

Uso de telas em estações de tratamento

Eng. Carlos Alfredo Richter (1)

1 Introdução

O uso de telas tem sido geralmente restrito à função de filtração grossa na remoção de corpos flutuantes, ou em suspensão de dimensões relativamente grandes em tomadas de água e na entrada de estações de tratamento de esgotos. Com tal finalidade, geralmente são empregadas malhas com aberturas que variam entre 2 e 20 mm de arame de aço galvanizado, aço inoxidável, ou de fios de náilon.

Uma aplicação particularmente interessante foi usada pela primeira vez em 1960, pelo eng. Thomas M. Riddick (1), na floculação da água. Ele projetou um floculador mecânico, no qual as paletas foram substituídas por uma tela de arame com uma espaçamento da malha de aproximadamente 5 cm. Sua idéia era aumentar a taxa de colisões entre flocos e entre colóides e flocos através de um aumento extraordinário na superfície de cisalhamento. Este tipo de aparelho gera uma distribuição de gradientes de velocidade mais uniforme e de maior intensidade na massa líquida, possibilitando uma redução substancial no tempo de floculação.

Entretanto, por falta de métodos e critérios simples e bem definidos de dimensionamento, este eficiente dispositivo de floculação foi esquecido por quase duas décadas, não tendo sido utilizado em outros projetos a não ser os do próprio Riddick, e, recentemente, em 1979, pela Sanepar, no projeto de ampliação da estação de tratamento do rio Iguaçu, em Curitiba (2).

A passagem da água por uma tela pode ocorrer a número de Reynolds bastante baixos, portanto, em condições incipientes de regime laminar. Em consequência, se for colocada uma tela em um canal a um ângulo qualquer, obliquamente à direção do fluxo a corrente líquida tenderá a se defletir em uma direção perpendicular à superfície da tela, propriedade que poderá ter uma série de aplicações nas estações de tratamento, como, por exemplo, na entrada de tanques de decantação etc.

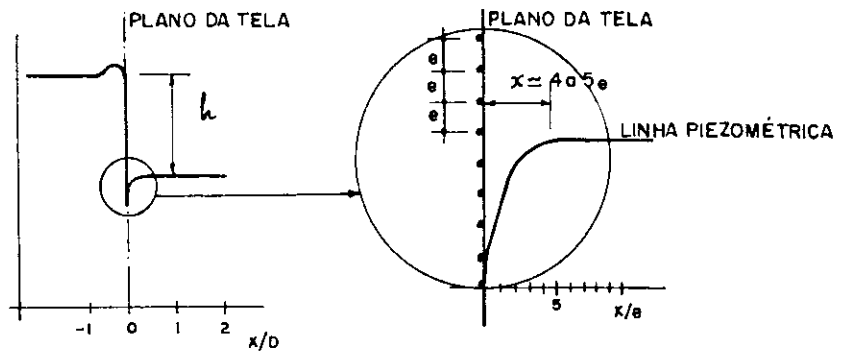


Figura 1 — Perda de carga nas telas

Para isso é necessário que se desenvolva um método de cálculo dos gradientes de velocidade nas telas, sem o que não se teria como avaliar a influência de tais dispositivos na formação e/ou na conservação dos flocos. Este é o objetivo deste trabalho, do qual se espera uma real contribuição para a otimização de estações de tratamento, eventualmente com problemas nos sistemas de floculação e/ou decantação, e na realização de projetos mais eficientes e econômicos.

2 Hidráulica do fluxo através das telas

2.1 Parâmetros Geométricos

Em uma tela de malha quadrada, a porosidade é calculada por

$$\epsilon = (1 - nd)^2 \quad (I)$$

onde n é o número de fios de diâmetro d por unidade de comprimento da tela.

2.2 Perda de Carga

A fig. 1. representa o comportamento da linha piezométrica em um canal ou canalização onde se interpôs uma tela perpendicularmente às linhas de fluxo. Há uma perda de carga súbita no plano da tela, indicando uma resistência ao fluxo bem mais elevada que a devida às paredes do canal (perda de carga contínua).

A perda de carga através da tela é dada por

$$h = K \frac{V^2}{2g} \quad (II)$$

onde V é a velocidade média de aproximação no canal e k é o coeficiente de perda de carga, cujo valor é função das características geométricas da tela e do número de Reynolds referido ao diâmetro da malha

$$(Re)_d = \frac{Vd}{\nu} \quad (III)$$

A figura 2 representa configurações típicas da variação do coeficiente K

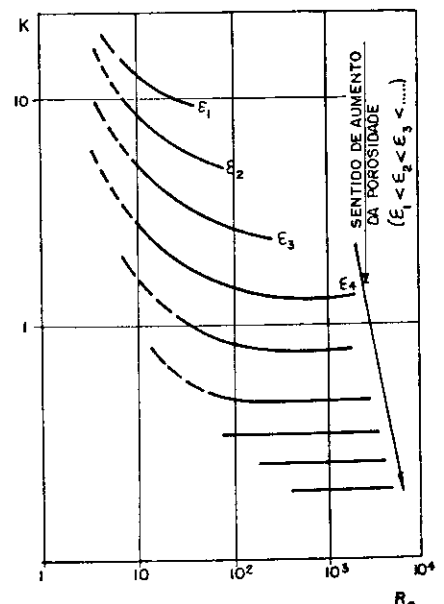


Figura 2 — Variação de K com Re

(1) Gerência de Desenvolvimento Operacional — SANEPAR

em função do número de Reynolds em telas de diferentes porosidades.

Verifica-se que, para valores elevados da porosidade e para números de Reynolds (Re), superiores a 500, o coeficiente de perda de carga pode ser calculado pela expressão:

$$K = 0,55 \frac{1 - \epsilon^2}{\epsilon^2} \quad (IV)$$

2.3 Gradiente de Velocidade nas Telas

A equação de Camp e Stein,

$$G = \sqrt{\frac{p}{\mu}} \quad (V)$$

deduzida para condições de fluxo laminar e que expressa a relação entre o gradiente de velocidade G e a energia dissipada por unidade de volume p, é ainda a ferramenta mais útil no cálculo dos floculadores e dos sistemas de veiculação de água floculada, apesar de que o autor (4) e Arboleda (5) demonstraram que o parâmetro G, como definido acima, perde muito de seu sentido físico para os floculadores reais, que, via de regra, têm um fluxo turbulento.

Contudo, a experiência adquirida desde há muitos anos na operação de centenas de estações de tratamento de água existentes, permite, na prática, manejar o parâmetro gradiente de velocidade, com suficiente segurança, na obtenção de um resultado desejado.

Em vista disso, a partir da equação (V), será aqui deduzida uma fórmula para o cálculo dos gradientes de velocidade nas telas, visando à obtenção de valores na mesma escala já consagrada na prática.

A equação (V) pode ser escrita

$$G = \sqrt{\frac{\gamma Qh}{\mu Vol.}} \quad (VI)$$

onde

γ = peso específico da água
Q = vazão

h = perda de carga na passagem através da tela

Vol = volume de líquido onde é dissipada a energia hidráulica.

Pode-se admitir, de um modo simplificado, que a energia hidráulica necessária a vencer a passagem da água pela tela é quase integralmente dissipada entre o plano da tela e uma distância a jusante aproximadamente igual a quatro ou cinco vezes o espa-

çamento "e" entre os fios, distância essa correspondente à recuperação da linha de energia. Assim, o volume de líquido onde é dissipada a energia hidráulica seria de aproximadamente

$$Vol = 4 A.e \quad (VII)$$

sendo A a área da secção transversal do canal ou canalização onde é colocada a tela.

Substituindo (VII) em (VI) e, sendo

$$Q = A.V \text{ e } h = K \frac{V^2}{2g},$$

resulta

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{8g\mu} \cdot \frac{K}{e}} \cdot V^{1,5} \quad (VIII)$$

ou

$$G = \sqrt{\frac{1}{8v} \cdot \frac{K}{e}} \cdot V^{1,5} \quad (IX)$$

A temperatura de 20°C, será

$$G = 350 \sqrt{\frac{K}{e}} V^{1,5} \quad (X)$$

nas unidades do sistema técnico.

3 Emprego das telas como dispositivos de floculação

3.1 Trabalhos Prévios

Riddick, quando propôs pela primeira vez o uso de telas em equipamentos de floculação, pretendeu aumentar a taxa de colisões entre flocos e partículas, através de um aumento considerável das superfícies de cisalha-

mento hidrodinâmico, acelerando, assim, o processo de floculação. É evidente que, com isso, pode-se reduzir consideravelmente o tempo de residência necessário à floculação, como atestam experiências preliminares realizadas recentemente na Colômbia por Arboleda e Snel (5).

O floculador de Riddick consistia de quatro câmaras em série, como mostra a figura 3, dotadas de agitadores rotativos do eixo horizontal. Riddick encontrou que as velocidades tangenciais ótimas eram de 24, 18, 12 e 6 cm/s, bem menores que a maioria dos equipamentos convencionais. Este floculador aparenta ter sido construído com arames de 1/4" (0,6 cm) formando malhas de 2" (5 cm).

Calculando os gradientes de velocidade pela fórmula X, em função destes elementos geométricos e tomando para a velocidade efetiva a resultante do vetor velocidade tangencial ao longo de um dos braços do floculador, chega-se aos seguintes valores aproximados que, supostamente, teriam sido aplicados ao floculador de Riddick:

1.ª câmara	G — 100 s ⁻¹
2.ª câmara	G — 100 s ⁻¹
3.ª câmara	G — 40 s ⁻¹
4.ª câmara	G — 15 s ⁻¹

Visando obter informações preliminares sobre a floculação em tela, Arboleda e Snel (5) realizaram experiências intercalando telas nos canais de um floculador de chicanas, tendo demonstrado claramente que ocorre a floculação na esteira turbulenta das malhas, e que esta floculação depende essencialmente das características geome-

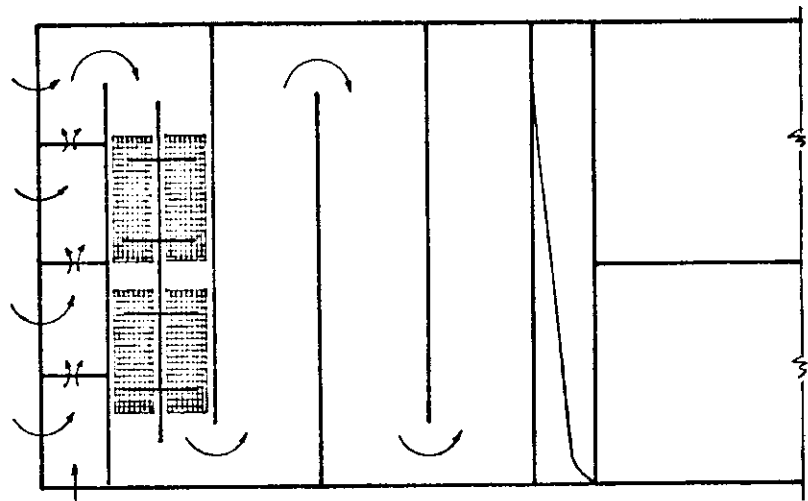


Figura 3 — Floculador de T. Riddick

tricas da tela e da velocidade do fluxo. Verificaram, além disso, que:

- a) malhas pequenas ($e = 1 \text{ mm}$) tendem a romper o floco muito rapidamente;
- b) a velocidade ótima de floculação parece estar entre 2 e 5 cm/s;
- c) o tempo de residência necessário para a floculação parece reduzir-se apreciavelmente com uma boa geometria de malhas ($e = 1 \text{ a } 2 \text{ cm}$).

Os resultados dessas experiências podem, também, ser explicados pela fórmula (X). Uma tela de 1 mm de malha com fios de 0,2 mm de diâmetro, por exemplo, vai produzir um gradiente de velocidade superior a 300 s^{-1} a uma velocidade de 10 cm/s, o que explica a ruptura dos flocos em malhas desta ordem de grandeza. Por outro lado, em uma tela de 1 cm de malha, com fios de 1,5 mm, o gradiente será da ordem de 30 s^{-1} à velocidade de 5 cm/s e 10 s^{-1} à velocidade de 2 cm/s.

3.2 Efeito da Compartimentação

As telas intercaladas em um canal opõem uma resistência localizada ao fluxo, tendendo a uniformizá-lo, reduzindo a incidência de curto-circuitos e, assim, atuando como elementos de compartimentação. Há, desta forma,

uma possibilidade real de redução do tempo de residência necessário à floculação.

Sem considerar a erosão e a quebra de flocos, um modelo simplificado da floculação em um tanque com m câmaras em série pode ser representado por (VI):

$$\frac{N1}{Nm} = \left(1 + KG \frac{T}{m} \right)^m \quad (XI)$$

onde $N1$ e Nm são, respectivamente as concentrações das partículas na 1.ª câmara e na câmara de ordem m , G é o gradiente de velocidade, T o tempo total de floculação e K é uma constante do sistema, com um valor usual ao redor de 10^{-4} . Águas que floculam com facilidade apresentam valores mais elevados da constante K . O contrário, com águas de coagulação difícil.

A figura 4 foi traçada aplicando-se a equação (XI) para duas condições extremas de coagulação. Uma resposta fácil à coagulação, como as águas do rio Iguaçu, e uma difícil resposta à coagulação, como as águas do rio Iraí, ambas em Curitiba. Verifica-se que, na pior das hipóteses, haveria a possibilidade de reduzir o tempo de floculação a cerca da metade do tempo de residência necessário a um tanque ou

canal sem compartimentação, intercalando-se umas dez telas em série.

3.3 Aplicações

As telas podem ser utilizadas em qualquer elemento da estação de tratamento para produzir um gradiente de velocidade desejado. Se intercaladas no canal ou canalização de chegada de água bruta, vão produzir a turbulência necessária à mistura rápida dos produtos químicos. Podem substituir as paletas de um floclador mecânico que, além de otimizar a floculação, podem passar a operar em menor velocidade, prolongando a sua vida útil.

Instaladas em trechos retos de canais de floculação hidráulica, onde o gradiente é geralmente muito baixo, vão gerar gradientes mais adequados melhorando a floculação e permitindo um menor tempo de residência, seja por uma taxa mais elevada de colisões entre as partículas, devido ao aumento da superfície de cisalhamento (efeito da viscosidade), seja pelo efeito da compartimentação.

Exemplo 1: Uso como misturador rápido.

Uma tela com malha de 2 cm, com arames de $1/8''$ (3 mm), inserida em uma canalização onde a velocidade é de 1,30 m/s, irá produzir um gradiente de velocidade da ordem de 2.300 s^{-1} , calculado como segue:

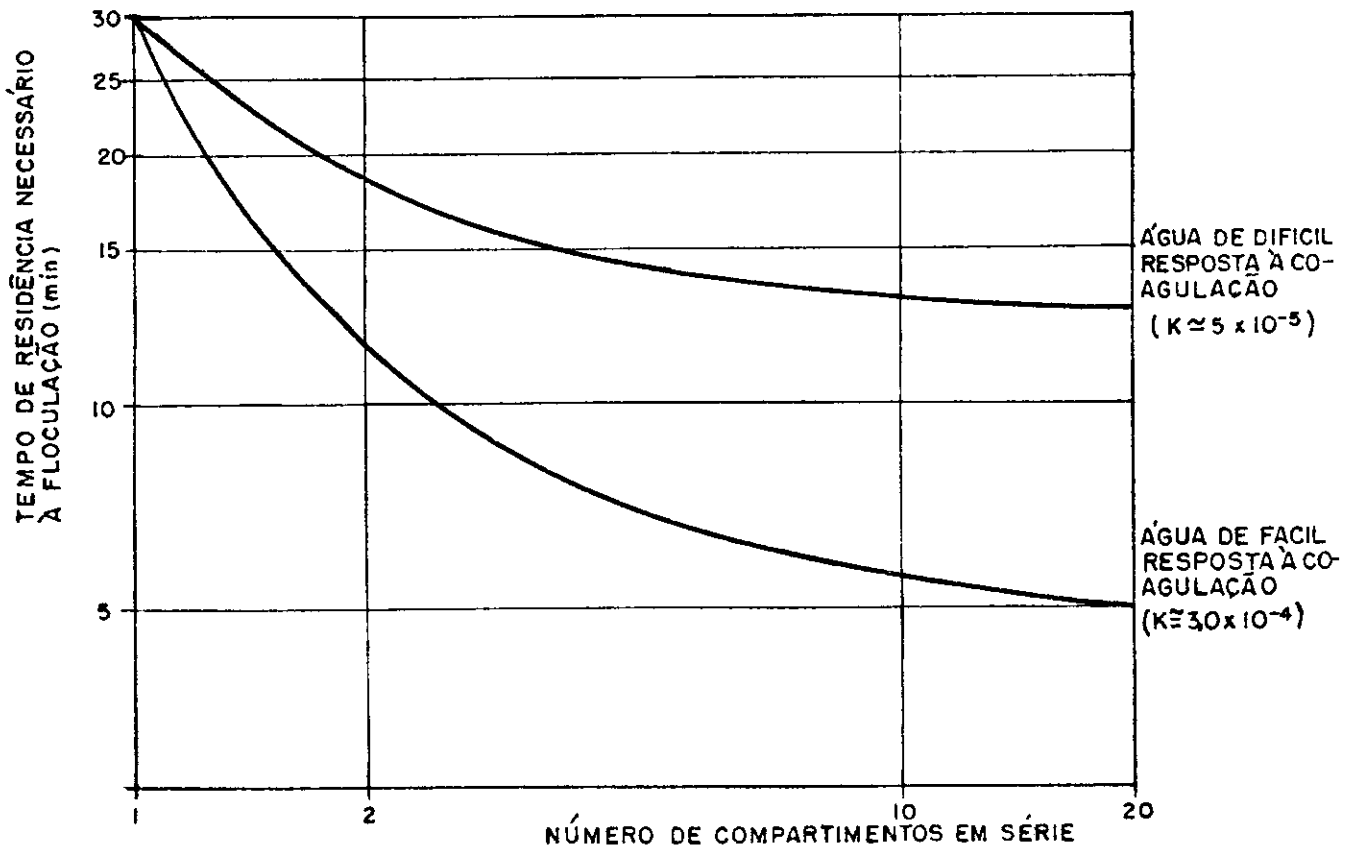


Figura 4 — Influência da compartimentação no tempo de residência necessário à floculação

Número de malhas por unidade de comprimento:

$$n = \frac{100}{2} = 50$$

Porosidade:

$$\epsilon = (1 - nd)^2 = (1 - 50 \times 3 \times 10^{-3})^2 = 0,72$$

Coefficiente de perda de carga:

$$K = 0,55 \frac{1 - \epsilon^2}{\epsilon^2} = 0,55$$

$$= 0,55 \frac{1 - (0,72)^2}{(0,72)^2} = 0,50$$

Gradiente de velocidade (a 20°C)

$$G = 350 \sqrt{\frac{K}{e}} V^{1,5} =$$

$$\sqrt{\frac{0,50}{0,02}} (1,30)^{1,5} = 2.594 \text{ s}^{-1}$$

Exemplo 2: O esquema da figura 5 representa o canal de floculação da estação Tarumã. Esta estação tem uma floculação deficiente devido principalmente ao curto tempo de residência (aproximadamente 10 minutos à vazão atual de 750 l/s) e a má distribuição de gradientes de velocidade nos canais de floculação. Os gradientes são extremamente baixos (da ordem 5 s⁻¹) nos longos trechos retos e elevados demais (60 a 180 s⁻¹) nas mudanças de direção. A colocação de telas nos trechos retos vai gerar um campo de gradientes de velocidade mais adequado, além de aumentar a eficiência na floculação através do efeito de compartimentação.

No último trecho do canal de floculação poderão ser inseridas 15 telas espaçadas a cada 2 m.

O gradiente no canal é de apenas cerca de 5 s⁻¹. As telas, para maior eficiência na floculação, foram dimensionadas para gerar um gradiente de 40 s⁻¹, conforme os cálculos que seguem.

De equação (X.) tira-se

$$\frac{K}{e} = \frac{G^2}{350 V^{1,5}}$$

$$V = \frac{0,750/2}{1,30 \times 1,50} = 0,192 \text{ m/s}$$

$$\frac{K}{e} \mu = \frac{40^2}{350 (0,192)^{1,5}} = 1,845$$

Fazendo-se e = 2,5 cm, resulta K = 0,046

$$K = 0,55 \frac{1 - \epsilon^2}{\epsilon^2}$$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{0,55}{K + 0,55}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,55}{0,046 + 0,55}} = 0,96$$

Determinação do diâmetro dos fios

$$n = \frac{100}{2,5} = 40$$

$$\epsilon = (1 - nd)^2$$

$$d = \frac{1 - \sqrt{\epsilon}}{n} =$$

$$= \frac{1 - \sqrt{0,96}}{40} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ou seja, fios com 0,5 mm de diâmetro.

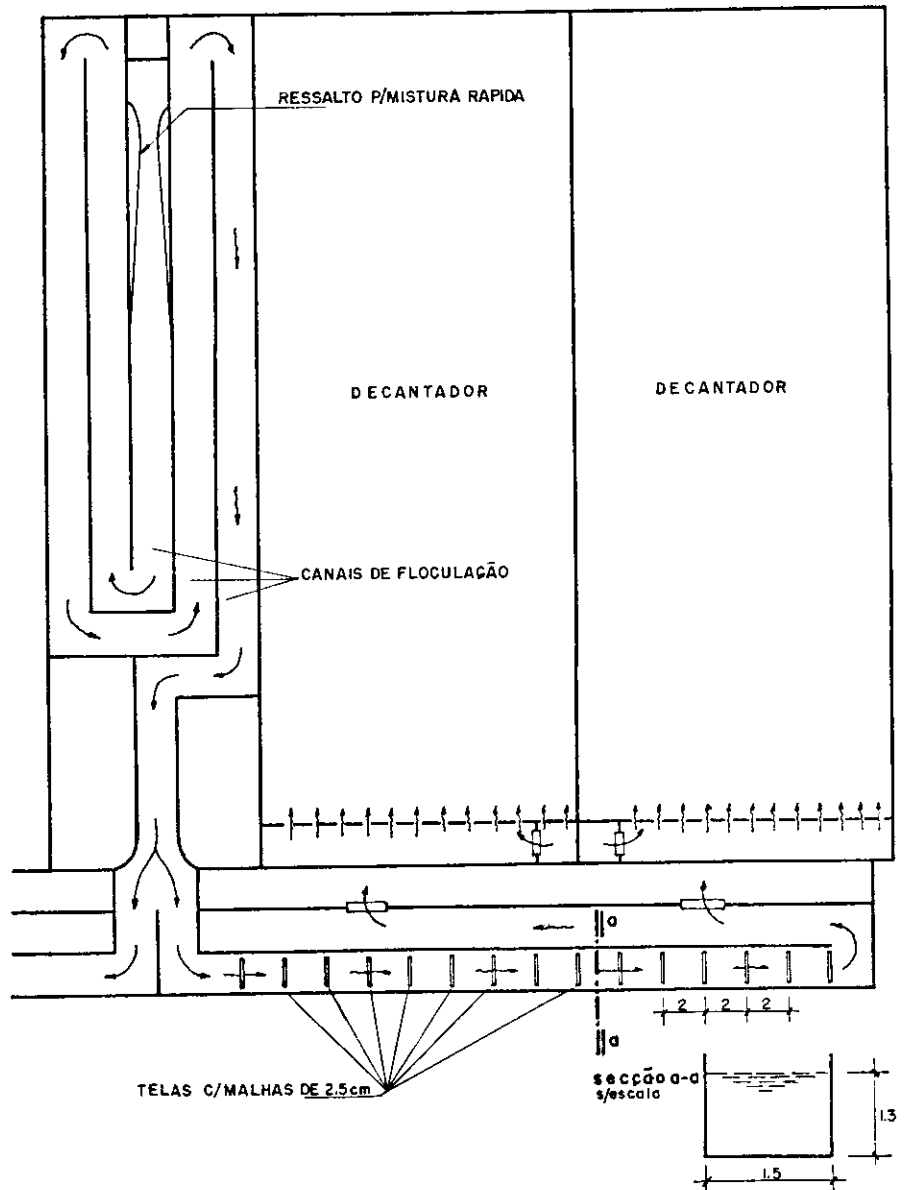


Figura 5 — Esquema do floculador da estação do Tarumã

4 Outras propriedades das telas

4.1 Uniformização de fluxo

Se V_1 e V_2 são pequenas variações longitudinais da velocidade média V , respectivamente a montante e a jusante de uma tela, então (referência 3, capítulo 1):

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{2-K}{2+K} \quad (\text{XII})$$

A equação XII demonstra, então, que uma tela com um coeficiente de perda de carga $K = 2$ tende a eliminar as variações de velocidade. Isto é válido para qualquer tela com porosidade igual a 0,464; por exemplo, uma tela de malha igual a 1 cm com fios de arame de aproximadamente 3 mm de diâmetro, satisfaz aquela condição.

Com esta finalidade, as telas podem ser usadas na entrada e/ou na saída de tanques de sedimentação, em filtros ou em qualquer lugar onde for necessária uma uniformização do fluxo.

4.2 Outras propriedades das telas

Colocando uma tela a um ângulo de incidência diferente de 90° sobre uma corrente líquida, o fluxo pode ser desviado como ilustra a figura 6. Esta propriedade pode permitir a solução em alguns casos de curto-circuitos em tanques de decantação, como sugere a figura 7.

5 Conclusões

Está demonstrado que as telas são dispositivos econômicos e eficientes de floculação, com inúmeras e pro-

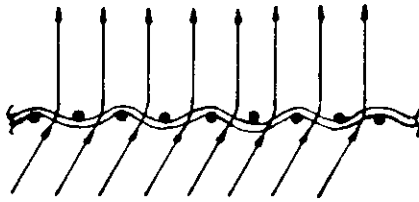


Figura 6

missoras possibilidades de emprego em novos projetos e principalmente na ampliação e otimização de estações existentes.

Foi demonstrado que o gradiente de velocidade numa tela é função da velocidade do fluxo e das características geométricas da tela, tais sejam o espaçamento e o diâmetro dos fios da malha. Lidando com os elementos geométricos da tela, poder-se-á obter valores adequados do gradiente de velocidade para uma dada velocidade no canal, podendo-se adotar velocidades mais elevadas, como 10 a 30 cm/s, por exemplo, a fim de prevenir uma sedimentação excessiva no floculador.

Os estudos já realizados permitem uma previsão qualitativa de que é possível uma redução considerável no tempo de floculação podendo resultar em substancial economia na realização de obras de ampliação ou de novas instalações. Por outro lado, em unidades deficientes poder-se-á melhorar sensivelmente a qualidade da água tratada.

Do ponto de vista prático é fácil instalar telas em qualquer elemento de um canal ou tanque de floculação, seja como dispositivo hidráulico ou mecânico de floculação.

Além disso, as telas podem ser usadas como dispositivos uniformizadores e/ou direcionadores de fluxo, abrindo ainda mais seu campo de aplicação em

estações de tratamento, onde são frequentes os casos indesejáveis de curtos-circuitos.

Os trabalhos até então realizados não permitem chegar a conclusões definitivas sobre o emprego das telas em estações de tratamento, porém são suficientes para permitir a aplicação prática desses dispositivos, com relativa segurança quanto aos resultados esperados. A continuação dos estudos em andamento e o recolhimento de informações em instalações onde forem instalados tais dispositivos permitirão, em breve tempo, a consolidação e a generalização de seu uso, certamente com excelentes vantagens econômicas e operacionais.

6 Referências bibliográficas

- 1 — RIDDICK, T. M. — Apostila do curso "Advanced Technologies on Water Clarification", Universidade Central da Venezuela/OPS — setembro de 1969.
- 2 — Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar - Projeto de Ampliação da Estação de Tratamento do Iguazu — Eng. Carlos Alfredo Richter e Clodoaldo dos Santos Balkowski - Curitiba-Nov. 1979.
- 3 — WARD-Smith, J. A. — Internal Fluid Flow, Clarendon Press, Oxford, 1980.
- 4 — RICHTER, C. A. — Fundamentos Teóricos da Floculação em Meio Granular, Revista Engenharia, São Paulo, 1981.
- 5 — SNEL, H. e Arboleda Valencia, J. — Influência de la Escala de Turbulencia en el Proceso de Floculación del Agua. Separata da Revista Acondal, Bogotá, Colombia, Dez. 1982.
- 6 — HARRIS H. S., W. J. Kaufman and R. B. Krone — Orthokinetic — Floculation in Water Purification — J. Environ. Eng. Div. ASCE n.º 92-1968.

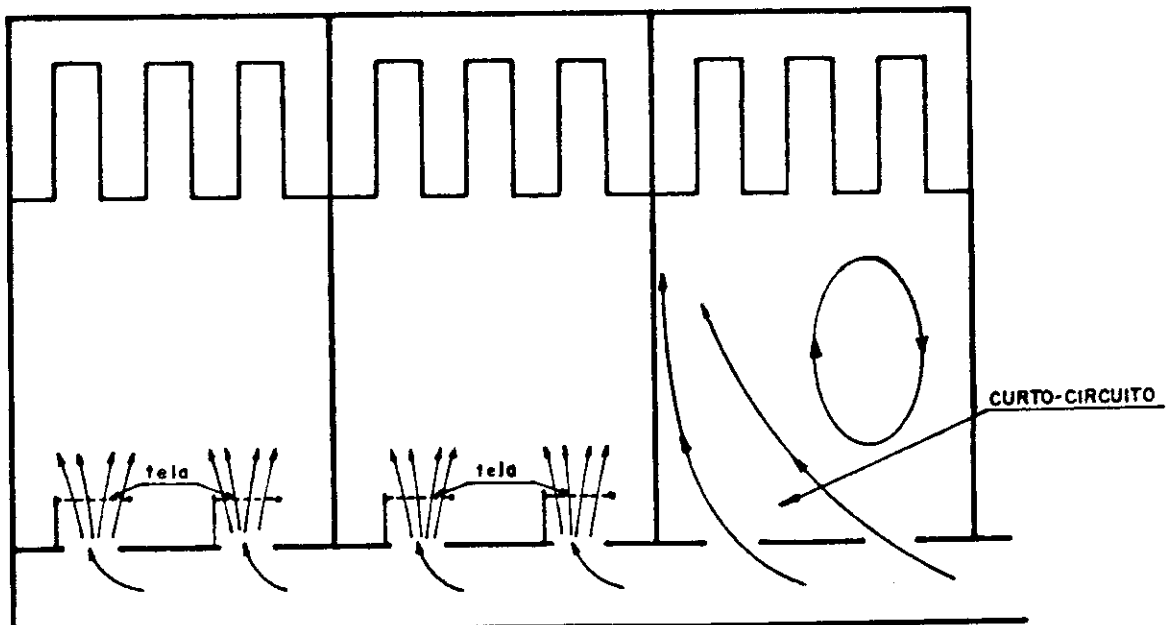


Figura 7