



Avaliação de um hidrociclone de Rietema para remoção de areia da água de irrigação



Olívio J. Soccol¹, Tarlei A. Botrel², Eliezer S. Gervásio³ & Mario N. Ullmann¹

¹ DER/UDESC, CP 281, CEP 88.520-000, Lages, SC. Fone: (49) 3221-2200, Fax: (49) 3221-2222. E-mail: soccol@cav.udesc.br (Foto)

² DER/ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11. CEP 13.418-900, Piracicaba, SP. Fone: (19) 3429-4217. E-mail: tabotrel@carpa.ciagri.usp.br

³ CENAMB/UNIVASF, BA 210, CEP 48.900-000. Juazeiro, BA. Fone: (87) 3861-1927. E-mail: eliezer.gervasio@univasf.edu.br

Protocolo 129 - 22/7/2003 - Aprovado em 16/6/2005

Resumo: Neste trabalho, o principal objetivo foi avaliar a capacidade de um hidrociclone tipo Rietema, com 50 mm de diâmetro, em reter areia suspensa na água de irrigação. O hidrociclone operou com diferenciais de pressão que variaram de 10 a 60 kPa e vazões entre 1.159,90 a 2.603,60 L h⁻¹. A concentração de areia na suspensão variou de 2,81 a 7,01 g L⁻¹. Os resultados mostraram que as melhores eficiências de remoção foram obtidas para os diferenciais de pressão de 10 e 20 kPa, com diâmetros de corte de 50 mm apresentando uma eficiência granulométrica de 70%.

Palavras-chave: ciclone, qualidade da água, pré-filtragem

Evaluation of Rietema hydrocyclone for sand removal from irrigation water

Abstract: In this work, objective was to evaluate the capacity of a Rietema kind of hydrocyclone, with 50 mm diameter, to retain suspended sand in irrigation water. The hydrocyclone was operated with pressure differentials that varied from 10 to 60 kPa and discharges between 1,159.90 and 2,603.60 L h⁻¹. The sand concentration in suspension varied from 2.81 to 7.01 g L⁻¹. The best results were obtained for the pressure differentials of 10 and 20 kPa, with cut diameter sizes of 50 mm showing granulometric efficiency of 70%.

Key words: cyclone, water quality, pre-filters

INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água; no entanto, o aspecto da qualidade tem sido desprezado devido ao fato de que, no passado, as fontes de água eram, no geral, abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização. Para minimizar problemas oriundos do uso da água de baixa qualidade, deve existir planejamento efetivo que assegure melhor uso possível da água, de acordo com sua qualidade (Ayers & Westcot, 1991).

A água de irrigação utilizada na agricultura pode conter contaminantes indesejáveis, tais como sais dissolvidos, sedimentos suspensos, elementos tóxicos de ocorrência natural, nematóides e outros agentes patogênicos. Contaminantes físicos e partículas orgânicas podem causar efeitos adversos aos sistemas de irrigação. Quando presentes, torna-se necessário o uso de filtros para efetuar sua remoção. Sedimentos carregados pela água reduzem a vida útil dos componentes dos sistemas de irrigação em virtude do desgaste

que proporcionam; em casos extremos, há necessidade periódica de troca de diversos componentes do sistema.

Diferentes tipos de filtros podem ser utilizados para minimizar o problema causado pela presença de sedimentos em suspensão na água de irrigação (Lopez, 1998).

Bacias de sedimentação e hidrociclones separadores de areia, podem ser utilizados para reduzir as dimensões e o custo dos sistemas de filtragem, especialmente quando se utiliza filtro de areia (Keller & Bliesner, 1990). Segundo os mesmos autores, pré-filtros, como os hidrociclones, desempenham importante papel, pois se caracterizam por significativo poder de separação de partículas presentes na água, mantendo constante a perda de carga ao longo do tempo, o que não ocorre com os outros tipos de filtro normalmente utilizados em sistemas de irrigação.

Os hidrociclones constituem uma classe significativa de equipamentos destinados principalmente à separação de suspensões no sistema sólido-líquido (Souza et al., 2000). Eles vêm sendo usados de maneira diversificada nas indústrias química, metalúrgica, têxtil, petroquímica, de alimento, de

bioengenharia etc. (Silva, 1989; Rovinsky, 1995; Dai et al., 1999; Chu et al., 2002).

Originalmente, os hidrociclones foram desenhados para promover a separação de sólido-líquidos (Castilho & Medronho, 2000), porém hoje eles são usados para a separação sólido-sólido (Klima & Kim, 1998), líquido-líquido (Smyth & Thew, 1996) e gás-líquido (Marti, 1996).

O princípio de separação dos hidrociclones é o mesmo das centrífugas, proporcionado pela sedimentação centrífuga, por meio da qual as partículas em suspensão são submetidas a um campo centrífugo que provoca sua separação do fluido (Souza et al., 2000). Segundo os autores, de forma distinta das centrífugas, os hidrociclones não apresentam partes móveis, requerendo baixo custo de instalação e manutenção e são simples de operar.

Um hidrociclone consiste de uma parte cônica ligada a uma parte cilíndrica, na qual está localizada a entrada tangencial para a suspensão afluyente. A parte superior do hidrociclone possui um tubo para saída da suspensão clarificada (efluente sobrenadante) e na parte inferior há um orifício de saída da suspensão concentrada (efluente de fundo). Ao entrar no hidrociclone, a suspensão afluyente passa a ter um movimento rotacional descendente, em direção ao orifício de saída do efluente de fundo. Como esta abertura é relativamente pequena, apenas parte da suspensão pode sair e, com o efluente, saem as partículas mais grosseiras presentes na suspensão admitida no hidrociclone. O restante da suspensão que não saiu do equipamento é reencaminhado, formando um vórtice ascendente interno possibilitando-se, com isso, sua saída pelo orifício de saída do efluente sobrenadante, o qual apresenta partículas finas em suspensão (Flintoff et al., 1987). Os mesmos autores afirmam, ainda, que a maior parte da vazão afluyente deixa o hidrociclone através do orifício de efluente sobrenadante.

Na operação com um hidrociclone, quando a suspensão de alimentação é introduzida no seu interior, operando em regime permanente, uma fração do líquido, junto com as partículas de maior velocidade terminal, é descarregada, por meio do orifício de saída do concentrado. O restante do líquido com as partículas de menor velocidade terminal é descarregado, por meio do tubo de saída da suspensão diluída (Silva, 1989). Conforme este autor, mesmo que o hidrociclone não esteja separando, devido à ação centrífuga, certa quantidade de sólidos é removida no concentrado, numa razão igual à razão de líquido RL; isto acontece porque o hidrociclone age também como divisor do escoamento, tal qual uma conexão T em tubulações.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de um hidrociclone em separar partículas de areia presentes na água de irrigação utilizando-se, como parâmetros de desempenho, a eficiência total e a eficiência granulométrica.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, da Universidade de São Paulo – USP, em Piracicaba, SP.

O hidrociclone utilizado foi do tipo Rietema (1961), com diâmetro de 50 mm, construído em PVC e fibra de vidro.

O material particulado mantido na suspensão usada nos ensaios, foi constituído por areia fina com massa específica de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$. Na condução dos ensaios utilizou-se uma bancada, em circuito fechado, composta por um reservatório de 500 L, conjunto motobomba com vazão de 4500 L h^{-1} e altura manométrica de 340 kPa, medidor de vazão eletromagnético com capacidade nominal de 1000 L h^{-1} , sensor de pressão para medida do diferencial de pressão no hidrociclone, com capacidade de 0 a 700 kPa, agitador submersível, microcomputador para a tomada de dados de vazão e diferencial de pressão em tempo real, por meio do uso do programa computacional Aquidados (Vilela et al., 2001). A bancada de ensaios, (Figura 1), era colocada em operação por meio do acionamento do conjunto motobomba, e ligados na seqüência: o microcomputador, o medidor de vazão, o sensor de pressão e o agitador submersível. Com o programa Aquidados em execução, era fixada a queda de pressão desejada no hidrociclone, por intermédio do comando de uma válvula de gaveta instalada no recalque da bomba. Os ensaios foram conduzidos para diferenciais de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 kPa, com razão de líquido ajustada para um valor aproximado de 10%, por meio do comando de uma válvula de gaveta instalada na seção de saída do efluente de fundo.

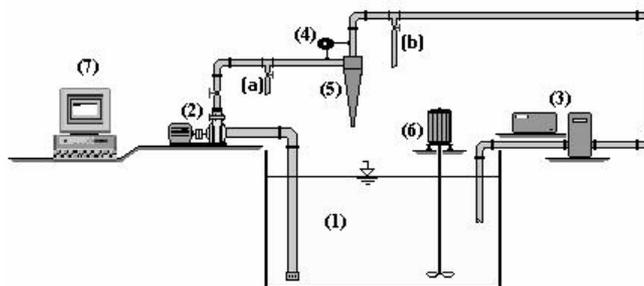


Figura 1. Esquema da bancada experimental com: (1) reservatório; (2) motobomba; (3) medidor de vazão; (4) sensor de pressão; (5) hidrociclone e (6) agitador submersível; (7) microcomputador e (a) e (b) pontos de tomada de amostras do afluyente e do efluente sobrenadante, respectivamente

Na tela inicial do programa Aquidados, ajustava-se o intervalo de leitura e de saída de dados para 60 s e, na seqüência, acionava-se o botão Leitura. Durante o tempo de coleta dos dados de vazão e queda de pressão, tomava-se a amostra da suspensão concentrada para o intervalo de tempo de 30 s e, em seguida, pesava-se a mesma, de modo a se obter a vazão mássica da referida corrente. Uma vez encerrada a leitura da vazão e do diferencial de pressão, procedia-se à coleta da suspensão afluyente. Este procedimento foi repetido mais duas vezes, obtendo-se a média de três repetições para cada diferencial de pressão amostrado. A concentração das amostras foi determinada utilizando-se o processo gravimétrico e a determinação da distribuição granulométrica das partículas da areia; para a suspensão afluyente e do efluente de fundo, utilizou-se o método das peneiras (Allen, 1990) e se trabalhou com um jogo de 10 peneiras, cuja abertura da malha, em ordem decrescente, foi de 1000, 590, 500, 420, 297, 250, 149, 105, 74 e 53 μm .

A razão de líquido (R_L) pode ser definida por meio da Eq. 1.

$$R_L = \frac{Q_{ef}(1 - Cv_{ef})}{Q(1 - Cv)} \quad (1)$$

em que:

Q_{ef} - vazão efluente de fundo, $L s^{-1}$

Q - vazão afluyente, $L s^{-1}$

Cv_{ef} - concentração volumétrica no efluente de fundo, $L L^{-1}$

Cv - concentração volumétrica no afluyente, $L L^{-1}$

A eficiência total de separação do hidrociclone é determinada pela razão entre a massa total de sólidos coletados no efluente de fundo e a massa total de sólidos no afluyente (Svarovsky, 1984).

$$E_T = \frac{Ws_{ef}}{Ws} \quad (2)$$

em que:

E_T - eficiência total, adimensional

Ws - vazão mássica de sólidos no afluyente, $kg s^{-1}$

Ws_{ef} - vazão mássica de sólidos no efluente de fundo, $kg s^{-1}$

A eficiência granulométrica pode ser definida como sendo a razão entre as vazões mássicas de sólidos do efluente de fundo e do efluente sobrenadante só que, neste caso, para determinado diâmetro d de partícula. Sua definição é semelhante à da eficiência total, exceto pelo fato de que seu valor corresponde a um único tamanho de partícula, também conhecida como eficiência individual ou eficiência por tamanho; entretanto, a vazão mássica para determinado diâmetro é dada pelo produto da vazão mássica de sólidos na corrente em questão, pela correspondente fração dX/dd (Svarovsky, 1984), assim:

$$G = E_T \frac{dX_{ef}}{dX} \quad (3)$$

que, na forma integral, resulta em

$$E_T = \int_0^1 G dX \quad (4)$$

em que:

G - eficiência granulométrica, adimensional

X - fração mássica das partículas menores que um diâmetro d no afluyente, adimensional

X_{ef} - fração mássica das partículas menores que um diâmetro d no efluente de fundo, adimensional

Utilizando-se a Eq. 3 pode-se determinar a eficiência granulométrica do hidrociclone, por meio do conhecimento da sua eficiência global e da distribuição granulométrica das correntes afluentes e efluentes de fundo. Os resultados são usualmente analisados por intermédio da curva que relaciona

a eficiência granulométrica com o diâmetro da partícula, denominada curva de eficiência granulométrica.

Na curva de eficiência granulométrica o diâmetro da partícula, que possui eficiência de 50%, é conhecido como diâmetro de corte d_{50} . O diâmetro de corte é um diâmetro de partícula que, de certa forma, representa o potencial de separação do hidrociclone sendo que, quanto menor este diâmetro, melhor projetado foi o hidrociclone.

A fração cumulativa em massa corresponde ao ajuste da distribuição granulométrica ao modelo de Rosin-Rammler-Bennet é assim apresentada (Scheid, 1992):

$$X = 1 - e^{\left[-\left(\frac{d}{d^*}\right)^n\right]} \quad (5)$$

em que:

d - diâmetro das partículas, μm

d^* , n - parâmetros de ajuste do modelo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As distribuições granulométricas das suspensões afluentes e efluentes de fundo praticamente não variaram, o que também ocorreu para os diversos diferenciais de pressão, conforme se verifica nas curvas apresentadas na Figura 2. O modelo de Rosin-Rammler-Bennet ajustou-se bem aos dados experimentais da distribuição granulométrica, obtendo-se R^2 de 0,99 para todos os diferenciais de pressão. O diâmetro médio das partículas de areia na alimentação variou de aproximadamente 160 a 200 μm e de 175 a 215 μm no efluente de fundo do hidrociclone. A distribuição granulométrica a areia, mostrou que o tamanho médio das partículas é bem superior ao tamanho médio das partículas dos materiais particulados normalmente utilizados em estudos com hidrociclones, como exemplo temos 1,74 a 7,87 μm , 19,6 a 70,0 μm , 11,2 a 40,1 μm , 8,2 a 29,4 μm e 1,4 a 39,4 μm para o carbonato de cálcio, barita, carvão, fluorapatita e barita, respectivamente (Peçanha & Massarani, 1980; Silva, 1989).

Na Tabela 1 estão apresentados os dados do desempenho do hidrociclone, a vazão e a concentração das suspensões afluyente e efluente de fundo para os diferenciais de pressão ensaiados. Verifica-se que a eficiência total de remoção do hidrociclone apresentou valores que variaram entre 97,09 e 68,07% para os diferenciais de pressão 10,80 e 62,70 kPa, respectivamente. Os maiores valores, 95,08 e 97,09%, foram obtidos para os diferenciais aproximados de 10 e 20 kPa, respectivamente, diminuindo com os diferenciais superiores. Esta diminuição da eficiência total pode ser explicada pelo menor tempo de residência disponível para as partículas no interior do hidrociclone ou, então, pela ocorrência de maior turbulência no interior do mesmo, quando operando sob aqueles diferenciais de pressão. Silva (1989), em trabalho conduzido com suspensão de carbonato de cálcio, massa específica

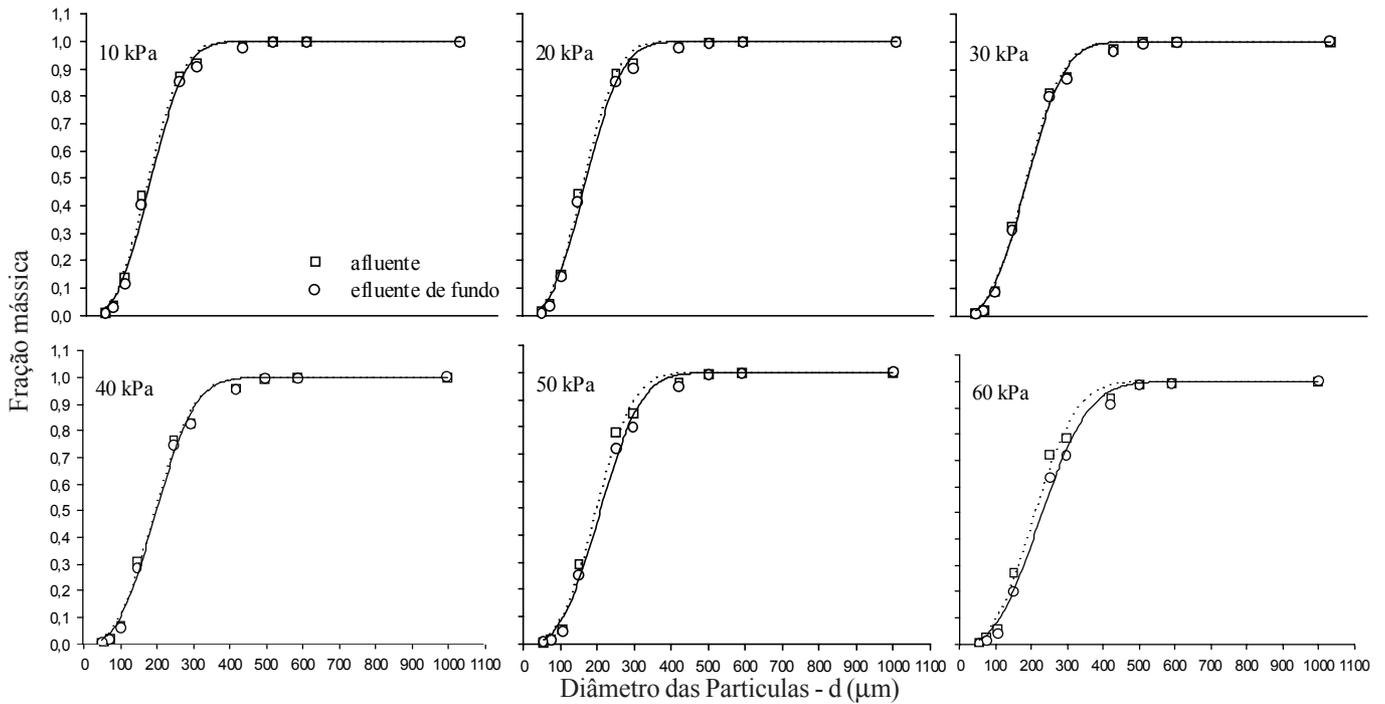


Figura 2. Distribuição granulométrica da areia, pontos experimentais e curvas ajustadas no afluyente e no efluente de fundo, para os diferenciais de pressão de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 kPa

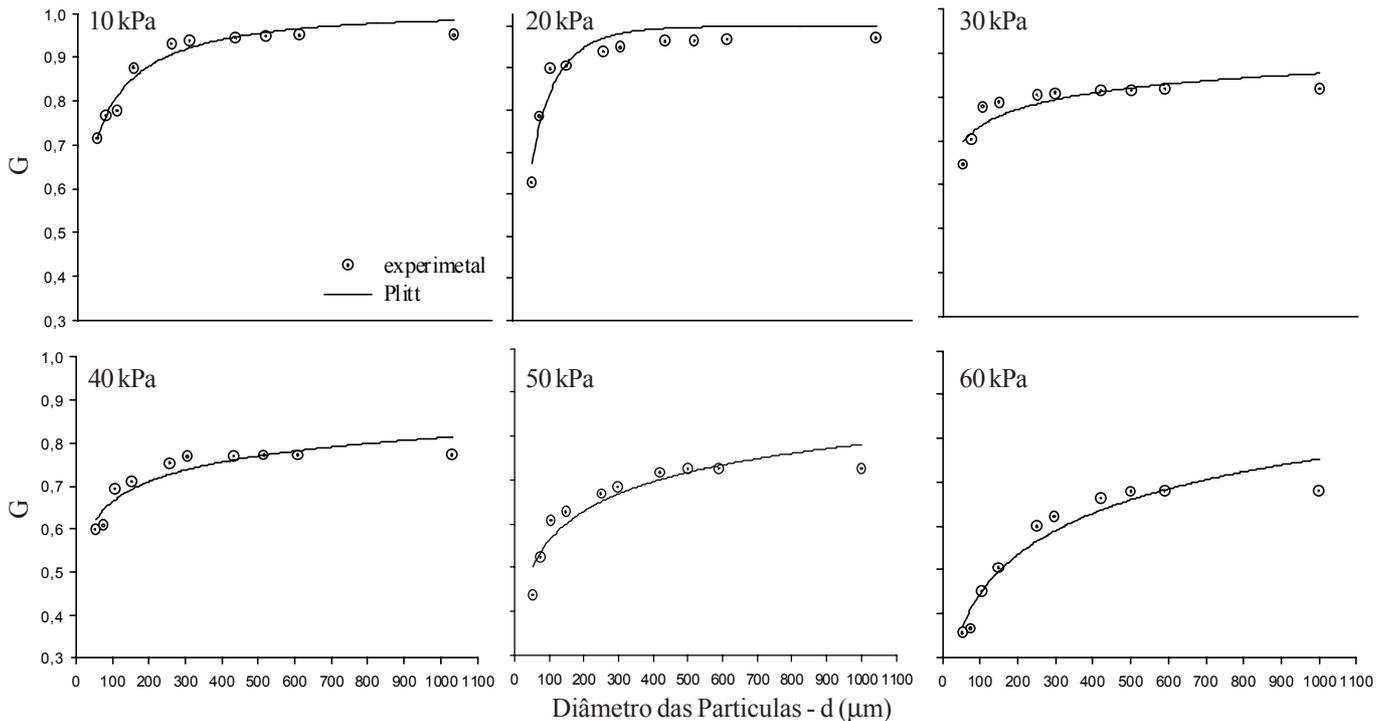


Figura 3. Eficiência granulométrica (G) do hidrociclone operando para os diferenciais de pressão de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 kPa

2,45 g cm⁻³, concentração de 1% em peso, também verificou decréscimo na eficiência total de remoção, com o aumento dos diferenciais de pressão. Peçanha & Massarani (1980) comentam que hidrociclones bem projetados operam com eficiência total de remoção na faixa de 80 a 90%. Quanto à eficiência granulométrica, pode-se verificar, por meio da análise dos gráficos apresentados na Figura 3, que houve tendência de decréscimo nas curvas com o aumento do diferencial de pressão,

fenômeno também verificado por Silva (1989). Para eficiência granulométrica de 70%, os diâmetros aproximados das partículas variaram de 50 μm para os diferenciais de 10, 20 e 30 kPa, e de 150, 400 e 650 μm para os diferenciais de 40, 50 e 60 kPa, respectivamente, indicando que o hidrociclone operando sob os diferenciais de 10 a 30 kPa, foi capaz de remover 70% do total de partículas de areia com diâmetro igual ou superior a 50 μm presentes na suspensão afluyente.

Tabela 1. Dados médios dos ensaios experimentais realizados com o hidrociclone

ΔP (kPa)	Q (L h ⁻¹)	Q _{ef} (L h ⁻¹)	[A] (g L ⁻¹)	[C] (g L ⁻¹)	Cv (%)	Cv _{ef} (%)	RL (%)	Ws (kg h ⁻¹)	Ws _{ef} (kg h ⁻¹)	ET (%)
10,80	1159,9	133,5	2,81	23,26	0,106	0,879	11,42	3,265	3,104	95,08
22,30	1582,8	223,3	2,99	21,09	0,113	0,797	13,66	4,849	4,708	97,09
29,50	1826,8	133,7	6,19	69,34	0,234	2,627	7,14	11,314	9,269	81,93
40,40	2002,2	207,6	6,11	45,50	0,231	2,720	10,22	12,239	9,444	77,16
52,00	2386,2	249,4	5,93	42,99	0,224	1,625	10,25	14,139	10,273	72,79
62,70	2603,6	259,2	7,01	47,95	0,265	1,813	9,80	18,255	12,427	68,07

Nota: ΔP - Diferencial de pressão no hidrociclone; Q - Vazão afluente; Q_{ef} - Vazão efluente de fundo; [A] - Concentração de sólidos no afluente; [C] - Concentração de sólidos no efluente de fundo; Cv - Concentração volumétrica no afluente; Cv_{ef} - Concentração volumétrica no efluente de fundo; RL - Razão de líquido; Ws - Vazão mássica de sólidos no afluente; Ws_{ef} - Vazão mássica de sólidos no efluente de fundo; ET - Eficiência total

CONCLUSÕES

1. O hidrociclone avaliado apresentou elevada capacidade de separação das partículas de areia em suspensão na água, para os diferenciais de pressão de 10 e 20 kPa, cuja eficiência total média é de 96,09%

2. Para os menores diferenciais de pressão verificaram-se maiores valores de eficiência granulométrica, isto é, o equipamento foi capaz de remover uma porcentagem maior de partículas de menor tamanho.

3. O uso do hidrociclone pode ser recomendado para o tratamento de água de irrigação que contenha altas concentrações de partículas de areia em suspensão; no entanto, fazem-se necessários mais estudos com outros tipos de materiais encontrados em suspensão na água e com hidrociclones de outras proporções geométricas, haja visto, a carência de informações a respeito de seu uso com pré-filtro em sistemas de irrigação.

LITERATURA CITADA

- Allen, T. Particle size measurement. 4.ed. London: Chapman & Hall, 1990. 832p.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.
- Castilho, L.R.; Medronho, R.A. A simple procedure for design and performance prediction of Bradley and Rietema hydrocyclones. Minerals Engineering, Amsterdam, v.13, n.2, p.183-191, 2000.
- Chu, L.Y.; Chen, W.M.; Lee, X.Z. Enhancement of hydrocyclone performance by controlling the inside turbulence structure. Chemical Engineering Science, Amsterdam, v.57, n.1, p.207-212, 2002.
- Dai, G.Q.; Li, J.M.; Chen, W.M. Numerical prediction of the liquid flow within a hydrocyclone. Chemical Engineering Journal, Lawrence, v.74, n.3, p.217-223, 1999.
- Flintoff, B.C.; Plitt, L.R.; Turak, A.A. Cyclone modeling: a review of present technology. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Bulletin, Alberta, v.80, n.905, p.39-50, 1987.

Keller, J.; Bliesner, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Chapman & Hall, 1990. 625p.

Klima, M.S.; Kim, B.H. Dense-medium separation of heavy-metal particles from soil using a wide-angle hydrocyclone. Journal of Environmental Science and Health, London, v.33, p.1325-1340, 1998.

Lopez, T.M. Cabezal de riego. In: Lopez, C.C.(ed.). Fertilización: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: Mundi-Prensa, 1998. cap.6, p.247-263.

Martí, S. Analysis of gas carry-under in gas-liquid cylindrical cyclones. In: Claxton, D.; Svarovsky, L.; Thew, M.T. (eds.). Hydrocyclones. London: London & Bury Saint Edmunds, 1996. p.399-421.

Peçanha, R.P.; Massarani, G. Avaliação do desempenho de hidrociclones. Revista Brasileira de Tecnologia, Rio de Janeiro, v.11, n.4, p.289-299, 1980.

Rietema, K. Performance and design of hydrocyclones I, II, III, IV. Chemical Engineering Science, London, v.15, p.298-302, 1961.

Rovinsky, L.A. Application of separation theory to hydrocyclone design. Journal of Food Engineering, London, v.26, n.2, p.131-146, 1995.

Scheid, C.M. Estudo da influência da concentração de sólidos e de sangrias no desempenho de ciclones a gás. Rio de Janeiro: UFRJ, 1992. 94p. Dissertação Mestrado

Silva, M.A.P. da. Hidrociclones de Bradley: dimensionamento e análise de desempenho. Rio de Janeiro: UFRJ, 1989. 81p. Dissertação Mestrado

Smyth, I.C.; Thew, M.T. A study of the effect of dissolved gas on the operation of liquid-liquid hydrocyclones. In: Claxton, D.; Svarovsky, L.; Thew, M.T. (eds.). Hydrocyclones. London: London & Bury Saint Edmunds, 1996. p.357-368.

Souza, F.J.; Vieira, L.G.M.; Damasceno, J.J.R.; Barrozo, M.A.S. Analysis of the influence of the filtering medium on the behaviour of the filtering hydrocyclones. Powder Technology, New York, v.117, p.259-267, 2000.

Svarovsky, L. Hydrocyclones. Lancaster: Technomic, 1984. 198p.

Vilela, L.A.A.; Gervásio, E.S.; Soccol, O.J.; Botrel, T.A. Sistema para aquisição de dados de pressão e vazão usando microcomputador. Revista Brasileira de Agrocomputação, Ponta Grossa, v.1, p.25-30, 2001.