

DESEMPENHO HIDRÁULICO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO APLICANDO ÁGUA RESIDUÁRIADE SUINOCULTURA

HYDRAULIC PERFORMANCE OF DRIP IRRIGATION SYSTEM APPLING SWINE WASTEWATER

Rafael Oliveira Batista^{1*}, Rubens Alves Oliveira², Francisco Oliveira Mesquita³

Resumo: A realização deste trabalho objetivou analisar o desempenho hidráulico de sistema de irrigação por gotejamento aplicando água residuária de suinocultura tratada. Foi montada uma estrutura hidráulica de avaliação, constituída de três tipos de gotejadores (G1, G2 e G3). Manteve-se a pressão de serviço no início das linhas laterais em 105 kPa, e quantificaram-se a intervalos de 20 h, as vazões dos gotejadores, até a obtenção de um tempo total de 160 h de operação do sistema. O nível de entupimento dos gotejadores foi obtido por meio do coeficiente de variação de vazão (CVQ). Com a aplicação da água residuária da suinocultura houve aumento do CVQ, ao longo do tempo de funcionamento, somente na subunidade com gotejador G2. Os gotejadores de maior vazão e menor comprimento de labirinto são menos suscetíveis ao entupimento. A formação de biofilme foi resultante da interação entre sólidos suspensos, enxofre e bactérias, consistindo no principal fator de entupimento parcial e total dos gotejadores.

Palavras-chave: entupimento, emissores, dejetos de suínos.

Abstract: This study aimed to analyze the hydraulic performance of drip irrigation system, when used in the application of treated swine wastewater. For that, a hydraulic structure of evaluation was built, consisting of three kind drippers (G1, G2 and G3). Service pressure was kept, in the beginning of the lateral lines, at 105 kPa; the discharges of the drippers were quantified every 20 h, until a total time of 160 h of the system operation. The degree clogging of drippers was obtained for discharge variation coefficient (DVC). For the swine wastewater application there was increase of DVC, along the time of operation, only in the subunit with dripper G2. The emitters of larger discharge and short pathway length are less susceptible to the clogging. The biofilm formation was resultant of the interaction between suspended solids, sulfur and bacteria consisting on the main factor of partial and total clogging of drippers.

Keywords: clogging, emitters, swine manure.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas da suinocultura é a quantidade considerável de dejetos produzidos, por unidade de área. Quando manejados inadequadamente, esses resíduos podem causar impactos negativos ao ambiente. O uso racional de águas residuárias na agricultura constitui uma alternativa para controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, além da disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola.

O método de irrigação localizada tem sido usado para aplicação de águas residuárias, em razão da elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação tanto do produto agrícola quanto de operadores no campo (SADOVSKI et al., 1978; ORON et al., 1999). Nos sistemas de irrigação localizada,

entretanto, os emissores apresentam alta suscetibilidade ao entupimento (ADIN & SACKS, 1991; RAVINA et al., 1992; TROOIJEN et al., 2000; CAPRA & SCICOLONE, 2004).

A combinação dos fatores físicos, químicos e biológicos consiste na principal causa de obstrução de gotejadores utilizados na aplicação de águas residuárias. No trabalho apresentado por Taylor et al. (1995), verificou-se que 90% dos gotejadores apresentaram entupimento com biofilme, formado por matéria orgânica em decomposição, bactérias e exoesqueleto de *Daphnia* sp, devido à aplicação de esgoto doméstico tratado. Segundo Krapacet al. (2002), as bactérias *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis*, *Streptococcus faecium*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Proteus mirabilis*, *Providencia stuartii*, *Serratia*, *Staphylococcus* e *Klebsiella pneumoniae* surgem com frequência nos dejetos de suínos e podem formar

*autor para correspondência

Recebido para publicação em 25/08/2012; aprovado em 14/11/2012

¹ Eng. Agr. D. Sc., Professor Adjunto II da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Caixa Postal 137, 59625-900. Mossoró-RN.. E-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br*

² Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. Av. P.H. Rolfs, s/ nº, Campus Universitário - CEP 36.570-000 - Viçosa - MG.. E-mail: rubens@ufv.br

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Manejo de solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Av. Francisco Mota, 572, Mossoró-RN.B. E-mail: mesquitaagro@yahoo.com.br

biofilme complexo no interior de equipamentos de irrigação localizada. Tajrishyet al. (1994) constataram a formação de biofilme, resultante de mucilagens bacterianas e sólidos suspensos, em gotejadores abastecidos com esgoto doméstico secundário. Ravina et al. (1992) afirmaram que o biofilme foi acumulado principalmente na entrada do labirinto dos gotejadores não-autocompensantes e na membrana de silicone dos gotejadores autocompensantes.

O entupimento afeta diretamente a uniformidade de aplicação de efluente, e conseqüentemente a eficiência do sistema de irrigação. Puig-Bargués et al. (2005) analisaram o desempenho de três unidades de irrigação por gotejamento, dotadas de gotejador não-autocompensante com vazão nominal de $1,9 \text{ L h}^{-1}$ e operando com esgoto doméstico tratado. Dois sistemas de irrigação, um com filtro de discos e outro com filtro de tela, ambos de $130 \mu\text{m}$, foram abastecidos com esgoto doméstico secundário. O terceiro sistema de irrigação constava de filtro de tela de $130 \mu\text{m}$ e foi abastecido com esgoto doméstico terciário. Depois de 750 h de funcionamento das unidades de aplicação, os valores do coeficiente de variação de vazão (CVQ) foram de 58, 35 e 5%, respectivamente, para as unidades de irrigação aplicando efluente secundário filtrado em filtro de discos de $130 \mu\text{m}$, efluente secundário filtrado em filtro de tela de $130 \mu\text{m}$ e efluente terciário filtrado em filtro de tela de $130 \mu\text{m}$. Em outro estudo Cararo et al. (2006) constataram redução de 5 a 28% nos valores do coeficiente de variação de vazão (CVQ) em 15 tipos de gotejadores testados com esgoto doméstico tratado durante 373 h. O efluente passou por filtros de areia (com tamanho efetivo de $0,59 \text{ mm}$), de discos (com aberturas de $100 \mu\text{m}$) e de tela (com aberturas de $80 \mu\text{m}$) em série, antes de ser aplicado pelos gotejadores.

O trabalho objetivou analisar o desempenho hidráulico de sistema de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura tratada.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Unidade-Piloto de Tratamento e Aplicação Localizada de Água Residuária de Suinocultura (UTARS) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais. Na UTARS a água residuária de suinocultura, proveniente de granja tipo ciclo completo, foi submetida às seguintes etapas de tratamento: 1) tanque de sedimentação de $211,7 \text{ m}^3$ para remoção dos sólidos sedimentáveis e suspensos; 2) caixa de gordura de $8,6 \text{ m}^3$ para redução da concentração de óleos e graxas e 3) peneiramento para filtração do efluente visando seu uso em sistemas de irrigação por gotejamento.

No sistema de filtração utilizou-se uma peneira com tela metálica de $47 \mu\text{m}$ montada em um dispositivo com inclinação fixa de 25° . Depois de passar pela caixa de gordura, o efluente foi armazenado em um reservatório de $7,1 \text{ m}^3$. Um conjunto motobomba de 1 cv bombeou o efluente até a parte superior da peneira por meio de segmentos de tubos de PVC de 32 mm , dotados de perfurações circulares. O efluente filtrado foi armazenado em outro reservatório de $7,1 \text{ m}^3$ com a finalidade de abastecer as subunidades de fertirrigação.

Montou-se na área experimental uma bancada experimental constituída por uma unidade de controle e três subunidades de fertirrigação, conforme apresentado na Figura 1. A unidade de controle era composta por um conjunto motobomba de 3 cv, que abastecia as subunidades de fertirrigação com efluente filtrado.

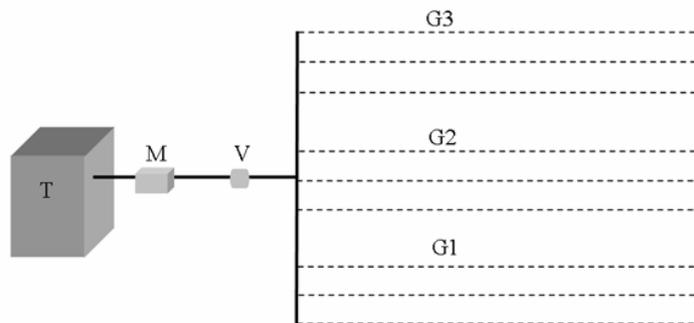


Figura 1 -Componentes da bancada experimental, ilustrando-se o tanque com água residuária de suinocultura filtrada (T), a motobomba (M), a válvula reguladora de pressão (V) e as linhas laterais com gotejadores (G1, G2 e G3).

Foram testados três tipos de gotejadores (G1, G2 e G3), cujas características técnicas estão apresentadas na Tabela 1. Na linha de derivação das subunidades, em PVC de 32 mm , foram inseridos nove conectores. Para cada

modelo de gotejador instalaram-se três linhas laterais com 18 m de comprimento (Figura 1). Em todas as linhas laterais foram identificados 22 gotejadores para medição da vazão.

Quadro 1 - Caracterização dos gotejadores (G) utilizados no experimento.

G	D	Q(L h ⁻¹)	A (mm ²)	VE(m s ⁻¹)	L(mm)	CVF(%)	P(kPa)
G1	Não	2,00	4,45	0,07	327	≤ 3	80 - 300
G2	Não	1,70	1,86	0,30	176	≤ 3	40 - 100
G3	Sim	3,60	2,54	0,20	44	≤ 4	80 - 350

Nota: D - dispositivo de autocompensação; Q - vazão nominal; A - área do orifício; VE - velocidade do escoamento à pressão de 105 kPa; L - comprimento do labirinto; CVF - coeficiente de variação de fabricação; e P - faixa de pressão recomendada.

A pressão de serviço no início das linhas laterais foi mantida em 105 ± 5 kPa por meio de uma válvula reguladora de pressão. As subunidades de aplicação funcionaram 4 h por dia até completar o tempo total de operação de 160 h.

No período de testes foram realizadas, em intervalos de 20 h, medições das vazões dos gotejadores e análises física, química e biológica do efluente filtrado. A vazão de cada gotejador foi determinada coletando-se o volume de efluente aplicado pelo gotejador, durante três minutos. Os dados de vazões foram interpretados por meio do coeficiente de variação de vazão (CVQ).

$$CVQ = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}} \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

σ_Q - desvio-padrão das vazões dos gotejadores, L h⁻¹; e

\bar{Q} - vazão média dos gotejadores, L h⁻¹.

As coletas do efluente foram realizadas em três horários distintos (das 7:00, 9:00 e 11:00 h). Dessas coletas simples, obtiveram-se amostras compostas, das quais foram enviadas aos laboratórios para análises específicas. Parte das amostras compostas foi encaminhada ao Laboratório de Qualidade da Água (DEA/UFV), para determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) pelo método iodométrico (processo Winkler), demanda química de oxigênio (DQO) pelo método oxidimétrico com refluxo, dos sólidos suspensos pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro (0,45 µm de diâmetro de poro). Logo após cada coleta de amostra simples, foram medidos os valores da condutividade elétrica com condutivímetro de bancada. O enxofre total foi obtido espectrofotometria de absorção atômica no Laboratório de Espectrofotometria Atômica do Departamento de Solos da UFV. As contagens de bactérias foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Microbiologia da UFV. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônias (UFC) por mL de efluente.

Decorrido as 160 h de funcionamento das unidades de fertirrigação, fez-se corte das linhas laterais, abrindo-se diversos gotejadores para retirar amostras do material que provocou obstrução dos gotejadores. As amostras coletadas foram acondicionadas em caixas de isopor com

gelo, as quais foram imediatamente enviadas a laboratórios dos Departamentos de Biologia Vegetal, de Biologia Animal e de Microbiologia da UFV e ao Laboratório de Processos Biológicos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da USP, para identificação dos agentes causadores de entupimento.

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tipos de gotejadores (G1, G2 e G3) e nas subparcelas os tempos das avaliações (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), no delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão (utilizando-se o teste t com nível de significância de até 10%), no valor do coeficiente de determinação (R²) e no processo em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentados no Quadro 2 os valores médios e desvios-padrão da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), sólidos suspensos (SS), população de bactérias (PB), enxofre (S), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) da água residuária de suinocultura filtrada. Notou-se que a concentração média de DBO₅ no efluente foi superior ao limite de 25 mg L⁻¹, estabelecido por Capra & Scicolone (2004) para ótima uniformidade de aplicação de águas residuárias via sistemas de irrigação por gotejamento. Os valores de SS e PB no efluente foram superiores aos limites de 100 mg L⁻¹ e 50.000 UFC mL⁻¹ estabelecidos por Bucks et al. (1979), que classificaram o risco de entupimento de gotejadores para as duas características como severo. A concentração média do S no efluente foi superior ao limite de 0,1 mg L⁻¹, proposto por Ayers & Westcot (1999), sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como severo. O valor médio de Mg se situou dentro da faixa-limite de 2,0 a 7,3 mmol_c L⁻¹, estabelecida por Capra & Scicolone (1998), sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como moderado. Enquanto, o Ca representou baixo risco de entupimento de gotejadores, pois sua concentração no efluente foi inferior ao limite de 12,5 mmol_c L⁻¹, proposto por Capra & Scicolone (1998). Em geral, a água residuária da suinocultura apresentou risco severo de entupimento de gotejadores, mesmo com tratamento em sedimentador e peneira com abertura de 47 mm.

Quadro 2 - Valores médios e desvios-padrão da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), sólidos suspensos (SS), população de bactérias (PB), enxofre (S), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) da água residuária de suinocultura filtrada.

DBO ₅ (mg L ⁻¹)	SS(mg L ⁻¹)	PB(UFC* mL ⁻¹)	S(mg L ⁻¹)	Mg(mmol _c L ⁻¹)	Ca(mmol _c L ⁻¹)
602 ± 252	333 ± 61	2,30 x 10 ⁶ ± 3,30 x 10 ⁶	45,40 ± 10,69	2,81 ± 0,37	4,85 ± 0,93

*UFC - Unidades formadoras de colônias.

No Quadro 3, apresenta-se a análise de variância do CVQ em função do tipo de gotejador (G) e do tempo de funcionamento (T). Verifica-se que a fonte de variação T

x G foi significativa a 1% de probabilidade. Os valores dos coeficientes de variação da parcela e subparcela foram de 77,97 e 35,03%, respectivamente.

Quadro 3- Análise de variância do CVQ em função do tipo de gotejador (G) e do tempo de funcionamento (T).

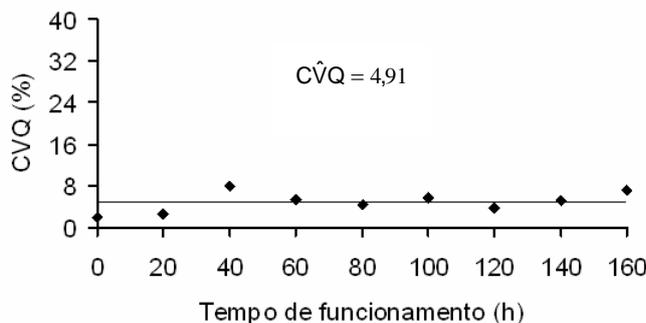
Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Tipo de gotejador (G)	2	2314,77	1157,38	27,44**
Resíduo (a)	6	253,10	42,18	
Tempo de funcionamento (T)	8	1844,58	230,57	27,09**
T x G	16	3389,40	211,84	24,89**
Resíduo (b)	48	408,53	8,51	
Total	80			
CV(%) da parcela		77,97		
CV(%) da subparcela		35,03		

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. CV - coeficiente de variação.

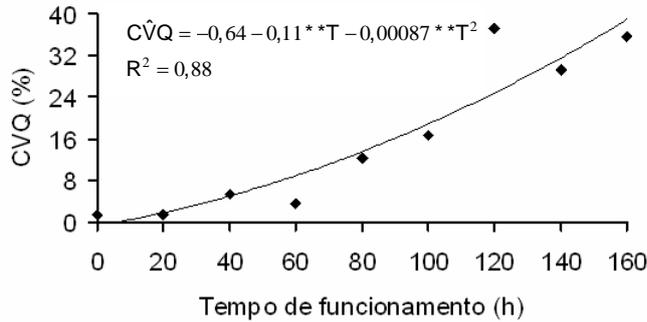
As equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados de CVQ em função do tempo de funcionamento, para cada tipo de gotejador, apresentam-se na Figura 2. Nas subunidades dotadas dos gotejadores G1 e G3 não se verificou efeito significativo do tempo de funcionamento na alteração do CVQ. Enquanto, na subunidade com gotejador G2 o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de CVQ e o tempo de funcionamento, com coeficiente de determinação (R²) de 0,88. Os valores de CVQ das subunidades com gotejadores G1 e G2 aumentaram em 4 e 25 vezes, respectivamente, quando se compararam os tempos de funcionamento inicial e 160 h. Enquanto o CVQ da subunidade com gotejador G3 praticamente se manteve inalterado durante todo período de ensaio. Os resultados do desempenho

hidráulico indicaram que o gotejador G3 foi menos suscetível ao entupimento dos que os gotejadores G1 e G2, devido à maior área de filtração e vazão, corroborando, assim, as afirmações de Ravina et al. (1992) e Dehghanisani et al. (2005). Já a maior suscetibilidade ao entupimento do gotejador G1 se deveu à menor velocidade do escoamento de efluente e ao maior comprimento do labirinto, confirmando os relatos de Pizarro Cabello (1990) e Cararot et al. (2006). O gotejador G2 foi mais suscetível ao entupimento do que G3, por apresentar menor área de filtração e vazão, e menos suscetível ao entupimento do que G1, dada a maior velocidade do escoamento de efluente e o menor comprimento do labirinto.

(A)



(B)



(C)

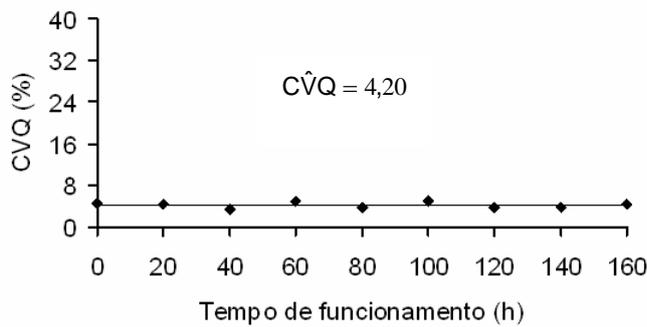


Figura 2 -Comportamento doCVQ das subunidades com gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) ao longo do tempo e respectivas equações de regressão (** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t).

Constatou-se no equipamento de aplicação o desenvolvimento de biofilme complexo, resultante da interação entre agentes físico (sólidos suspensos), químico (precipitados de enxofre) e biológico (bactérias, fitoplânctons, fungos e protozoários).

A formação desse biofilme deveu-se, em parte, à não-realização de abertura de finais de linhas laterais para limpeza, tendo a ausência dessa prática o propósito de

potencializar os efeitos do entupimento e, conseqüentemente, apontar o gotejador menos suscetível.

A formação de biofilme sobre a área de filtração dos gotejadores dificultou a entrada de efluente pelas pequenas aberturas, acarretando, assim, a redução na vazão. Na Figura 3, podem-se observar as pequenas aberturas dos gotejadores G1 e G2 e a membrana de autocompensação do gotejador G3 preenchidas pelo biofilme.

G1



G2



G3



Com biofilme



Sem biofilme

Figura 3 -Ilustração dos modelos de gotejadores G1, G2 e G3 com e sem biofilme.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- águas residuárias da suinocultura apresentam elevado risco de entupimento de emissores, mesmo que submetidas a tratamento em sedimentador e peneira;

- a formação de biofilme, resultante da interação entre sólidos suspensos, enxofre e bactérias formadoras de mucilagem, consistiu no principal fator de entupimento parcial e total de gotejadores que aplicaram água residuária da suinocultura;

- a aplicação da água residuária da suinocultura causou aumento do CVQ, ao longo do tempo de funcionamento, somente na subunidade com gotejador G2; e

- os gotejadores de maior vazão e menor comprimento de labirinto são menos suscetíveis ao entupimento quando utilizados na aplicação de águas residuárias da suinocultura.

REFERÊNCIAS

ADIN, A.; SACKS, M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 117, n. 6, p. 813-826, 1991.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. H. R. Gheyi et al., Campina grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBET, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.2, n.2, p. 149-162, 1979.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 68, n. 2, p.135-149, 2004.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.

DEGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; OULD AHMAD, B. V.; FUJIYAMA, H.; MIYAMOTO, K. The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and the performance of drip irrigation. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 48, n. 2, p. 519-527, 2005.

KRAPAC, I. G.; DEY, W. S.; ROY, W. R.; SMYTH, C. A.; STORMENT, E.; SARGENT, S. L.; STEELE, J. D. Impacts of swine manure pits on groundwater quality. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 120, n. 2, p. 475-492, 2002.

ORON, G.; CAMPOS, C.; GILLERMAN, L.; SALGOT, M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 223-234, 1999.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

PUIG-BARGUÉS, J.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Filtration of effluents for microirrigation systems. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 48, n. 3, p. 969-978, 2005.

RAVINA, I. et al. Control of clogging in drip irrigation with stored reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, New York, v. 13, n. 3, p. 129-139, 1992.

SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B.; GOLDBERG, D. Microbial contamination of vegetables irrigated with sewage effluent by the drip method. **Journal of Food Protection**, Ames, v. 41, n. 5, p. 336-340, 1978.

TAJRISHY, M.; HILLS, D. J.; TCHOBANOGLIOUS, G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 120, n. 4, p. 716-731, 1994.

TAYLOR, H. D. et al. Drip irrigation with waste stabilisation pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. **Water Science Technology**, London, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.

TROOIJEN, T. P.; LAMM, F. R.; STONE, L. R.; ALAM, M.; ROGERS, D. H.; CLARK, G. A.; SCHLEGEL, A. J. Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: dripline flow rates. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 16, n. 5, p. 505-508, 2000.