

Dimensionamento de decantadores secundários de sistemas de lodos ativados: uma abordagem computacional

SIDNEY SECKLER FERREIRA FILHO

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo — USP.

O dimensionamento adequado dos decantadores secundários de sistemas de lodos ativados é de grande importância no comportamento do conjunto tanque de aeração-decantadores secundários. No entanto, a utilização de métodos gráficos para a obtenção de parâmetros para fins de dimensionamento, além de trabalhosos, demandam um tempo considerável para a sua execução. Apresenta-se uma metodologia que permite, utilizando a teoria do fluxo de sólidos limitante, o uso de recursos computacionais que fornece para diversas condições de projeto, parâmetros que permitem a realização de uma análise econômica entre o par ideal tanque de aeração-decantadores secundários de tal forma que seja possível a minimização do custo total do conjunto. O programa em linguagem Basic encontra-se à disposição dos leitores bastando solicitá-lo ao autor.

O desempenho dos decantadores secundários no processo de lodos ativados é de fundamental importância na performance do sistema de tratamento biológico (tanque de aeração), como também na produção de um efluente com uma menor concentração de sólidos suspensos possível.

As duas maiores funções do decantador secundário são:

■ Clarificação, que consiste na produção de um efluente com baixo teor de sólidos em suspensão.

■ Adensamento, cujo objetivo é proporcionar um retorno de lodo biológico ao tanque de aeração numa concentração tal que permita manter constante o teor de sólidos biológicos ativos em seu interior.

O dimensionamento do decantador secundário não pode ser efetuado como uma unidade isolada, uma vez que seu comportamento e custo estão diretamente relacionados com as dimensões do tanque de aeração. Desta forma, o conjunto tanque de aeração-decantadores secundários deve ser dimensionado em conjunto para que seja possível minimizar o seu custo final (Dick, 1970).

Os principais problemas operacionais relacionados com o desempenho do sistema de decantação são a perda de sólidos suspensos no efluente, produção de um lodo biológico numa concentração inferior à desejada (má capacidade de adensamento) e a presença de sólidos suspensos no sobrenadante como resultado da desnitrificação do lodo (Stukenberg et al, 1983).

A grande maioria destes problemas pode ser solucionável uma vez que o conjunto tanque de aeração-decantador secundário seja dimensionado de tal forma a permitir uma certa flexibilidade operacional do sistema.

Um balanço de massa efetuado ao longo do tanque de aeração, supondo que o mesmo se comporte como mistura completa e decantador secundário (Figura 1) para o substrato e microorganismos biologicamente ativos, fornece as seguintes expressões (Lawrence et al, 1970):

$$X = \frac{\theta c \cdot Y \cdot (S_0 - S)}{\theta \cdot (1 + K_d \cdot \theta c)} \quad (1)$$

onde:

X = concentração de sólidos biológicos ativos no tanque de aeração expresso como sólidos suspensos voláteis (SSVTA) (mg/l).

θc = idade do lodo (dias).

θ = tempo de detenção hidráulico (dias).

Y = coeficiente de síntese celular.

S₀ = concentração de substrato afluente ao tanque de aeração podendo ser expresso em termos de DBO ou DQO (mg/l).

S = concentração de substrato solúvel efluente (mg/l).

K_D = coeficiente de respiração endógena (dia⁻¹).

O valor de S, para reatores de mistura completa, é função apenas da idade do lodo e coeficientes cinéticos de crescimento biológico aeróbio.

$$S = \frac{K_s \cdot (1 + K_D \cdot \theta c)}{\theta c \cdot (Y \cdot K - K_D) - 1} \quad (2)$$

onde:

K = constante de máxima utilização de substrato (mg/l).

K_s = constante de meia saturação para a utilização de substrato (mg/l).

Em sistemas convencionais de lodos ativados para tratamento de efluentes predominantemente domésticos a idade do lodo geralmente situa-se entre 6 e 10 dias.

Uma análise da Equação 1 permite concluir que quanto menor o tempo de detenção hidráulico, para uma mesma idade do lodo, maior a concentração de sólidos biológicos ativos.

Portanto, para uma dada vazão de projeto e um determinado efluente, quanto maior o tanque de aeração, menor a área requerida para os decantadores.

Os métodos convencionais para o dimensionamento de decantadores secundários são a taxa de escoamento superficial, tempo de detenção hidráulico e carga de sólidos aplicada entre outros (Wilson et al, 1982).

No entanto, a pura e simples adoção de parâmetros de natureza empírica não fornece subsídios para um dimensionamento confiável do conjunto tanque de aeração-decantadores secundários, uma vez que as características de sedimentação do lodo biológico produzido podem variar significativamente para diferentes condições operacionais do sistema de lodos ativados, comprometendo assim o desempenho do reator biológico e do sistema de clarificação-adensamento.

Uma alternativa para a não utilização de parâmetros empíricos na determinação das características de decantadores secundários (área) é a determinação do fluxo de sólidos que pode ser aplicado ao mesmo sem comprometer suas principais funções de clarificação e adensamento (Dick et al, 1972).

O fluxo total de sólidos numa dada secção de um decantador em regime de contínua alimentação com reciclo de sólidos é composto por dois componentes (Figura2):

$$F_{ST} = F_{SG} + F_{SR} \quad (3)$$

onde:

F_{ST} = fluxo de sólidos total numa dada secção ($ML^{-2}T^{-1}$),
 F_{SG} = fluxo de sólidos devido a ação da gravidade ($ML^{-2}T^{-1}$),
 F_{SR} = fluxo de sólidos devido ao retorno de lodo ($ML^{-2}T^{-1}$).

O fluxo de sólidos devido a ação da gravidade pode ser escrito como:

$$F_{SG} = X_i \cdot V_i \quad (4)$$

onde:

X_i = concentração de sólidos suspensos numa dada secção do decantador (SST) (ML^{-3}),
 V_i = velocidade de sedimentação do lodo devido a ação da gravidade (LT^{-1}).

Por sua vez, o fluxo de sólidos devido ao retorno de lodo é dado por:

$$F_{SR} = X_i \cdot U \quad (5)$$

onde:

U = velocidade descensional do lodo biológico devido à vazão de retorno do lodo (LT^{-1}).

$$U = \frac{QR}{A} \quad (6)$$

onde:

A = área do decantador (L^2),
 QR = vazão de retorno do lodo (L^3T^{-1}).

Somando-se as Equações 4 e 5 tem-se que:

$$F_{ST} = X_i \cdot V_i + X_i \cdot U \quad (7)$$

A aplicação da Equação 7 para fins de dimensionamento é viável caso seja possível estabelecer uma relação entre X_i e V_i .

Para sólidos biológicos, algumas expressões matemáticas foram propostas para relacionar o valor de V_i para diversas concentrações de sólidos suspensos. Entre elas pode-se citar (Riddell et al, 1983):

$$V_i = a \cdot (X_i)^{-M} \quad (8)$$

$$V_i = b \cdot e^{-(N \cdot X_i)} \quad (9)$$

a, b, M, N = constantes, características do lodo biológico.

Para sistemas de lodos ativados convencionais tratando efluentes tipicamente domésticos, Wilson (1991) recomenda a seguinte expressão para o cálculo da velocidade de sedimentação em função da concentração de sólidos em suspensão.

$$V_i = 11.47 \cdot e^{-X_i \cdot (600 \cdot 10^{-6})} \quad (10)$$

onde:

V_i = velocidade de sedimentação (cm/min),
 X_i = concentração de sólidos em suspensão (mg/l).

Catunda et al (1989), realizando testes de sedimentabilidade de lodo ativado, concluiu que a Equação 9 proposta por Veslind foi capaz de relacionar de modo satisfatório a velocidade de sedimentação em zona do lodo como função da concentração de sólidos suspensos.

Dick et al (1972), estudando as condições de sedimentabilidade do lodo biológico de sistemas de lodos ativados operados com oxigênio puro, encontrou uma melhor aderência entre o valor de V_i e X_i através da Equação 8.

A obtenção da velocidade de sedimentação para uma dada concentração de sólidos suspensos é bem descrita em inúmeros livros e artigos técnicos (Metcalf & Eddy, 1979; Wilson, 1983; Veslind, 1990; MOP-8 WPCF, 1985), razão pela qual não será abordada neste trabalho. Recomenda-se, no entanto, a leitura das publicações citadas para que eventuais dúvidas sejam esclarecidas.

Uma vez conhecido o valor de V_i para um dado X_i , é possível a construção de um gráfico entre o fluxo total de sólidos no decantador versus a concentração de sólidos suspensos para um dado valor de U (Figura 3).

Se a concentração de sólidos afluente ao decantador (X) for maior que X_m , em alguma secção do decantador existirá uma concentração de sólidos (X_L) tal que para este valor estará associado uma concentração de sólidos limitante (F_{SL}), sendo que para esta concentração a sua capacidade de transmissão de sólidos é menor que as demais. Logo, para que não haja perda de sólidos suspensos no efluente final, o máximo fluxo de sólidos suspensos aplicado ao decantador deverá ser F_{SL} .

$$F_{SL} = \frac{(Q + QR) \cdot X}{A} \quad (11)$$

Assumindo que a retirada de sólidos biológicos seja feita diretamente do tanque de aeração:

$$\alpha = \frac{Q_R}{Q} \quad (12)$$

onde:

α = taxa de reciclo.

Substituindo a Equação 12 na Equação 11, tem-se que:

$$A = \frac{Q \cdot (1 + \alpha) \cdot X}{FSL} \quad (13)$$

Para que seja mantido constante o valor da concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração, tem-se que:

$$\alpha = \frac{X}{(X_R - X)} \quad (14)$$

onde:

X_R = concentração de sólidos suspensos no retorno de lodo (ML^{-3}).

Quanto maior a concentração de sólidos suspensos no retorno de lodo, menor a taxa de reciclo e vice-versa.

Substituindo as Equações 14, 12 e 6 na Equação 11, tem-se que:

$$FSL = X_R \cdot U \quad (15)$$

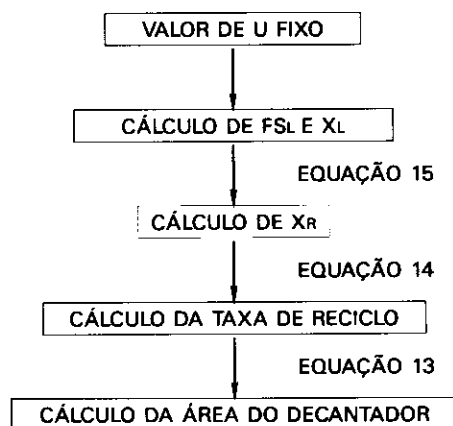
Para fins de dimensionamento, uma vez conhecida a vazão de projeto (Q), a concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração (X) e fixado um valor para U , é possível a determinação da área do decantador (A), a concentração de sólidos no retorno (X_R) e a taxa de reciclo (α).

Com a utilização da Equação 1, o valor da vazão de projeto (Q) e da concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração calcula-se o seu volume total.

Desta forma, é possível efetuar uma análise econômica variando o valor de sólidos suspensos no tanque de aeração, procurando assim minimizar o custo do conjunto tanque de aeração-decantadores secundários.

Para se evitar a utilização do método gráfico descrito por Yoshioka et al (1957), é proposta uma metodologia que permite a utilização de recursos computacionais garantindo flexibilidade e rapidez na obtenção de resultados.

FLUXOGRAMA



O valor de FSL e X_L é calculado sendo conhecido o fluxo de sólidos totais para valores de sólidos suspensos (Equação 7).

Uma vez conhecida a curva FST versus X , calcula-se o seu ponto de mínimo, o que permite a obtenção do valor de FSL e X_L .

Com os recursos computacionais existentes, o cálculo da referida curva e a procura do seu ponto de mínimo é extremamente rápido, evitando assim a utilização de métodos gráficos, muitas vezes sujeito a erros e que demandam tempo para a sua elaboração.

O usuário deve fornecer os seguintes dados:

- Vazão de projeto (m^3/s)
- Idade do lodo ($dias^{-1}$)
- DBO da vazão afluyente ao tanque de aeração (mg/l)
- Coeficiente de síntese celular
- Coeficiente de respiração endógena (dia^{-1})
- Coeficiente de máxima utilização de substrato (mg/l)
- Coeficiente de meia saturação (mg/l)

O programa permite ao usuário definir a relação entre a velocidade de sedimentação em zona e a concentração de sólidos. Sendo assim, devem também ser fornecidas as constantes a e m (Equação 8) ou b e n (Equação 9).

APLICAÇÃO

Para o dimensionamento de uma estação de lodos ativados, são conhecidos os seguintes dados:

- Vazão de projeto = $1.5 m^3/s$
- DBO afluyente = $250.0 mg/l$
- Idade do lodo = 10 dias
- Coeficiente de síntese celular = 0.5
- Coeficiente de máxima utilização de substrato = $5.0 mg/l$
- Coeficiente de respiração endógena = $0.06 dia^{-1}$
- Coeficiente de meia-saturação = $50.0 mg/l$
- Relação entre o valor de SSV e SST = 0.8

A análise volume do tanque de aeração-área dos decantadores secundários será efetuada para valores de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração entre $2000 mg/l$ a $4000 mg/l$.

A relação entre a velocidade de sedimentação e a concentração de sólidos suspensos totais é estimada como sendo igual a:

$$V_i = 2,775 \cdot 10^8 \cdot (X_i)^{-2.356} \quad (16)$$

onde:

V_i = velocidade de sedimentação em cm/min ,

X_i = concentração de sólidos suspensos em mg/l .

Os dados utilizados para a execução deste exemplo são hipotéticos não representando nenhum caso real.

RESULTADOS

Para valores de SSVTA de $2000 mg/l$, $3000 mg/l$ e $4000 mg/l$ foram determinados, para cada valor de concentração de sólidos no retorno de lodo, o valor da taxa de reciclo e área dos decantadores (Figuras 4, 5, 6) e o volume do tanque de aeração (Figura 7) em função do seu teor de sólidos suspensos voláteis.

De posse destes dados é possível a execução de uma análise econômica que contemple o menor custo do conjunto tanque de aeração-

decantadores e demais acessórios (sistema de aeração, bombas de lodo, custo de energia elétrica etc.).

Foi assumida uma idade do lodo de 10 dias para a execução deste exemplo. No entanto, o usuário pode fazer a análise para diversos valores de θ_c , podendo definir as dimensões ideais do conjunto tanque de aeração-decantadores secundários para que este forneça flexibilidade para fins operacionais.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O dimensionamento de sistemas de lodos ativados não pode ser efetuado considerando os seus principais componentes como sistemas isolados e, sim, determinando qual o conjunto que irá proporcionar o menor custo.

A sedimentabilidade do lodo biológico é função das condições operacionais do sistema, tais como a idade do lodo, relação alimento microorganismo, teor de oxigênio dissolvido e tipo de sistema de aeração no reator biológico como também de suas características hidráulicas (Parker et al 1983).

Pelo fato de inúmeras variáveis influenciarem as características de sedimentabilidade do lodo biológico, é de grande importância a obtenção de parâmetros de projeto e operação através de sistemas piloto.

A adoção de parâmetros de projeto através de dados provenientes de literatura, dependendo das características do despejo, não é recomendável devido às diferentes composições do substrato e conseqüentemente o tipo de lodo biológico formado.

A rapidez na obtenção de parâmetros para fins de projeto, muitas vezes de forma inadequada, pode comprometer de modo significativo a operação do sistema caso não seja revista uma certa flexibilidade do conjunto tanque de aeração-decantadores secundários para que seja possível a produção de um efluente dentro de condições mínimas pré-definidas.

Instalações piloto não apenas fornecem condições para a obtenção de parâmetros de projeto como também possibilitam uma operação adequada do sistema real, permitindo a variação dos seus principais parâmetros na escala piloto, garantindo uma segurança adicional na operação sistema real.

A obtenção da velocidade de sedimentação do lodo em função da concentração de sólidos deve ser efetuada para diferentes idades do lodo, uma vez que a sua sedimentabilidade é função do tipo de microorganismos predominantes, sendo estes dependentes do tipo de substrato.

É recomendável que cuidados especiais sejam tomados para se evitar a presença de sólidos suspensos no sobrenadante dos decantadores devido à desnitrificação do lodo. Operando sistemas de lodos ativados em escala piloto, Além (1983) verificou que em sistemas operando com idades do lodo superiores a 5 dias, a nitrificação era quase que total, viabilizando o processo de desnitrificação nos decantadores para períodos de detenção hidráulico elevados.

Sistemas pilotos, embora sejam de grande utilidade, também não devem ser vistos como elementos únicos para fins de projeto e operação, pois de forma alguma um sistema piloto conseguirá representar na prática o comportamento do sistema real. A experiência e resultados de sistemas análogos em operação também são de grande importância.

A formação de grupos técnicos e comissões para a obtenção e compilação de dados relativos à experiência brasileira na operação de sistemas de lodos ativados é sugerida para que seja possível a sua divulgação no meio técnico.

Evita-se desta forma que dados de literatura estrangeira sejam utilizados sem o mínimo de bom-senso e contrariando as peculiaridades e condições locais.

Referências Bibliográficas

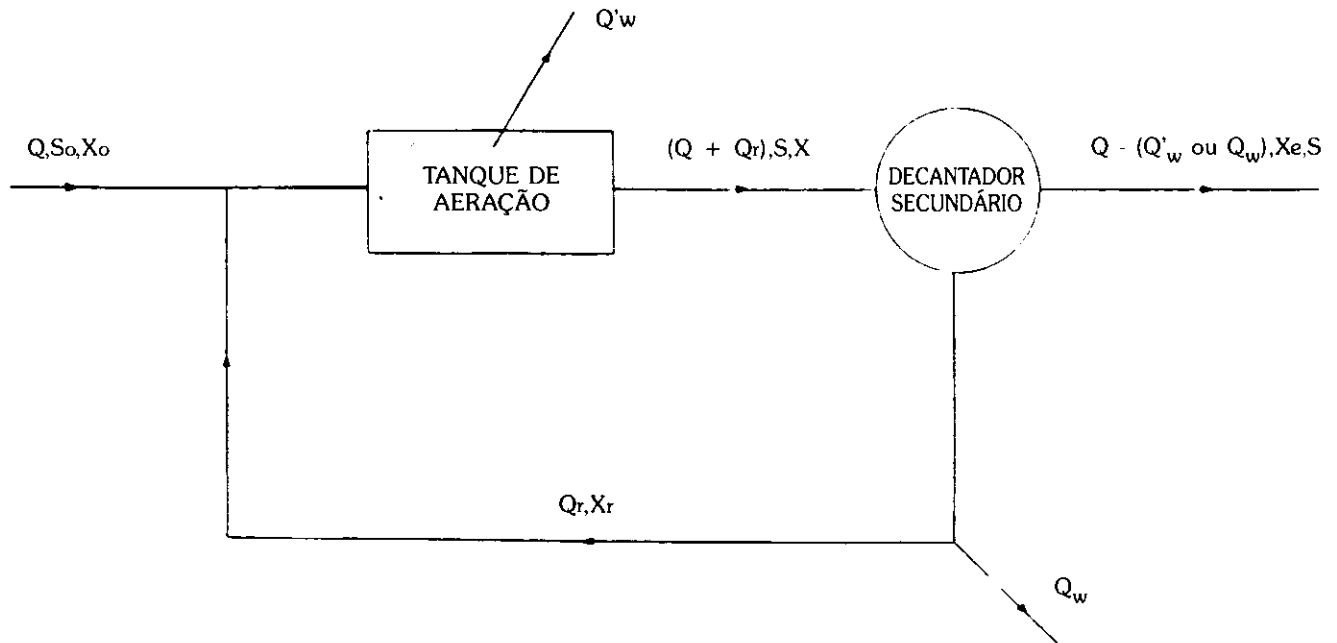
- 1 — Além, P.S. "Estudo dos Fatores que Influem no Desempenho do Processo de Lodos Ativados — Determinação de Parâmetros de Projeto para Esgotos Predominantemente Domésticos" **Revista DAE**, março 1983, pág. 49-85.
- 2 — Catunda, P.F.C; Van Haandel. A.C; Araújo, L.S; Vilar, A. "Determinação da Sedimentabilidade de Lodo Ativado" **revista BIO**, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, n° 2, 1989, pág. 47-51.
- 3 — Dick, R. "Role of Activated Sludge Final Settling Tanks", **Journal of the Sanitary Engineering Division**, April 1970, pag. 423-436.
- 4 — Dick, R; Young, K.W. "Analyses of Thickening Performance of Final Settling Tanks" Proc. 27th Ind. Waste Conference, Purdue University 1972, pág. 33-51.
- 5 — Lawrence, A.W. McCarty, P.L. "Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation" **Journal of the Sanitary Engineering Division**, June 1970, pág. 757-778.
- 6 — **Manual of Practice FD-8**, "Clarifier Design", Water Pollution Control Federation 1985.
- 7 — Metcalf & Eddy, "**Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**", McGraw-Hill, New York 1979.
- 8 — Parker, D.S. "Assessment of Secondary Clarification Design Concepts", **Journal Research Water Pollution Control Federation**, April 1983, pág. 349-359.
- 9 — Riddel, M.D.R; Lee. J.S; Wilson, T.E. "Method for Estimating the Capacity of an Activated Sludge Plant", **Journal Research Water Pollution Control Federation**, April 1983, pág. 360-368.
- 10 — Stukenberg, J.R.; Roadman, L.C; Teuslee, J.E. "Activated Sludge Clarifier Design Improvements", **Journal Research Water Pollution Control Federation**, April 1983, pág. 341-348.
- 11 — Vesilind, P.A; Jones, G.N. "A Reexamination of the Batch-Thickening Curve", **Journal Research Water Pollution Control Federation**, Nov/Dec 1990, pág. 887-893.
- 12 — Wilson, T.E. "Application of ISV Test to the Operation of Activated Sludge Plants", **Water Research**, n° 6, 1983, pág. 707-714.
- 13 — Wilson, T.E. "Rectangular Clarifiers should be Considered", **Water Engineering and Management**, April 1991, pág. 20-22.
- 14 — Wilson, T.E; Lee, J.S. "Comparison of Final Clarifier Design Techniques", **Journal Research Water Pollution Control Federation**, October 1982, pág. 1376-1381.

AGRADECIMENTOS

A todos os colegas do Laboratório de Saneamento e Centro Tecnológico de Hidráulica que, de uma forma ou de outra, ainda que indiretamente, participaram na execução deste trabalho.

Sidney Seckler Ferreira Filho
Prédio de Engenharia Civil
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária
Av. Prof. Almeida Prado s/n Travessa 2
Cidade Universitária
Cep 05508 São Paulo — Capital

FIGURA 1



Q_w, Q'_w = Retirada de Sólidos Biológicos do sistema
 X_e = Sólidos em suspensão no efluente final
 X_0 = Sólidos Biológicos Ativos presentes na vazão afluenta ($X \approx 0$).

FIGURA 2

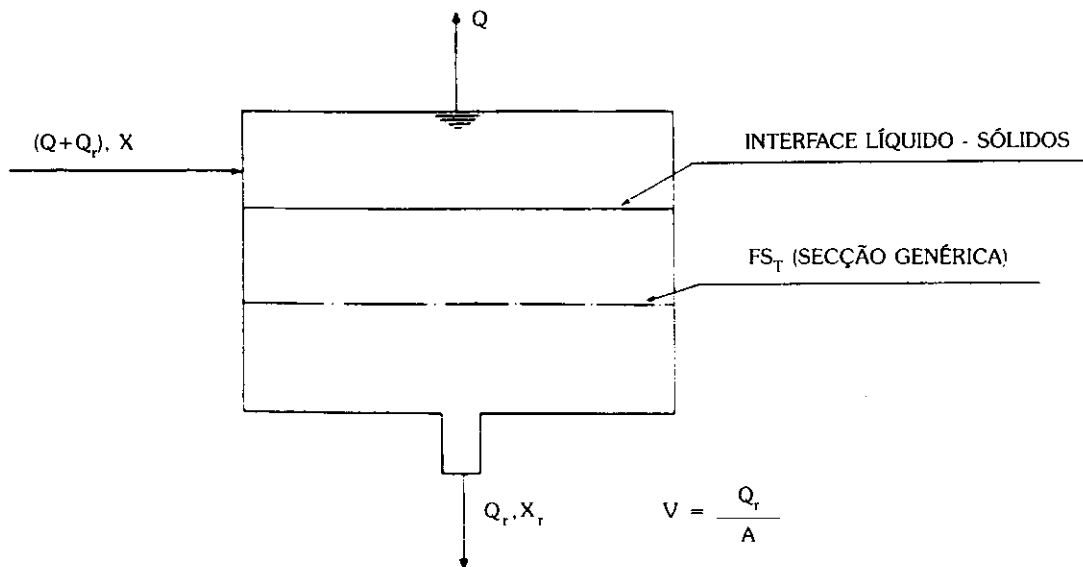


FIGURA 3

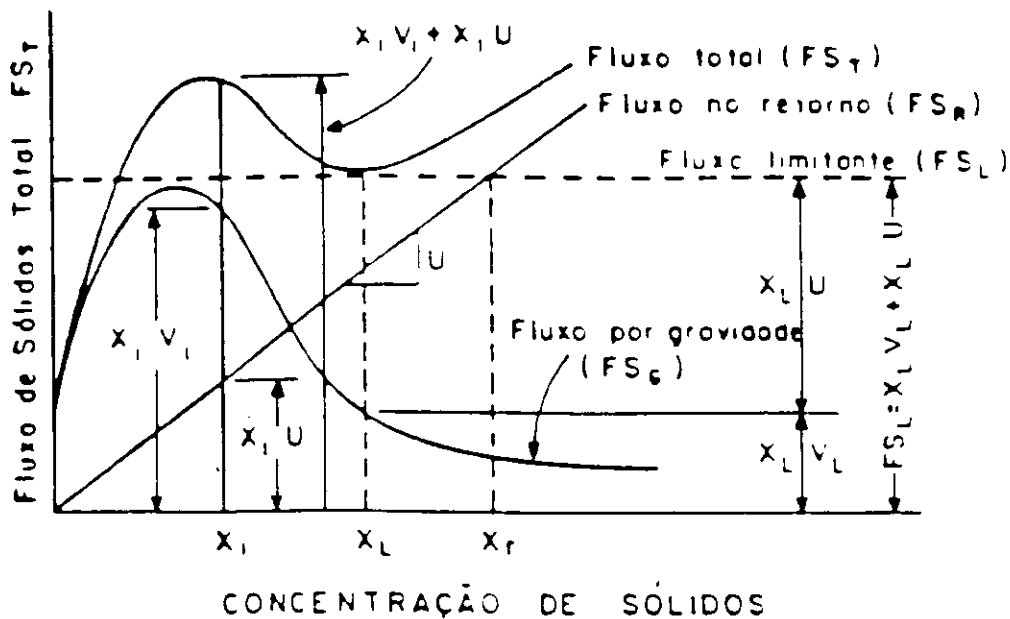


FIGURA 4

Sólidos Suspensos Voláteis no Tanque de Aeração = 2000 mg/l

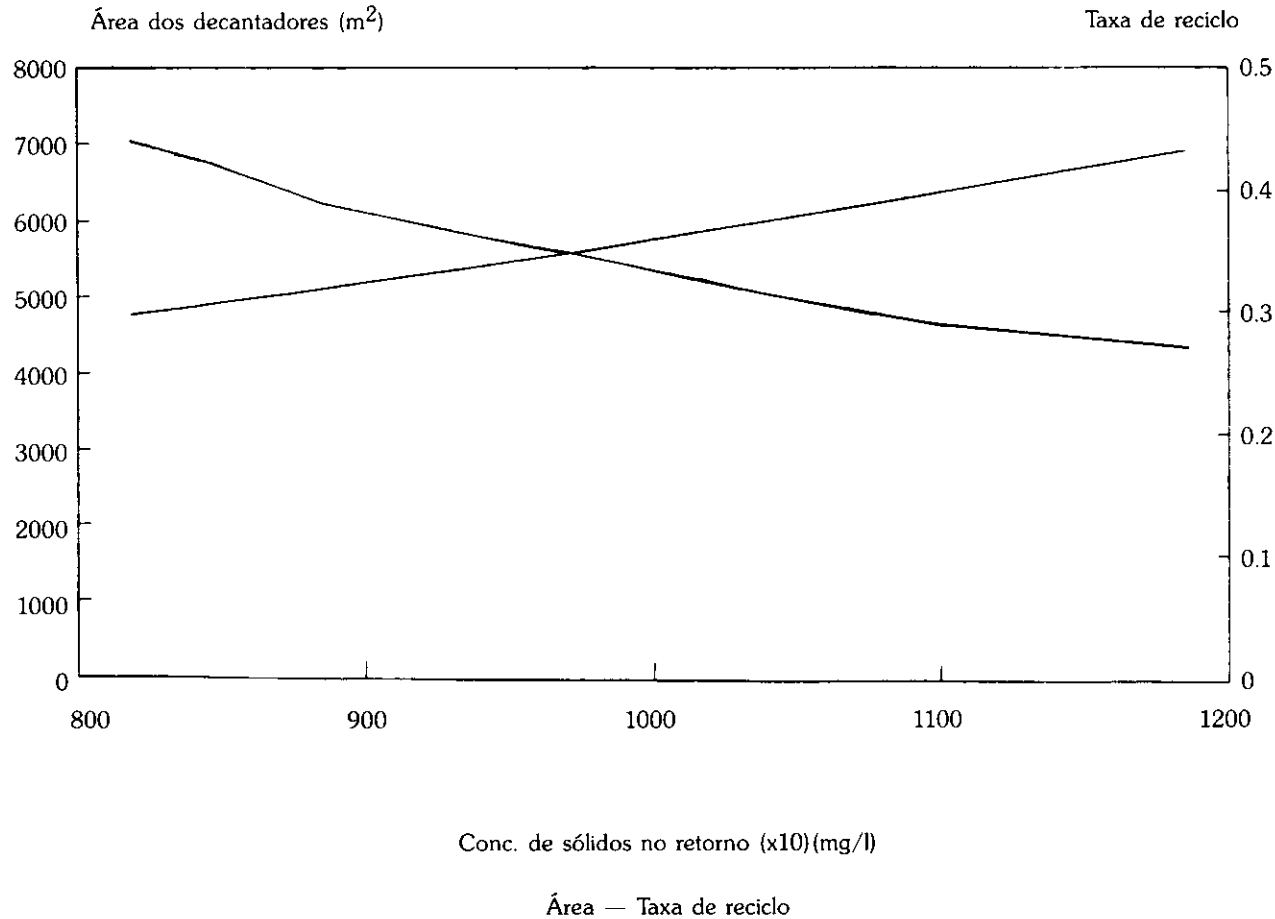


FIGURA 5

Sólidos Suspensos Voláteis no Tanque de Aeração = 3.000 mg/l

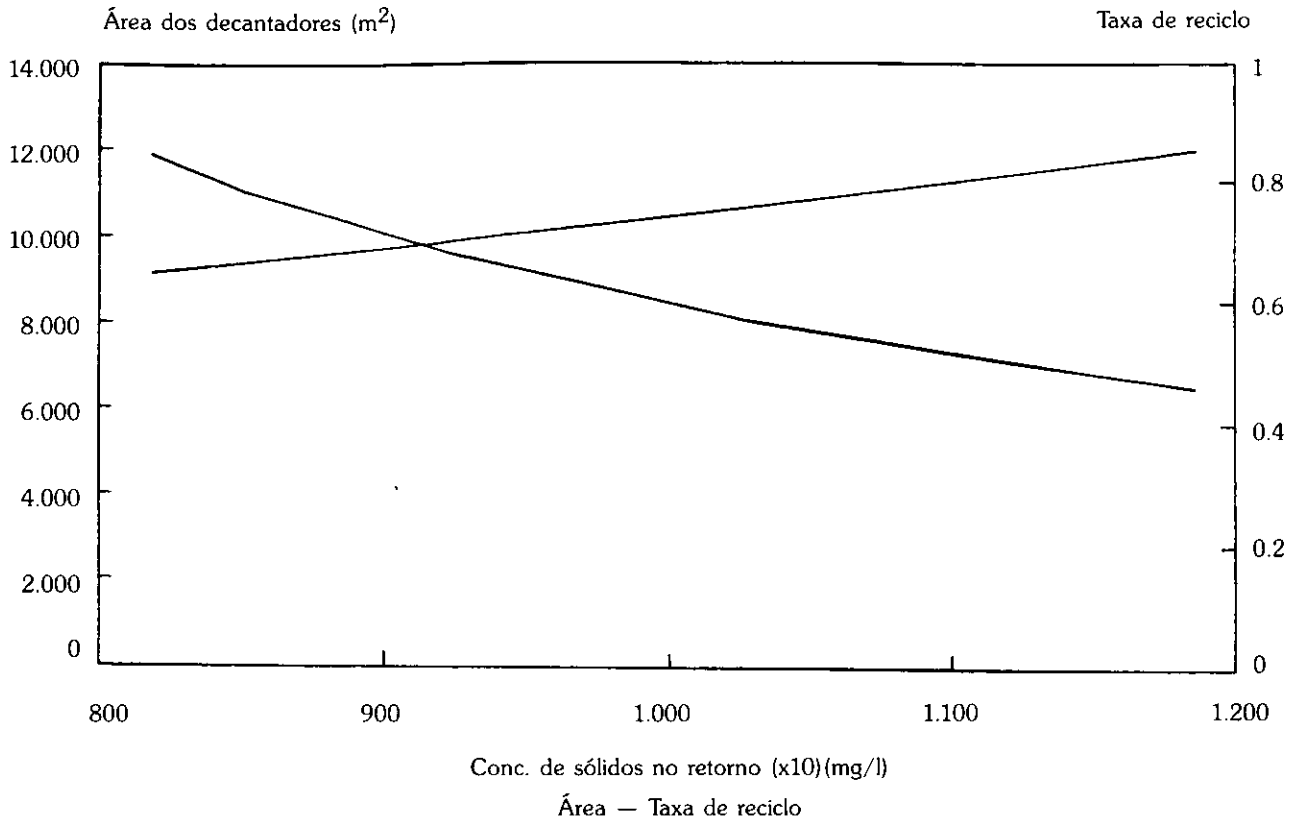


FIGURA 6

Sólidos Suspensos Voláteis no Tanque de Aeração = 4.000 mg/l

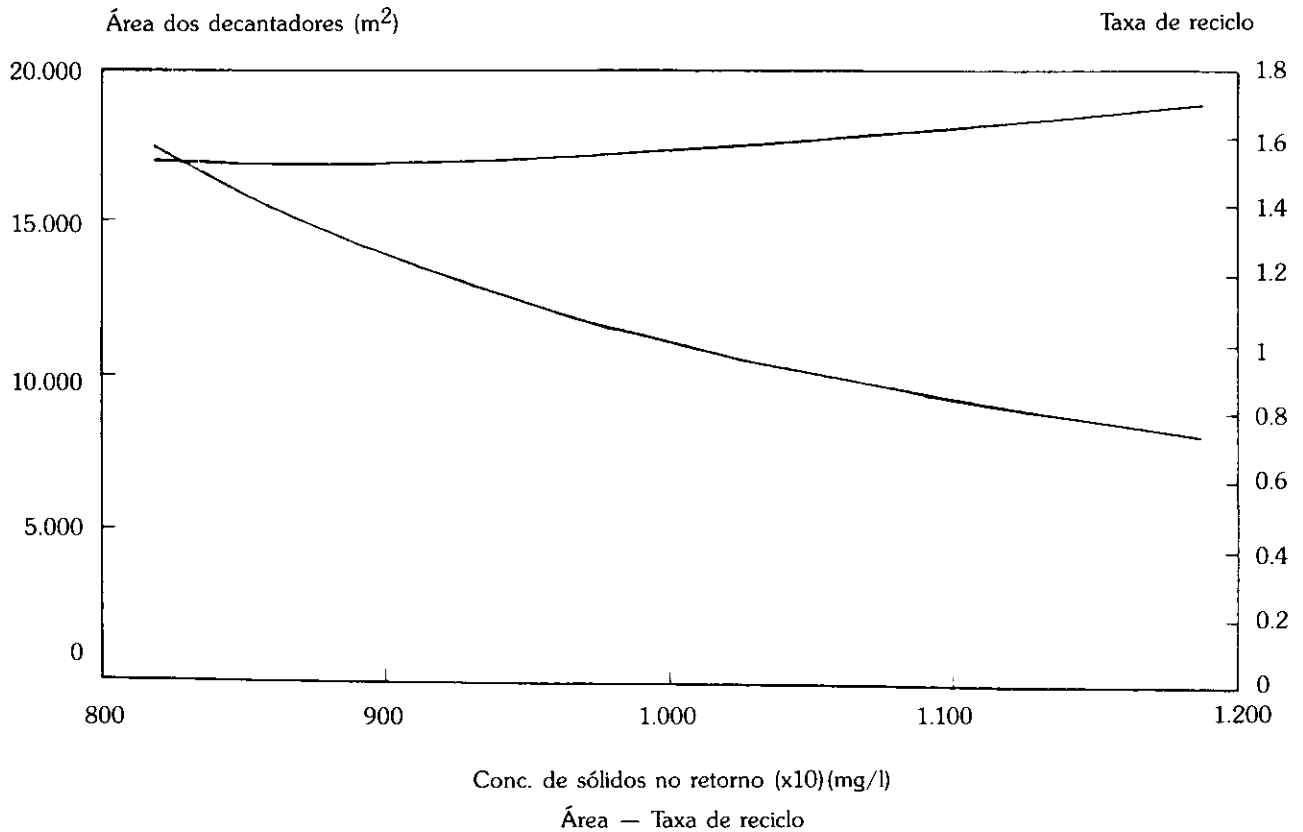


FIGURA 7

