

II-281 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS DO ENSAIO DA COLUNA DE SEDIMENTAÇÃO PARA EFLUENTES SANITÁRIOS

Larisse Maria de Oliveira Machado⁽¹⁾

Engenheira Ambiental – UFT. Especialista em Gestão e Planejamento Ambiental – ITOP. Mestranda em Engenharia Ambiental – Escola Politécnica/UFRJ.

Luciano Dias Xavier

Engenheiro Químico – UFRRJ. Químico - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. Mestrando em Engenharia Ambiental – Escola Politécnica/UFRJ.

Alessandro Araújo Drumond

Engenheiro Agrícola e Ambiental – UFV. Mestrando em Engenharia Ambiental – Escola Politécnica/UFRJ.

Iene Christie Figueiredo

D.Sc., Professor Adjunto do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - Escola Politécnica/UFRJ.

Isaac Volschan Junior

D.Sc., Professor Associado do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - Escola Politécnica/UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, nº 149, Centro de Tecnologia - Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes, Bloco I, sala I-124 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil - e-mail: englarisse@poli.ufrj.br.

RESUMO

Em estações de tratamento de efluentes (ETE) a ocorrência da sedimentação das partículas suspensas por ação da gravidade propicia clarificação do meio líquido, ou seja, separação das fases líquida e sólida. As partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica e a velocidade de sedimentação dos flocos depende das características do efluente. O ensaio em coluna de sedimentação permite avaliar as características de sedimentação de um efluente, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de projetos de decantadores para estações de tratamento de efluentes, além de permitir uma boa representação de condições operacionais cotidianas em processos de separação sólido-líquido. Para avaliar a eficiência de remoção de partículas suspensas presentes no esgoto sanitário em um determinado tempo, foi realizado um ensaio experimental em coluna de sedimentação. As amostras foram coletadas a cada 5 min, através de torneiras localizadas em profundidades de sedimentação de 0,60m, 1,20m e 1,80m. Esse procedimento foi repetido até se verificar que não mais ocorria alteração do valor da Turbidez naquele ponto de amostragem. Observou-se que, a partir de 21,09 minutos ocorreu a estabilização da remoção de sólidos em suspensão totais (SST). Para este período de tempo obteve-se uma remoção global de 77,05% de SST.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimentação floculenta, Remoção de sólidos, Coluna de sedimentação, Curvas de isoeeficiência.

INTRODUÇÃO

Sedimentação é o processo pelo qual a capacidade de carregamento e erosão da água são diminuídas, possibilitando às partículas a capacidade de sedimentarem sem a nova possibilidade de suspensão. Entre os principais pontos positivos da sedimentação estão o baixo custo e a facilidade de operação do sistema. Na sedimentação floculenta, a concentração da matéria em suspensão não é elevada, mas as partículas floculam durante a sedimentação de modo a formar aglomerados de diferentes tamanhos, formas e pesos. Ao contrário do que ocorre na sedimentação discreta, a trajetória das partículas é curvilínea, pois as partículas passam a ganhar maior velocidade à medida que aumentam de tamanho e peso (Figura 1). Desta forma, todo o processo depende das características de floculação e sedimentação das partículas. Ainda não existe modelo matemático ou teórico capaz de representar o processo de floculação que ocorre durante a sedimentação das partículas, sendo necessário recorrer à determinação experimental para se estabelecer os parâmetros de projeto nas suspensões floculentas (JORDÃO & PESSÔA, 2009).

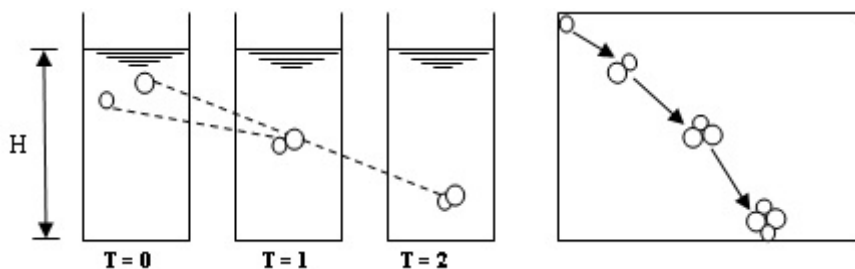


Figura1: Sedimentação Floculenta. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2006).

O processo de clarificação dos esgotos está relacionado com suspensões floculentas advindas de sua própria natureza ou devido a ação de coagulantes e, nesta situação, torna-se complicado prever a eficiência de remoção de sólidos a partir da Lei de Stokes, pois os flocos formados sofrem alterações de volume e densidade, em função das colisões e arraste durante seu assentamento (RICHTER, 2009).

Embora a separação por sedimentação seja uma das operações unitárias mais antigas e também uma das mais usadas no tratamento de efluentes, ainda não foram desenvolvidos modelos matemáticos satisfatórios para descrever o processo, sobretudo devido à complexidade do fenômeno que se desenvolve no interior da unidade. A água residual contém partículas floculentas, as quais não possuem características constantes de sedimentação. A floculação e a sedimentação são influenciadas por muitos fatores tais como o campo de velocidades de escoamento, a concentração de sólidos em suspensão (SS) no afluente, as dimensões e densidades das partículas, e a densidade e viscosidade do fluido (suspensão). As características químicas das partículas e da suspensão também afetam a floculação. Fatores ambientais aleatórios (por exemplo, fluxo de calor e ação do vento) podem provocar drásticas variações nos campos de densidade e velocidade, induzindo importantes variações na remoção de SS. Escoamento preferencial (curto-circuito) e circulação do fluido no interior da unidade de tratamento são exemplos típicos destas variações (VON SPERLING, 2006; JORDÃO & PESSÔA, 2009).

Na ausência de uma aproximação prática com maior validade, os modelos empíricos, por vezes designados por “modelos de regressão”, podem ser úteis no dimensionamento de tanques de sedimentação, quer diretamente quer após calibração com valores experimentais determinados em unidades piloto (VON SPERLING, 2006; JORDÃO & PESSÔA, 2009).

A taxa de escoamento ou aplicação superficial (TAS) se apresenta como uma velocidade de sedimentação, sendo fisicamente igual a vazão que flui sobre a área superficial (A) de sedimentação. Considerando a distância (h) percorrida pela partícula em sedimentação, o tempo (t) requerido para cumprir este percurso, o volume (V) do tanque de sedimentação; a vazão (Q); e a relação $Q=V/t$, pode-se então expressar a velocidade de sedimentação pela equação (1):

$$v = \frac{h}{t} = \frac{Q \cdot h}{V} = \frac{Q \cdot h}{A \cdot h} = \frac{Q}{A} \quad \text{equação (1)}$$

Destaca-se que a referência normativa utilizada para a elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários é a revisão da norma brasileira NBR 12.209 (última reunião em 04/12/2008).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência de remoção de sólidos em suspensão do efluente sanitário através do ensaio da coluna de sedimentação nas instalações do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a sedimentabilidade do efluente doméstico foi realizado um teste de sedimentação nas instalações do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ.

Para se determinar a eficiência de remoção de SST em um determinado tempo, é necessário considerar todas as faixas de velocidades de sedimentação encontradas em um dado sistema, a qual é usualmente definida por

meio da realização de testes em coluna de sedimentação, e nos quais são extraídas amostras a diversas profundidades e tempos (METCALF & EDDY, 2003). No caso, foram utilizados 3 pontos de amostragem, localizados em 0,60 m; 1,20 m e 1,80 m de profundidade na coluna de sedimentação (Figura 1).



Figura 2: Coluna de sedimentação.

Foram realizadas análises de Turbidez (NTU), devido a rapidez e facilidade de leitura. As amostras coletadas foram colocadas em cubetas limpas, homogeneizadas e lidas em um turbidímetro 2100P, HACH calibrado.

Para correlacionar os valores de Turbidez e Sólidos Suspensos Totais (SST) utilizou-se a curva de correlação de acordo com a metodologia seguida por Veról *et al* (2005). Essa metodologia apresenta estudos prévios de parâmetros operacionais do efluente da própria estação. A partir da equação (2) que correlaciona Turbidez (FAU) e SST (mg/L) e a equação(3) que faz a associação entre as unidades de turbidez NTU e FAU, chegou-se à fórmula utilizada para a correlação entre Turbidez (NTU) e SST, representada pela equação (4).

$$\text{FAU} = 0,8829 \text{ SST} - 6,5589 \quad \text{equação (2)}$$

$$\text{FAU} = 1,5454 \text{ NTU} + 12,712 \quad \text{equação (3)}$$

$$\text{SST} = 1,75037 \text{ NTU} + 21,8268 \quad \text{equação (4)}$$

RESULTADOS OBTIDOS

A partir da equação (4), com os dados da correlação entre Turbidez e SST, calculou-se a porcentagem de remoção de SST obtida para cada profundidade (h) e de acordo com o tempo (t), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Concentração e remoção de SST de acordo com o tempo e profundidade.

Tempo (min)	Torneira 1: 0,60m		Torneira 2: 1,20m		Torneira 3: 1,80m	
	SST presente (mg/L)	SST removida (%)	SST presente (mg/L)	SST removida (%)	SST presente (mg/L)	SST removida (%)
0	203,865	0	203,865	0	203,865	0
5	153,104	24,9	174,109	14,6	200,364	1,72
10	79,589	60,96	104,094	48,94	107,595	47,22
15	69,087	66,11	83,09	59,24	83,09	59,24
20	55,084	72,98	65,586	67,83	63,836	68,69
25	46,332	77,27	60,335	70,4	51,583	74,70
30	44,582	78,13	49,833	75,56	48,082	76,41
35	48,082	76,41	48,082	76,41	49,833	75,56
40	49,833	75,56	48,082	76,41	49,833	75,56
45	46,332	77,27	44,582	78,13	48,082	76,41
50	48,082	76,41	44,582	78,13	48,082	76,41

De acordo com a Figura 3, observa-se que a partir de 30 minutos há uma estabilização da remoção de sólidos suspensos totais, visto que estes sólidos já foram praticamente sedimentados restando apenas algumas partículas com velocidade de sedimentação lenta.

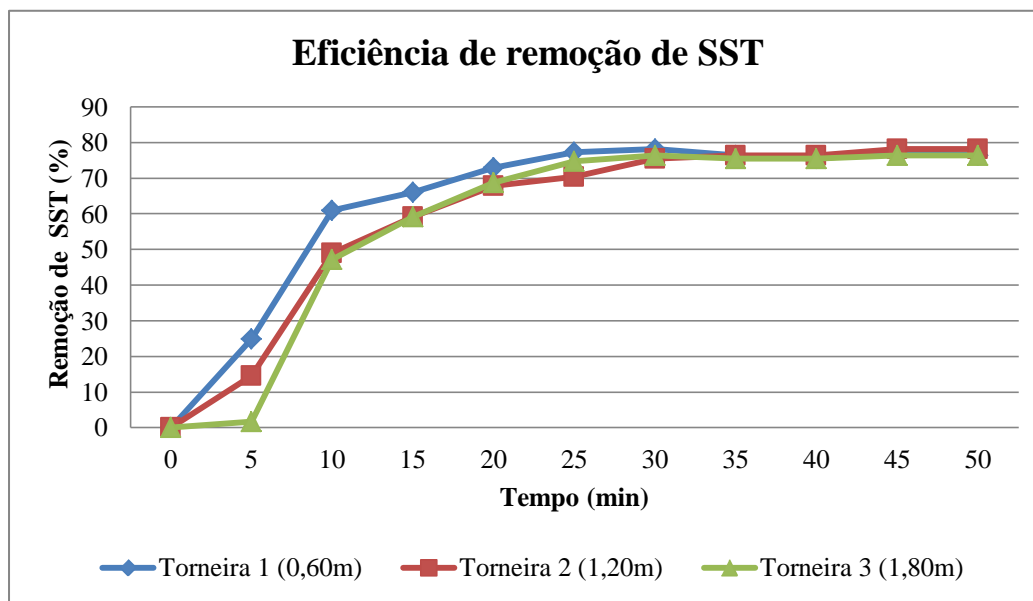


Figura 3: Eficiência de remoção de SST em função do tempo.

A partir dos valores apresentados na Tabela 1, realizou-se uma interpolação dos dados da remoção de SST em função da profundidade para cada tempo conforme a Tabela 2. Para realizar esta tarefa, utilizou-se o software Microsoft Office Excel 2007, além de se convencionar os pontos de referência da coluna de sedimentação como sendo: $h_0 = 0,00$ m, $h_1 = -0,60$ m, $h_2 = -1,20$ m, $h_3 = -1,80$ m, pois o programa não permitia representar o gráfico da forma usual. Através dos dados da Tabela 2 construiu-se um gráfico de profundidade x tempo, onde foram traçadas curvas de isoefficiência, expressa em termos da remoção de SST, como ilustrado na Figura 4.

Tabela 2: Tempo de remoção de SST de acordo com a profundidade.

Remoção de SST (%)	Tempo (min)		
	0,60m	1,20m	1,80m
10	2,01	3,42	5,91
20	4,02	5,79	7,01
30	5,71	7,24	8,11
40	7,09	8,70	9,21
50	8,48	10,51	11,16
60	9,87	15,44	15,40
70	17,83	24,22	21,09

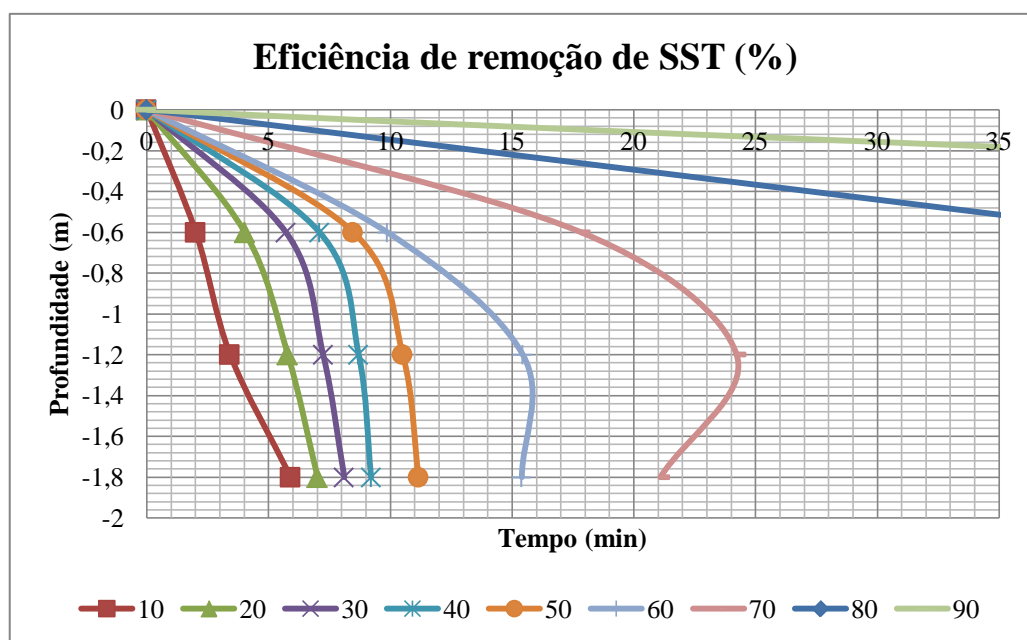


Figura 4: Gráfico da Curva de Isoeficiência de remoção das partículas.

Para a profundidade desejada h da zona de sedimentação ($h=1,80\text{m}$) se verifica, que para cada curva de isoeeficiência de remoção de SST, a velocidade de sedimentação (m/h) correspondente a equação (5).

$$v = \frac{h}{t} = \frac{1,80}{t} \times 60 \quad \text{equação (5)}$$

Sendo t o tempo lido na Figura 4, para cada curva de isoeeficiência de remoção de SST, pode-se assim produzir a Tabela 3. Assim, para a profundidade fixada, sólidos com a velocidade de sedimentação v igual ou maior que 5,12 m/h são 70% removidos. Já as partículas com v inferior a 5,12 m/h serão removidas na razão $v_1/v = h_1/h$.

Tabela 3: Porcentagem de remoção das partículas que sedimentam com velocidade $v=h_y/t$ para $h_3 = 1,80m$.

Remoção de SST (%)	Tempo de sedimentação (min)	Velocidade de sedimentação (m/h)
10	5,91	18,27
20	7,01	15,41
30	8,11	13,32
40	9,21	11,73
50	11,16	9,68
60	15,4	7,01
70	21,09	5,12

Na Figura 4, para o tempo de 21,09 minutos (correspondente à remoção de 70% de SST na profundidade $h_3 = 1,80m$), observa-se que enquanto 70 % de SST são removidos a 1,80 m de profundidade, 80% foram removidos a 0,31 m. Portanto, a profundidade média de sedimentação relativa a curva de isoefficiência compreendida entre 70 – 80% seria equivalente a 1,055 m.; Assim, a remoção de partículas com velocidade de sedimentação inferior a velocidade de 5,12 m/h, e obtida até a profundidade de 1,05 m, é expressa de acordo com a equação (6):

$$\% \text{ remoção} = \frac{h}{H} \times \Delta h \times 100 = \frac{1,055}{1,80} \times (0,8 - 0,7) \times 100 = 5,86\% \quad \text{equação (6)}$$

E de modo análogo, na faixa de isoefficiências compreendida entre 80 e 90% de remoção de SST, tem-se para o mesmo tempo de 21,09 minutos, respectivamente 0,31 m e 0,12 m de profundidades de sedimentação; Assim, para a profundidade média de 0,215 m a remoção de partículas com velocidade de sedimentação inferior a velocidade de 5,12 m/h, é expressa de acordo com a equação (7):

$$\% \text{ remoção} = \frac{h}{H} \times \Delta h \times 100 = \frac{0,215}{1,80} \times (0,9 - 0,8) \times 100 = 1,19\% \quad \text{equação (7)}$$

Logo, para o tempo de 21,09 minutos, a percentagem de remoção global será equivalente ao somatório dos valores correspondentes a remoção de até 70% (1,80 m), entre 70 e 80% e entre 80 e 90%, e igual a $70\% + 5,86\% + 1,19\% = 77,05$. Este procedimento foi feito de forma progressiva para todos os tempos, sendo os resultados apresentados na Tabela 4 e expressos na Figura 5.

Tabela 4 – Remoção global de SST na coluna de sedimentação experimental.

Tempo (min)	Velocidade de sedimentação (m/h)	Taxa superficial de sedimentação ($m^3/m^2 \cdot dia$)	% Removidos com velocidade $\geq v$	% Total de SST removido
5,91	18,27	438,579	10	34,056
7,01	15,41	369,757	20	41,056
8,11	13,32	319,605	30	47,667
9,21	11,73	281,433	40	54,417
11,16	9,68	232,258	50	61,917
15,40	7,01	168,312	60	69,278
21,09	5,12	122,902	70	77,056

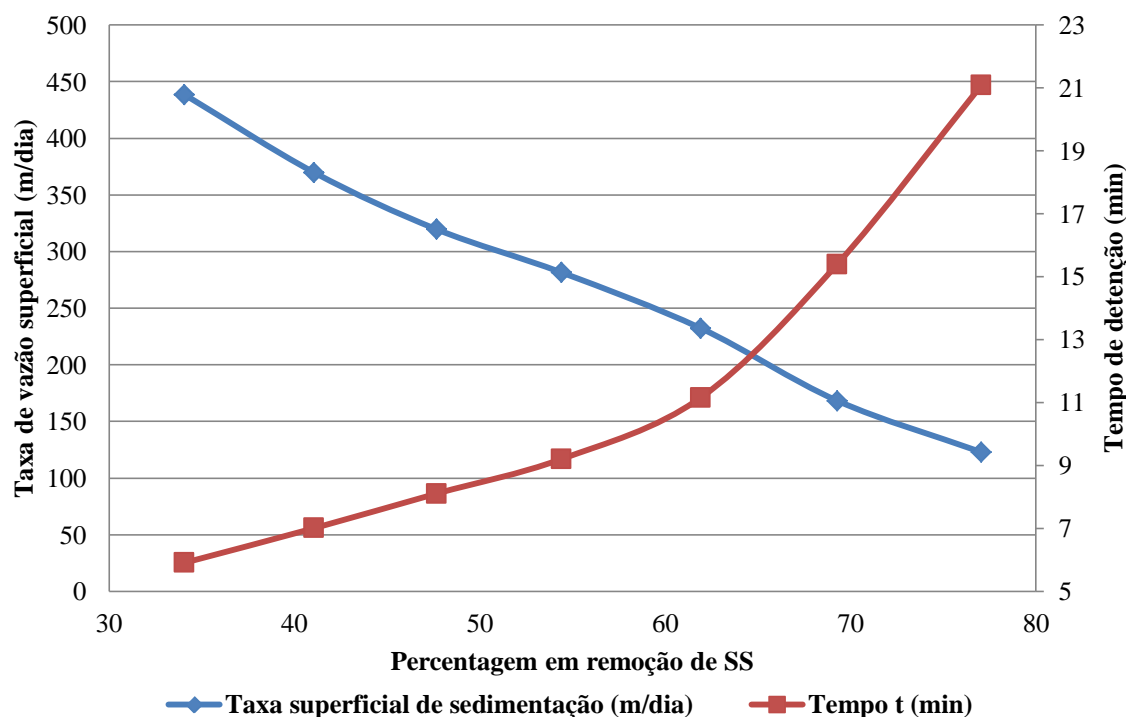


Figura 5: Curva de remoção de SST x Taxa de vazão superficial

Através da Figura 5 é possível selecionar a taxa de vazão superficial ou taxa superficial de sedimentação, necessária para uma remoção qualquer desejada, podendo-se também relacionar a remoção de sólidos suspensos pretendida ao tempo de detenção necessário. Tais dados servem de subsídio para o projeto de decantadores primários em estações de tratamento de efluentes.

CONCLUSÕES

A partir de 21,09 minutos e profundidade de 1,80 m, obteve-se a estabilização da remoção de SST, da ordem de 70%, visto que apenas partículas com menores velocidades de sedimentação, ou seja, inferior a 5,12 m/h, permaneceram em suspensão. Para este período de tempo, obteve-se uma remoção global 77,05%. O ensaio em coluna de sedimentação permite avaliar as características de sedimentação de um efluente, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de projetos de decantadores para estações de tratamento de efluentes, além de permitir uma boa representação de condições operacionais cotidianas em processos de separação sólido-líquido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 12.209 – Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, Brasil, 2008.
2. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos, 5ª ed., ABES, Rio de Janeiro, 2009.
3. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4ª Ed. Paperback, 2003. 1.819 p.
4. RICHTER, C. A. Água: Métodos e tecnologia de tratamento. Editora Blucher, 2009, SP.
5. VERÓL, A. P.; PAIXÃO, M. C. T.; VOLSCHAN JR, I.; JORDÃO, E. P. Procedimentos Analíticos e Resultados no Monitoramento do Tratamento de Esgotos. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande-MS, 2005.
6. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 2. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2003. 211.