

PE 3
PP-10

DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE AERAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA CONSTITUÍDO POR TUBOS VERTICAIS RANHURADOS COM DESCARGA SUBMERSA

J. C. FEITOSA FILHO¹, T. A. BOTREL², J. M. PINTO³, L. F. CAVALCANTE¹

RESUMO: O trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de aeração de reservatório de água constituído por tubos de PVC rígido, com potencialidade de uso na remoção de íons de Fe^{+2} que causam obstrução nas tubulações e emissores dos sistemas de irrigação localizada ou para uso na aquicultura. O sistema foi constituído de uma linha lateral de 32 mm e de cinco linhas de distribuição de 25 mm. Em cada uma dessas linhas foram inseridos seis tubos de 20 mm de diâmetro, comprimento de 0,40 m, espaçados de 0,30 m. As extremidades desses tubos ficaram submersas na água à profundidade de 0,10 m. Determinou-se uma equação para definir o funcionamento do sistema e avaliou-se a quantidade de ar incorporado na água por um dos tubos e por todos da unidade de aeração. Avaliou-se o sistema nas vazões motrizes de 10.076; 11.635; 12.341; 13.574 e 15.837 L h⁻¹. As vazões médias de ar incorporado na água de 410; 530; 577; 580; 690 e 630 L h⁻¹ e os valores de CUC obtidos foram 64,7; 65,9; 69,5; 65; 66,8 e 59,5%, respectivamente. Pelos resultados, o sistema pode ser considerado eficiente segundo o objetivo proposto.

PALAVRAS-CHAVE: aeração, irrigação, obstrução.

EFFICIENCY OF AN AERATION OF SYSTEM A RESERVOIR OF WATER CONSTITUTED OF SAWED VERTICAL TUBES WITH SUBMERGED DISCHARGE

SUMMARY: The work had as objectives to develop and evaluate a system of aeration in a reservoir of water, constituted by lines of rigid PVC and tubes of PVC with potentiality of removing ions of Fe^{+2} , that cause obstruction in the tubes and emitters in the systems of located irrigation or systems used in aquiculture. The system was constituted of a lateral line of 32 mm and five lines of distribution of 25 mm. In each one of those lines six tubes of 20 mm diameter were inserted, with length of 0,40 m and spaced of 0,30 m. The extremities of those tubes were submerged in the water with depth of 0,10 m. An equation to define the operation of the system was determined and the amount of air incorporated in the water was evaluated by one of the tubes and for all of the unit of aeration. The system was evaluated in the motive flows of 10076; 11635; 12341; 13574 and 15837 L h⁻¹. The medium flows of air incorporated in the water were 410; 530; 577; 580; 690 and 630 L h⁻¹. The CUC values were 64.7; 65.9; 69.5; 65.7; 66.8; and 59.5%. By the results, the system can be considered efficient.

KEYWORDS: aeration, irrigation, obstruction.

¹ Prof. Doutor, DSER/CCA/UFPPB, Areia, PB, (0xx83) 362.2300, Ramal 241, Fax: (0xx83) 362.2259, e-mail: jfeitos@cca.ufpb.br

² Prof. Doutor, DER/ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

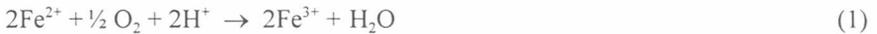
³ Pesquisador Doutor, CPATSA/EMBRAPA, Petrolina, PE.

INTRODUÇÃO

Segundo NAKAYAMA & BUCKS (1986), a obstrução dos emissores continua a ser o principal problema da irrigação localizada devido, principalmente, à qualidade da água utilizada nos sistemas de irrigação. Acrescentam que uma das causas dessas obstruções refere-se ao uso de água com elevados teores de íons de Fe^{+2} , solúveis em água que quando oxidados para a forma de Fe^{+3} precipitam-se formando aglomerados sólidos. Os compostos sólidos com o tempo vão se juntando na base interna das tubulações do sistema de irrigação e formando aglomerados de diâmetros superiores àqueles dos emissores, levando facilmente a obstruções.

FORD & TUCKER (1975) avaliaram os principais agentes causadores das obstruções num sistema de irrigação por gotejamento. Constataram que a presença de Fe^{+2} na água foi um dos responsáveis por grande parte dos problemas. Citam que nenhum filtro foi capaz de reter os íons nessa forma. Somente após sua oxidação para a forma Fe^{+3} isso foi possível. Observaram também que as obstruções dos emissores ocorreram quando as concentrações dos íons de Fe^{+2} foram superiores a 0,4 mg/L.

Segundo RUMP & KRIST (1992), o íon ferroso (Fe^{+2}) em contato com o oxigênio atmosférico é oxidado para a forma férrica Fe^{+3} , seguindo o processo:



Observa-se pela equação acima que para haver a formação do íon Fe^{+3} , insolúvel em água, há necessidade de determinada quantidade de oxigênio (O_2) que provém da atmosfera e que na aeração artificial pode ser procedente também de outra fonte.

Segundo NOMURA (1983) e BOYD (1990), a operação de aeração artificial pode ser feita por diferentes formas, dependendo do tipo de aerador, do volume de água a ser tratada, da eficiência do aerador e de seu custo.

De acordo com PIZARRO (1996), não só o Fe^{+2} como também o Mn^{+2} e o S são íons que no estado reduzido são solúveis em água, porém ao se oxidarem precipitam-se e levam à obstrução de emissores seguindo reações semelhantes às descritas para o Fe^{+2} .

Tanto o Fe^{+2} quanto o Mn^{+2} são íons metálicos encontrados na crosta terrestre de todo o mundo, cuja fonte principal dá-se devido a percolação da água através dos solos e rochas contendo compostos de ferro. A água atuando como solvente, dissolve os minerais fontes desse elemento passando os íons a fazer parte da solução, principalmente nas águas de poços profundos com conteúdo de oxigênio mais baixo que nas águas superficiais. Tanto o ferro quanto o manganês em pequena quantidade não trazem problemas para o consumo humano da água. Já em quantidade mais elevadas causam diretamente obstruções das tubulações de abastecimento de água no meio urbano e rural, nos tubos utilizados na drenagem subterrânea e outras aplicações onde a água é conduzida em condutos metálicos ou de outro material de pequeno diâmetro. A incrustação gradativa dos íons ferrosos no interior da tubulação, além de reduzir a vazão, aumenta o custo de energia de bombeamento devido ao aumento das perdas de carga nas tubulações (VARNER et al. 2000).

No caso específico da água para uso na irrigação, uma alternativa citada por PIZARRO (1996) para resolver o problema do excesso de Fe^{+2} e Mn^{+2} consiste em provocar a oxidação desses elementos propositalmente por meio de uma aeração artificial. Em seguida, é feita a retenção dos precipitados por meio de filtros, antes da entrada da água nas tubulações e nos emissores do sistema de irrigação.

WINKLER (1981), referindo-se aos métodos de aeração utilizados para o tratamento de águas residuárias, identifica a possibilidade do uso de bombas de vácuo ("Jet Pumps") por serem instrumentos de fácil funcionamento e de baixo custo.

BOON (1978) relata a possibilidade de uso de injetores tipo Venturi na aeração artificial; constituindo o processo por difusão de ar. Segundo ele, dois são os critérios utilizados para avaliar a eficiência de um aerador: capacidade de oxigenação e eficiência de oxigenação. O primeiro critério define a taxa de absorção de oxigênio durante a aeração à temperatura específica (10 °C ou 20 °C). O segundo critério define a capacidade de oxigenação do aerador por unidade de energia consumida no trabalho. Acrescenta ainda, que o custo de aquisição e operacional do aerador são fatores também importantes na sua avaliação.

FEITOSA FILHO et al. (1997) e FEITOSA FILHO et al. (1998) avaliaram um sistema de aeração constituído por um injetor tipo Venturi acoplado às linhas de distribuição de tubos de PVC rígido perfurados submersas "tipo irrigação por gotejamento". O ar era captado da atmosfera pelo injetor e incorporado diretamente na água que passava na tubulação principal do sistema, sendo ambos distribuídos num reservatório de tratamento. Obtiveram boa eficiência na quantidade de ar incorporado na água pelo sistema, porém sua distribuição no reservatório foi bastante irregular ao longo das tubulações. Concluíram que havia necessidade de aprimoramento do sistema visando melhorar a uniformidade de distribuição do ar no reservatório. Diante desses aspectos este trabalho teve como objetivos avaliar o desempenho de um sistema de aeração constituído por tubos de PVC rígido e definir os parâmetros hidráulicos e as equações que expressem o funcionamento do sistema de aeração proposto.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Utilizou-se uma unidade composta por uma linha lateral de 32 mm e por cinco linhas de distribuição de PVC rígido de 25 mm de diâmetro e 6,0 m de comprimento, espaçadas de 0,25 m. Foram inseridos em cada uma delas, seis tubos também de PVC rígido de 20 mm de diâmetro nominal e 0,40 m de comprimento, espaçados de 0,30 m. Em cada um desses tubos fizeram-se cinco ranhuras inclinadas com ângulo de aproximadamente 45°, espaçadas de 0,05 m. Essas ranhuras foram feitas com uma serra de aço de 1,2 mm de espessura do corte e os tubos ficaram com extremidades totalmente abertas dentro da água do reservatório, à profundidade de 0,10 m, conforme esquema ilustrativo da Figura 1.

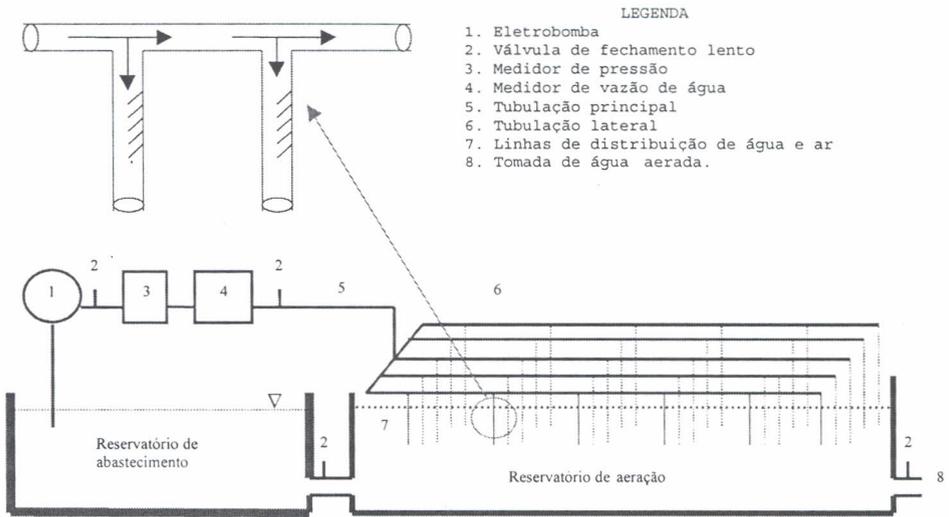


FIGURA 1. Esquema do sistema de aeração proposto.

O princípio de funcionamento do sistema proposto aproveita a velocidade de descida da água nos tubos verticais, criando um vácuo no interior do tubo permitindo que o ar atmosférico seja captado e incorporado na água que constitui o fluido motriz.

A circulação da água nas tubulações e no reservatório é feita através de um circuito fechado, durante o tempo estabelecido para aeração do volume de água existente no seu interior, até completar a quantidade de ar necessária para operação. A água é recalçada do reservatório por meio de uma eletrobomba de pequeno porte pois, o sistema requer baixa pressão de serviço e baixa vazão motriz.

Na avaliação do sistema de aeração proposto, determinou-se inicialmente a quantidade de ar distribuído por um só tubo operando com doze diferentes vazões motrizes. Esses dados serviram para obter uma equação de regressão representativa do funcionamento do sistema. Avaliaram-se, em seguida, as quantidades de ar incorporado na água por todos os tubos inseridos numa só lateral (posição central) e posteriormente, por todos os tubos da unidade de aeração.

Para determinar a quantidade de ar incorporado na água em cada tubo utilizou-se uma proveta de vidro graduada que serviu para captar o ar que borbulhou na água. Dessa forma, o volume de ar distribuído na extremidade dos tubos substituiu um volume correspondente de água no interior da proveta. Para fazer essa medição, a proveta era preenchida totalmente com água e conduzida invertida e submersa até que ficasse posicionada sobre uma saída também de PVC constituída de duas juntas de 90° que permitia uma saída com formato em “U” na extremidade de cada tubo ranhurado.

Com um cronômetro determinou-se o tempo gasto para a substituição do volume de água pelo volume de ar. Com os tempos gastos nessa substituição determinaram-se as respectivas vazões de ar incorporado na água. Para avaliar o rendimento do sistema utilizou-se a fórmula deduzida por FEITOSA FILHO et al. (1997), dada por:

$$\eta = \frac{\left[\rho_2 \frac{Q_2^3}{2A_2^3} + Q_2(P_3 + P_2) \right]}{\left[\rho_1 \frac{Q_1^3}{2A_1^2} + Q_1(P_1 - P_3) \right]} 100 \quad (2)$$

em que,

η - rendimento do injetor, %;

ρ_n - massa específica do fluido no ponto considerado, kg/m³;

Q_1 - vazão motriz na secção de entrada, m³/s;

Q_2 - vazão de sucção, m³/s;

P_1 - pressão de serviço na secção a montante do injetor, kPa;

P_2 - tensão na secção estrangulada, kPa;

P_3 - pressão pós-injetor, kPa;

A_1 - área da secção a montante do injetor, m², e

A_2 - área da secção estrangulada, m².

Determinou-se, finalmente, em cada teste, a uniformidade de distribuição do ar na água utilizando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, proposto por Christiansen (1942).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os dados das vazões motrizes, vazões de ar incorporado na água, porcentagens de ar incorporado na água em relação às vazões motrizes e os rendimentos obtidos no teste com um só tubo trabalhando sob doze diferentes vazões motrizes.

Na Tabela 2 estão apresentados os dados desses mesmos parâmetros juntamente com o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para as vazões do ar incorporado na água pelo sistema completo de aeração, constituída de cinco tubos ranhurados idênticos ao tubo do primeiro teste e funcionando simultaneamente, sob seis diferentes vazões motrizes.

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 1, observa-se que a vazão de ar incorporado na água pelo tubo ranhurado aumentou com o aumento das vazões motrizes até um determinado valor, apresentando, posteriormente, um decréscimo gradativo. Isso possivelmente deve-se ao fato de que, com o aumento das vazões motrizes no tubo, tem-

se o surgimento de uma sobrepressão no seu interior, fazendo a água jorrar pelas ranhuras, revertendo o processo de captação do ar atmosférico para o interior do tubo.

TABELA 1. Vazão motriz no tubo (Qmt), vazão de ar incorporado na água por um dos tubos(Qat), porcentagem de ar incorporado pelo tubo em relação à vazão motriz e rendimento (η) do tubo sob seis vazões motrizes.

Vazão Motriz no Tubo (L h ⁻¹)	Vazão de Ar Incorporado na Água (L h ⁻¹)	Porcentagem de Ar Incorporado na Água (%)	Rendimento (%)
183,42	5,99	3,27	3,53
212,31	8,95	4,21	4,56
239,17	13,15	5,10	5,11
284,42	15,30	5,38	5,51
332,90	18,01	5,41	5,84
368,45	20,38	5,53	5,98
414,50	23,74	5,73	6,19
442,78	25,72	5,81	6,28
545,40	36,00	6,60	7,14
655,02	36,00	5,50	5,94
732,05	35,41	4,84	5,23
770,02	32,73	4,25	4,59
Média: 431,70	22,61	5,13	5,49

TABELA 2. Vazão motriz total do sistema (Qms), vazão total de ar incorporado na água pelo sistema (Qas); porcentagem de ar incorporado no sistema em relação à vazão motriz total do sistema; rendimento (η) e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) do ar incorporado na água pelo sistema sob seis vazões motrizes.

Vazão Motriz do Sistema (L h ⁻¹)	Vazão Total de Ar Incorporado na Água (L h ⁻¹)	Porcentagem de Ar Incorporado na Água (%)	Rendimento (%)	CUC (%)
10.075,76	410,00	4,07	4,40	64,70
11.312,00	530,06	4,69	5,07	65,90
11.635,20	576,95	4,96	5,36	69,54
12.340,58	580,00	4,70	5,08	65,70
13.574,40	690,42	5,09	5,50	66,81
15.836,80	630,25	3,98	4,30	59,53
Média: 12.462,46	569,61	4,58	4,95	65,36

O limite operacional do sistema, evidenciado pela ocorrência da sobrepressão no interior dos tubos, apresenta, por outro lado, a vantagem de requerer bombas de recalque de baixa pressão, o que tende a reduzir o consumo de energia e o custo operacional no processo de aeração. Isso acontecendo, certamente haverá maior eficiência de aeração pelo sistema, segundo um dos critérios de avaliação descritos por BOON (1978).

Com relação aos dados provenientes dos tubos ranhurados que constituíram a unidade de aeração apresentados na Tabela 2, constata-se que a porcentagem média de ar incorporado na água e os respectivos rendimentos de 4,58% e 4,95% foram baixos e próximos dos valores médios obtidos no funcionamento de um só tubo. Entretanto, como a solubilidade do oxigênio na água é muito baixa, variando de 14,60 mg/L a 8,24 mg/L nas temperaturas de 0 e 25°C e pressão atmosférica de 760 mm de Hg, respectivamente, (BOYD 1990), em termos práticos, é melhor um sistema de aeração que incorpore menores volumes de ar na água em tempos mais longos que a incorporação feita de uma só vez. Nos aeradores que trabalham com alto volume de ar provavelmente haverá um retorno desse ar para a atmosfera sem que permaneça solúvel na água do reservatório.

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 2, referentes a uniformidade de distribuição do ar na água de todos os tubos (em número de trinta), considerando seis diferentes vazões motrizes, observa-se um valor médio para o CUC de 65,36%. Apesar desse valor ser considerado baixo para distribuição de água em sistemas de irrigação, em função do objetivo avaliado pode-se considerar razoável, pois foi superior ao obtido inicialmente por FEITOSA FILHO et al. (1997) que encontraram valores da uniformidade de distribuição do ar na água inferiores a 20%.

Os dados das vazões de ar incorporado na água nos testes com um só tubo e também com todos os tubos da unidade de aeração estão representados nas Figuras 2(a), 2(b), 2(c) e 2(d). Nessas figuras estão inclusos também o modelo de regressão e os valores dos coeficientes de determinação das equações que foram obtidas para definir as vazões de ar incorporado na água e os rendimentos em função das vazões motrizes por um só tubo e pelo sistema.

Com base na informação de BOON (1978), que dentre os critérios estabelecidos para avaliar a capacidade de aeração de um aerador estão a taxa de distribuição e absorção de oxigênio na água e o custo do aerador, o valor médio obtido do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen de 65,36% neste trabalho pode ser considerado um resultado satisfatório, principalmente, considerando o baixo custo de sua fabricação e de funcionamento do sistema proposto.

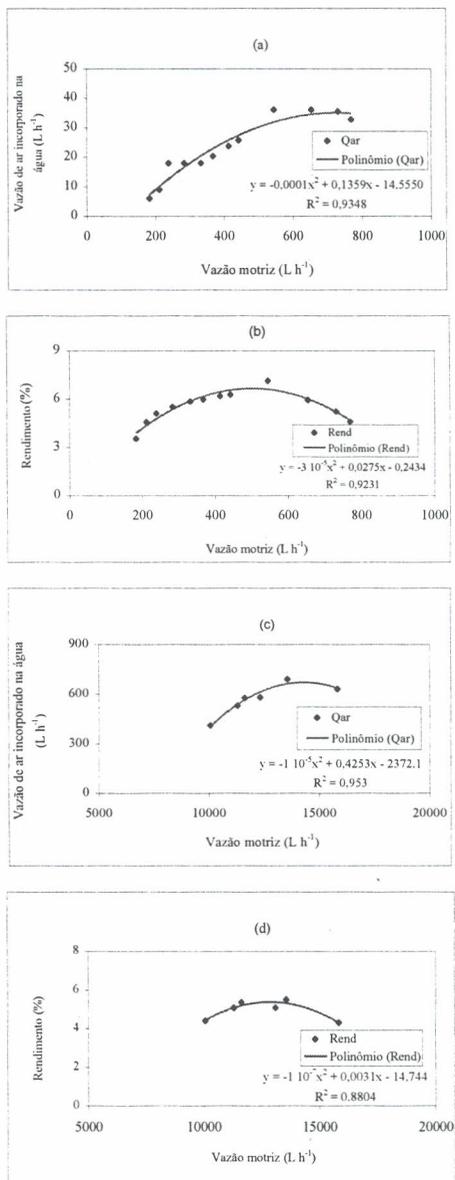


FIGURA 2. Vazão de ar incorporado na água em função das vazões motrizes (a), rendimento em função das vazões motrizes, testes com um só tubo ranhurado (b), vazão de ar incorporado na água em função das vazões motrizes (c) e rendimento em função das vazões motrizes, testes com todos os tubos ranhurados que constituíram o sistema de aeração (d).

CONCLUSÕES

- As vazões de ar incorporado na água, quer por um só tubo quer por todos do sistema, cresceram com o aumento da vazão motriz até determinado valor limite. A partir daí, houve um decréscimo gradativo desse parâmetro;

- A porcentagem média de ar incorporado na água em relação à vazão motriz e o rendimento médio foram 5,13% e 5,49%, respectivamente, para um tubo do sistema de aeração;

- A porcentagem média de ar incorporado na água em relação à vazão motriz foi 4,58% e o rendimento médio 4,95%, com todos os tubos funcionando na unidade do sistema de aeração;

- O valor médio do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) utilizado para definir a distribuição do ar incorporado na água no sistema foi 65,36%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYD, C.E. *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama: Auburn University, 1990. 482p.
- BOON, A.G. Oxygen transfer in the activated eludge process. In: MATTOCK, G. *New processes of waste water treatment and recovery*. London: Ellis Horwood, 1978. cap. 1, p.17-33.
- CHRISTIANSEN, E.J. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: University of California, 1942. 142p. (Bulletin, 670).
- FEITOSA FILHO, J.C., MEDEIROS, J.F., BOTREL, T. A., PINTO, J. M. Avaliação de Venturi funcionando com água como fluido motriz e o ar como fluido succionado com descarga submersa. *Revista Irriga*, Botucatu, v.2, n.2, p.68-75. 1997.
- FEITOSA FILHO, J.C., BOTREL, T.A., PINTO, J.M. Variabilidade na distribuição de ar na água utilizando um sistema com tubulações e emissores submersos e um injetor tipo Venturi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. v.1, 1998. p.76-8.
- FORD, H.W., TUCKER, D.P.H. Blockage of drip irrigation filters and emitters by iron-sulfer-bacterial products. *Hortscience*, New York, v.10, n.1, p.62-4. 1975.
- NAKAYAMA, E. S., BUCKS, D.A. *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383p.
- NOMURA, H. *Curso de atualização em piscicultura*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1983. 118p.
- PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.

RUMP, H. H., KRIST, H. *Laboratory manual for the examination of water, waste water, and soil*. New York:VCH, 1992. 190 p.

VARNER, D., SKIPTON, S., HAY, D., JASA, P. Drinking water: iron and manganese. University of Nebraska: NebGuide, G96-1280-A. <http://www.ianr.unl.edu/pubs/water/g1280.htm>. 03/02/2000.

WINKLER, M. *Biological treatment of wastewater*. New York: Ellis Howood, 1981. 301 p.