

# Fórmulas aplicáveis ao projeto de bacias de decantação

Resumo do estudo do Prof. Poepel, de Stuttgart, publicado na Revista Belga "La Technique de L'Eau", N.º 55.

Tradução do Engenheiro Químico Aristodemo Melaragno, da R.A.E.

A lei de Stokes, constitui, em parte, a base para as conclusões a que chegou o Prof. Poepel. Esta lei, que diz respeito à velocidade de decantação das matérias em suspensão no líquido, finamente divididas, é a seguinte:

$$s = 0,0554 \frac{V - \lambda}{n} : d^2 \quad (1)$$

em que:  $s$  = velocidade de decantação em cm/seg.

$V$  = peso específico das substâncias em suspensão.

$\lambda$  = peso específico do líquido.

$d$  = diâmetro, em cm, das matérias em suspensão.

$n$  = viscosidade do líquido em g/seg. cm<sup>2</sup>.

Se o peso específico das substâncias em suspensão e do líquido não sofrer variações, a equação (1) pode simplificar-se, tornando-se a seguinte:

$$s = c d^2 \quad (2)$$

em que  $C$  é uma constante.

A lei de Stokes se aplica aos sólidos com diâmetros variáveis entre 0,05 e 0,35. As partículas, cujo peso específico é 2,8, têm as seguintes velocidades de decantação na água, a 21º C:

$$S = 100 d^2 \text{ (partículas pequenas)} \quad (3)$$

$$s = 12,5 d^{0,72} \text{ (partículas grandes)} \quad (4)$$

A equação (3) se aplica no caso de escoamento laminar e a equação (4) no caso de escoamento turbulento. A seguinte equação geral foi sugerida para velocidade de decantação de substâncias minerais nos líquidos:

$$s = c. d^x \quad (5)$$

O valor de  $x$  pode ser tomado igual a 2 para o escoamento laminar, e igual a 0,67 para o escoamento turbulento. O valor de  $c$  depende da temperatura do líquido e do peso específico das substâncias em suspensão.

Para a areia de quartzo e o carvão, a temperatura de 10º C:

$$c = 7,15 V^{2,3} \quad (6)$$

e a temperatura de 20º C

$$c = 12. V^{2,3} \quad (7)$$

Para os sólidos de esgotos com peso específico de 1,2,  $c$  tem o valor médio de 10,86. Este valor de  $c$  se aplica somente para uma temperatura de 10ºC. Uma equação mais geral para a determinação de  $c$  é o seguinte:

$$c = 12,5t^{0,8} V^{2,3} \quad (8)$$

em que  $t$  é a temperatura do líquido.

Nas caixas de areias, a velocidade de decantação dos corpos em suspensão, com diâmetro superior a 0,33 mm, pode ser determinada na zona laminar pela equação.

$$s = 13 d^{0,7} \text{ (cm/seg)} \quad (9)$$

Para sólidos menores a decantação na zona laminar é dada por:

$$s = 57 d^2 \text{ (cm/seg)} \quad (10)$$

Nesta equação,  $d$  é expresso em mm. As equações (9) e (10) dão a velocidade de decantação dos grãos de areias cujos diâmetros variam de 0,1 a 5,0 mm.

Nas bacias de decantação, onde os corpos em suspensão que devem ser

eliminados têm dimensões menores possíveis e cujo peso específico é inferior ao dos corpos retidos pelas caixas de areia, a fórmula para a velocidade de decantação na zona laminar é a seguinte:

$$s = 9,1 d^2 \text{ (cm/seg)} \quad (11)$$

$$s = 10,9 d^2 \text{ (cm/seg)}. \quad (11a)$$

A equação (11) se aplica para o caso do peso específico dos corpos em suspensão ser igual a 1,1 e a equação (11a) para o peso específico igual a 1,2. A tabela I apresenta a velocidade de decantação média dos corpos em suspensão com diâmetro variando de 0,005 a 0,3 mm e com peso específico de 1,1 a 1,2.

TABELA I

Velocidade média de decantação dos corpos em suspensão nas águas de esgotos, de pesos específicos 1,1 e 1,2.

Diâmetro dos sólidos	Velocidade de decantação peso esp. = 1,1	em metros por hora peso esp. = 1,2
5	0,00821	0,0098
7,5	0,0184	0,0221
10	0,0328	0,0392
25	0,205	0,245
50	0,821	0,981
60	1,139	1,411
70	1,610	1,921
80	2,10	2,51
90	2,99	3,18
100	3,28	3,92
150	7,61	8,82
200	13,54	15,69
250	21,12	24,50
300	30,41	35,28

#### DETERMINAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE DECANTADORES

A superfície de uma bacia de decantação é geralmente determinada para uma velocidade de sedimentação dos corpos em suspensão de 1,5 a 2,5 metros por hora. Como foi indicado pelas equações (11) e (11a), os sólidos que decantam com as referidas velocidades têm um diâmetro de

$$d = \sqrt{\frac{1,5}{328}} \text{ a } \sqrt{\frac{2,5}{328}} \\ = 0,0675 \text{ a } 0,0874 \text{ mm.}$$

A velocidade de decantação  $s$  e a velocidade horizontal  $v$  num decantador de funcionamento contínuo tem uma influência sobre os corpos em suspensão.

Suponhamos que um decantador retangular, de paredes verticais, tenha um comprimento igual a  $L$ , uma largura  $b$  e uma profundidade  $h$ . O volume da água a tratar seja igual a  $q$  metros cúbicos por segundos. Neste caso a velocidade  $v$  teórica de escoamento ao longo do tanque é:

$$v = \frac{q}{b \cdot h} \quad (12)$$

$$t = \frac{b L h}{q} = \frac{L}{v} \quad (13)$$

em que  $t$  corresponde a duração teórica de detenção (período de detenção). Para se obter uma boa clarificação, uma partícula de água não deveria abandonar a bacia de decantação a não ser quando os corpos em suspensão que ela continha primitivamente tivessem alcançado o fundo do tanque. O tempo de decantação  $S$  é dado por:

$$S = \frac{h}{s} \quad (14)$$

Como o tempo necessário ao escoamento através do decantador e o tempo de decantação têm o mesmo valor:

$$t = S = \frac{b L h}{q} = \frac{h}{s} = \frac{L}{v} \quad (15)$$

$$q = b L s \quad (16)$$

Como  $b L$  é a área  $\theta$  do decantador temos:

$$q = \theta s \quad (17)$$

Esta equação indica que a eficiência de uma bacia de decantação depende somente da superfície do decantador e da velocidade de decantação das matérias em suspensão. A profundidade de um decantador, sua secção transversal, a velocidade longitudinal e o período de detenção são de importância secundária. Esta última afirmação põe de lado o fato de que uma velocidade de decantação  $s$  só é atingida quando a profundidade do reservatório alcança um valor real (ver a equação 14). A equação (15) pode ser

utilizada para determinar o comprimento, a largura e a profundidade de qualquer tanque de decantação.

A relação

$$\frac{L}{h} = \frac{v}{s} \quad (18a)$$

é válida para um decantador circular com entrada de água no centro e com escoamento do efluente na periferia. Em tais tanques a velocidade horizontal radial diminui do centro para a periferia dos tanques. A velocidade radial média se acha a meio caminho entre o centro e a periferia. A zona da superfície vertical imaginária para o lado pelo qual passa o escoamento é

$$F = \frac{\pi D h}{2}$$

e para esta zona pode-se escrever a equação dividindo-se a velocidade de escoamento  $q$  pela velocidade de escoamento  $v$  através do decantador. Na equação acima  $D$  é o diâmetro da bacia de decantação. Aplicando-se a equação (17)

$$F = \frac{\pi D h}{2} = \frac{q}{v} = \frac{0s}{v} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{s}{v}$$

como  $\frac{D}{2} = R$  (raio do reservatório)

$$\pi R h = \pi R^2 \cdot \frac{s}{v}$$

e

$$\frac{R}{h} = \frac{v}{s} \quad (18b)$$

As equações (18a) e (18b) indicam que a relação do comprimento para a profundidade de decantadores retangulares ou a relação do raio para a profundidade nos decantadores circulares, é igual à relação da velocidade horizontal dos corpos em suspensão para a velocidade de decantação. Se o valor de  $s$  na equação (5) for substituído nas equações (18a) e (18b) tem-se o seguinte:

$$\frac{R}{h} = \frac{L}{h} = \frac{L}{c} \cdot \frac{v}{d} \quad (19)$$

Nesta equação a relação entre o raio do decantador e a sua profundidade, ou então, a razão entre o comprimento e sua profundidade é igual à relação entre a velocidade horizontal dos corpos em suspensão e o diâmetro destes.

## DIMENSÕES DOS DECANTADORES DE AREIA

As dimensões destes decantadores deveriam ser calculadas considerando uma velocidade de escoamento através do tanque de 0,3 m/seg, no caso de ser necessário retirar areia de diâmetro 0,3 a 0,4 mm. Para areias mais finas convém reduzir a velocidade de escoamento através do reservatório. Sem temor de se cometer um erro apreciável, pode-se considerar a velocidade expressa em metros por segundo como sendo igual ao diâmetro da areia em milímetros quando a decantação se dá na zona laminar. Supondo-se que  $v = d$  e fazendo-se referência à fórmula (10) e à fórmula (19) chega-se a:

$$\frac{R}{h} = \frac{L}{h} = \frac{L}{0,57} = \frac{d}{d^2} = \frac{1,75}{d} \quad (20)$$

Se a velocidade nas caixas de areia for inferior a  $v = d$ , como por exemplo, quando  $v = 0,75 d$ , a constante na equação (20) torna-se então

$$0,75 \times 1,75 = 1,31.$$

No caso contrário, quando  $v$  é maior que  $d$ , a constante na equação (20) é maior na mesma relação. A tabela II seguinte dá a razão entre o comprimento e a profundidade das caixas de areia baseadas nas velocidades de escoamento através dos tanques.

TABELA II

Relação entre o comprimento e a profundidade das caixas de areia para diferentes dimensões da areia a reter.

diâmetro mm	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33
velocidade m/hs.	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33
comprimento/profundidade	17,5	11,6	8,75	7,0	5,8	5,3

## O MOVIMENTO HORIZONTAL EXERCE PEQUENA INFLUÊNCIA

A experiência mostra que o movimento horizontal da água numa bacia de decantação exerce pouca influência sobre a decantação dos corpos em suspensão. Dando a  $x$  o valor 2 na equação (19), temos então:

$$d = \sqrt{\frac{h}{Lc}} \cdot \sqrt{v} \quad \text{mm}$$

Com uma relação constante entre a profundidade e o comprimento do decantador, o diâmetro dos sólidos em suspensão varia com a raiz quadrada da velocidade. Se a velocidade numa bacia de decantação for duplicada, somente os corpos em suspensão 1,414 ( $=\sqrt{2}$ ) vezes maiores serão retidos

Não é desejável que todos os decantadores sejam concebidos de modo que a relação entre o comprimento e a profundidade real seja um número constante. Esta relação deveria antes depender da dimensão dos sólidos a reter. Como os corpos em suspensão de diâmetro pequeno, devido a sua fraca velocidade de decantação, devem atravessar uma apreciável distância horizontal antes de alcançarem o fundo do decantador, é evidente que a relação do comprimento do tanque (o raio no caso de decantadores circulares) para a sua profundidade deveria ser aumentada. Considerando que os resultados experimentais não foram satisfatórios, o Prof. Poepel sugere para simplificar, a relação seguinte entre a velocidade de escoamento através do reservatório e a velocidade de decantação.

$$\frac{v}{s} = \frac{c'}{d} \quad (21)$$

A relação seguinte baseada na equação (5) é verdadeira:

$$v = c' c d^{(x-1)} \quad (22)$$

Os sólidos em suspensão são precipitados somente na zona laminar das bacias de decantação. Para esta condição  $x = 2$ .

A equação (22) pode então tornar-se:

$$v = c' c d \quad (23)$$

Como esta última equação estabelece que a velocidade horizontal de escoamento através do decantador pode ser aumentada à medida que a dimensão das matérias em suspensão a reter cresce, isso pode constituir numa confirmação da exatidão da suposição anterior. Entretanto, por razões práticas, a relação entre a dimensão das matérias em suspensão e a velocidade de escoamento através do decantador deveria ser estabelecida.

Como complemento à relação precedente seguem as fórmulas para determinar as dimensões dos tanques de decantação. A equação (17) pode ser escrita da seguinte forma:

$$0 = \frac{q}{s}$$

Para um decantador circular tendo um raio R:

$$\pi R^2 = \frac{q}{s}$$

Como  $s = c d^2$  (Eq. 2).

$$\pi R^2 = \frac{q}{c d^2}$$

$$R = \sqrt{\frac{q}{\pi c d^2}} = \frac{1}{\sqrt{\pi c}} \cdot \frac{1}{d} \sqrt{q} \quad (24)$$

A dimensão do decantador depende do diâmetro dos corpos em suspensão a reter e do volume de água a tratar. Esta relação parece lógica porque o raio do reservatório aumenta com a raiz quadrada do escoamento e deve ser igualmente aumentado quanto mais os corpos em suspensão a reter forem menores. As equações (18b) e (23) dão:

$$v = \frac{R}{h} \cdot s = c' c d$$

$$h = \frac{R}{v} \cdot s$$

Substituindo os valores de R, s e v dados nas equações (24), (2) e (23):

$$\begin{aligned} h &= \frac{1}{\sqrt{\pi c}} \cdot \frac{1}{d} \sqrt{q} \cdot \frac{1}{c' c d} \cdot c d^2 \\ &= \frac{1}{\sqrt{\pi c'}} \cdot \frac{1}{c} \sqrt{q} \end{aligned} \quad (25)$$

A profundidade de um decantador depende, em consequência não da dimensão dos corpos em suspensão, mas somente das constantes  $c$  e  $c'$  e do escoamento da água de esgoto. Como esta relação é verificada pela constatação de que os decantadores maiores deveriam ter uma maior profundidade do que os de diâmetros menores, as conclusões tiradas desta afirmação referente à superfície do reservatório, podem ser consideradas certas, em princípio.

É igualmente aconselhável a determinação do período de detenção  $t$ , em

função da dimensão dos sólidos em suspensão e do volume de água de esgoto a tratar. O período de detenção teórico resulta da relação entre a profundidade do reservatório e a velocidade de decantação e da relação entre o raio e a velocidade horizontal de escoamento através do tanque:

$$t = \frac{h}{s} \cdot \frac{R}{v}$$

(vêr as equações 15 e 18b)

Com a introdução das equações (23) e (24)

$$t = \frac{i}{\sqrt{\eta} C} \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{1}{\sqrt{q} c' c d} \\ = \frac{1}{\sqrt{\eta}} \cdot \frac{1}{c1,5} \cdot \frac{1}{c'} \cdot \frac{1}{d^2 \sqrt{q}} \quad (26)$$

Em consequência, o período de detenção deve ser tanto maior quanto maior fôr o volume de água a tratar e quanto menor fôr a dimensão dos corpos em suspensão a reter. Esta equação é confirmada pela experiência. A constante  $c$  na equação acima pode ser determinada com o auxílio das equações (6) e (8) para pesos específicos e temperaturas diferentes. Para sólidos em suspensão na água de esgoto com peso específico de 1,1 —  $c = 0,091$  m/seg de acordo com a equação (11). A constante  $c$  depende da natureza do lodo separado. Para determinação do valor de  $c'$  para a clarificação preliminar das águas de esgotos, as dimensões dos decantadores primários e decantação na estação de tratamento de esgoto de Paris (Achères), são tomadas as dimensões pelas suas qualidades particularmente favoráveis de clarificação. Os reservatórios que tinham 35,00 m de diâmetro e um período de detenção de uma hora e meia tinham uma velocidade normal de decantação  $s = 2,20$  m/h. Com uma profundidade média dos tanques de  $h = s \cdot t = 2,20 \times 1,50 = 3,30$  m. tem-se uma relação de:

$$\frac{R}{h} = \frac{17,5 \text{ m}}{3,3 \text{ m}} = 5,30$$

e uma velocidade média de escoamento através do decantador de

$$v = \frac{R}{t} = \frac{17,5}{1,5} = 11,67 \text{ m/h.}$$

A esta velocidade, corpos em suspensão com diâmetro

$$d = \sqrt{\frac{2,20}{3,28}} = 0,082 \text{ mm}$$

são retirados da bacia de decantação.

Segundo a equação (21):

$$c' = \frac{dv}{s} = 0,082 \times 5,30 = 0,435$$

Para corpos em suspensão com peso específico de 1,2 o valôr de  $c'$  se reduziria a 0,397.

A determinação da constante  $c'$  para a separação de lodos biológicos em decantadores secundários é feita por meio de resultados muito favoráveis obtidos na instalação de tratamento secundário de água de esgotos de AMSTERDAM WEST, onde o efluente de um filtro biológico de alta capacidade é decantado tendo o residuo de 8 mg/litro em sólidos em suspensão. Os decantadores circulares, previstos para um período de detenção de uma hora e meia e com um diâmetro de 16,50 m têm uma velocidade de decantação de 2,0 m/hora. A profundidade média do decantador é portanto,  $h = 2,00 \times 1,5 = 3,00$  metros. A velocidade média de escoamento através do tanque

$$v = \frac{8,25 \text{ m}}{1,5 \text{ h}} = 5,5 \text{ m/h ou } 1,52 \text{ mm/seg.}$$

e a relação

$$\frac{R}{h} = \frac{8,25}{3,0} = 2,75$$

No caso de sólidos em suspensão tendo o peso específico de 1,1 e partículas tendo um diâmetro de

$$d = \sqrt{\frac{2,0}{3,28}} = 0,78 \text{ mm}$$

são retidas no decantador. Em consequência, no caso de uma decantação final  $c' = 2,75 \times 0,078 = 0,2142$ .

Uma comparação dos dois valores de  $c'$  indica que para decantadores primários ela é duas vezes maior que para os decantadores finais. Mas esta relação não pode ser obtida a não ser que os últimos decantadores sejam duas vezes mais profundos que os decantadores primários, todos tendo, porém, a mesma superfície. Como a experiência prática

confirma os dados teóricos, as equações procedentes podem ser utilizadas para determinar as dimensões dos tanques de decantação que serão econômicos e práticos. Se bem que o valor de  $c'$  parece ser estabelecido, com uma exatidão suficiente, para decantadores primários, seria aconselhável determiná-lo com maior exatidão ainda para os decantadores finais. Os resultados obtidos com os decantadores secundários de lodos ativados nas instalações de Paris (Achères) para tratamento das águas, de esgotos, decantadores que foram construídos do mesmo comprimento e mesma profundidade que os decantadores primários, indicam que os decantadores primários e os secundários não devem ter necessariamente a relação de um para dois. Entretanto, pequenas quantidades de flocos que se poderiam depositar nos decantadores profundos a tremonha, não poderiam se depositar nesses últimos decantadores chatos quando  $c' = 0,435$ . Este pequeno inconveniente poderia muito provavelmente ser evitado com os decantadores finais de maior profundidade. O fato de se saber se a melhor clarificação obtida nos decantadores secundários mais profundos é causada pelo efeito da filtração através de camadas de flocos e de lodos, é posto em questão dados os resultados obtidos nos decantadores de AMSTERDAM. Entretanto as experiências do funcionamento que precedem parecem mostrar desejável a adoção de  $c'$  entre 0,214 e 0,350 para os decantadores secundários. Sendo dados os valores encontrados anteriormente para  $c$  e  $c'$ , as equações (24) e (26) podem simultaneamente escrever-se do modo seguinte:

decantadores primários	decantadores secundários
------------------------	--------------------------

Diâmetro do decantador (metros)

$$D = \frac{3,74}{d} \sqrt{q} \quad D = \frac{3,74}{d} \sqrt{q}$$

Profundidade do decantador (metros)

$$h = 4,30 \sqrt{q} \quad h = 5,50 \sqrt{q}$$

$$h = 8,5 \sqrt{q}$$

Período de detenção (horas)

$$t = \frac{0,0131}{d^2} \sqrt{q} \quad t = \frac{0,0165}{d^2} \sqrt{q} \text{ a}$$

$$t = \frac{0,0264}{d^2} \sqrt{q}$$

As equações acima se aplicam somente aos decantadores circulares nos quais há necessidade de retirar corpos em suspensão ( $d = 0,12$  mm.) que se depositam na zona laminar. Normalmente escolhe-se  $d$  entre 0,07 e 0,08 mm. O valor de  $q$  é expresso em  $m^3$  por segundo,  $D$  em metros e  $t$  em horas. As relações encontradas para a velocidade de decantação dos sólidos em suspensão com peso específico maior que a unidade se aplicam igualmente ao movimento ascendente dos corpos em suspensão com peso específico menor da unidade. Esta questão relaciona-se com a separação de gorduras, óleos leves que sobrenadam devido à aceleração negativa contínua da velocidade de escoamento através do reservatório e da superfície tranquila. A superfície necessária para a separação de gorduras e óleos pode ser calculada de maneira idêntica à separação dos sólidos que podem se depositar. Neste caso é necessário utilizar a velocidade ascensional em lugar da velocidade de decantação. Segundo as pesquisas de Zunker, a velocidade ascensional do óleo de linhaça é de 0,004 metros por segundo. Ela é pois tão grande como a velocidade de decantação da areia, que tem um diâmetro de 0,08 mm ou da dos sólidos em suspensão da água de esgoto ( $p/exp. = 1,2$ ) com diâmetro de 0,25 mm.

A velocidade ascensional das gorduras e óleos varia muito segundo seu peso específico e sua dispersão na água de esgoto ou despejo industrial. Apesar do estado de emulsão da gordura, sua grande tensão superficial pode ser diminuída de modo que a espuma se separe mais rapidamente e mais facilmente nos decantadores. Segundo experiências feitas nos Estados Unidos, a separação da gordura é aumentada sensivelmente pela junção de 2 miligramas por litro de cloro, além de ar comprimido. A gordura que é libertada de sua forma de emulsão pela cloro-aeração é transportada com os sólidos nos decantadores onde ela se separa na grande superfície dos reservatórios os quais são equipados com mecanismos para a retirada da espuma. Deste modo o habitual tanque de eliminação de espuma se simplifica num tanque de aeração com um curto período de detenção.