

# ENSAIOS PRELIMINARES EM DIFERENTES DIÂMETROS INTERNOS PARA O USO DE REATORES AERÓBIOS DE LEITO FLUIDIZADO COM CIRCULAÇÃO

*Gleyce Teixeira Correia<sup>1</sup>; Iván Andrés Sánchez Ortiz<sup>2</sup>; Leandro Santos de Araújo<sup>3</sup>; Dib Gebara<sup>4</sup>; Milton Dall'Aglio Sobrinho<sup>4</sup> & Tsunao Matsumoto<sup>4</sup>*

**RESUMO** --- Os reatores aeróbios de leito fluidizado com circulação utilizam biofilme aderido a um meio suporte, com a vantagem de reter grande concentração de biomassa ativa, utilizando pouco espaço físico e podendo remover simultaneamente tanto matéria carbonácea quanto nitrogenada. A circulação do líquido ocorre devido à diferença de pressão hidrostática produzida pela injeção de ar no tubo interno. Foram estudadas as velocidades de circulação e expansão do meio líquido, em meio bifásico, utilizando quatro configurações de reatores, e a fração volumétrica de ar em meio trifásico em uma delas. Foram caracterizados também três possíveis meios suporte granulares. Verificou-se que a diferença no diâmetro interno influenciou a velocidade de circulação do meio líquido e a expansão, enquanto que a concentração de meio suporte influenciou a fração volumétrica de ar, tais parâmetros hidrodinâmicos poderão afetar a formação e desenvolvimento do biofilme.

**ABSTRACT** --- The aerobic circulating fluidized bed reactor uses adhered biofilm in a carrier, that have the advantage of holding a large concentration of active biomass, using a few physical space and it can remove both the carbonaceous and nitrogenous matter. The liquid flow circulation occurs due to a hydrostatic pressure produced by air injection at the riser. Circulation speed and flow expansion were studied in two-phase configuration using four reactors and the air volumetric fraction in three-phase configuration. Three possible granular carriers were characterized too. The difference in internal diameter influenced the circulation velocity and flow expansion while the carrier concentration influenced the air volumetric fraction. These hydrodynamic parameters would affect the biofilm formation and its development.

**Palavras-chave:** reator de leito fluidizado, tratamento biológico aeróbio, ensaios hidrodinâmicos

---

1) Mestranda do Programa Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, FEIS – UNESP

2) Mestrando do Programa Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, FEIS – UNESP e Professor Universidad de Nariño (Colômbia)

3) Mestre em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, FEIS – UNESP

4) Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil FEIS – UNESP

- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) - Depto. de Engenharia Civil - Alameda Bahia, n. 550, 15385-000. Ilha Solteira, SP

- E-mail: [gle\\_qca@hotmail.com](mailto:gle_qca@hotmail.com)

## INTRODUÇÃO

Dentre as principais vantagens de reatores que utilizam biofilme aderido a suportes, como os de leito fluidizado com circulação estão a possibilidade de maior retenção de biomassa ativa, a remoção eficiente de matéria carbonácea e nitrogenada em um mesmo reator, além de utilizarem pequenas áreas. Nestes reatores, os biofilmes que se aderem ao meio suporte são ecossistemas microbianos complexos formados, principalmente por células e produtos extracelulares, cuja estrutura e espessura dependem do material suporte utilizado, das condições físico-químicas e do regime hidráulico empregado.

As características do modo de mistura e os fenômenos de transporte que ocorrem nestes reatores dependem, em grande parte, do tipo de fluxo predominante, que por sua vez dependem das porcentagens de fases contribuintes, das propriedades dos fluídos, da configuração geométrica, do tipo de distribuição do gás, das dimensões do tubo interno e, em sistemas trifásicos, também da composição e da concentração dos sólidos em suspensão (Martín, 2005).

A circulação do líquido gerada por injeção de ar é devido a diferença na pressão hidrostática entre as duas seções (subida e descida) (Merchuk, 1990). E as partículas permanecem em suspensão quando a velocidade do líquido é maior que a sua velocidade de sedimentação.

A velocidade de recirculação do líquido determina os processos de mistura líquida, de recirculação de bolhas e de suspensão de sólidos. Van Benthum *et al.* (1999) descrevem três regimes de circulação de bolhas: sendo que no regime I não há presença de gás no tubo externo, e isto ocorre em baixas vazões de gás, onde a velocidade da fase líquida é insuficiente para carregar as bolhas para o tubo externo; no regime II ocorre a presença de bolhas de gás no tubo externo e este poderá estar parcialmente ou completamente preenchido pelas bolhas, estas não apresentam grandes deslocamentos na coluna externa; no regime III ocorre a completa circulação do gás, onde todas as bolhas são levadas para todo o tubo externo e retornam novamente ao tubo interno.

Segundo Martins Jr. (2005), se operarem com velocidades baixas as biopartículas sedimentarão e em velocidades insuficientes, podem ocorrer baixas tensões de cisalhamento, aumentando a espessura do biofilme e provocando condições anaeróbias, levando ao desprendimento do biofilme e à formação de biomassa suspensa em excesso. Se operados com alta velocidade pode ocorrer redução da espessura das biopartículas, prejudicando o processo de remoção da matéria orgânica.

A importância do estudo deste tipo de reator é a busca por alternativas rápidas de tratamento de efluentes, que não exalem odores desagradáveis, dispense a necessidade de pós-tratamento, utilize espaço bastante reduzido e tenha boa eficiência na remoção de matéria carbonácea e nitrogenada.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas a expansão, a fração volumétrica e a velocidade de circulação do meio bifásico (líquido-gás) em quatro reatores de diâmetro externo (250 mm) e interno diferentes (100, 125, 150 e 200 mm). Para o meio trifásico, contendo material granular em diferentes concentrações, estudou-se a fração volumétrica de ar na configuração 250x100mm. Sabendo-se que as características do meio suporte utilizado neste tipo de reator influenciam na eficiência do tratamento, realizaram-se análises granulométricas de três possíveis meios suporte (areia, carvão ativado e carvão antracitoso).

### Expansão e Fração volumétrica de ar

A expansão do meio líquido é determinada por meio da altura piezométrica e dos níveis do líquido para cada tubo (interno e externo). Para o cálculo desta, em meio bifásico, foram utilizadas vazões de 7,2 a 168 m<sup>3</sup>/d nas quatro configurações de reator e para meio trifásico, fixou-se uma vazão de 60 m<sup>3</sup>/d, variando a concentração do meio granular (30, 70, 100 e 150 g/L).

No meio bifásico, o volume de líquido contido na coluna é indicado pela leitura do piezômetro ( $h_i$ ) multiplicada pela área do tubo. A expansão ( $e_i$ ) do leito entre o ponto  $i$  e a superfície é dado pela Equação 1, onde  $H_i$  é a altura da coluna líquida dentro do reator. A expansão relativa ao tamanho total da coluna aerada representa o volume de gás dividido pelo volume total de água e gás, sendo, portanto, equivalente à fração volumétrica de ar ( $\varepsilon_i$ ) (Equação 2). Na mistura trifásica a fração volumétrica de ar (Equação 3) depende do índice de vazios (Equação 4), onde  $C_s$  é a concentração da areia e  $\rho_L$  e  $\rho_S$  a massa específica do líquido e do meio suporte, respectivamente.

$$e_i = H_i - h_i \quad (1)$$

$$\varepsilon_i = \frac{e_i}{H_i} = \frac{H_i - h_i}{H_i} = 1 - \frac{h_i}{H_i} \quad (2)$$

$$\varepsilon_i = \frac{1}{\frac{1}{n} + 1} \quad (3)$$

$$n = \frac{H_i}{h_i} \left[ \left( 1 + \frac{C_s}{\rho_L} \right) / \left( 1 + \frac{C_s}{\rho_S} \right) \right] \quad (4)$$

Foram empregados dois piezômetros, um no tubo interno e outro no tubo externo montados com mangueira flexível transparente de 10 mm de diâmetro externo além da medição do nível dinâmico acima do tubo interno e na parede do tubo externo.

## **Velocidade de circulação**

Para o cálculo das velocidades de circulação, foram injetadas, nos quatro reatores, diferentes vazões de ar, controladas por rotâmetros.

O ensaio de velocidades foi realizado com o auxílio de um sistema composto por quatro sondas (duas em cada tubo – interno e externo) medidoras de condutividade elétrica da água. Estas sondas detectam a presença de um traçador (NaCl) e emitem sinais elétricos a um condicionador de sinais. Em seguida um programa de aquisição de dados desenvolvido por Guardia Filho (2001) é lido o sinal por uma interface de conversão analógico-digital gerando uma curva.

A curva obtida para cada sonda apresenta picos, que mostram o instante em que a maior concentração de traçador passou pela sonda, diminuindo a tensão. Com os valores do tempo de pico na tensão mínima, tem-se os tempos em que o traçador passa de uma sonda à outra (no tubo interno ( $t_{int}$ ) e externo ( $t_{ext}$ )), podendo-se, então, calcular a velocidade de circulação do líquido em diferentes vazões de ar comprimido.

## **Análise Granulométrica dos meios suporte**

Foram caracterizados três possíveis meios suporte - areia, carvão ativado e carvão antracitoso – com o intuito de utilizar o melhor meio em termos de granulometria e massa específica. Os ensaios de granulometria foram realizados segundo recomendações da ABNT (1984) - NBR 7181 e o ensaio de massa específica dos sólidos por método recomendado pela ABNT (1984) - NBR 6508.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

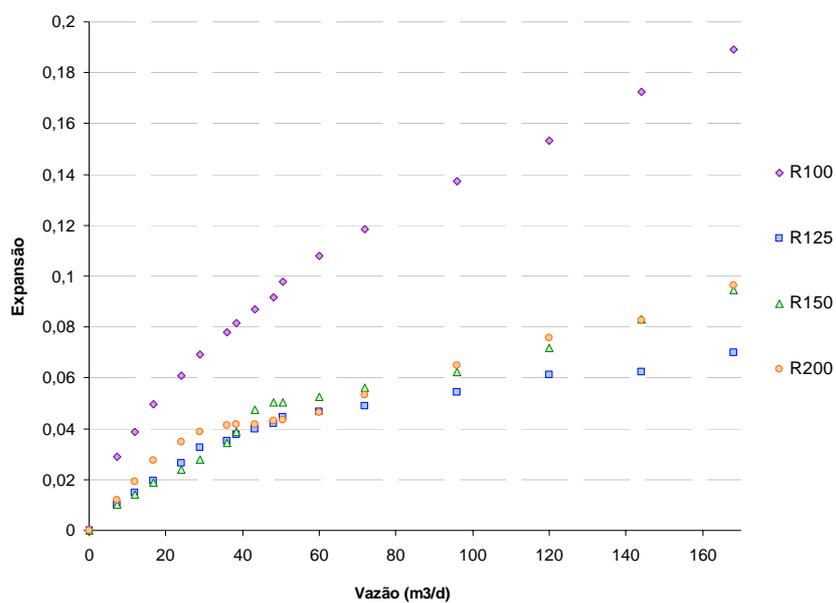
Em reatores como o de leito fluidizado com circulação, é importante o estudo de parâmetros como a fração volumétrica de ar e a velocidade de circulação, pois a formação do biofilme é influenciada pelas condições hidrodinâmicas do reator, que podem alterar a espessura e a massa específica da biopartícula, que por sua vez influenciam no bom desenvolvimento do sistema de tratamento.

### **Fração volumétrica de ar**

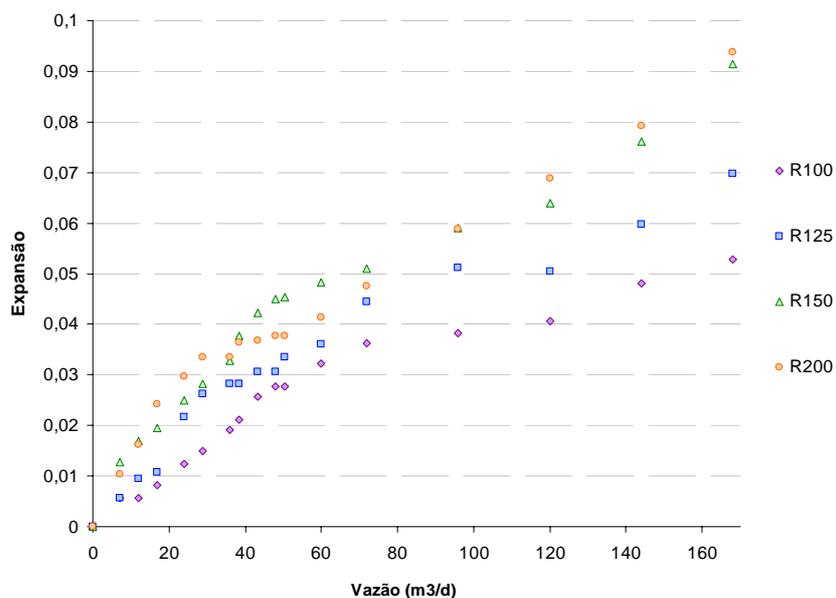
Assim como a área dos tubos de subida e descida, a fração volumétrica de ar influencia na velocidade de circulação, pois a circulação do meio líquido ocorre devido à diferença de massas específicas nos tubos interno e externo, relacionada com a quantidade de gás retida em cada tubo (maior no tubo interno (subida)).

## Meio bifásico

Nas Figuras 1 e 2 tem-se a expansão do meio líquido no tubo interno e externo (descida), respectivamente. Pode-se observar a existência de bolhas tanto no tubo de subida quanto no de descida, confirmando os regimes II e III descritos por Van Benthum *et al* (1999), caracterizados pela presença parcial ou completa das bolhas no tubo externo. Isto ocorre, pois em todas as vazões, inclusive as pequenas ( $< 24 \text{ m}^3/\text{d}$ ), observando-se bolhas de diâmetros menores, movendo-se para o tubo externo em baixas velocidades superficiais de ar devido à sua menor velocidade de ascensão, facilitando o carregamento para o tubo de descida por meio do fluxo.



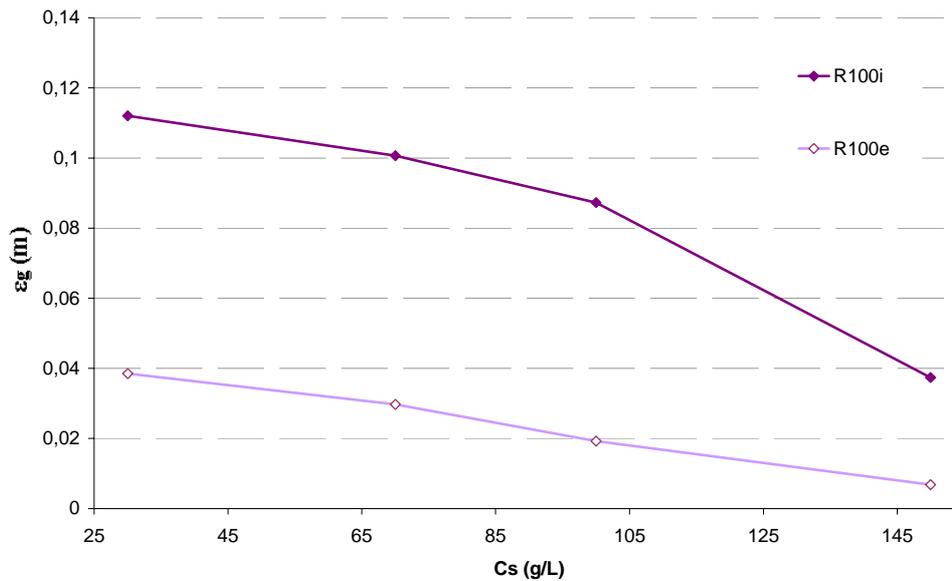
**Figura 1** - Expansão do meio líquido em função da vazão aplicada - tubo interno (subida)



**Figura 2** - Expansão do meio líquido em função da vazão aplicada - tubo externo (descida)

### Meio Trifásico

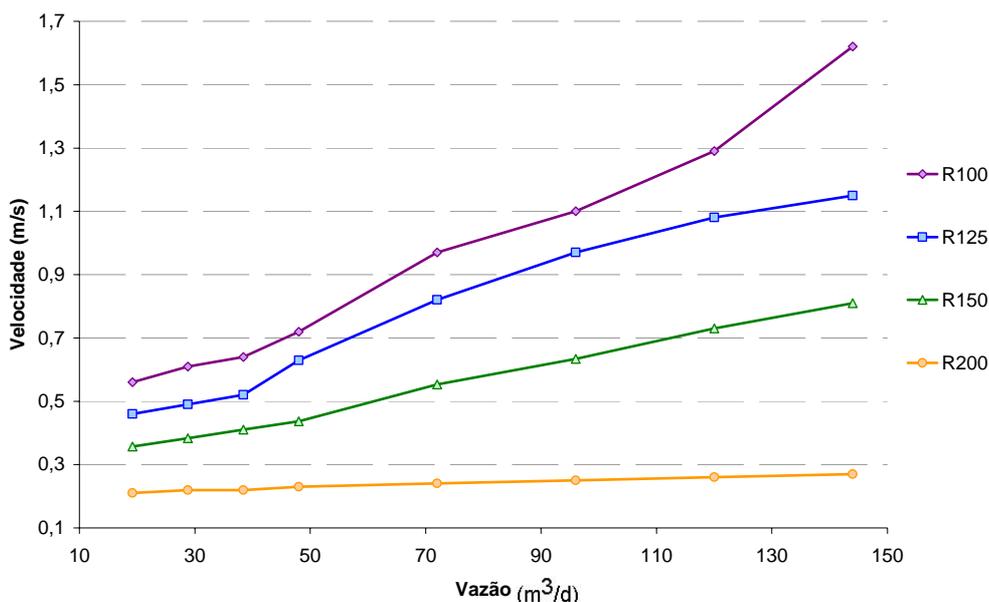
De acordo com Freitas *et al* (2000) nos reatores de leito fluidizado com circulação ocorre uma diminuição na velocidade de circulação do líquido com o aumento da massa específica dos sólidos. Na Figura 3 isto pode ser observado, ou seja, onde há uma diminuição da fração volumétrica de ar há o aumento da concentração de areia no reator.



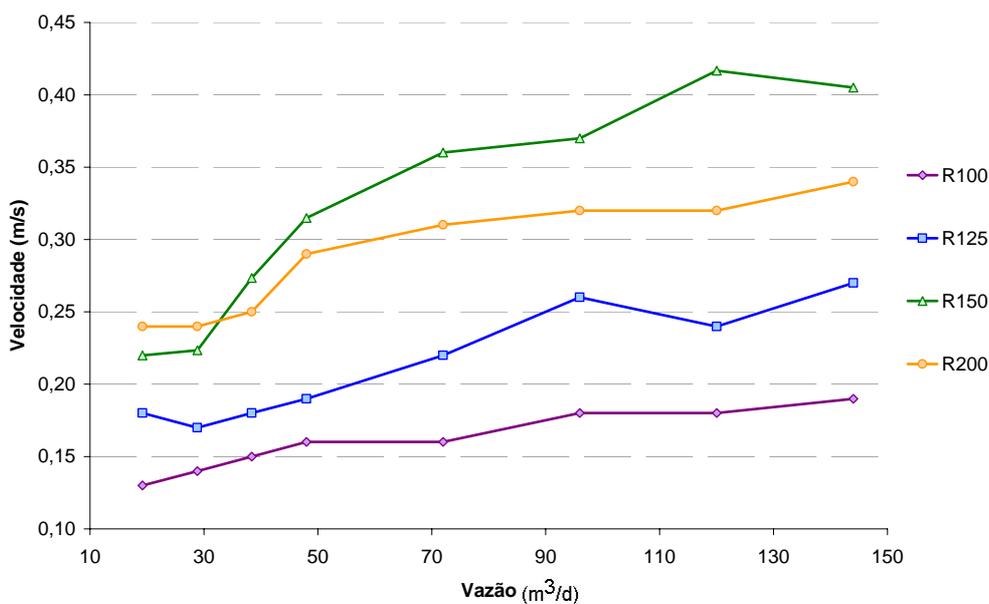
**Figura 3** - Fração volumétrica de ar nos tubos de subida e descida em função da concentração de areia (meio trifásico)

### Velocidade de circulação

Foram aplicadas vazões de 19,2; 28,8; 38,4; 48; 72; 96; 120 e 144 m<sup>3</sup>/d, utilizando água limpa e com pressão constante de 2,5 MPa, nos quatro reatores. Em cada análise, foram adicionadas 15g/L de traçador (NaCl). As Figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, as velocidades obtidas no tubo interno e externo, para as quatro configurações do reator.



**Figura 4 - Velocidade de circulação no tubo interno (subida)**

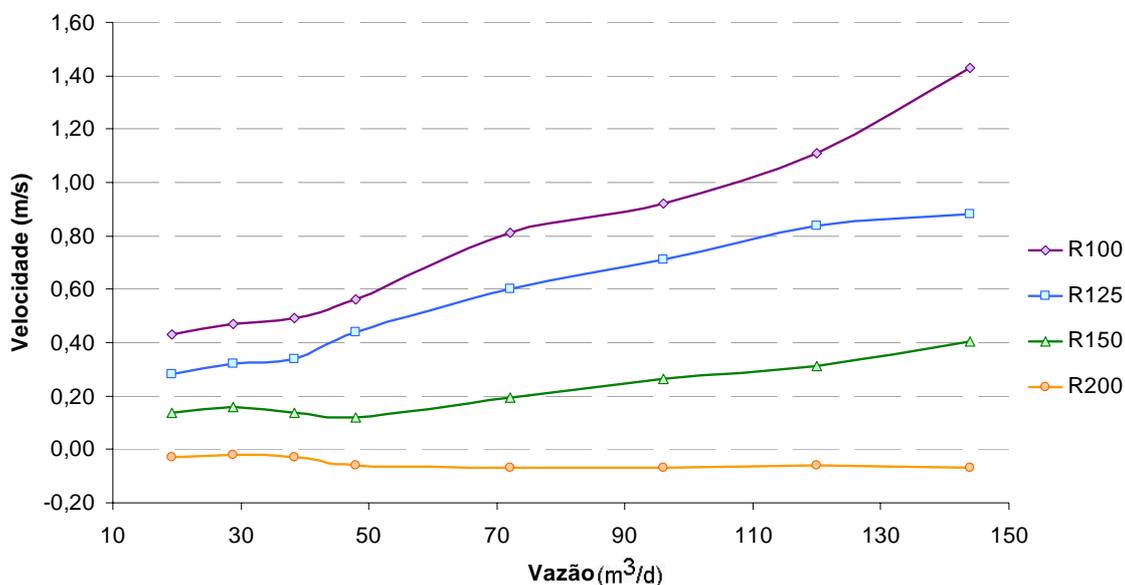


**Figura 5 - Velocidade de circulação no tubo externo (descida)**

Observa-se que quanto maior o diâmetro do tubo interno menor a velocidade de subida, ocorrendo o inverso com a velocidade de descida. Isto somente não ocorre com a configuração R200, pois nesta, a área de subida passa a ser maior que a de descida e assim, a velocidade de subida é menor, obedecendo a equação da continuidade.

A diferença entre as velocidades de subida e descida são apresentadas na Figura 6, mostrando que quanto maior o diâmetro interno menor a diferença entre estas velocidades, nas configurações R100, R125 e R150. Nesta última, as velocidades apresentam valores parecidos, pois as áreas

externa e interna são próximas (0,03 e 0,02 m<sup>2</sup>). Já na configuração R200 a área externa passa a ser menor que a interna, fazendo com que a velocidade de subida seja menor que a de descida.

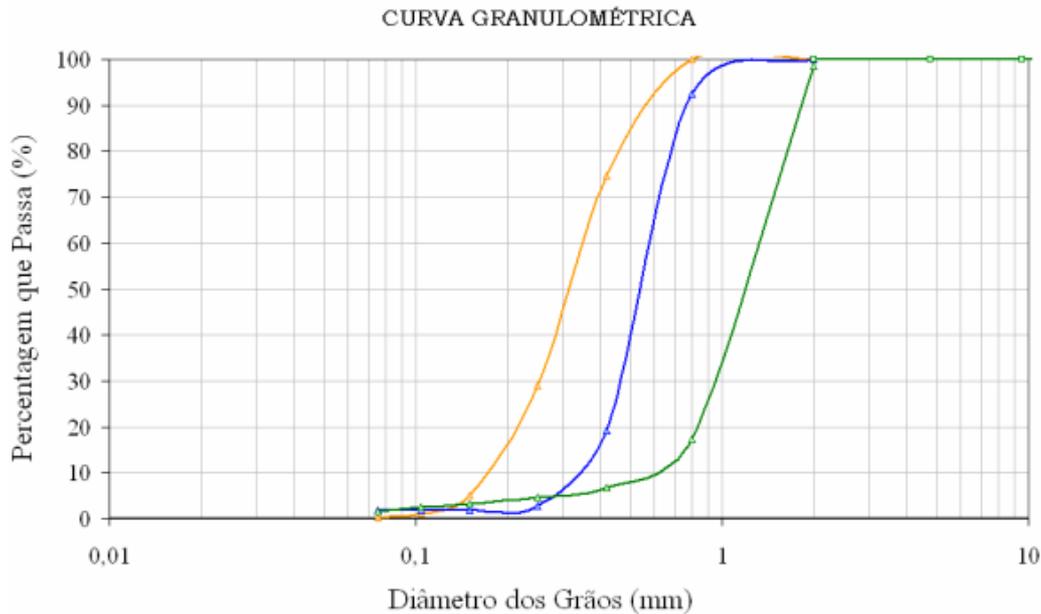


**Figura 6** - Diferença entre as velocidades de subida e descida nos quatro reatores

### Caracterização dos meios suporte

Para que o desenvolvimento do biofilme aderido ao suporte seja satisfatório e o sistema apresente uma boa eficiência no tratamento de águas residuárias é importante considerar as características que influenciam no processo de adesão e crescimento do biofilme, tais como: as propriedades do material suporte escolhido (densidade, rugosidade, porosidade, tamanho dos poros e forma da superfície); dos microorganismos envolvidos; e das propriedades destes e do meio aquoso (pH, temperatura, velocidade de escoamento, tempo de exposição, concentração de microorganismos, tensão superficial e força iônica do meio) (Mello, 2007).

Com o intuito de utilizar o melhor meio suporte possível, foram testadas três possibilidades (areia, carvão ativado e carvão antracitoso). A Figura 7 mostra as curvas granulométricas obtidas na caracterização destes três meios granulares. As massas específicas ( $\rho_s$ ) obtidas foram 2,57 g/cm<sup>3</sup> para a areia; 1,64 g/cm<sup>3</sup> para o carvão ativado; e 1,74 g/cm<sup>3</sup> para o carvão antracitoso.



**Figura 7.** Curva granulométrica: areia (—), carvão ativado (—) e carvão antracitoso (—)

A granulometria, tanto da areia quanto do carvão ativado mostrou-se bastante uniforme, sendo que o coeficiente de desuniformidade ( $U = D_{60}/D_{10}$ ) para areia foi de 1,8, e para o carvão foi de 1,7, já para o carvão antracitoso foi de 2,3, indicando desuniformidade. Devido a esta desuniformidade, o carvão antracitoso não é considerado um bom meio suporte para este tipo de reator. Os grãos de areia, assim como os de carvão ativado apresentaram diâmetros menores que 0,8 mm, com granulometria média de 0,36 mm para a areia e 0,53 mm para o carvão ativado.

## CONCLUSÕES

Com a variação do diâmetro interno pode-se observar que quanto maior este diâmetro, menor a velocidade de subida e maior a de descida, no entanto deve-se manter determinada proporção entre as áreas externa e interna para que não ocorra um efeito indesejável.

Quanto à fração volumétrica de ar, observou-se que quanto maior a concentração do meio suporte menor a velocidade de circulação do líquido.

Em relação ao meio suporte, a areia mostrou ser passível de utilização nos reatores de leito fluidizado com circulação, visto que sua eficiência foi comprovada por autores como Heijnen (1992), Sobrinho (2001) e Gebara (2006). É interessante ressaltar que estudos utilizando o carvão ativado como meio suporte podem ser realizados, visto que este apresenta grande uniformidade e baixa massa específica.

Os estudos realizados mostram ser importantes para um melhor conhecimento inicial sobre o funcionamento deste tipo de reator, e servem de base para que experimentos mais aprofundados

sejam realizados, tais como a identificação do biofilme formado no tratamento de esgoto sanitário e a influencia das características hidrodinâmicas no funcionamento do sistema, por exemplo.

## BIBLIOGRAFIA

ABNT. NBR 6508 (1984). *Determinação da Massa Específica: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,9mm*. Rio de Janeiro.

ABNT. NBR 7181 (1984). *Análise Granulométrica: Solo*. Rio de Janeiro.

FREITAS, C.; FIALOVÁ, M.; ZAHRANDNIK, J.; TEIXEIRA, J. A. (2000). “*Hydrodynamics of a three-phase external-loop airlift bioreactor*”. *Chemical Engineering Science*, v.55, p. 4961-4972.

GEBARA, D. (2006) “*Desempenho de um reator aeróbio de leito fluidizado no tratamento de esgoto sanitário*”. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 316 p., São Paulo.

HEIJNEN, J. *et al.* (1992). “*Formation of biofilms on small suspended particles in air-lift reactors*”. *Water Science and Technology*, v.26, n. 9/10, p.2015-2019.

MARTÍN, R. D. (2005). “*Estudio del flujo en reactores con tres fases por simulación*”. Tese de Doutorado. Facultad de Ciencias Químicas – Universidad Complutense de Madrid, Espanha.

MARTINS JR., W.N. (2005). “*Perdas de carga e velocidades induzidas em reatores aeróbios de leito fluidizado com circulação*”. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil.

MELLO, J. M. M. (2007) “*Biodegradação dos compostos btex em um reator com biofilme*”. Dissertação de Mestrado. Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MERCHUK, J.C.; BERZIN, I. (1995). “*Distribution of energy dissipation in airlift reactors*”. *Chemical Engineering Science*, v. 50, n.14, p. 2225-2233.

SOBRINHO, M. D. *et al.* (2001). “*Efeito da concentração de areia na transferência de oxigênio em modelos reduzidos de reator aeróbio de leito fluidizado em tubos concêntricos*”. 21<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, João Pessoa-PB.

VAN BENTHUM, W. A. J *et al.* (1999). “*The biofilm airlift suspension extension reactor. Part I: Design and two-phase hydrodynamics*”. *Chemical Engineering Science*, v. 24.