



Efeito do efluente de lagoa de maturação em gotejadores com e sem tratamento químico¹

Rafael O. Batista²; Antônio A. Soares²; Antonio T. de Matos² & Everardo C. Mantovani²

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada a Universidade Federal de Viçosa - UFV

² DEA/UFV, CEP 36571-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-2729. Fax: (31) 3899-2735. E-mail: ms363684@zipmail.com.br; aasoares@ufv.br; atmatos@ufv.br; everardo@ufv.br

Protocolo 13

Resumo: Estudar o efeito da aplicação de água residuária em gotejadores com e sem tratamento químico, foi o objetivo deste estudo e, para tal, montou-se uma bancada experimental com quatro unidades de aplicação localizada de efluente de lagoa de maturação. Testaram-se três modelos de gotejadores (M1, M2 e M3), pelo tempo de 560 h, além de três concentrações de cloro residual livre (0,4, 1,0 e 1,9 mg L⁻¹). De acordo com os resultados obtidos concluiu-se que o efluente de lagoa de maturação acarretou reduções nos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) e que todos os tratamentos químicos testados minimizaram a formação de biofilme no interior dos gotejadores e das linhas laterais.

Palavras-chave: cloração, biofilme, emissores, água residuária

Effect of maturation pond effluent in the drippers with and without chemical treatment

Abstract: The objective of this work was to study the effect of application of wastewater on drippers with and without chemical treatment. An experiment bench was mounted with four drip application units using maturation pond effluent. Three dripper models were tested (M1, M2 and M3), for the time of 560 h, besides three free chlorine residual concentrations (0,4; 1,0 and 1,9 mg L⁻¹). In accordance to the obtained results, it may be concluded that the maturation pond effluent caused considerable reductions, in the values of uniformity coefficient of water distribution (CUD) and that all the tested chemical treatments minimized the formation of biofilm in the interior of the drippers and the lateral lines.

Key words: chlorination, biofilm, emitters, wastewater

INTRODUÇÃO

A formação de biofilme, resultante da interação entre mucilagens bacterianas e sólidos suspensos, tem sido a principal causa de entupimento de gotejadores quando se aplica esgoto sanitário tratado (Ravina et al., 1997; Capra & Scicolone, 2004).

O entupimento dos emissores reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação localizada. Hills & Brenes (2001) verificaram diminuição de até 75% na vazão nominal média de sistemas de irrigação por gotejamento, aplicando esgoto sanitário tratado, após 3.000 h de funcionamento.

Keller & Karmeli (1975) propuseram o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para avaliação da uniformidade de aplicação de água, em sistemas de irrigação por gotejamento; este coeficiente compara a média de 25%

dos menores valores de vazões observadas, com a média total das vazões, para a determinação da uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por gotejamento.

Merriam & Keller (1978) apresentaram o seguinte critério geral para interpretação dos valores de CUD para sistemas que estejam em operação por um ou mais anos: maior que 90%, excelente; entre 80 e 90%, bom; 70 e 80%, regular, e menor que 70%, ruim.

Os métodos de prevenção do entupimento de gotejadores devem envolver não apenas aspectos relacionados ao manejo do sistema de irrigação (filtração, inspeção de campo e lavagem de redes de distribuição), mas, também, medidas de tratamento químico da água de fertirrigação (Gilbert & Ford, 1986).

Sagi et al. (1995) estudaram o efeito da cloração intermitente (10 mg L⁻¹ de cloro residual livre) sobre sulfobactérias que se desenvolveram dentro de gotejadores utilizados na aplicação de esgoto sanitário tratado; a vazão média dos gotejadores

tratados com cloro, diariamente ou a cada três dias, foi de 97% da vazão inicial, enquanto nos gotejadores-testemunha e nos que receberam cloro a cada 10 dias, a vazão reduziu para 75 e 79% da vazão nominal, respectivamente.

Tajrishy et al. (1994) obtiveram coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação de água (Us) de 92%, em sistemas de irrigação por gotejamento que aplicaram esgoto sanitário tratado, com a adição de 2 mg L⁻¹ de cloro residual livre durante a última hora de um ciclo de irrigação.

Hills & Brenes (2001) avaliaram o desempenho de quatro tipos de fitas gotejadoras, abastecidas com água residuária de sistemas de tratamento tipo lodo ativado. O tratamento do efluente incluiu a passagem por dois filtros de areia (sílica n° 20), um filtro de tela (105 µm) e aplicação contínua de cloro (0,4 mg L⁻¹ de cloro residual livre); mesmo assim, foram constatados vários gotejadores, parcial ou totalmente entupidos, em especial no final das linhas laterais.

Trooien et al. (2000) recomendaram manter um valor de pH de 6,3 na água residuária de fertirrigação, pela adição de ácidos, a fim de aumentar a eficiência da cloração.

Objetivou-se, com este trabalho, estudar o efeito da aplicação de efluente de lagoa de maturação em gotejadores com e sem tratamento químico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Tratamento de Esgoto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. A estação experimental foi abastecida com esgoto sanitário bruto, proveniente de um conjunto residencial, onde recebeu tratamento em três etapas. Inicialmente, o esgoto bruto passou pelo tratamento preliminar, em que um desarenador removia os sólidos de elevada massa específica. A diminuição na carga orgânica (DBO₅) foi obtida pela disposição do esgoto sanitário sobre faixas com 1,0 m de largura, 25 m de comprimento e declividade de 2%, cultivadas com capim Tifton 85 do gênero *Cynodon*. Após o tratamento secundário, o esgoto sanitário foi lançado em uma lagoa de maturação, com capacidade armazenadora de 300 m³, para remoção de organismos patogênicos.

Para realização do ensaio experimental construiu-se uma plataforma de testes ao lado da lagoa de maturação, em cuja extremidade final foi montada uma unidade de controle, formada de um conjunto motobomba de 3 CV e um filtro de disco comum de 120 mesh, com a finalidade de abastecer quatro unidades de aplicação por gotejamento, montadas sob a plataforma de testes. As unidades de aplicação constavam de três subunidades referentes aos modelos de gotejadores (M1, M2 e M3); as características técnicas dos gotejadores estão apresentadas na Tabela 1.

As unidades de aplicação receberam os seguintes tratamentos: tratamento T1 - abastecimento com esgoto sanitário de lagoa de maturação e filtração comum em filtro de disco; tratamento T2 - abastecimento com esgoto sanitário de lagoa de maturação, filtração comum em filtro de disco, acidificação (pH 6,6) e cloração (0,4 mg L⁻¹ de cloro residual livre); tratamento T3 - abastecimento com esgoto sanitário de

Tabela 1. Características técnicas dos modelos de gotejadores utilizados no experimento, de acordo com o dispositivo de autocompensação (D), a vazão nominal (V), a faixa da pressão de serviço (F) e o espaçamento entre gotejadores (E)

Modelo	D	V (L h ⁻¹)	F (kPa)	E (m)
M1	Não	1,7	40-250	0,75
M2	Sim	2,1	50-400	0,75
M3	Não	2,0	100-400	0,60

lagoa de maturação, filtração comum em filtro de disco, acidificação (pH 6,6) e cloração (1,0 mg L⁻¹ de cloro residual livre) e tratamento T4 - abastecimento com esgoto sanitário de lagoa de maturação, filtração comum em filtro de disco, acidificação (pH 6,6) e cloração (1,9 mg L⁻¹ de cloro residual livre).

Realizaram-se durante o período de testes, avaliações dos níveis da uniformidade de aplicação de água, a cada 80 h, nas quatro unidades de aplicação. As avaliações foram realizadas nos seguintes tempos de operação das unidades de aplicação: 0, 80, 160, 240, 320, 400, 480 e 560 h. Determinaram-se as vazões de 32 gotejadores selecionados em cada linha lateral, fixando-se um tempo de coleta por emissor, de três minutos. O coeficiente de uniformidade de distribuição de água foi obtido por meio da Eq. 1.

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_a} \quad (1)$$

em que:

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

q_{25%} - média dos 25% menores valores observados, L h⁻¹;

q_a - vazão média dos emissores, L h⁻¹.

O tratamento químico foi realizado durante uma hora, a cada 35 h de funcionamento das unidades de aplicação, correspondentes aos tratamentos T2, T3 e T4; para tal, utilizaram-se os produtos químicos dicloroisocianurato de sódio (65%) e ácido fosfórico (85%). Cada produto foi diluído, separadamente, em recipiente plástico com dez litros de água, e injetados na tubulação, após o sistema de filtração, por dois injetores de fertilizantes, tipo Venturi, de 70 L h⁻¹ de capacidade cada um. Os injetores foram instalados em série, à jusante do filtro de disco, sendo o primeiro responsável pela injeção do ácido fosfórico e o segundo pela aplicação do dicloroisocianurato de sódio, e regulados por meio de registros de esfera para uma taxa de injeção de 10 L h⁻¹. A quantidade de cloro aplicada foi monitorada com um kit de análise de cloro residual livre, de forma a manter teores deste de 0,4, 1,0 e 1,9 mg L⁻¹ no final das linhas laterais dos tratamentos T2, T3 e T4, respectivamente. Durante o tratamento químico, o pH do esgoto sanitário tratado, coletado no final das linhas laterais de cada tratamento, foi monitorado e mantido a um valor médio de 6,6, por meio da adição do ácido fosfórico, com a finalidade de prevalecer a presença de ácido hipocloroso (agente bactericida); após a aplicação, as linhas que receberam o tratamento químico eram deixadas em repouso durante 12 h e, no dia seguinte, as unidades de fertirrigação operavam normalmente, até ser realizada a próxima aplicação.

A pressão de serviço foi mantida em 101 kPa, por meio de válvula controladora instalada no início da linha de derivação. As unidades de aplicação funcionaram, em média, 12 h por dia, sete dias por semana, até completar o tempo total de operação de 560 h.

O experimento foi montado em um esquema de parcelas subdivididas tendo-se, nas parcelas, três modelos de gotejadores e quatro tratamentos, no delineamento inteiramente casualizado e, nas subparcelas, os tempos de avaliação, sendo todos os fatores estudados com três repetições. Após a análise de variância, as médias dos tratamentos foram comparadas utilizando-se do teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do período de ensaio foi constatado entupimento no tratamento-testemunha (T1), tanto parcial quanto total, de gotejadores com biofilme resultante da interação entre bactérias e algas presentes no efluente da lagoa de maturação.

Tem-se, nas Figuras 1A, 1B, 1C e 1D, os valores médios do CUD das unidades de aplicação com os modelos de gotejadores M1, M2 e M3, ao longo do tempo para os tratamentos T1, T2, T3 e T4.

De acordo com os valores médios do CUD, observados na Figura 1A, a uniformidade de aplicação de água, nas subunidades com os três modelos de gotejadores, decresceu com o aumento do tempo de funcionamento. Na primeira avaliação, os valores médios do CUD foram classificados como excelentes, nas subunidades com os três modelos de gotejadores, mas, na última avaliação, os valores médios de CUD foram de 90, 65 e 72% nas subunidades de aplicação com os modelos M1, M2 e M3, classificados como bom, ruim e regular, respectivamente. Estabelecendo-se comparação entre a primeira e última avaliação, constataram-se reduções nos valores do CUD de 8, 32 e 26% nas subunidades de aplicação, com os modelos M1, M2 e M3, respectivamente, após 560 h de operação. Reduções mais drásticas da uniformidade de aplicação de água foram obtidas por Capra & Scicolone (2004). Os referidos autores constataram coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) de água de até 77%, em sistemas de irrigação por gotejamento que aplicaram esgoto sanitário tratado, após 60 h de operação. No entanto, estudos realizados por Dehghanisani et al. (2003) constataram que a aplicação de esgoto sanitário tratado proporcionou redução de até 9% no coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação de água (Us) de sistemas de irrigação por gotejamento, operando 187 h.

Nas Figuras 1B, 1C e 1D estão apresentados os valores médios do CUD das unidades de aplicação, com os modelos de gotejadores M1, M2 e M3, que receberam os tratamentos químicos T2, T3 e T4. No tratamento T2 (Figura 1B), as subunidades de aplicação contendo os modelos M1 e M3 apresentaram valores médios de CUD, muito semelhantes ao longo do período de ensaio, sendo todos classificados como

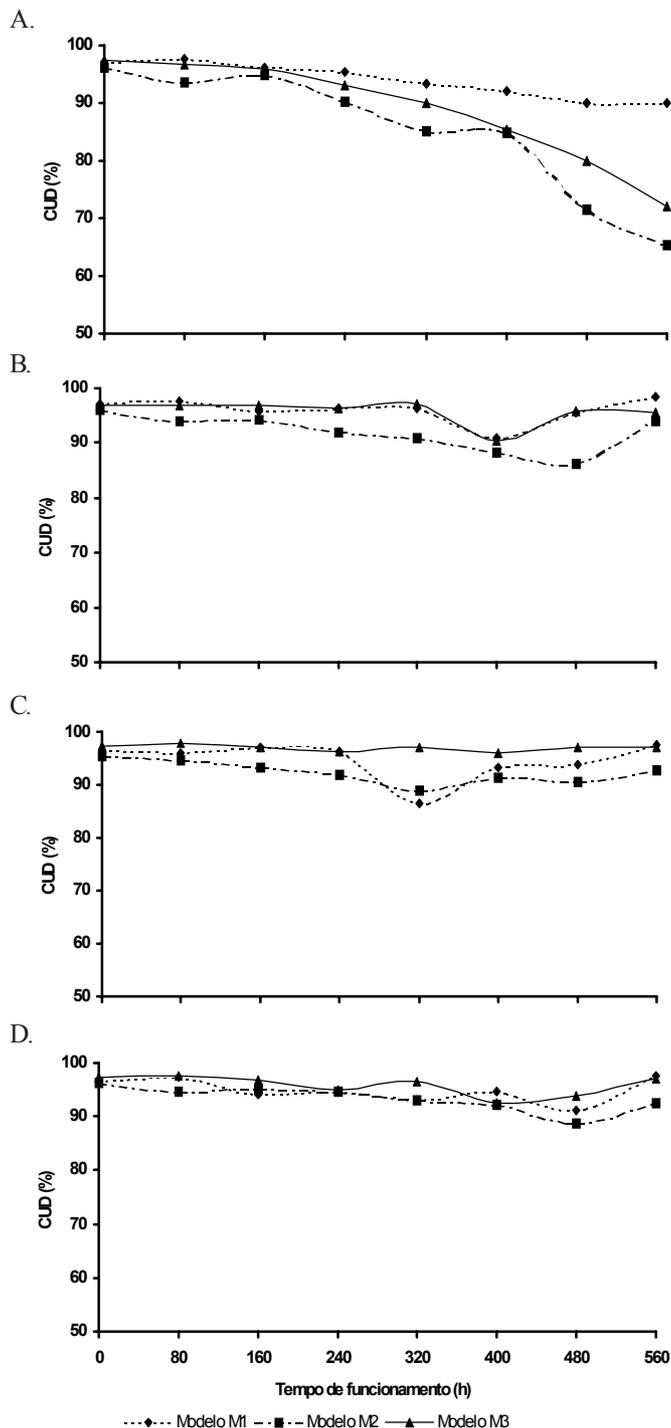


Figura 1. Valores médios de CUD das unidades de aplicação, obtidos ao longo do tempo com a utilização dos modelos de gotejadores M1, M2 e M3, nos tratamentos T1 (A), T2 (B), T3 (C) e T4 (D)

excelentes, no que se refere à uniformidade de aplicação de água; entretanto, a subunidade de aplicação com o modelo M2, nos tempos de funcionamento de 400 e 480 h, proporcionou valores médios do CUD de 88 e 86%, classificados como bons. Verificou-se, no tratamento T3, conforme apresentado na Figura 1C, que apenas os valores médios do CUD para as subunidades de aplicação com os modelos M1 e M2, no tempo de funcionamento de 320 h, foram classificados como bons; os

demais valores ficaram na faixa de excelente. Na Figura 1D, observa-se que os valores médios do CUD com relação à subunidade de aplicação com o modelo M1, no tempo de funcionamento de 560 h, e a subunidade de aplicação com o modelo M2, no tempo de funcionamento de 480 h, foram os únicos classificados como bons; os demais valores receberam a classificação excelente.

Os resultados da análise de variância dos valores de CUD das unidades de aplicação estão apresentados na Tabela 2, na qual se constata que as fontes de variação, tanto da parcela (modelo, tratamento e interação modelo x tratamento) quanto da subparcela (tempo, interação tempo x modelo, interação tempo

Tabela 2. Análise de variância dos valores do CUD das subunidades de aplicação

Fontes de variação	Graus de liberdade.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Modelo	2	896,33	448,17	29,07*
Tratamento	3	1.422,08	474,03	30,75*
Modelo x tratamento	6	592,02	98,67	6,40*
Resíduo (a)	24	370,02	15,42	
Tempo	7	2.133,10	304,73	37,42*
Tempo x modelo	14	451,70	32,26	3,96*
Tempo x tratamento	21	2.423,90	115,43	14,18*
Tempo x modelo x tratamento	42	711,67	16,94	2,08*
Resíduo (b)	168	1.367,94	8,14	
Total	287			

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste "F"

Coefficiente de variação da subparcela igual a 4%

Coefficiente de variação da parcela igual a 3%

x tratamento e interação tempo x modelo x tratamento) foram significativas a 5% de significância. Para a variável dependente CUD, o coeficiente de variação da subparcela foi de 4%, sendo de 3% o coeficiente de variação da parcela.

Na Tabela 3 estão os valores médios do CUD e os testes de média da interação tratamento x modelo obtidos na análise de variância. Nas subunidades de aplicação contendo o modelo M1, os tratamentos T1, T2, T3 e T4 não diferiram entre si quanto à variável dependente CUD, confirmando sua maior resistência ao entupimento em relação aos demais modelos de gotejadores testados. Em relação às subunidades de aplicação, contendo os modelos M2 e M3, os tratamentos T2, T3 e T4 foram estatisticamente semelhantes, em relação à variável dependente CUD, mas estes diferiram do tratamento T1. O tratamento químico foi eficiente na prevenção do entupimento de gotejadores, porém estudos devem ser realizados com a

Tabela 3. Valores médios do CUD e os testes de média da interação tratamento x modelo da análise de variância

Variável dependente	Modelo	Tratamento*			
		T1	T2	T3	T4
CUD (%)	M1	93,96 a	95,85 a	94,52 a	93,89 a
	M2	85,23 b	91,97 a	92,40 a	93,12 a
	M3	88,80 b	95,74 a	97,01 a	95,55 a

* Médias com a mesma letra, entre colunas, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

finalidade de verificar a sustentabilidade ambiental do derivado clorado testado.

CONCLUSÕES

1. O entupimento dos gotejadores acarretou redução da uniformidade de distribuição de água na unidade de aplicação sem tratamento químico.

2. As reduções nos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição de água das subunidades de aplicação com os modelos M1, M2 e M3 foram de 8, 32 e 26%, respectivamente.

3. A aplicação simultânea de cloro e ácido no efluente de lagoa de maturação minimizou a formação de biofilme no interior dos gotejadores e das linhas laterais.

LITERATURA CITADA

- Capra, A.; Scicolone, B. Emitter and filter for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.68, n.2, p.135-149, 2004.
- Dehghanisanij, H.; Yamamoto, T.; Rasiah, V.; Inoue, M.; Keshavarz, A. Control of clogging in microirrigation using wastewater in Tohaku, Japan. *ASAE Meeting*, St. Joseph; ASAE, 2003. paper n. 032027.
- Gilbert, R.G.; Ford, H.W. Operational principles. In: Nakayama, F.S.; Bucks, D.A. (eds.). *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1986. cap.3, p.142-163.
- Hills, D.J.; Brenes, M.J. Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v.17, n.3, p.303-308, 2001.
- Keller, J.; Karmeli, D. *Trickle irrigation desing*. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133p.
- Merriam, J.L.; Keller, J. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Logan: Utah State University, 1978. 271p.
- Ravina, I.; Paz, E.; Sofer, Z.; Marcu, A.; Schischa, A.; Sagi, G.; Yechialy, Z.; Lev, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 33, n.2-3, p.127-137, 1997.
- Sagi, G.; Paz, E.; Ravina, I.; Schischa, A.; Marcu, A.; Yechiely, Z. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In: *International MICROIRRIGATION CONGRESS*, 5., 1995, Orlando. Proceedings... St. Joseph: ASAE, 1995. p.250-254.
- Tajrishy, M.A.; Hills, D.J.; Tchobanoglous, G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.120, n.4, p.716-731, 1994.
- Trooien, 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.15, n.5, p.505-508, 2000.