# Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo

**Rafael Oliveira Batista*, Antônio Alves Soares, Antonio Teixeira de Matos e Everardo Chartuni Mantovani**

*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. Ph Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: ms36384@zipmail.com.br*

**RESUMO.** Este trabalho verificou o efeito da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. Para a realização do experimento, utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento montado na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Estado de Minas Gerais. Tal sistema constava de uma unidade de controle (composta por motobomba de 3 cv e filtro de 550 mesh), de linhas principal e de derivação e de linhas laterais com gotejadores do modelo G1. Os resultados mostraram que o efluente apresentou considerável potencial de obstrução de gotejadores, tendo como conseqüência direta o decréscimo tanto da uniformidade de aplicação do efluente quando da vazão dos gotejadores.

**Palavras-chave:** gotejadores, água residuária, obstrução.

**ABSTRACT. Influence of treated sanitary wastewater application on performance of a drip irrigation system built in field.** This work verified the effect of the application of treated sanitary wastewater on performance of a drip irrigation system built in field. For the accomplishment of the experiment, a drip irrigation system was built in Sewer Treatment Pilot Plant of the Federal University of Viçosa's, State of Minas Gerais, Agricultural Engineering Department. The system consisted of a control unit (composed of a 3 cv pump and a 550-mesh filtration system), lateral lines, and derivation and main lines with model dripper G1. Results showed that the effluent presented considerable potential of clogging drippers, having as direct consequence as much decrease of the uniformity application of effluent as flow rate of drippers.

**Key words:** drippers, wastewater, clogging.

## Introdução

A utilização de águas residuárias na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição dos corpos hídrico receptores e disponibilização de água e fertilizantes para as culturas. Entretanto, para que isso possa se tornar uma prática viável, é preciso que sejam desenvolvidas técnicas de tratamento, aplicação e manejo de águas residuárias. O grande problema associado à utilização de águas residuárias em sistemas de irrigação por gotejamento consiste na alteração da vazão pelo entupimento parcial ou total dos gotejadores e como esta afeta a uniformidade de distribuição de água.

A sensibilidade ao entupimento é uma consideração muito importante quando da seleção do gotejador. Dois parâmetros críticos relacionados à sensibilidade de obstrução são o tamanho da passagem para o líquido em escoamento e a velocidade da água por essa passagem. Geralmente, gotejadores com tamanho de seção transversal inferior a 1,5 mm apresentam alguma sensibilidade à obstrução. Porém, velocidades que oscilam entre 4,0 e 6,0 m $s^{-1}$ reduzem o entupimento nas estreitas passagens dos gotejadores (Keller e Bliesner, 1990). Por meio de avaliações experimentais, Resende *et al.* (2000) verificaram que o entupimento por causa biológica estava mais relacionado à arquitetura interna dos gotejadores do que a parâmetros de vazão e diâmetro do orifício.

Existem muitos fatores físicos, químicos e biológicos nas águas residuárias com elevado potencial de entupimento de gotejadores. A formação de depósitos gelatinosos, resultantes da interação entre mucilagens bacterianas, algas e

zooplâncton, tem sido o fator central no processo de entupimento de gotejadores que aplicam esgotos sanitários tratados (Ravina *et al.*, 1992; Ravina *et al.*, 1997). Estudos realizados por Taylor *et al.* (1995) evidenciaram que as interações entre fatores físicos, químicos e biológicos foram responsáveis por 90% dos gotejadores entupidos.

Colônias de protozoários do gênero *Ciliatea* e colônias de *Bryozoa plumatella* foram identificadas nos gotejadores entupidos e ao longo das linhas laterais de sistemas de irrigação por gotejamento abastecidos com esgoto sanitário tratado (Ravina *et al.*, 1992). Problema idêntico foi relatado por Sagi *et al.* (1995), os quais porém, constataram, nos gotejadores obstruídos, apenas colônias de protozoários (*Epystilus balanarum*). Os protozoários aderiram-se às paredes do equipamento de irrigação somente quando a velocidade do escoamento do efluente era inferior a 2 m $s^{-1}$. Adin e Sacks (1991) constataram ovos de *Dafnia* (efípios) e larvas (com 1 cm de comprimento) dentro de gotejadores autocompensantes que aplicavam esgoto sanitário não-filtrado.

Rav-Acha *et al.* (1995) verificaram diminuição de 68% na vazão nominal de gotejadores abastecidos com esgoto sanitário tratado, após 60 horas do início do experimento. Fato similar foi descrito por Sagi *et al.* (1995), que identificaram colônias de protozoário ocupando 57% da área dos gotejadores, o que acarretou queda de 38% na vazão nominal. Ravina *et al.* (1992) observaram que os gotejadores autocompensantes foram mais propensos ao aumento de vazão do que os demais gotejadores, devido à deterioração da membrana de autocompensação pela atividade microbiana.

Nakayama e Bucks (1981) concluíram que reduções consideráveis na uniformidade de distribuição de água podem ocorrer mesmo quando existem poucos gotejadores entupidos no sistema de irrigação. Hills e El-Ebaby (1990) verificaram que o acúmulo de material orgânico dentro de gotejadores ocasionou redução de 48,3% no coeficiente de uniformidade estatística de aplicação de água (Us), após 1.000 horas de funcionamento do sistema de irrigação.

No que se refere ao manejo da irrigação, outra conseqüência direta da baixa uniformidade de aplicação de água consiste no aumento do volume aplicado, isto é, o irrigante, ao constatar a diminuição da vazão média dos gotejadores, pelo efeito do entupimento, aumenta o tempo de irrigação; logo, as plantas que receberam menor lâmina de irrigação passam a receber maior quantidade de água, de modo a atender às suas exigências hídricas. No entanto, aquelas plantas que recebiam a lâmina adequada passam a ter problema de irrigação excessiva, aumentando a perda por percolação (López *et. al.*, 1992).

A uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação localizada pode ser expressa por meio de vários coeficientes. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), apresentado na equação 1, foi adaptado da irrigação por aspersão. Mantovani (2002) apresentou o seguinte critério geral para a interpretação dos valores do CUC para sistemas de irrigação por gotejamento: entre 90 e 100%, excelente, entre 80 e 90%, bom, entre 70 e 80%, razoável, entre 60 e 70% ruim e menor que 60%, inaceitável.

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| q_i - \bar{q} \right|}{n_e \, \bar{q}} \right] \quad (1)$$

em que:

$q_i$ = vazão de cada gotejador, L $h^{-1}$;

$\bar{q}$ = vazão média dos gotejadores, L $h^{-1}$; e

$n_e$ = número de gotejadores.

Keller e Karmeli (1975) sugerem a utilização da equação 2, que 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 e 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.

$$CUD = 100 \ \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %; e

$q_{25\%}$ = valor médio dos 25% menores valores de vazões observadas, L $h^{-1}$.

Estudos realizados por vários pesquisadores, no mundo, mostram que a aplicação de águas residuárias via sistema de irrigação por gotejamento acarretam sérios problemas de obstrução dos gotejadores. Por esta razão, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação de esgoto sanitário tratado na uniformidade de aplicação de

efluente e na vazão de gotejadores de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo.

## Material e métodos

O trabalho foi realizado na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto (EPTE), uma das áreas experimentais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), localizada em Viçosa, Estado de Minas Gerais.

Foi montada uma Estação Elevatória de Esgoto Experimental (EEEe), com a finalidade de abastecer a EPTE com esgoto sanitário bruto proveniente do conjunto residencial Condomínio Bosque Acamari, situado em Viçosa. O esgoto sanitário bruto recalcado para a EPTE recebeu tratamento em três etapas distintas. Inicialmente, o esgoto bruto era bombeado para o tratamento preliminar, em que um desarenador removia os sólidos de elevada massa específica. A diminuição na carga orgânica ($DBO_5$) 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 era lançado em uma lagoa de maturação com capacidade armazenadora de 300 $m^3$, com as dimensões de 50 m de comprimento x 6 m de largura e 1 m de profundidade, para remoção de organismos patogênicos.

O esgoto sanitário proveniente da lagoa de maturação foi utilizado na fertirrigação de cafeeiros da variedade Catuaí IAC 99, com dois anos de idade, cultivados, no espaçamento de 2,50 m entre linhas e 0,75 m entre plantas, em uma subárea de 1.400 $m^2$, situada dentro da própria EPTE. A aplicação do esgoto sanitário foi realizada via sistema de irrigação por gotejamento.

A aplicação do esgoto sanitário da lagoa de maturação ao cafeeiro teve início no dia 9/5/2003, porém, a partir do dia 8/6/2003, tais aplicações foram realizadas sob turno de rega variável, com a finalidade de atender à variação da demanda evapotranspiratória e parte das exigências nutricionais da cultura. O manejo da aplicação do esgoto sanitário tratado foi realizado por meio do balanço de água no solo com o suporte do programa computacional Irriga, levando-se em consideração as características física e hídrica do solo, as características fenológicas da cultura e os dados climáticos da região. Os dados climáticos foram obtidos de uma estação meteorológica automática instalada na EPTE, com a finalidade de fornecer dados de temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar e precipitação pluviométrica.

Para a realização do experimento, utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento montado na EPTE. Tal sistema constava de uma unidade de controle (composta por conjunto motobomba de 3 cv, sistema de filtração automatizado e injetor de fertilizantes, tipo Venturi, com 70 L $h^{-1}$ de capacidade de injeção), de linhas principal e de derivação, ambas em PVC, e de linhas laterais com gotejadores do modelo G1. Este modelo de gotejador apresentava as seguintes características técnicas: não-autocompensante, vazão nominal de 2,3 L $h^{-1}$, faixa de pressão de serviço de 50 a 400 kPa, espaçamento entre gotejadores de 0,40 m, comprimento do labirinto de 298 mm, largura do labirinto de 2 mm e um único filtro secundário por gotejador. Esse modelo de gotejador é comumente utilizado em sistemas de irrigação por gotejamento, implantados no Brasil, para irrigação de cafeeiros. A escolha do modelo foi realizada com base na arquitetura interna de seu labirinto, que segundo o fabricante torna o emissor resistente ao entupimento. O labirinto do gotejador era de percurso tortuoso com protuberâncias salientes, ocasionando um fluxo turbulento, que minimizava a deposição de partículas em seu interior.

Os dados de campo foram coletados até o dia 12/12/2003, somente nas oito linhas laterais situadas no lado direito da subárea, conforme apresentado na Figura 1. Nessa parcela, o comprimento das linhas laterais variou de 31 a 33,8 m, tendo como valor médio 32,5 m. No início de cada linha lateral, foi instalada uma válvula para tomada de pressão, devido à variação da declividade ao longo das linhas de derivação. A pressão média de serviço mantida no início das linhas laterais foi de 133 kPa.

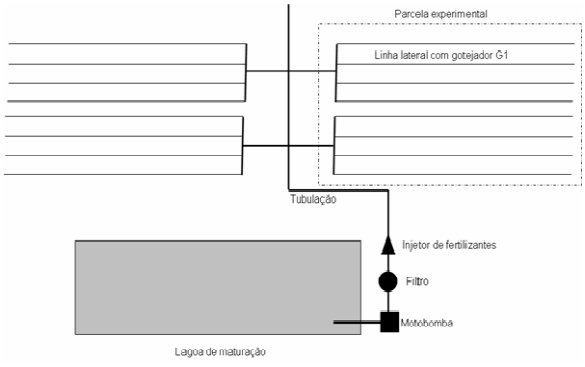


**Figura 1.** Esquema do experimento montado em campo para avaliação do desempenho do sistema de irrigação por gotejamento aplicando esgoto sanitário da lagoa de maturação, e apresentação da parcela escolhida para a coleta dos dados.

O sistema de irrigação operou por um período de 120 horas, porém, com o manejo da fertirrigação, foi

possível a aplicação do esgoto sanitário tratado de forma intermitente para a realização dos estudos com relação à uniformidade de aplicação de água.

Na unidade de controle foi instalado um filtro tipo membrana, autolimpante, automático, de 550 mesh e com capacidade para 5 $m^3$ $h^{-1}$. A retrolavagem era acionada por um sistema temporizador, a cada 30 minutos de funcionamento, durante 20 segundos. Sendo a pressão mínima requerida pela retrolavagem de 304 kPa.

Em cada uma das oito linhas laterais foram selecionados 24 gotejadores, igualmente espaçados, totalizando 192 emissores a serem avaliados no sistema. Para a determinação da vazão foi necessário obter o volume aplicado pelo emissor em um intervalo de tempo de três minutos. Em seguida, tal volume era medido em proveta graduada de 250 mL. Foram realizadas quatro avaliações para determinação da uniformidade de aplicação de água, nos tempos de operação de 0, 50, 100 e 120 horas, respectivamente.

Os níveis da uniformidade de aplicação de água foram obtidos por meio dos coeficientes CUC e CUD, descritos pelas equações 1 e 2, respectivamente. As medições de pressão foram realizadas no início e final das linhas laterais, utilizando-se um manômetro.

Após as 560 horas de aplicação do esgoto sanitário pelo sistema, retiraram-se amostras de gotejadores entupidos para identificação do material de obstrução nos laboratórios específicos dos Departamentos de Biologia Vegetal e de Microbiologia da Universidade Federal Viçosa, Estado de Minas Gerais.

## Resultados e discussão

No sistema de irrigação por gotejamento montado em campo, foram realizadas quatro avaliações e, com os dados obtidos, calculados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), que são apresentados a seguir. As medidas preventivas com relação ao entupimento de gotejadores utilizadas neste experimento foram a abertura do final das linhas laterais a cada duas semanas e um sistema de filtração automático autolimpante de 550 mesh.

De acordo com a Figura 2a e b, os valores do CUC e do CUD do sistema de irrigação decresceram ao longo do tempo, devido ao entupimento dos gotejadores. Verificaram-se, nessas figuras, reduções de 4,49% e 10,58%, nos valores do CUC e do CUD, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento de 0 e 120 horas. No entanto, observou-se, também, que todos os valores de CUC foram superiores a 90%, sendo assim, classificados como excelentes por Mantovani (2002). Nos tempos de funcionamento de 0, 50 e 100 horas, os valores de CUD foram classificados como excelentes, segundo o critério proposto por Merriam e Keller (1978). Porém, quando se analisou o valor do CUD no tempo de funcionamento de 120 horas, esse foi classificado como bom.

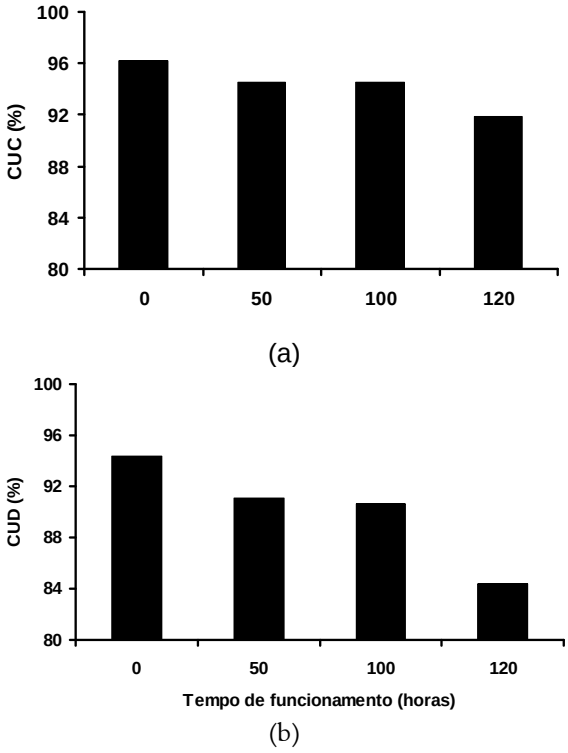


**Figura 2.** Valores do CUC (a) e do CUD (b) do modelo de gotejador G1, nos tempos de funcionamento de 0, 50, 100 e 120 horas.

O entupimento dos gotejadores, além de diminuir a uniformidade de aplicação de água, propiciou decréscimo em sua vazão, como pode ser visto na Figura 3. Comparando os tempos de funcionamento de 0 e 120 horas, constatou-se redução de 4,56% na vazão média do sistema de irrigação.

Por meio das avaliações da uniformidade de aplicação de água, verificou-se que o entupimento de gotejadores foi mais acentuado no final das linhas laterais. Durante a abertura do final dessas linhas, observou-se a saída de um esgoto sanitário tratado com coloração verde-escura, devido à presença de matéria orgânica.

Por meio de análises microbiológicas e identificação visual com auxílio de microscópio,

verificou-se que o material de obstrução resultou da interação entre bactérias e algas presentes na água residuária, que formaram aglomerados na forma de cocos e de pequenos bastonetes. Os gêneros de bactérias *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter*, juntamente com a ferrobactéria da espécie *Cremothix* sp., formaram um muco microbiano, no qual se aderiram partículas, principalmente de origem orgânica, representadas por células de algas vivas ou em decomposição. As algas predominantes pertenciam aos filos Cyanophyta (gênero Chlorococcus), Euglenophyta (gêneros *Euglena* e *Phacus*) e Chlorophyta (gêneros *Selenastrum*, *Scenedesmus* e *Sphaerocystis*).

O biofilme se desenvolveu no interior dos gotejadores, acarretando mundanças no regime de escoamento, e, conseqüentemente, favorecendo a deposição de partículas sobre o mesmo. Com o aumento da massa do biofilme no interior dos gotejadores, ocorreu ao longo do tempo o entupimento parcial e total dos mesmos.

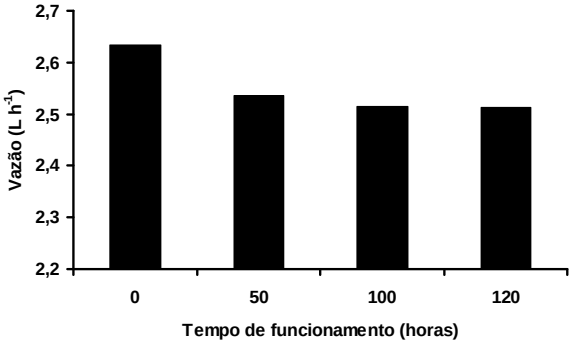


**Figura 3.** Valores da vazão do modelo de gotejador G1, nos tempos de funcionamento de 0, 50, 100 e 120 horas.

## Conclusão

Diante dos resultados apresentados concluiu-se que:

o esgoto sanitário tratado apresentou um considerável potencial de obstrução de gotejadores. A formação de um biofilme, de coloração verde, resultante da interação entre colônias de bactérias e algas, propiciou entupimento parcial e total dos gotejadores;

ocorreu decréscimo do CUC, do CUD e da vazão do gotejador testado, devido à aplicação do esgoto sanitário tratado. Após 120 horas de funcionamento ocorreram reduções nos valores do CUC, do CUD e da vazão do sistema de irrigação com o modelo de gotejador G1 de 4,49%, 10,58% e 4,56%, respectivamente;

filtração com filtro de membrana de 550 mesh e abertura dos finais de linha a cada duas semanas não previnem a obstrução de gotejadores.

,

## Referências

ADIN, A.; SACKS, M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, New York, v. 117, n. 6, p. 813-826, 1991.

HILLS, D.J.; EL-EBABY, F.G. Evaluation of microirrigation self-cleaning emitters. *Appl. Eng. Agric.*, St. Joseph, v. 6, n. 4, p. 441-445, 1990.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: Avibook, 1990.

KELLER, J.; KARMELI, D. *Trickle irrigation desing*. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975.

LÓPEZ, J.R. *et al. Riego localizado*. Madrid: Mundi-Prensa, 1992.

MANTOVANI, E.C. AVALIA. *Manual do usuário*. Viçosa: DEA/UFV–PNP&D/café Embrapa, 2002.

MERRIAM, J.L.; KELLER, J. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Logan: Utah State University, 1978.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 77-80, 1981.

RAV-ACHA, C. *et al.* The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. *Water Res.*, London, v. 29, n. 1, p. 119-129, 1995.

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

RAVINA, I. *et al.* Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agric. Water Manag.*, Amsterdam, v. 33, p. 127-137, 1997.

RESENDE, R.S. *et al.* Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 368-375, 2000.

SAGI, G. *et al.* Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995. Orlando. *Proceedings...* St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254.

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

*Received on April 07, 2006.*
*Accepted on December 06, 2006.*