

## II-042 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO E DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS NA SEDIMENTABILIDADE DE LODOS ATIVADOS

**Luiz Guilherme Abreu de Paula** <sup>(1)</sup>

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutorando em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia (IME).

**Antonio Ricardo Mendes Barros** <sup>(2)</sup>

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará – campus Limoeiro do Norte (IFCE). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutorando Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

**Geilza Alves Porto** <sup>(3)</sup>

Engenheira de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestranda em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia (IME).

**Adrianus Cornelius van Haandel** <sup>(4)</sup>

Doutor em Engenharia Civil pela University Of Cape Town. Professor da UFCG – Campina Grande (PB), Brasil. Professor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Flor de Liz, 5 – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-800 - Brasil - Tel: (21) 99879-0557 - e-mail: luizguilhermeacm@gmail.com

### RESUMO

Realizou-se um estudo para avaliar a sedimentabilidade do lodo de sistemas de Reatores de Bateladas Sequenciais (RBS) e de fluxo contínuo com as constantes  $k$  e  $v_0$  da equação de Vesilind em função do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) e da carga orgânica aplicada e se havia influência das condições operacionais sob a sedimentabilidade do lodo de cada sistema de lodo ativado em estudo. A investigação foi desenvolvida com lodo obtido de três diferentes sistemas de lodo ativado operados por um período de 155 dias, um sistema contínuo do tipo UCT, RBS de câmara única e RBS de câmaras dedicadas, objetivando remover nitrogênio e fósforo. A análise de sedimentabilidade para determinar as constantes  $k$  e  $v_0$  foi obtida com o método estático. Os resultados experimentais mostram que a mudança das etapas de monitoramento (aumento da concentração de matéria orgânica e diminuição do TDH) influenciaram os sistemas RBS, em que o sistema RBS Câmara Única demonstrou-se mais sensível às mudanças de TDH e carga orgânica, em termos de compressibilidade, e o RBS de câmaras dedicadas em relação à velocidade de sedimentação do lodo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodos Ativados, Configuração, Condições Operacionais, Sedimentabilidade, Constantes de Vesilind.

### INTRODUÇÃO

No fim do tratamento de águas residuárias em sistemas com lodo em suspensão como o sistema de lodo ativado, uma operação de fundamental importância é a separação dos sólidos em suspensão da fase líquida para que se possa descarregar um efluente clarificado. A realização da etapa de sedimentação do lodo após tratamento varia conforme a configuração adotada para realizar o tratamento do esgoto, podendo ocorrer em decantadores secundários (Sistemas de fluxo contínuo) ou no próprio tanque de tratamento (Sistemas de Reatores de Bateladas Sequenciais - RBSs).

Os decantadores secundários são responsáveis pelo tratamento físico do conteúdo do reator após o tratamento biológico em sistemas de regime contínuo. Ele tem a função de receber a vazão de licor misto, retornando parte dessa vazão com lodo de retorno (mais concentrado que o licor misto) e descarregado o efluente clarificado. Já em sistemas RBS o processo de tratamento ocorre em regime intermitente, ocorrendo em etapas sequenciais o tratamento biológico e físico.

O uso de sistemas RBSs tem se mostrado como uma boa alternativa quando comparados aos sistemas convencionais, devido a sua praticidade tanto em termos de instalação (onde se dispensa a instalação de decantadores secundários) como de flexibilidade de operação. No entanto, os sistemas de fluxo contínuo são sistemas mais conhecidos e os seus processos físicos e biológicos estão mais desenvolvidos, principalmente em termos de modelagem para otimização no tratamento de águas residuárias.

O controle das condições operacionais de sistemas de lodo ativado tem relação com a produção de lodo no sistema e com a eficiência no tratamento de águas residuárias no que tange a carga orgânica e nutrientes. Existem vários parâmetros de controle de condições operacionais, tanto nos sistemas de fluxo contínuo como nos sistemas RBS, tais como quantidade de oxigênio, idade de lodo, carga orgânica, tempo de detenção hidráulica, etc. No caso específico deste trabalho, as condições operacionais testadas foram a carga orgânica e o TDH, com o objetivo de produzir mais lodo e observar alguma influência na sedimentabilidade.

Para fins de projetos e mais especificamente da unidade de separação de sólidos, é necessário que se conheça a sedimentabilidade, que indica a facilidade com que o lodo se separa da fase líquida. Como a concentração de sólidos em suspensão no licor misto de sistemas de lodo ativado é elevada, as partículas não sedimentam individualmente, e todas as partículas estão ligadas uma a outra sedimentam em uma mesma velocidade, denominada de velocidade em zona (VSZ). Dentre os métodos que quantificam a qualidade da sedimentação do lodo por meio de constantes de sedimentabilidade, a metodologia mais utilizada é a de Vesilind, que propõe o uso da velocidade de sedimentação ( $v_0$ ) e da compressibilidade do lodo ( $k$ ), que são obtidos numa correlação semilogarítmica entre a velocidade de sedimentação em zona e a concentração de lodo.

Considerando os aspectos abordados, foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar a sedimentabilidade do lodo de sistemas de Reatores de Bateladas Sequenciais (RBS) e de fluxo contínuo com as constantes  $k$  e  $v_0$  da equação de Vesilind em função do tempo de detenção hidráulica e da carga orgânica aplicada e; avaliar a influência das condições operacionais sob a sedimentabilidade do lodo de cada sistema de lodo ativado em estudo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa foi realizado na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), em Campina Grande - PB, numa área pertencente à Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), no laboratório do grupo de pesquisa do Programa de Saneamento Básico (PROSAB), no período de 11 meses.

A investigação foi feita com lodo obtido de 3 sistemas de lodo ativado em escala de bancada, com temperatura média de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  e alimentados com esgoto doméstico pré-gradeado da cidade de Campina Grande - PB por um período de 155 dias. Os sistemas operados foram: Sistema RBS câmara única (Figura 1), Sistema RBS de câmaras dedicadas com ambiente aeróbio e anóxico em reatores distintos (Figura 2), e sistema UCT (Figura 3). Os parâmetros de projeto, tais como volume, tempo de detenção hidráulica (TDH), carga orgânica e a concentração média de Sólidos Suspensos Totais (SST) do lodo de cada sistema podem ser observados na Tabela 1. A idade de lodo adotada para todos os sistemas foi de 20 dias, tendo por objetivo garantir a produção de lodo com bactérias nitrificantes.

**Tabela 1: Parâmetros gerais de operacionalidade.**

	RBS – Câmara Única		RBS - Câmaras Dedicadas		UCT	
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2
Vazão ( $\text{L}\cdot\text{dia}^{-1}$ )	32	40	64	80	200	300
Carga Orgânica Aplicada ( $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	10	26	23,24	52	60	195
SST ( $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	$2,3 \pm 0,527$	$3,5 \pm 0,908$	$1,8 \pm 0,379$	$3,5 \pm 0,574$	$1,1 \pm 0,204$	$3,80 \pm 0,431$
Nº de Bateladas	4	5	4	5	-	-
TDH (h)	11	9	11	9	29	20
Idade de Lodo - $R_s$ (dias)	20	20	20	20	20	20
OD ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	3 a 5	2 a 4	3 a 5	2 a 4	3 a 5	2 a 4

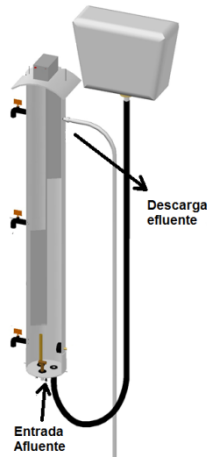


Figura 1: Reator RBS Câmara única.

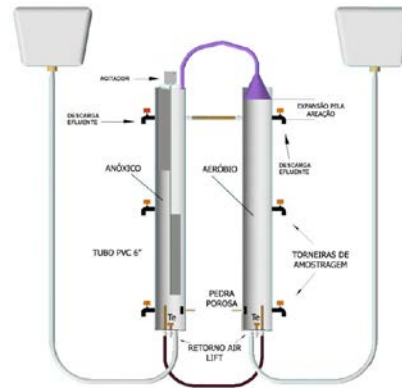


Figura 2: Reator RBS Câmaras dedicadas.

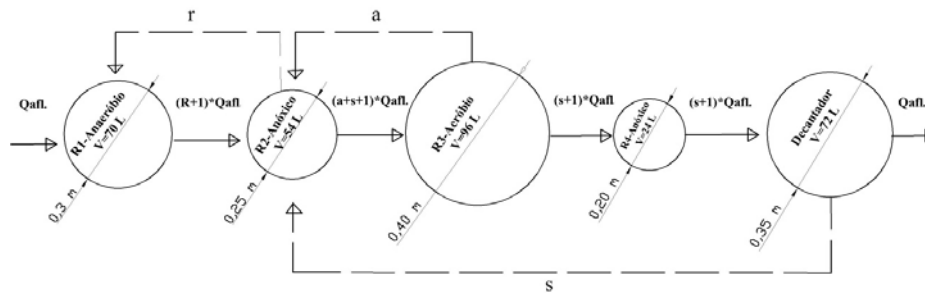


Figura 3: Sistema UCT.

A metodologia adotada para a realização dos ensaios do método estático foi descrita por White (1975) e aperfeiçoada por Van Haandel & Marais (1999). Foi utilizada uma coluna de batelada (Figura 4) produzida em acrílico transparente, com volume de 2 litros, altura de 1 m e diâmetro interno de 5 cm, ambos equipados com um agitador síncrono de baixa rotação (4/5 rpm).

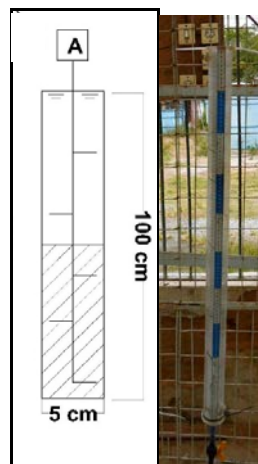


Figura 4: Desenho das colunas de sedimentação utilizado no método estático.

Para a realização do ensaio, foram retiradas amostras de lodo de cada sistema em uma quantidade compatível de licor misto para obter um volume de 2L de lodo concentrado por um período de 30 minutos de sedimentação. Antes do início do teste, a amostra foi homogeneizada cuidadosamente no próprio recipiente de coleta, evitando assim danos na estrutura do floco. Realizada a homogeneização, a coluna de decantação foi preenchida

suavemente com uma amostra até a altura de nível ideal para o início do teste. Em seguida, as leituras da altura da interface foram realizadas durante 30 minutos, em intervalos de 1 minuto. Após esse procedimento, retirava-se o conteúdo da coluna de decantação e coletava-se uma amostra para caracterizar a concentração de lodo. O conteúdo da batelada anterior era novamente homogeneizado e diluído em uma proporção de  $\frac{3}{4}$  de lodo e  $\frac{1}{4}$  de efluente do próprio reator, para preparar uma nova batelada e assim proceder novamente à leitura, com uma mistura de concentração de lodo diluída. Esse processo foi repetido mais 3 vezes, totalizando 4 concentrações diferentes.

Para avaliar a sedimentabilidade dos sistemas, foram realizados testes de modo a obter as constantes  $k$  e  $v_0$  de Vesilind. Foram feitos 18 testes em um período de 4 meses, sendo 8 para caracterizar a 1ª etapa e 10 para caracterizar a 2ª etapa de operação. Os dados foram submetidos à análise estatística, sendo utilizado o teste Tukey para verificar a diferença entre as médias a nível de significância de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na **Figura 5** pode ser observado o perfil dos diagramas de sedimentabilidade obtidos pelos ensaios do método estático realizados nas duas etapas de pesquisa. No diagrama **a** o comportamento do ensaio experimental de cada diluição de lodo  $X_t$  ( $\text{g.l}^{-1}$ ) e o seu respectivo deslocamento de interface (cm), de onde é obtida a velocidade de sedimentação zonal (VSZ) que corresponde à reta tangente do gráfico. Já na figura **b** podemos observar a relação semilogarítmica entre os valores  $\ln(\text{VSZ})$  e as concentrações de lodo  $X_t$  encontrados no ensaio experimental, onde foram obtidos os valores da constante  $k$  (Inclinação da reta) e  $v_0$  (Intercepção da reta). O coeficiente de correlação obtido por cada ensaio variou entre 0,988 e 0,997, sendo valores considerados satisfatórios para fins de análise comparativa.

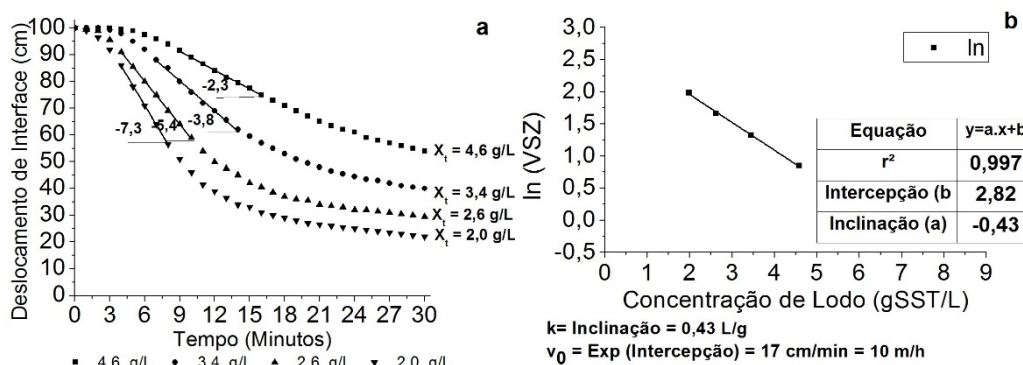


Figura 5: Perfil de diagrama obtido pelos ensaios experimentais. No diagrama (a) está expresso o comportamento do deslocamento interface (cm) em função do tempo (minutos); (b) correlação semilogarítmica entre  $\ln(\text{VSZ})$  e a concentração de lodo ( $\text{g.l}^{-1}$ ).

Na **Tabela 2** é apresentado o tratamento estatístico das médias das constantes  $k$  e  $v_0$  em função das etapas experimentais, considerando o teste Tukey a nível de significância de 5%. As letras maiúsculas comparam as médias entre todos os sistemas experimentais e as letras minúsculas comparam as médias de cada sistema entre a I e a II etapa.

Em relação às médias de todos os sistemas durante as duas etapas experimentais, observa-se que o sistema RBS Câmara Única na I etapa apresentou diferença estatística em relação aos demais sistemas para a constante  $k$  no teste Tukey, obtendo a menor média ( $0,32 \text{ l.g}^{-1}$ ). Para a constante  $v_0$ , o sistema RBS Câmaras Dedicadas obteve maior média ( $16 \text{ m.h}^{-1}$ ) na II etapa e o sistema UCT na I etapa menor média ( $8 \text{ m.h}^{-1}$ ).

Na comparação de cada sistema de lodo ativado entre as duas etapas experimentais foi observado uma influência significativa na constante  $k$  do sistema RBS Câmara Única e no  $v_0$  do sistema RBS Câmaras Dedicadas. No caso dos valores de  $k$  do sistema RBS Câmara Única, a transição entre a I e II etapa diminuiu a capacidade de compressão do lodo, tornando a sua qualidade comparável ao dos demais sistemas, ou seja, a alteração do TDH e da carga orgânica afetou negativamente a constante  $k$ . Já no caso da constante  $v_0$  do sistema RBS Câmaras Dedicadas ocorreu o inverso, havendo uma melhora na velocidade de sedimentação do

lodo na transição das etapas, obtendo um lodo com maior capacidade de separação da fase líquida em relação ao tempo, sendo afetado positivamente com as alterações entre as etapas.

Comparando os valores das constantes  $k$  e  $v_0$  da **Tabela 2** com os parâmetros de classificação da **Tabela 3** sugeridos por Van Haandel & Marais (1999), observa-se que a média do sistema RBS Câmara Única obteve uma constante  $k$  (compressibilidade) de “boa” qualidade para a operação em sistemas de lodo ativado na I etapa, com valor médio de  $0,32 \text{ l.g}^{-1}$  e característica de “médio a ruim” na II etapa, com valor médio de  $0,42 \text{ l.g}^{-1}$ . Os demais sistemas apresentaram valores médios da constante  $k$  que se enquadraram na classificação de “médio a ruim” nas duas etapas de monitoramento, com valores médios entre  $0,44 \text{ l.g}^{-1}$  e  $0,46 \text{ l.g}^{-1}$ . Para a constante  $v_0$ , somente o sistema UCT obteve valor médio característico de “bom a médio” ( $8 \text{ m.h}^{-1}$ ), que ocorreu na I etapa de monitoramento. Os demais apresentaram valores médios com características boas de  $v_0$  ( $v_0 > 11 \text{ m.h}^{-1}$ ).

**Tabela 2: Tratamento estatístico das médias das constantes  $k$  e  $v_0$  em função das etapas experimentais.**

	I Etapa			II Etapa		
	RBS Câmara Única	RBS Câmaras Dedicadas	UCT	RBS Câmara Única	RBS Câmaras Dedicadas	UCT
<b><math>k</math> (<math>\text{l.g}^{-1}</math>)</b>	$0,32 \pm 0,02 \text{ Aa}$	$0,44 \pm 0,04 \text{ Ba}$	$0,46 \pm 0,07 \text{ Ba}$	$0,42 \pm 0,03 \text{ Bb}$	$0,45 \pm 0,06 \text{ Ba}$	$0,43 \pm 0,06 \text{ Ba}$
<b><math>v_0</math> (<math>\text{m.h}^{-1}</math>)</b>	11BCa	12BCb	8Ca	13Bca	16Aa	12BCa

Obs: Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância. Letras maiúsculas comparam médias entre todos os sistemas durante as duas etapas de monitoramento e letras minúsculas comparam médias de cada sistema entre a I e a II etapa.

**Tabela 3: Parâmetros de qualificação da sedimentabilidade de lodo ativado no tratamento de esgoto doméstico de acordo com as constantes de Vesilind.**

Classificação	$K$ $\text{l.g}^{-1}$	$v_0$ $\text{m.h}^{-1}$
<b>Boa</b>	0,31	11
<b>Média</b>	0,36	9,5
<b>Ruim</b>	0,46	6

Fonte: VAN HAANDEL & MARAIS, 1999.

Santos (2009) operou um sistema UCT com características similares ao adotado nesse estudo, com idade de lodo de 20 dias e tratando o esgoto doméstico de Campina Grande com DQO próximo de  $600 \text{ mg/L}$  encontrou valores de  $k$  em torno de  $0,27 \text{ l.g}^{-1}$  e  $v_0$  de  $26,42 \text{ m.h}^{-1}$ . Nesse contexto, observa-se que o desempenho de adensamento de lodo no sistema UCT estudado foi abaixo do esperado, com valores relativamente distantes dos encontrados na literatura.

Figueiredo *et al.* (2006), operando sistemas RBS tratando esgoto de Campina Grande – PB, encontrou valores de  $k$  abaixo de  $0,3 \text{ l.g}^{-1}$  para sistemas RBS também demonstrando que os valores encontrados neste trabalho não foram satisfatórios. Em relação à constante  $v_0$ , observa-se que os valores médios foram compatíveis com os valores encontrados na literatura para sistemas RBS, com valores superiores aos  $10 \text{ m.h}^{-1}$  encontrados por Janczukowicz *et al.*, (2000) e próximo aos  $15 \text{ m.h}^{-1}$  encontrados por FIGUEIREDO *et al.*, (2006).

Em termos de operação dos sistemas de lodos ativados em escala real, os resultados deste estudo mostraram que o lodo dos sistemas RBS são mais sensíveis às mudanças operacionais, demandando maior atenção do operador quando houver alterações de aumento ou redução de carga orgânica. Em relação à qualidade de sedimentação, os resultados dos sistemas RBS Câmaras Dedicadas e UCT apresentaram, durante todo o período operacional, características de compressibilidade que podem trazer problemas operacionais, demandando intervenções corretivas para evitar a perda de lodo junto ao efluente clarificado e gastos com o adensamento do lodo para descarte final. Essas intervenções podem ser feitas a partir do aumento da vazão de recirculação do lodo do decantador para o reator biológico, no caso do sistema UCT, e o aumento do tempo de sedimentação do lodo, no caso dos sistemas RBS.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desse estudo experimental resultou em importantes conclusões de aplicabilidade prática relativas ao desempenho e operação de diferentes sistemas de lodo ativado no tratamento de esgoto doméstico, especificamente na sedimentabilidade do lodo. Da investigação experimental com os sistemas de lodo ativado RBS Câmara Única, RBS Câmaras Dedicadas e fluxo contínuo UCT com idade de lodo de 20 dias e operados com diferente carga orgânica aplicada (I e II etapa), é possível concluir:

- O sistema RBS Câmara Única apresentou a melhor característica de compressibilidade (constante  $k$ ) na I etapa.
- O sistema RBS Câmaras Dedicadas apresentou a melhor característica de velocidade de sedimentação (constante  $v_0$ ) na II etapa;

A mudança das etapas de monitoramento (aumento da concentração de matéria orgânica e diminuição do TDH) influenciaram os sistemas RBS, onde o sistema RBS Câmara Única demonstrou-se mais sensível às mudanças de TDH e carga orgânica, em termos de compressibilidade, e o RBS Câmaras dedicadas em relação à velocidade de sedimentação do lodo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBOSA, C. A. C. e SOUZA, M. A. A. Sedimentabilidade do lodo secundário obtido no processo de lodos ativados com remoção biológica de nutrientes. In: *Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI*. Lima-Peru, 1998.
2. CATUNDA P.F.C., SOUZA J. T. E VAN HAANDEL A.C. Determinação da sedimentabilidade de lodo ativado. In: *14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e ambiental*, Belém – PA, 1989.
3. CONSENTINO, P. R. S.; FILHO, J. A. S.; VAN HAANDEL; CATUNDA, P. F. F. C. Estabilização de lodo de sistemas aeróbios em reatores do tipo UASB. In: *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e ambiental*, Campo Grande – Mato Grosso do Sul, ABES CD-ROM, 2005.
4. FIGUEREDO, G.P.; VAN HAANDEL, A.C.; SILVA FILHO, J. A; PAIVA, F.V. Cavalcanti, P.F.F. Determinação da sedimentabilidade de lodo de sistemas anaeróbio-aeróbios tratando esgoto. In: *Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Fortaleza-CE ABES CD-ROM. 2006.
5. LEITÃO, R. C. *Robustness of UASB Reactors Treating Sewage Under Tropical Conditions*. Tese de doutorado - Wageningen University/ Wageningen, 160p. 2004.
6. MOHLMAN, M. L. The Sludge Index. In: *Sew. Works J.*, 6(1):119, 1934
7. SANTOS, E. V. M. *Desnitrificação em sistemas de lodo ativado* 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande: UFCG, Campina Grande, PB. 2009.
8. SILVA, A. L.; SILVA FILHO, H. A.; DERKS, Y. M.; CAVALCANTI, P. F. F. C.; VAN HAANDEL, A. C. Determinação das constantes de sedimentabilidade de sistemas de lodo ativado In: *XIII SILUBESA - Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Belém-PA, ABES CD-ROM, 2008.
9. STOBBE, G. Über das Verhalten von belebtem Schlamm in aufsteigender Wasserbewegung. In: *Publication of the Sanitation Engineering Institute of the Technical University of Hanover*. 18. 100 p. (in German), 1964.
10. VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. V. R. O. *Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações*. Campina Grande: Egraf, 72 p, 1999
11. VESILIND, P. A. Theoretical considerations: Design of prototype thickeners from batch settling tests In: *Water and Sewage Works* 115:302–307, 1968.
12. WHITE M. J. D. *Settling of activated sludge*, technical report TR11, WRC Stevenhage - Reino Unido, 1975.