre nos curtos-circuitos. Geralmente encontrados em cantos de tanques, lado interno de curvas e abaixo de vertedores.

A hidrodinâmica, segundo Foresti (2003), auxilia no entendimento e na caracterização das zonas mortas, ou volumes mortos, como citado em Jordão e Pessoa (2011), como também curtos-circuitos.

O tempo de detenção hidráulica (TDH) é um fator de grande importância para o estudo da eficiência dos reatores, devendo, portanto, ser considerado no dimensionamento destas unidades de tratamento. Trata-se do período médio de permanência das moléculas no interior de um reator de tratamento de esgoto, considerando os parâmetros de vazão constante (do afluente e do efluente) e de volume da unidade. Sendo assim, e unindo-se às definições de curtos-circuitos e zonas mortas, caracteriza-se também a denominada distribuição dos tempos de residência (DTR), colocada como a parcela do material efluente que permanece na unidade para cada tempo de detenção. Para o estudo da hidrodinâmica, é considerada a utilização de traçadores como uma técnica experimental na análise dos fenômenos hidrodinâmicos. No entanto, o comportamento hidrodinâmico depende também de outros aspectos; como a geometria, dos equipamentos de entrada e saída do efluente, das características do fluido, etc. A função dos traçadores é de diferenciar as várias porções do efluente e medir as concentrações correspondentes (FORESTI, 2003).

Brito e Melo (1997 *apud* QUERNE DE CARVALHO, 2008, p. 227) realizaram um ensaio de comportamento hidrodinâmico com um reator UASB em escala de laboratório,

utilizando uma imobilização utilizada em UASB em escala real, granular e anaeróbia, usada para o tratamento de uma indústria de farinha de trigo. Foi realizado ensaio estímulo-resposta em pulso, aplicando-se 2 ml de cloreto de lítio, em concentração de 5 g.l⁻¹.

Os autores encontraram, resumidamente, variações no gradiente de concentração de substrato ao longo da altura do reator, como também a formação de cauda, o que indica, segundo os próprios autores, estagnação em algumas zonas do reator.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento envolveu a coleta e análise das amostras para o reator preenchido apenas por água tratada de abastecimento e o mesmo reator ocupado com biomassa e também por água tratada de abastecimento. Para a realização da pesquisa em questão e de modo a atingir os objetivos desejados, todos os experimentos e análises foram realizados no Laboratório de Hidráulica e Saneamento do Bloco de E de Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Ponta Grossa – PR.

O experimento foi todo realizado em um RALF em escala de bancada, confeccionado em acrílico, utilizado no trabalho de Comin et al. (2013). O projeto do reator com medidas, tal como a imagem do reator usado são encontrados nas Figuras 1 e 2 a seguir.

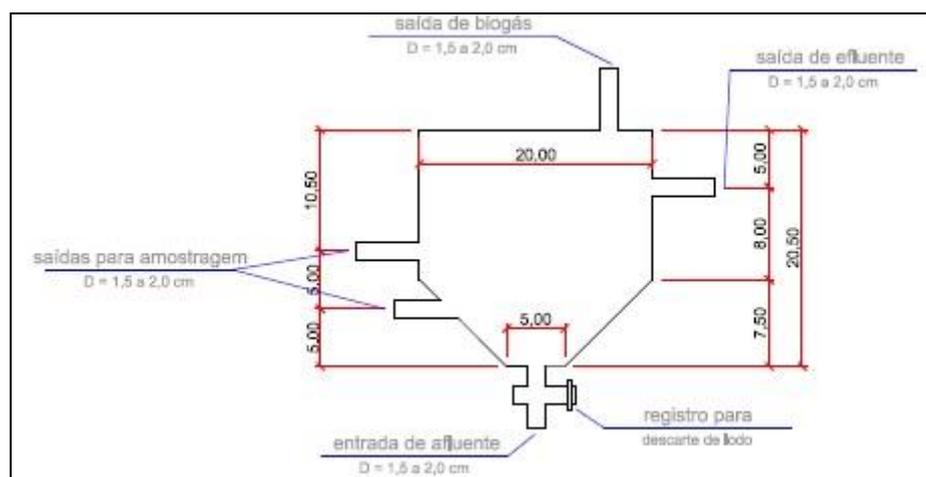


Figura 1 – Esquema do RALF de bancada, em corte longitudinal (medidas em cm)
Fonte: Comin et al. (2013)



Figura 2 – Fotografia do RALF de bancada utilizado nos ensaios hidrodinâmicos
Fonte: Comin et al. (2013)

O reator foi operado em temperatura ambiente. Para a realização da condução dos efluentes para o reator, tanto na entrada quanto na saída do mesmo, utilizou-se uma bomba peristáltica modelo DMC 100/400, da MS Tecnopon, operando em vazão fixa de 9,373 mL/min. Juntamente da mesma ainda foi instalada uma mangueira de silicone, a qual fez a ligação entre um recipiente plástico de vinte litros e a entrada inferior do reator, passando pelo sistema de rotação da bomba. O extravasor de saída permitiu o excesso de efluente escoar até outro recipiente para descarte. As amostras de aproximadamente de 40 ml foram coletadas de um extravasor do reator.

Para acompanhar os ensaios com a solução de cloreto de sódio, em concentração de 0,50 g/L, as amostras do reator foram coletadas temporalmente e determinada a condutividade elétrica em condutivímetro. A massa de cloreto de sódio, em solução, foi injetada na tubulação flexível de silicone na entrada do afluente no reator com o uso de uma injeção simples.

O ensaio foi realizado em triplicata, afim de comparação posterior entre os resultados. O tempo de obtenção das amostras obedeceu ao tempo de detenção hidráulica (TDH) de oito horas adotado pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná). A coleta das amostras pelos tubos de ensaios ou béqueres foi realizada em períodos de tempo estabelecidos e que foram ser obedecidos rigorosamente. O tempo para coleta das amostras seria realizado de quinze em quinze minutos durante as primeiras 3:15h e na sequência de trinta em trinta minutos nas amostras posteriores, até atingir o TDH de oito horas.

Na aplicação tipo em pulso com solução de NaCl na concentração de 0,50 g/L foi feita com injeção e agulha na tubulação de silicone que encaminha o afluente ao reator. Para realizar a diluição do NaCl em pouco volume de água, foram utilizados 6 mL de água de torneira, no entanto, esta quantidade não foi necessária para dissolver todo o composto, ocorrendo precipitação de parte das partículas. Sabendo-se que a solubilidade de um líquido aumenta à medida que aumenta sua temperatura, necessitou-se aquecer a mistura até se perceber que todo o NaCl ali contido estava dissolvido. Depois de visualizada esta condição, a injeção foi aplicada diretamente na tubulação, de modo que toda a solução entrasse em contato direto com o líquido no RALF de bancada. Nesta amostragem, a bomba funcionou ininterruptamente, durante todo o período de ensaio, que foi realizado em triplicata. No entanto o procedimento de coleta de amostras permaneceu inalterado, sendo realizado durante o tempo de detenção e nos intervalos já mencionados. Para uma medição satisfatória no condutivímetro, cada coleta de amostras visou a obtenção de um volume satisfatório no béquer ou tubo de ensaio, de modo que o eletrodo do condutivímetro ficasse inteiramente mergulhado na solução.

Levenspiel (2000) define o experimento de estímulo – resposta como sendo um método largamente utilizado na determinação dos tempos que as moléculas, individualmente, permanecem no interior do reator, fornecendo um perfil de distribuição destes tempos.

A variável “E” define o tempo de idade de saída (do inglês, *exit*) para as parcelas de fluido que saem do reator, tendo a unidade tempo⁻¹. A área sob a curva gerada por este perfil de tempos de residência, para fins de conveniência, foi considerada como sendo a unidade, como mostrado na equação 01.

$$\int_0^{\infty} E dt = 1 \quad [01]$$

A este procedimento, dá-se o nome de normalização da distribuição (LEVENSPIEL, 2000). Para a determinação da curva E, utilizam-se traçadores não – reativos, já descritos anteriormente, através da função pulso ou da função degrau.

A função pulso considera a injeção instantânea de toda uma massa de traçador na entrada do reator. A partir de então, são medidas as concentrações em massa de saída do reator e o tempo. A esta primeira curva, denomina-se curva C_{pulso} .

Levenspiel (2000) fornece, como mostrado nas equações 02 e 03, a determinação dos parâmetros área da curva (A) e média da mesma (\bar{t}).

$$A = \int_0^{\infty} C dt = \sum_i C_i \Delta t_i = \frac{M}{v} \quad [02]$$

onde:

C = concentração do fluido no tempo “ t ”;

Δt = intervalo de tempo entre as medições de concentração realizadas;

M = unidades de traçador, em massa (kg, mols, g, etc);

v = vazão de escoamento do fluido (m^3/s , L/min, etc).

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t C dt}{\int_0^{\infty} C dt} = \frac{\sum_i t_i C_i \Delta t_i}{\sum_i C_i \Delta t_i} = \frac{V}{v} \quad [03]$$

onde:

V = volume do reator (vaso) (m^3 , litros, etc)

A determinação da curva E em função dos dados da curva C necessita apenas de uma alteração na escala de concentração, de modo que a área abaixo da curva seja igual a um, como descrito anteriormente. Para tal, divide-se cada um dos valores de concentração da Curva C pela área total correspondente, como apresentado na equação 04.

$$E = \frac{C_{\text{pulso}}}{A} \quad [04]$$

Outro parâmetro proposto por Levenspiel (2000) é a curva E_{θ} , onde altera-se a escala de tempo “ t ” para um tempo adimensional θ , obtido em função do tempo médio \bar{t} , destacado na equação 05.

$$\theta = \frac{t}{\bar{t}} \quad [05]$$

Com essa relação, obtém-se o valor correspondente de E_{θ} também em função deste tempo médio de residência, multiplicando-o por cada um dos valores de “ E ” encontrados anteriormente, na equação 06 (LEVENSPIEL, 2000).

$$E_{\theta} = E \cdot \bar{t} \quad [06]$$

Levenspiel (2000) apresenta dois meios de análise do escoamento em reatores, quanto à proximidade ou não do escoamento pistonado: o modelo da dispersão e o modelo de tanques-em-série. Qualquer um dos métodos pode ser utilizado para análise do escoamento, por se tratarem de métodos equivalentes (LEVENSPIEL, 2000). Optou-se para a modelagem estatística do reator o modelo de Tanques-em-série.

O modelo de Tanques-em-série é um modelo de utilização simples, o qual consiste na determinação do número de tanques ideais de mistura completa o vaso analisado equivale.

Para regimes em pulso, Levenspiel (2000) apresenta, na equação 07, uma sequência de cálculos que resultam numa sequência de equações deduzidas por MacMullin e Weber (1935), sendo o número “N” de reatores exposto em função da variância (σ^2) em função do tempo médio em minutos (\bar{t}) da curva “E”.

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = \frac{1}{N} \tag{07}$$

A equação 08 apresenta o cálculo da variância como sendo (LEVENSPIEL 2000):

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^{\infty} t^2 C dt}{\int_0^{\infty} C dt} - \bar{t}^2 = \frac{\sum t_i^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} - \bar{t}^2 \tag{08}$$

Para a aplicação das equações de Levenspiel (2000), foi necessário converter os valores obtidos de condutividade em concentração em massa por unidade de volume. Para tal, foram realizadas leituras de amostras em triplicata de condutividade de concentrações em massa conhecidas, de modo a se obter uma regressão que fornecesse uma equação onde fossem aplicados os valores obtidos em ensaios e determinar os valores em massa. A reta de regressão obtida para o cloreto de sódio é mostrada na Figura 3.

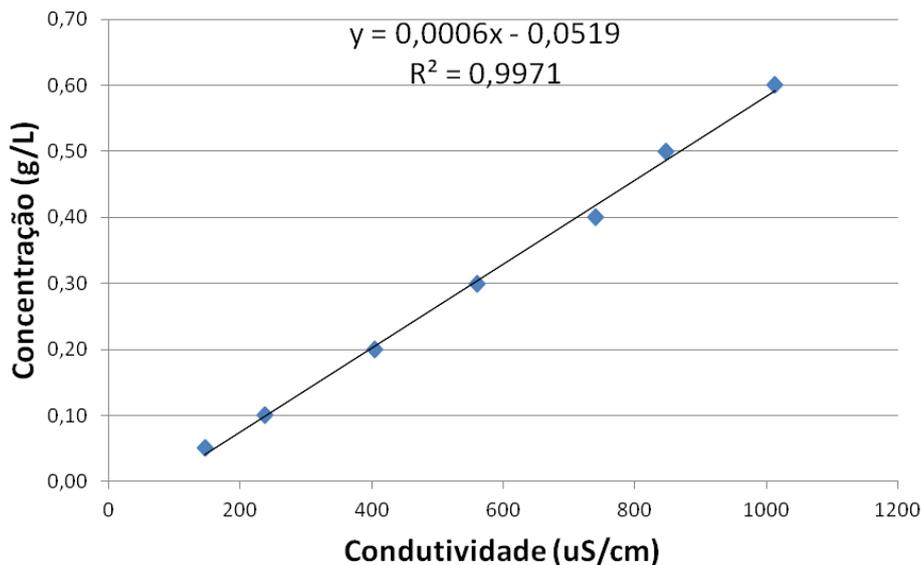


Figura 3 – Regressão linear Condutividade Elétrica x Concentração
Fonte: Os Autores

A biomassa utilizada foi caracterizada de acordo com os seus sólidos totais, voláteis e fixos. Para tal foi utilizado 100 ml de amostra do material aplicado no reator para o ensaio.

Para determinação dos sólidos totais foi primeiramente determinado o peso de uma cápsula calcinada em mufla (550°C ± 50°C) durante uma hora e então aplicada no dessecador após o resfriamento de segurança (abaixo de 150°C). O peso (P1) encontrado foi de 86,866 gramas.

O procedimento seguinte foi a aplicação da amostra coletada na cápsula e então ambos colocados na estufa (103°C – 105°C) e então permanecidos ali por um dia. Após isso, o conjunto foi levado até o dessecador e então pesados, obtendo a medida (P2) de 94,899 gramas. Com isso, foi possível determinar os sólidos totais, como mostrado nas equações 09 e 10:

$$ST = P2 - P1 = 94,899 - 86,866 = 8,033 \text{ g em } 100 \text{ ml} \quad [09]$$

$$\text{em } 1 \text{ litro} = 80,33 \text{ g} \rightarrow 80,33 \text{ g/L} \quad [10]$$

Para a determinação dos sólidos fixos e voláteis, o conjunto já utilizado foi levado até a mufla e ali permaneceu por duas horas. Após dali retirado e aguardado resfriamento de segurança, a cápsula foi colocada na estufa para estabilização e então aplicada no dessecador até atingir temperatura ambiente. Após pesado, o conjunto apresentou 87,984 gramas (P3). Com isso, calculam-se os sólidos totais voláteis e fixos, como nas equações 11, 12, 13 e 14:

$$STV = P2 - P3 = 94,899 - 87,984 = 6,915 \text{ gramas em } 100 \text{ ml} \quad [11]$$

$$\text{em } 1 \text{ litro} = 69,16 \text{ gramas} \rightarrow 69,16 \text{ g/L} \quad [12]$$

$$STF = P3 - P1 = 87,984 - 86,866 = 1,118 \text{ gramas em } 100 \text{ ml} \quad [13]$$

$$\text{em } 1 \text{ litro} = 11,18 \text{ gramas} \rightarrow 11,18 \text{ g/L} \quad [14]$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio em pulso sem biomassa

Os valores de condutividade foram convertidos em valores correspondentes de concentração em massa de traçador (cloreto de sódio), de modo a aplicar as equações correspondentes de Levenspiel (2000) para análise da dispersão do sistema e avaliação da hidrodinâmica do sistema. As distribuições representativas de tais valores podem ser encontradas na Figura 4 adiante.

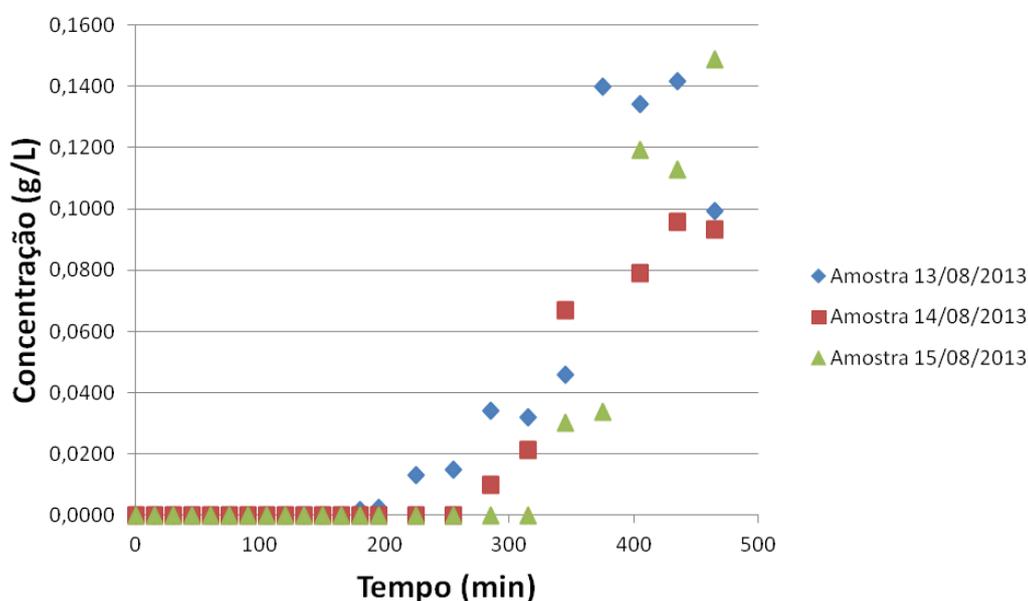


Figura 4 – Curvas de variação de concentração de cloreto de sódio no tempo, regime degrau sem biomassa, amostragem dias 13/08/2013, 14/08/2013 e 15/08/2013

Fonte: Os Autores

O gráfico desenvolvido representa as curvas de concentração de traçador no tempo. O procedimento seguinte consistiu na determinação da área sob a curva (A) e do tempo médio da mesma (\bar{t}), como demonstrado em Levenspiel (2000) e apresentado nas equações 02 e 03. Os valores encontrados para estas variáveis, relativas a cada uma das amostragens, estão evidenciados na Tabela 1.

Calculados a área sob a curva e o tempo médio, foi desenvolvida a curva “E”, a qual expressa a distribuição dos tempos de residência (DTR), realizando o processo de normalização dos valores de concentração, de maneira que a nova curva possuísse área sob o gráfico igual à unidade, através das equações apresentadas por Levenspiel (2000). Portanto, são apresentadas as curvas correspondentes à distribuição dos tempos de residência na Figura 6, através dos valores calculados de “E”, as quais possuem contornos idênticos à curva de concentração inicial, alterando-se apenas a escala do eixo das ordenadas.

Tabela 1 – Valores de tempo médio e área sob a curva, pulso sem biomassa

Amostra	\bar{t} (min)	A (g.min/dm ³)
13/08/2014	391,78	19,69
14/08/2014	408,09	13,35
15/08/2014	426,37	13,33

Fonte: Os Autores

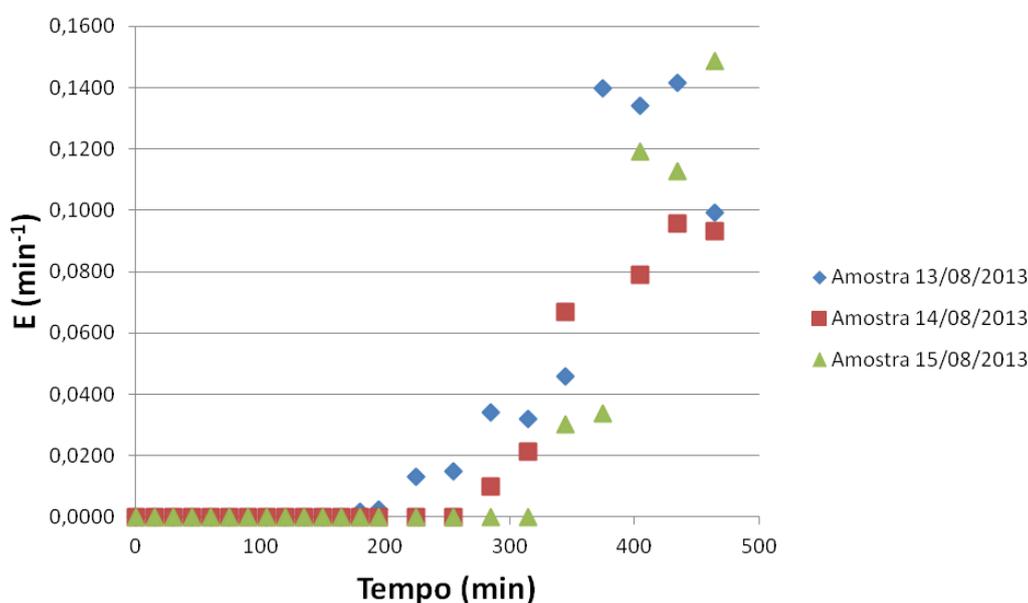


Figura 6 – Distribuição dos tempos de residência – Curva E – Regime pulso sem biomassa, amostragens nos dias 13/08/2013, 14/08/2014 e 15/08/2013

Fonte: Os Autores

Finalizada a montagem dos gráficos, foi possível aplicar um dos modelos propostos por Levenspiel (2000) para caracterização do escoamento, o modelo de dispersão e o modelo de tanques em série. Optou-se por aplicar o modelo de tanques em série, visto que, trata-se de um método que oferece resultados semelhantes ao de dispersão e é de fácil aplicação, como observado por Levenspiel (2000). Os resultados finais encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de variância e número de reatores em série, pulso sem biomassa

Amostra	\bar{t} (min)	σ^2	σ_{θ}^2	N
13/08/2014	391,78	3438,10	0,0224	44,64
14/08/2014	408,09	2180,60	0,0131	76,37
15/08/2014	426,37	1287,70	0,0071	141,80

Fonte: Os Autores

3.2 Ensaio pulso com biomassa

De tal forma como realizado no ensaio sem a biomassa, são apresentados os gráficos de conversão de valores de condutividade elétrica em valores de concentração de Cloreto de Sódio, os quais podem ser observados na Figura 7.

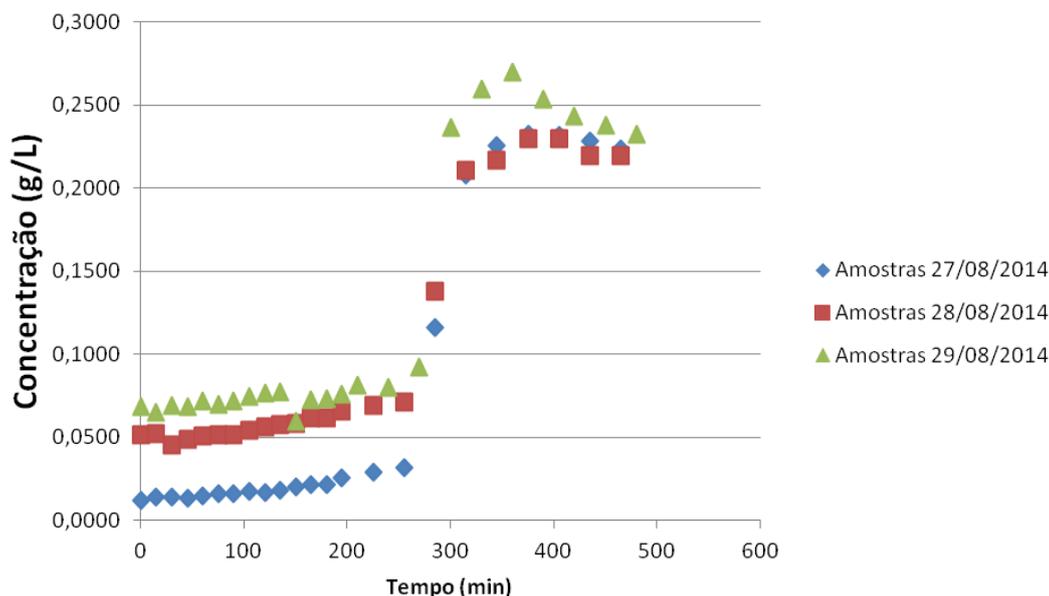


Figura 7 – Curvas de variação de concentração de cloreto de sódio no tempo, regime pulso com biomassa, amostragens nos dias 27/08/2014, 28/08/2014 e 29/08/2014

Fonte: Os Autores

Com as curvas de concentração determinadas, foi possível calcular a área debaixo da mesma e o tempo médio correspondente, como exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de tempo médio e área sob a cura, pulso com biomassa

Amostra	\bar{t} (min)	A (g.min/dm ³)
27/08/2014	358,86	49,11
28/08/2014	321,28	58,74
29/08/2014	321,91	72,16

Fonte: Os Autores

Com os dados de área sob a curva, foi possível desenvolver a curva de distribuição dos tempos de residência, a curva “E”, como pode ser observado na Figura 8.

Os cálculos subsequentes correspondem à determinação da variância de cada uma das amostras, tal como do número de tanques em série, cujos valores finais podem ser encontrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de variância e número de tanques em séries, pulso com biomassa

Amostra	\bar{t} (min)	σ^2	σ_{θ}^2	N
27/08/2014	358,86	8178,00	0,0635	15,75
28/08/2014	321,28	14247,77	0,1380	7,25
29/08/2014	321,91	15768,54	0,1522	6,57

Fonte: Os Autores

Os resultados encontrados para o regime pulso sem biomassa indicaram um número alto de reatores para as três amostragens e também consideravelmente distantes entre si. O número relativamente alto de tanques em série (Tabela 2) revela uma tendência, de acordo com esta amostragem, de aproximação ao escoamento pistonado. A configuração do gráfico encontrada para este caso, associando-se com uma das patologias estudadas por Levenspiel (2000), proporciona uma comparação com o seguinte contorno apresentado na Figura 9 adiante.

De acordo com o apresentado por Levenspiel (2000), o retardo no traçador não pode existir, indicando possível adsorção do material pela superfície (traçador não inerte), medição incorreta da vazão ou volume do reator ou então que a suposição de vaso fechado, adotada para o procedimento dos ensaios, está longe de ser atendida.

Os gráficos temporais em função da concentração obtidos, entretanto, não se configuraram semelhantes às curvas sugeridas para o ensaio pulso, onde ocorre um aumento de concentração até atingir um pico e, depois de então, passam a sofrer uma queda. Considerando estes fatores, conclui-se que a caracterização do RALF em escala de bancada pela medida de condutividade, utilizando-se Cloreto de Sódio, na ausência de biomassa não apresenta resultados representativos para ensaios de análise hidrodinâmica.

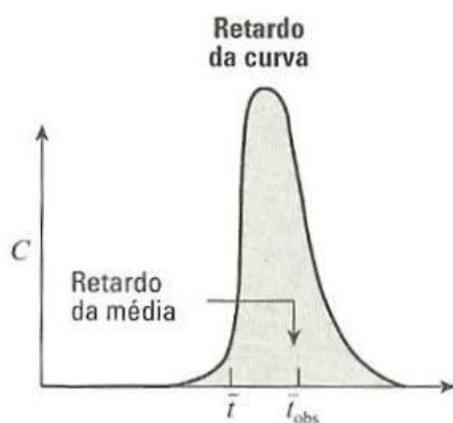


Figura 9 – Diagnóstico de possível patologia, através de análise gráfica e de tempo médio obtido para caracterização do regime pulso sem biomassa, utilizando-se cloreto de sódio

Fonte: Levenspiel (2000)

Na análise de resultados com o regime pulso na presença de biomassa, obteve-se número de tanques em série próximos para duas amostragens, estando uma delas com pequena diferença. Os valores de “N” apresentaram-se baixos (Tabela 4), indicando proximidade do escoamento no interior do reator com a mistura completa. Quanto ao diagnóstico de doenças no reator, encontrou-se situação semelhante com a obtida para o ensaio sem a biomassa, ou seja, retardo da média e da curva. Considerando uma das hipóteses sugeridas por Levenspiel (2000), provavelmente o traçador utilizado não seja inerte para aplicação neste ensaio. No entanto, é possível afirmar que, ao entrar em contato com a biomassa, esta pode desprender elementos não visíveis que alteram as características de condutividade elétrica, afetando, assim, os valores obtidos.

As curvas de distribuição dos tempos de residência obtidos apresentaram valores temporais altos para as frações maiores do efluente. Respectivamente (Figura 8), foram encontrados os tempos de 375 (ou 405, devido a frações idênticas de efluente para os dois tempos de amostragens), 405 e 360 minutos (6:15, 6:45 e 6:00 horas), significando que, de

acordo com este ensaio, foi necessário um tempo maior para que uma concentração maior de efluente permanecesse no interior do reator.

4. CONCLUSÕES

Diante de todos os dados e conclusões apresentados e analisados, entendeu-se que o traçador Cloreto de Sódio apresentou problemas ao ser utilizado para a avaliação hidrodinâmica do sistema, tanto para o reator com e sem a biomassa.

O ensaio pelo regime pulso apresentou respostas gráficas, as quais, de acordo com Levenspiel (2000), apontam para patologias no escoamento, sendo, portanto, resultados não representativos para o detalhamento do comportamento hidrodinâmico do sistema. Portanto, nas condições experimentais avaliadas, o Cloreto de Sódio não mostrou-se aplicável para ensaios de estímulo-resposta, com relação aos estudos hidrodinâmicos de reatores anaeróbios.

O estudo hidrodinâmico apresentado, no sentido de avaliação do escoamento no interior do RALF, apresenta-se relevante, do ponto de vista que os reatores devem visar à máxima eficiência de tratamento dos seus efluentes, os quais devem permanecer em contato com os microrganismos que consomem a matéria orgânica pelo tempo suficiente.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização de outros traçadores para análise do escoamento; utilização do modelo de dispersão ao invés do modelo de tanques em série, da maneira exposta em Levenspiel (2000), para fins de comparação entre os dois métodos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela concessão dos laboratórios para realização da pesquisa, tal como dos materiais e equipamentos. Agradecem também a todos aqueles que se dispuseram a auxiliar no desenvolvimento dos ensaios.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, K. Q. de. et al. *Avaliação Hidrodinâmica de Reator UASB Submetido a Variação Cíclica de Vazão. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 226-235, abr/jun. 2008.*

CHERNICHARO, C. A. de L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Reatores Anaeróbios.* Volume 5. Belo Horizonte. UFMG, 1997.

COMIN, B. P. et al. Desenvolvimento de biorreatores: um reator anaeróbio de lodo fluidizado para tratamento de esgoto sanitário e de um sistema de filtros sequenciais para remoção de nutrientes. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO DE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2013, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ELECS, 2013.

FORESTI, E.F. *Caracterização Hidrodinâmica de Unidades de Tratamento de Águas Residuárias.* Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2003.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos.* 6 ed. Rio de Janeiro. ABES, 2011.

LEVENSPIEL, O. *Engenharia das Reações Químicas,* 3ª ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

WAGNER, L.F. *Saneamento – Notas de Aula.* Ponta Grossa, 2003. Anotações de sala de aula.