

TRABAJOS TECNICOS

- Tema I** - Alcantarillado Sanitario (Aguas Negras o Servidas)/Tratamiento de Efluentes Domésticos e Industriales/Reuso
- Tema II** - Suministro/Tratamiento del Agua
- Tema III** - Residuos Sólidos
- Tema IV** - Materiales/Equipos/Instrumentación
- Tema V** - Calidad, Conservación y Gerenciamiento de Recursos Hídricos
- Tema VI** - Educación, Gestión, Manejo y Control Ambiental
- Tema VII** - Salud Pública/Control de Vectores
- Tema VIII** - Recursos Humanos/Enseñanza y Adiestramiento
- Tema IX** - Planificación/Legislación/Administración y Gerenciamiento del Sector
- Tema X** - Irrigación/Drenaje Urbano/Control de la Erosión
- Tema XI** - Otros

Apoyo Institucional



SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE

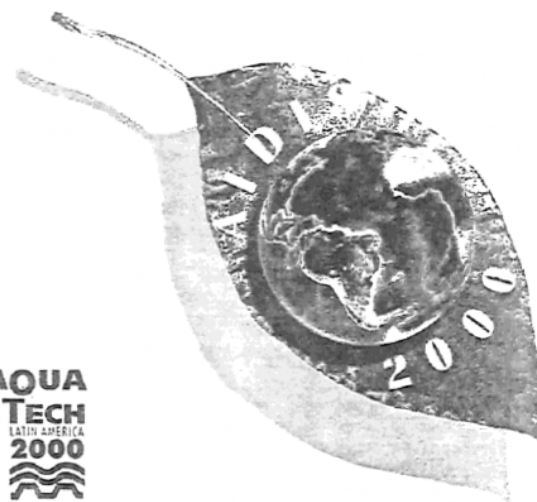
GOVERNO FEDERAL



PORTO ALEGRE - RIO GRANDE DO SUL - BRASIL
3 AL 8 DICIEMBRE 2000

XXVII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

Las Américas y la Acción por el Medio Ambiente en el Milenio



TRABAJOS TECNICOS



**ASOCIACION
INTERAMERICANA
DE INGENIERIA
SANITARIA Y
AMBIENTAL**

AIDIS Sede Permanente Abel Wolman
Rua Nicolau Gagliardi, 354 - CEP: 05429-010
São Paulo - SP
Tel: +55 (11) 212-4080 - Fax: +55 (11) 814-2441
e-mail: aidis@unisys.com.br
home-page: <http://www.aidis.com.br>



**ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**
Capítulo Nacional da AIDIS



ABES - Dirección Nacional
Av. Beira Mar, 216 - 13º andar
CEP: 20021-060 - Rio de Janeiro - RJ
Tel: +55 (21) 210-3221 r-215
e-mail: eventos@abes-dn.org.br
home-page: <http://www.abes-dn.org.br>

ABES - Sección Estatal Rio Grande do Sul
Av. Taquara, 110 - Sala 401
CEP: 90460-210 - Porto Alegre - RS
Tel/Fax: +55 (51) 319-2220
e-mail: abesrs@abes-rs.org.br
home-page: <http://www.abes-rs.org.br>

Operadoras Oficiales

Fellini 
Agencia Oficial de Turismo

FAGGA
EVENTOS
Gerenciamento de la EXPOAIDIS

VARIG
Transportadora Aérea Oficial

office
MARKETING
Apoyo Logístico

AVIS
Alugue um carro na Avis
Locadora Oficial

MENSAGE

La Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS, en sus 52 años de existencia ha venido desempeñando un importantísimo papel en el Continente Americano, presentando y debatiendo las cuestiones vinculadas al saneamiento y al medio ambiente tanto en el ámbito técnico como en el político; siempre objetivando la mejoría de la calidad de vida de las poblaciones de la Región. La acción de AIDIS se extiende a lo largo y ancho de los tres subcontinentes americanos por intermedio de sus Secciones Nacionales, lo cual le otorga una auténtica representatividad con repercusión internacional. Cuenta con aproximadamente 30.000 asociados entre personas individuales como jurídicas y tiene su Dirección Ejecutiva localizada en la ciudad de São Paulo, Brasil.

Entre sus grandes realizaciones se destacan los Congresos Interamericanos de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, realizados tradicionalmente de forma bienal. Cumpliendo una trayectoria de más de medio siglo, siempre estuvo presente en el ámbito continental por medio de los países de las tres Américas que configuran la Asociación. La XXVII edición del Congreso, organizada por la ABES - Asociación Brasileira de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, tuvo seleccionada como sede del evento la ciudad de Porto Alegre, capital del Estado de Rio Grande do Sul y ocurrirá en el período del 3 al 8 de diciembre de 2000.

Por medio de los Congresos Interamericanos, AIDIS logra concentrar los esfuerzos de sus Capítulos Nacionales con el objetivo de difundir lo que hay de mejor en términos de intercambio técnico-científico. Los Trabajos Técnicos inscriptos en estos eventos representan, por su contenido, un archivo de inestimable valor que enriquece la bibliografía técnica del Sector en América.

En este CD ROM se encuentran almacenados integralmente los 616 Trabajos Técnicos tanto orales como de afiches a ser presentados en el XXVII Congreso de AIDIS y que fueron inscriptos por los más diversos profesionales del Continente Americano. Están clasificados de acuerdo con los temas escogidos por el evento y ellos pueden ser muy fácilmente accedidos en cualquier computadora.



PROTER INFORMATICA

Conde de Lages, 44 gr. 601 - Glória
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20241-080
Tel: +55 (21) 232-7752 - Fax: +55 (21) 232-7753
e-mail: proter@proter.com.br
<http://www.proter.com.br>

Configuração Mínima

PC Compatível - Pentium 100 MHz com 32 Mb
Resolução mínima de 640 x 480 com 256 cores
Windows 95/98/NT 4.0/2000 (fontes pequenas)
Para abrir, execute: d:\BookBuilder\BookBuilder.exe
(onde "d" é a unidade de CD-ROM)

Equipe Técnica do BookBuilder

Ricardo Marques Guerra
Pedro Miguel Lauria Meira e Sá

Bernardo Viana Guerra
José Carlos Vicente
Leandro Bellota Valente
Mário Cesar de Britto Pitanga
Wilson de Azevedo Dantas Junior



**II-021 - INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL SOBRE A SEDIMENTAÇÃO
DE PARTÍCULAS EM DUTOS QUADRADOS E RETANGULARES
USADOS NA DECANTAÇÃO DE ALTA TAXA**

Ninoska Eliana Alcócer Carrasco

Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Luiz Di Bernardo⁽¹⁾

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Harry Edmar Schulz

Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Woodrow Nelson Lopes Roma

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

FOTOGRAFIA
NÃO
DISPONÍVEL

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São Carlense, 400 - São Carlos - SP - CEP: 13566-590 - Brasil - Tel: (16) 273-9528 - e-mail: bernardo@sc.usp.br

RESUMO

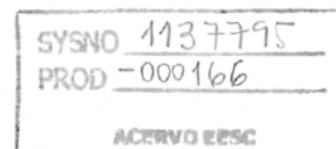
A decantação de alta taxa, operação de sedimentação realizada em dutos ou placas planas paralelas, vem sendo usada com sucesso tanto na reforma de decantadores convencionais existentes quanto no projeto de unidades em novas estações de tratamento de água. Yao (1970), fundamentado no trabalho de Camp (1946), desenvolveu modelação matemática que permitiu o projeto racional das unidades, levando em conta as dimensões dos dutos e o comprimento necessário para que as partículas sedimentassem em seu interior. O escoamento no interior do duto pode ser dividido em dois trechos: o primeiro a partir da entrada, denominado de transição, no qual é assumido que o perfil de velocidades varia do uniforme na entrada até uma distância a partir da qual se torna parabólico; este denominado de perfil de velocidade totalmente desenvolvido. Yao (1970) considerou a sedimentação de partículas somente no segundo trecho e sugeriu somar o comprimento do primeiro com o segundo trecho para a obtenção do comprimento total do duto, o que pode conduzir a um comprimento excessivo. Tendo em vista a possibilidade da ocorrência da sedimentação de partículas no trecho de transição, foi desenvolvido o presente trabalho em uma instalação piloto, cujas conclusões principais são as seguintes: a) os resultados permitiram observar que, para dutos quadrados ou retangulares, as partículas podem ser removidas no trecho de transição, entre a região de entrada e a região de escoamento totalmente desenvolvido; b) a região de intrusão de partículas no sedimentador foi quantificada, mostrando que partículas que entram em diferentes posições tangenciando a face superior do duto apresentam diferentes comprimentos de sedimentação, comprovando desta forma a influência do perfil de velocidades nos dois planos (longitudinal e transversal); c) os resultados mostram gradativo aumento do comprimento total necessário para a sedimentação com o aumento da velocidade média de escoamento.

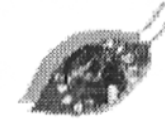
PALAVRAS-CHAVE: Decantação de Alta Taxa, Trecho de Transição, Perfil de Velocidade, Sedimentação em Dutos, Sedimentação em Placas Planas Paralelas.

INTRODUÇÃO

A idéia da redução da altura de sedimentação de partículas nos decantadores não é nova. Camp (1946) propôs introduzir nos decantadores convencionais, de escoamento horizontal, diversas lajes intermediárias paralelas ao fundo, espaçadas de aproximadamente 15 cm, favorecendo a sedimentação de partículas que não seriam removidas devido às suas trajetórias nos decantadores convencionais. No entanto, devido à dificuldade de limpeza, tal idéia permaneceu ignorada por muito tempo. Na década de sessenta e início da setenta, o projeto de decantadores de alta taxa era baseado em dados empíricos, obtidos em trabalhos realizados por Culp et al. (1968, 1969) e Hansen et al. (1969). Somente a partir da publicação do trabalho de Yao (1970) é

1137795
140401

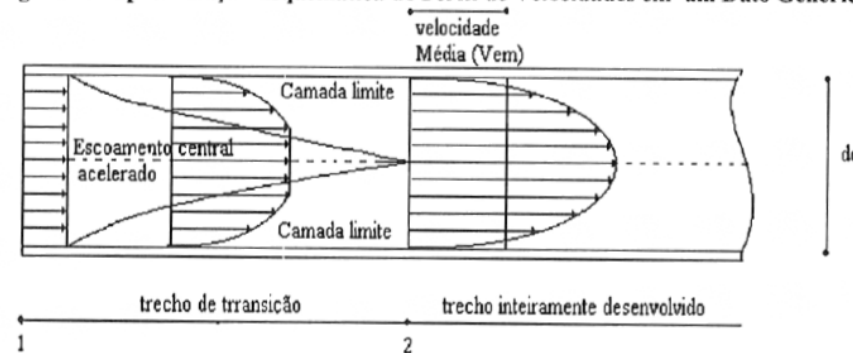




que os decantadores de alta taxa passaram a ser dimensionados com base em uma modelação matemática mais adequada. O autor baseou seu modelo nas seguintes hipóteses: i) o escoamento é laminar no interior dos dutos; ii) o escoamento é unidimensional; iii) as partículas suspensas são discretas; iv) os efeitos inerciais são desprezíveis; v) o perfil de velocidade é totalmente desenvolvido. Evidentemente foi uma contribuição significativa na época. No entanto, algumas dessas hipóteses conduziram à utilização de dutos mais longos do que os realmente necessários, fato observado no final da década de oitenta, conforme trabalho realizado por Cunha (1990) utilizando dutos quadrados, retangulares e placas planas paralelas. Fadel et al. (1990), utilizando uma instalação constituída de dutos circulares, também verificaram este aspecto e propuseram um método que permitiu, matematicamente, determinar o perfil de velocidade em qualquer seção do duto no trecho de transição. Esses avanços somente foram alcançados após o conhecimento da modelação matemática relativa ao escoamento no trecho de transição, fundamentada nos trabalhos de Han (1960), Sparrow et al. (1967) e Goldstein et al. (1967). Com base nesses trabalhos, Soares et al. (1997) simularam diversas situações comuns na prática, sob as condições de escoamentos em dutos quadrados e retangulares, e concluíram que partículas poderiam ser removidas no trecho de transição. Apresentaram, também, a concepção da zona de intrusão, corresponde à região do duto na qual se observa a presença de sedimento e que é dependente dos contornos do duto, estes impondo a forma dos perfis de velocidade.

Na Figura 1 é mostrado um duto genérico, contendo a representação dos trechos de transição e de perfil de velocidade totalmente desenvolvido. Sendo permanente o escoamento de um fluido na direção longitudinal no interior de um duto, consideram-se duas regiões: a) O trecho imediatamente a jusante da seção de entrada, denominado trecho de transição ou trecho de estabelecimento do escoamento, no qual a forma do perfil de velocidades varia de seção para seção, tendendo assintoticamente para uma forma definida que caracteriza a região seguinte; b) O segundo trecho, que se inicia no final do trecho de transição, é denominado trecho com perfil de velocidade totalmente desenvolvido, no qual a forma do perfil de velocidades não muda de seção para seção. No trecho de transição podem ser definidas ainda duas sub-regiões: uma de camada limite, cuja espessura cresce até ocupar toda a seção do tubo, e outra na qual a velocidade é uniforme em cada seção, chamada núcleo potencial. Na camada limite ocorrem os fenômenos de cisalhamento entre a parede do duto e também entre as diferentes camadas de fluido. No núcleo potencial há aceleração do escoamento, sendo constante a vazão quando se tem escoamento incompressível.

Figura 1: Representação Esquemática do Perfil de Velocidades em um Duto Genérico.

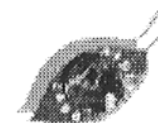


Na Figura 2, tem-se o esquema do duto idealizado por Yao (1970), para o qual o autor desenvolveu sua modelação matemática, reproduzida simplificada a seguir. Considerando a condição crítica, para a qual a partícula que se deseja remover entra no ponto superior do plano longitudinal vertical central do duto, Yao (1970) obteve a seguinte equação:

$$\int_1^0 \frac{u}{V_{em}} dY = \frac{V_s}{V_{em}} \{ \sin \theta + L_s \cos \theta \} \quad \text{equação (1)}$$

em que:

$$\int_1^0 \frac{u}{V_{em}} dY : \text{ termo denotado de } S_c \text{ na referência original de Yao}$$



θ : ângulo de inclinação do duto com o plano horizontal

V_s : velocidade de sedimentação da partícula que se deseja remover e que entra na aresta superior da seção central do duto (LT^{-1});

V_{em} : velocidade médio de escoamento (LT^{-1});

$L_s = l_s/a$: comprimento relativo do duto

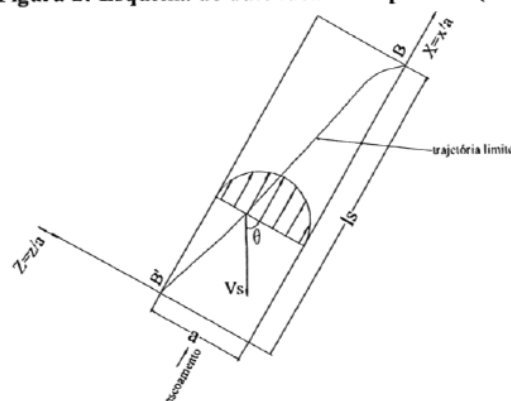
a : altura do duto (L)

l_s : comprimento do duto (L)

Conhecendo-se V_s e fixando-se θ e V_{em} , o comprimento relativo L_s (igual a l_s/a) para a remoção de partícula considerada no trecho do duto com perfil de velocidade inteiramente desenvolvido dependerá do termo $\int_1^0 \frac{u}{V_{em}} dY$, que corresponde à condição crítica para o sedimentador, quando a partícula se encontra na

aresta superior da seção central do duto no trecho com perfil de velocidade totalmente desenvolvido. Para efeitos práticos, Yao sugeriu somar ao comprimento relativo L_s , o comprimento relativo de transição, L'_s , necessário para que o perfil de velocidade mude de uniforme na seção de entrada ao parabólico, obtendo o comprimento relativo total, L_t , o qual não deveria superar $2L_s$. O próprio autor recomendava a realização de investigação experimental sobre a validade dessas recomendações.

Figura 2: Esquema do duto idealizado por Yao (1970).



Em função das restrições decorrentes das hipóteses de Yao (1970), das evidências decorrentes do trabalho de Cunha (1990) com partículas flocculentas e dos resultados das simulações realizadas por Soares et al. (1997), foi realizado o presente trabalho, utilizando uma instalação piloto, com o objetivo de estudar experimentalmente a trajetória de partículas discretas em dutos quadrados e retangulares.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, a partir dos trabalhos de Han (1960), Goldstein et al. (1967), Sparrow et al. (1967), Fadel e Baumann (1990) e Soares et al. (1997), foi desenvolvida modelação matemática para determinação do comprimento do trecho de transição em dutos de seção quadrada e retangular. Detalhes sobre a modelação matemática para determinação do comprimento do trecho de transição encontram-se no trabalho de Alcócer C.(1999). Em seguida, foi realizado o trabalho experimental, nas seguintes etapas:

Primeira Etapa: obtenção de partículas discretas com massa específica ligeiramente superior à da água, tendo resultado partículas com tamanho entre 0,1 e 4,0 mm e velocidade de sedimentação (medida em coluna) entre 1,2 e 4,8 cm/min, compatíveis com aquelas normalmente encontradas na prática; a velocidade de sedimentação foi medida em coluna de acrílico transparente, mantendo-se constante a temperatura da água, em $20 \pm 0,5$ °C. A massa específica foi calculada utilizando-se a equação de Stokes (ver Tabela 1).

Segunda Etapa: estudo em instalação piloto, utilizando-se dutos com seção transversal ($a \times b$) de 5x5, 5x10, 5x20 e 5x50 cm², sendo b a largura da seção do duto e a , a sua altura; o comprimento dos dutos foi fixado

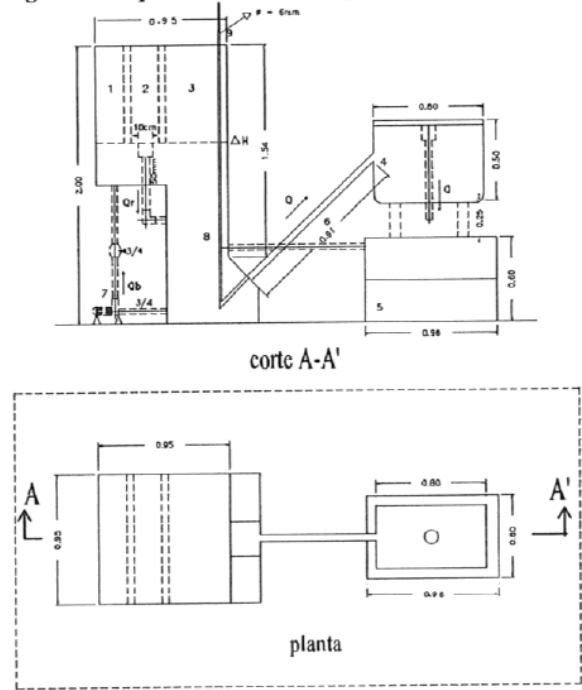


em 1,0 m. As partículas foram sempre introduzidas nos ductos tangenciando a aresta superior no centro e em diferentes posições a partir do centro. Foram estudadas velocidades médias de escoamento de 20, 25 e 30 cm/min. Na Figura 3 é apresentado um esquema da instalação piloto utilizada na investigação experimental (1,2,3: caixa de alimentação; 4: caixa de recepção; 5: caixa de recirculação; 6: duto experimental; 7: bomba; 8, 9: dispositivo de introdução da partícula no duto). As trajetórias das partículas durante os experimentos foram filmadas e, posteriormente, com auxílio de programa computacional, as mesmas foram reproduzidas para as dimensões reais do duto de sedimentação.

Tabela 1: Velocidade de sedimentação das partículas discretas usadas na investigação para a temperatura de $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ (Alcócer C., 1999).

PARTÍCULA	MASSA ESPECÍFICA (kg/m^3)	V_s (cm/min)
1	998,2007	2,24
2	998,2015	5,20
3	998,2010	3,32
4	998,2011	3,50
5	998,2009	2,72
6	998,2012	3,56
7	998,2014	4,52
8	998,2013	4,48
9	998,2013	3,93

Figura 3: Esquema da instalação piloto (Alcócer C., 1999).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os dados experimentais apresentados nas figuras a seguir foram extraídos do trabalho de Alcócer C. (1999). Nas Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 são mostradas trajetórias de partículas com diferentes velocidades de sedimentação para condições distintas de velocidades de escoamento, dimensões dos ductos e posição de entrada da partícula em relação ao centro dos mesmos. Para cada condição foi calculado o número de Reynolds, dado por:



$$R_e = \frac{V_{em} D_c}{\nu}$$

equação (3)

em que:

 D_c = 4 x área da seção molhada/perímetro molhado (m) V_{em} : velocidade média de escoamento no duto (m/s) ν : viscosidade cinemática da água (m²/s)

Para todas condições estudadas foi observado comportamento diferente daquele previsto por Yao (1970), ocorrendo sedimentação no trecho de transição. Dependendo das condições de escoamento, das dimensões do duto, da velocidade de sedimentação das partículas e da posição de entrada em relação ao centro, verificou-se haver remoção de partículas no trecho de transição (quando este era menor que o comprimento do duto). Outras partículas percorreram distâncias maiores que a do trecho de transição e sedimentaram antes do final do duto. Finalmente, ocorreram situações nas quais as partículas não sedimentaram no interior do duto (comprimento de 1 m). Em todas situações, a temperatura da água foi mantida em 25 ± 1 °C.

Na Figura 4 é mostrada a trajetória de uma partícula entrando no centro do duto de 5×5 cm², com velocidade de sedimentação de 3,93 cm/min, velocidade média de escoamento de 30 cm/min e número de Reynolds igual a 248,3. Observa-se que a partícula sedimentou antes do final do trecho de transição.

Na Figura 5 é mostrada a trajetória de uma partícula entrando no centro do duto de 5×5 cm², com velocidade de sedimentação de 5,2 cm/min, velocidade média de escoamento de 30 cm/min e número de Reynolds igual a 248,3. A partícula sedimentou antes do final do trecho de transição e em uma distância menor que a observada na Figura 4, pois a velocidade de sedimentação da partícula era maior que aquela primeira.

Na Figura 6 é mostrada a trajetória de uma partícula entrando a 3,5 cm do centro do duto de 5×5 cm², com velocidade de sedimentação de 2,24 cm/min, velocidade média de escoamento de 20 cm/min e número de Reynolds igual a 165,3. A partícula sedimentou antes do final do trecho de transição e em uma distância menor que as observadas nas Figuras 4 e 5, apesar da menor velocidade de sedimentação, devido à distância em relação ao centro em que entrou no duto e à menor velocidade média de escoamento.

Na Figura 7 é mostrada a trajetória de uma partícula entrando no centro do duto de 5×10 cm², com velocidade de sedimentação de 2,72 cm/min, velocidade média de escoamento de 30 cm/min e número de Reynolds igual a 331. A partícula não sedimentou no interior do duto, tendo o comprimento do trecho de transição (~1,40 m) resultado superior ao do duto experimental (1 m), indicando que o perfil de velocidades ainda não se encontrava totalmente desenvolvido. Observando-se a Figura 7, é possível inferir que a partícula sedimentaria antes do final do trecho de transição.

Tem-se, na Figura 8, a trajetória de uma partícula entrando a 1,5 cm do centro do duto de 5×10 cm², com velocidade de sedimentação de 4,52 cm/min, velocidade média de escoamento de 30 cm/min e número de Reynolds igual a 331. Em relação às condições da Figura 7, a velocidade de sedimentação da partícula é maior, concorrendo para que a mesma fosse removida.

Na Figura 9 é mostrada a trajetória de uma partícula entrando 2,5 cm do centro do duto de 5×20 cm², com velocidade de sedimentação de 2,24 cm/min, velocidade média de escoamento de 30 cm/min e número de Reynolds igual a 397. A partícula não sedimentou no interior do duto, tendo o comprimento do trecho de transição resultado superior ao do duto experimental, indicando que o perfil de velocidades ainda não se encontrava totalmente desenvolvido.

Tem-se, na Figura 10, a trajetória de uma partícula entrando a 5,0 cm do centro do duto de 5×20 cm², com velocidade de sedimentação de 3,56 cm/min, velocidade média de escoamento de 30 cm/min e número de Reynolds igual a 397. Em relação às condições da Figura 9, a velocidade de sedimentação da partícula é maior e também maior a distância de entrada no duto em relação ao centro, ambas características concorrendo para que a partícula fosse removida.



Nas Figuras 11 e 12 são mostradas as trajetórias de partículas com velocidades de sedimentação de 2,24 e 4,52 cm/min, entrando no centro e a 16 cm do centro no duto de 5x50 cm², respectivamente, para a velocidade média de escoamento de 30 cm/min e número de Reynolds igual a 451,4. Nota-se na Figura 11, que a partícula não sedimentou, enquanto, na Figura 12, observa-se que a sedimentação da partícula ocorreu antes do final do trecho de transição. Além do efeito da velocidade de sedimentação, é evidente que a posição de entrada da partícula em relação ao centro desempenha papel de fundamental importância na sedimentação em dutos.

Figura 4. Trajetória da partícula entrando no centro do duto de 5 x 5 cm ($V_s = 3,93$ cm/min; $Re = 248,3$; $V_{em} = 30$ cm/min).

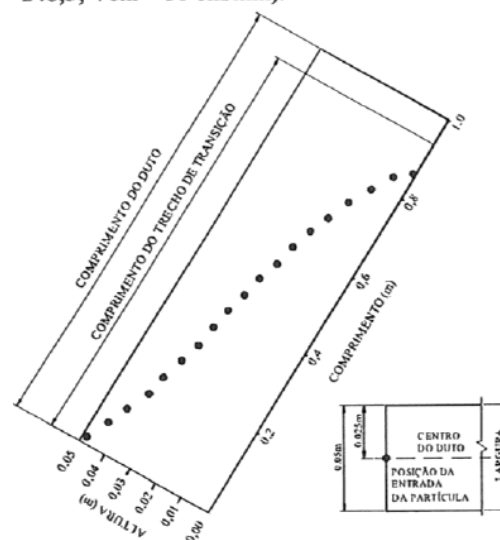


Figura 5. Trajetória da partícula entrando no centro do duto de 5 x 5 cm ($V_s = 5,2$ cm/min; $Re = 248,3$; $V_{em} = 30$ cm/min).

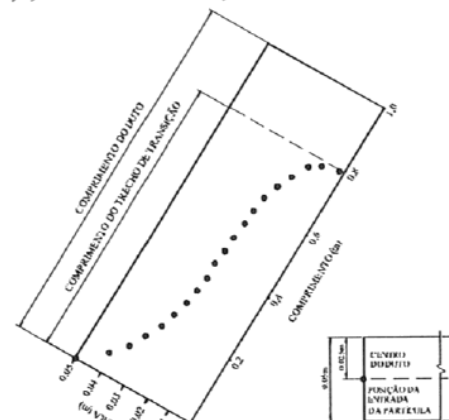


Figura 6. Trajetória da partícula entrando a 3,5 cm do centro do duto de 5 x 5 cm ($V_s = 2,24$ cm/min; $Re = 165,3$; $V_{em} = 20$ cm/min).

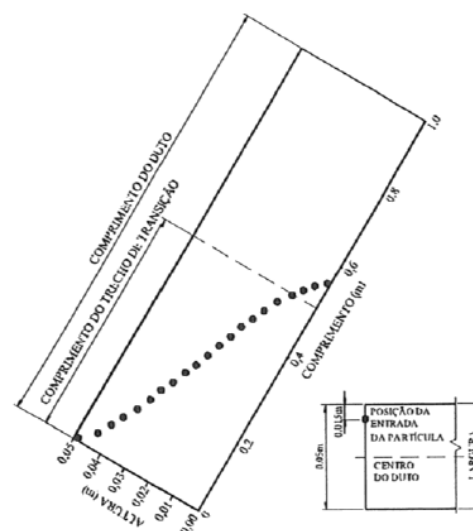


Figura 7. Trajetória da partícula entrando no centro do duto de 5 x 10 cm ($V_s = 2,72$ cm/min; $Re = 331$; $V_{em} = 30$ cm/min).

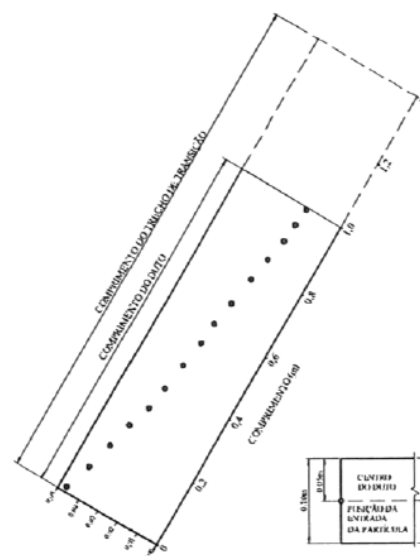




Figura 8. Trajetória da partícula entrando a 1,5 cm do centro do duto de 5 x 10 cm ($V_s = 4,52$ cm/min; $Re = 331$; $V_{em} = 30$ cm/min).

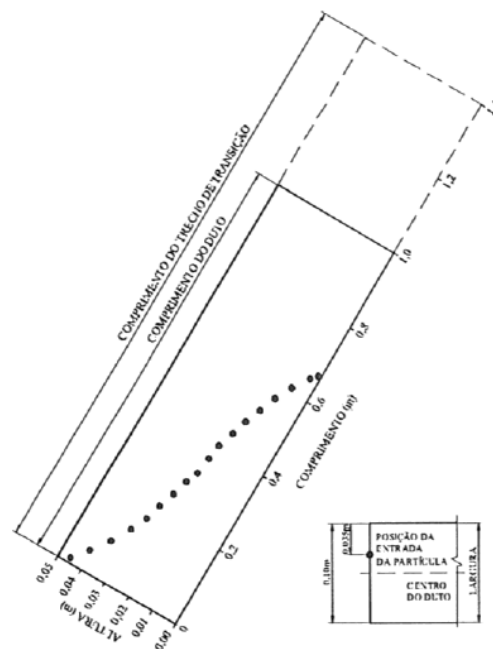


Figura 9. Trajetória da partícula entrando a 2,5 cm do centro do duto de 5 x 20 cm ($V_s = 2,24$ cm/min; $Re = 397$; $V_{em} = 30$ cm/min).

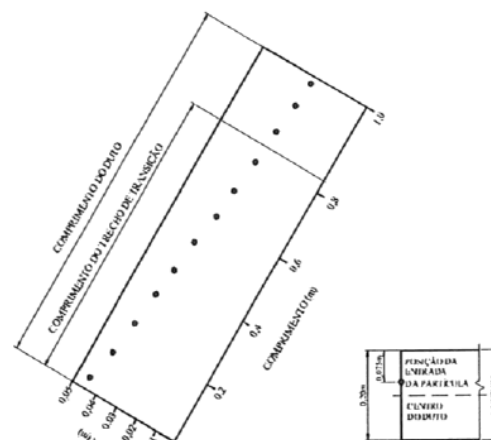


Figura 10. Trajetória da partícula entrando a 5 cm do centro do duto de 5 x 20 cm ($V_s = 3,56$ cm/min; $Re = 397$; $V_{em} = 30$ cm/min).

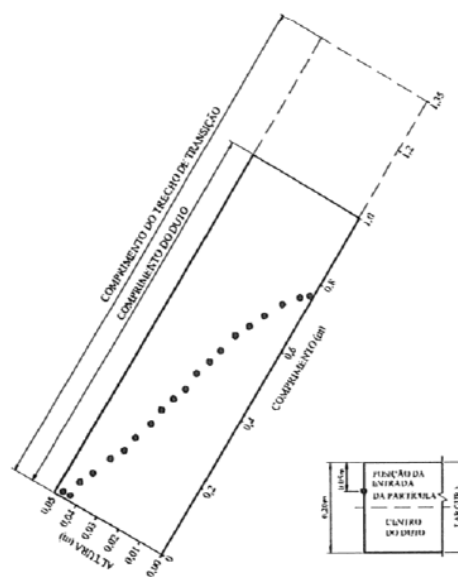


Figura 11. Trajetória da partícula entrando no centro do duto de 5 x 50 cm ($V_s = 2,24$ cm/min; $Re = 451,3$; $V_{em} = 30$ cm/min).

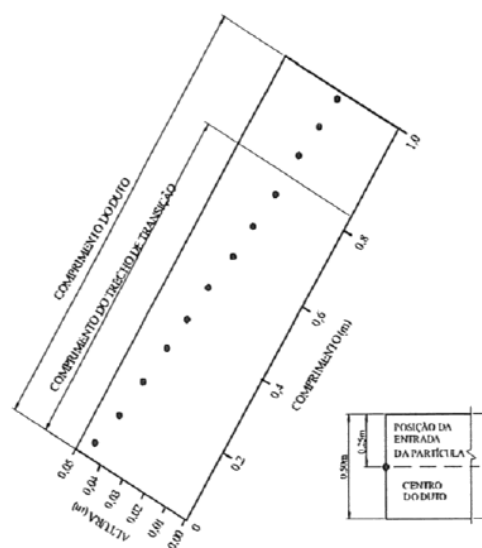
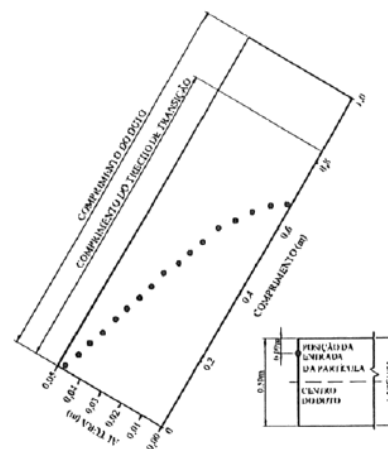




Figura 12. Trajetória da partícula entrando a 16 cm do centro do duto de 5 x 50 cm ($V_s = 4,52$ cm/min; $Re = 451,4$; $V_{em} = 30$ cm/min).



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- a) os resultados permitiram observar que, para dutos quadrados ou retangulares, as partículas podem ser removidas no trecho de transição, entre a região de entrada e a região de escoamento totalmente desenvolvido;
- b) a região de intrusão de partículas no sedimentador foi quantificada, mostrando que partículas que entram em diferentes posições tangenciando a face superior do duto, apresentam diferentes comprimentos de sedimentação, comprovando desta forma a influência do perfil de velocidades nos dois planos (longitudinal e transversal);
- c) se todas as partículas suspensas tiverem a mesma velocidade de sedimentação, menor ou igual à velocidade de sedimentação crítica para o duto de placas planas paralelas, resultará sedimentação de todas elas neste sedimentador. No duto quadrado, para essa mesma velocidade de sedimentação, as partículas na seção central longitudinal não serão removidas e, portanto, o sedimentador de dutos quadrados é menos eficiente se a velocidade média de escoamento for a mesma;
- d) se todas partículas suspensas tiverem velocidade de sedimentação superior à velocidade de sedimentação crítica para o duto de placas planas paralelas, elas não sedimentarão neste. Nos dutos quadrados, nas seções longitudinais próximas às paredes laterais, poderá haver remoção daquelas partículas. Portanto, nesta condição, os dutos quadrados são mais eficientes que os de placas planas paralelas se a velocidade média de escoamento for a mesma;
- e) considerando uma suspensão não uniforme de partículas discretas, com diferentes velocidades de sedimentação, pode ocorrer a ação simultânea de c e d, de modo que a remoção global num tipo de sedimentador pode resultar maior, menor ou igual ao outro, dependendo das características da suspensão;
- e) observou-se que, para a sedimentação de partículas discretas, há tendência de os dutos quadrados necessitarem de um comprimento maior em relação aos retangulares, para que ocorra a sedimentação da partícula que entra na posição mais desfavorável;
- g) Os resultados mostram gradativo aumento do comprimento total necessário para a sedimentação com o aumento da velocidade média de escoamento.



Tendo em vista os resultados obtidos no presente trabalho, é recomendável considerar o trecho de transição no dimensionamento dos dutos usados na decantação de alta taxa. É recomendável, também, que seja usada uma suspensão de partículas floculentas para verificar as diferenças em relação às partículas discretas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALCÓCER C., NINOSKA ELIANA. Influência das características hidráulicas do escoamento laminar na sedimentação de partículas discretas em dutos quadrados e retangulares Tese de Doutorado EESC-USP, 1999, São Carlos, Brasil.
2. CAMP, T. R. Sedimentation and the Design of Settling Tanks ASCE Transactions Vol. 111, p: 895 - 936, 1946, USA.
3. CULP, G. L., HANSEN, S. D. E RICHARDSON, G. High-Rate Sedimentation in Water Treatment Works JAWWA, Vol. 60, n. 6, p: 681 - 698, June 1968, USA.
4. CULP, G. L., HSIUNG, K. E CONLEY, W. R. Tube Clarification Process - Operating Experiences JSED - ASCE, Vol. 95, n. SA5, p: 829, 1969, USA.
5. CUNHA, F. H. R. Estudo do Comportamento Hidráulico e da Eficiência na Decantação de Alta Taxa Dissertação de Mestrado EESC-USP, 1990, São Carlos, Brasil.
6. FADEL, A. A. & BAUMANN, E. R. Tube Settler Modeling JAWWA, V.116, n.1, p:107-124, Jan./feb. 1990, USA.
7. GOLDSTEIN, R. J. E KREID, D. K. Measurement of Laminar Flow Development in a Square Duct Using a Laser-Doppler Flowmeter JAM-Transactions ASME p: 813 - 818, Dec. 1967, USA.
8. HAN, L.S. Hydrodynamic Entrance Lengths for Incompressible Laminar Flow in Rectangular Ducts. JAM-Transactions ASME p: 403 - 409, set. 1960, USA.
9. HANSEN, S. D., CULP, G. L. E STUKENBERG, J. R. Practical Application of Idealized Sedimentation Theory in Wastewater Treatment JWPDF, Vol. 41, n.8, p:1421, Aug. 1969, USA.
10. SOARES, C. A., SCHULZ, H. E., ROMA, W. N. L. E DI BERNARDO, L. Sedimentação de Partículas Discretas no Trecho de Transição em Dutos de Seção Quadrada e Retangular Usados na Decantação de Alta Taxa Revista Engenharia Sanitária e Ambiental p: 190-197, Ano II, n. 1, Jan/Mar 1997, Brasil.
11. SPARROW, E. M., HIXON, C. W. E SHAVIT, G. Experiments on Laminar Flow Development in Rectangular Ducts JAM - Transactions ASME, p: 116 - 124, March 1967, USA.
12. YAO, K. M. Theoretical Study of High-Rate Sedimentation JWPCF, Vol. 42, n. 2, p: 218, Feb. 1970, USA.
13. YAO, K. M. Design of High-Rate Settlers JEED Proc. ASCE, Vol. 99, n. EE5, p: 621, USA.