



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS DE TRATAMENTO EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

José Antonio Rodrigues de Souza¹, Débora Astoni Moreira²

RESUMO

No presente trabalho, objetivou-se analisar os efeitos da aplicação de esgoto sanitário na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação localizada. Para isso, esgoto sanitário foi submetido a três níveis de tratamento (preliminar - ESP, secundário - ESS e terciário - EST) e aplicados por gotejamento durante período de 500 horas, sendo, a cada 100 horas de funcionamento, determinados os coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) e de uniformidade estatística (Us). Também, para avaliar os riscos de entupimentos, foram determinadas as características físicas, químicas e biológicas. De acordo com os resultados, conclui-se que as características ferro total e coliformes totais representaram risco severo de obstrução para gotejadores abastecidos com ESP, ESS e EST, enquanto para as características manganês total, magnésio e cálcio apresentaram baixo risco. A formação de biofilme de sólidos suspensos e bactérias foi a principal causa de obstrução de gotejadores. Os valores de CUD e Us apresentaram, após 500 horas de operação, redução de 61 e 54%; 27 e 24%; e 57 e 59%, respectivamente, para os sistemas de irrigação abastecidos com ESP, ESS e EST.

Palavras-chave: reuso; obstrução; água residuária.

EFFECTS OF THE APPLICATION OF THE SEWAGE SUBMITTED TO DIFFERENT LEVELS OF TREATMENT IN LOCALIZED IRRIGATION SYSTEMS

ABSTRACT

In this study aimed to analyze the effects of the sewage in the uniformity of trickle irrigation systems. For this, sewage was subjected to three levels of treatment (preliminary - SP, secondary - SS- and tertiary - ST) and applied by drip over a period of 500 hours, and every 100 hours of operation, determined the coefficients of uniformity distribution (CUD) and uniformity statistics (Us). Also, to evaluate the risk of clogging, as physical, chemical and biological characteristics were determined. According to the results, can conclude that the characteristics of total iron and total coliforms threatening severe obstruction to drip applying SP, ST and SS, while the characteristics for total manganese, magnesium and calcium showed a low risk. The biofilm formation of suspended solids and bacteria was the main cause of obstruction of drippers. The values presented CUD and Us, after 500 hours of operation, reduction of 61 and 54%, 27 and 24% and 57% and 59, respectively, for irrigation systems supplied with SP, ST and SS.

Keywords: reuse; obstruction; wastewater.

Trabalho recebido em 20/08/2011 e aceito para publicação em 23/06//2011.

¹ Eng. Agrícola, Pós-Doutor Eng. Agrícola, Prof IF Goiano - Campus Urutaí. e-mail: jarstec@yahoo.com.br.

² Bacharel em Química, Pós-Doutora Eng. Agrícola, Profa UEMG - Unidade Ubá.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de águas residuárias na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição do sistema água-solo-atmosfera, disponibilização de água e fertilizantes para as culturas e aumento da produção agrícola. Entretanto, para que isso possa se tornar uma prática viável, é preciso aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de efluentes (MATOS, 2007).

O tipo de tratamento das águas residuárias reflete diretamente na qualidade dos efluentes e, conseqüentemente, na susceptibilidade ao entupimento dos gotejadores (BATISTA *et al.*, 2005a; PUIG-BARGUÉS *et al.*, 2005; CAPRA; SCICOLONE, 2007). Segundo Puig-Bargués *et al.* (2005), esgoto sanitário após tratamento terciário proporciona menos problemas de entupimento de gotejadores em relação ao esgoto sanitário após tratamento secundário. Entretanto, os trabalhos apresentados por Medeiros (2005) indicaram que a aplicação de esgoto sanitário em condições anaeróbias minimiza o potencial de formação de biofilme no equipamento de irrigação.

A combinação dos agentes físicos, químicos e biológicos consiste na principal causa de obstrução de gotejadores utilizados na aplicação de águas residuárias (BATISTA *et al.*, 2005a; BATISTA *et al.*, 2006). Batista *et al.* (2006) observaram a

formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e algas. As bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter* 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 grupos Cyanophyta (gênero *Chlorococcus*), Euglenophyta (gêneros *Euglena* e *Phacus*) e Chlorophyta (gêneros *Selenastrum*, *Scenedesmus* e *Sphaerocystis*).

Um importante impacto negativo do entupimento de gotejadores consiste na aplicação desuniforme das águas residuárias pelos sistemas de irrigação por gotejamento (BATISTA *et al.*, 2005ab; CARARO *et al.*, 2006; FRIGO *et al.*, 2006). A avaliação da uniformidade de aplicação é uma atividade imprescindível para obter o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento (CUNHA *et al.*, 2008).

Cararo *et al.* (2006) constataram redução de 5 a 28% nos valores de coeficiente de variação de vazão (CVQ), em 15 tipos de gotejadores aplicando esgoto sanitário tratado durante 373 h. O efluente passou por filtros de areia (com tamanho efetivo de 0,59 mm), de discos (com aberturas de 100 µm) e de tela (com

aberturas de 80 μm) em série, antes de ser aplicado pelos gotejadores.

Hills e El-Ebaby (1990) verificaram que o acúmulo de material orgânico dentro de gotejadores ocasionou redução de 48,3 % no coeficiente de uniformidade (Us), após 1.000 horas de funcionamento do sistema de irrigação. Capra e Scicolone (2004) estudando o desempenho hidráulico de conjuntos de irrigação por gotejamento, dotados de quatro tipos de gotejadores não-autocompensantes, com vazão nominal de 3,8 a 4,0 L h^{-1} e abastecidos com esgoto sanitário tratado durante 60 h, verificaram que os valores de CUD nos sistemas de irrigação variaram de 0 a 77%.

No presente trabalho objetivou analisar a uniformidade de aplicação de efluente em sistemas de irrigação por gotejamento, abastecidos com esgoto sanitário submetido ao tratamentos preliminar, secundário e terciário.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Unidade Piloto de Tratamento de Água Residuária e Agricultura Irrigada (UTAR), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, durante o período de janeiro a abril de 2010.

A UTAR é constituída por uma estação elevatória e uma unidade de

tratamento de esgoto sanitário, abastecida com esgoto proveniente do condomínio residencial Bosque Acamari, e submetida a diferentes níveis de tratamentos (preliminar, secundário e terciário).

O esgoto sanitário bruto, captado em uma cota mais baixa, era conduzido para a estação elevatória e bombeado (vazão de 2 L s^{-1}) em direção a unidade de tratamento preliminar, composta por grade média seguida por desarenador e caixa de gordura, cuja finalidade era a remoção dos sólidos de elevada massa específica (Figura 1 a).

Posteriormente, o efluente era conduzido, por gravidade, à unidade de tratamento secundário, composta por rampas de escoamento superficial. Este sistema, dimensionado para vazão de 2 L s^{-1} , era dotado de quatro planos de sistematização, sendo, cada um, constituído por três faixas de irrigação de 1,0 m de largura, 25,0 m de comprimento e declividade de 2%, cultivadas com capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.), tendo por finalidade a redução de carga orgânica (DBO_5) (Figura 1 b).

Por fim, o efluente das rampas de escoamento era conduzido para a lagoa de maturação, que foi dimensionada para uma vazão de 30 $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$. A lagoa apresentava capacidade armazenadora de 300 m^3 , com dimensões de 50 m de comprimento por 6 m de largura, 1 m de profundidade, e

tempo de detenção hidráulico de 10 dias, organismos patogênicos (Figura 1c).
cuja finalidade era a remoção de



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Vista dos sistemas de tratamento preliminar (a), secundário (b) e terciário (c) do esgoto sanitário, na Unidade Piloto de Tratamento de Água Residuária e Agricultura Irrigada (UTAR), em Viçosa-MG.

Nas proximidades da lagoa de maturação, foram montados três sistemas de irrigação localizada, os quais foram abastecidos com esgoto sanitário submetido aos diferentes níveis de tratamento (tratamento preliminar - ESP,

secundário - ESS e terciário - EST), conforme apresentado na Figura 2.

Os sistemas de irrigação foram montados sobre um piso em concreto impermeabilizado, com dimensões de 3,5 m de largura por 12,0 m de comprimento e declividade transversal de 2 %, o qual direcionava o esgoto sanitário aplicado para uma canaleta construída ao de toda sua extensão. A canaleta apresentava dimensões de 0,2 m largura e 0,2 m de profundidade e declividade longitudinal de 1 %, que coletava e conduzia o esgoto sanitário aplicado em direção ao reservatório, favorecendo sua recirculação.

Cada sistema de irrigação foi composto por reservatório de 0,2 m³, para

armazenamento dos esgotos domésticos, conjunto motobomba de 1 cv, filtro de discos de 120 mesh, com capacidade de filtração de 8 m³ h⁻¹, válvula reguladora de pressão de 70 kPa, tubos de PVC com diâmetro nominal de 32 mm e seis linhas de polietileno com gotejador integrado a cada 0,50 m, com 12 m de comprimento. O gotejador, modelo MG1, apresentava as seguintes características técnicas: não-autocompensante, vazão nominal de 1,7 L h⁻¹, faixa de pressão de serviço de 40 a 100 kPa, comprimento do labirinto de 177 mm, largura interna do labirinto de 1,7 mm e um único filtro secundário por gotejador.



Figura 2. Módulos experimentais destacando-se os reservatórios com esgoto sanitário após tratamento preliminar (ESP), secundário (ESS) e terciário (EST), conjuntos motobomba, filtros de discos e válvulas reguladoras de pressão.

A jusante das válvulas reguladoras de pressão foram instaladas válvulas para monitoramento da pressão de serviço. Para

tal, foram utilizados manômetros graduado de 0 a 400 kPa, com precisão de 50 kPa.

Os sistemas de irrigação operaram, diariamente, por oito horas, aplicando

esgoto doméstico até completar o tempo de funcionamento de 500 horas. A cada 100 horas de operação foram realizadas as medições da vazão em todos os gotejadores de cada linha lateral, determinando-se volume de efluente coletado em cada gotejador durante três minutos. A vazão média de cada gotejador nos conjuntos de irrigação abastecidos com ESP, ESS e EST foi de 1,52; 1,61; e 1,36 L h⁻¹, respectivamente, durante as 500 horas de operação. Os dados de vazão foram interpretados pelo Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) apresentados nas Equações 1 e 2.

$$CUD = \frac{Q_{25\%}}{Q_m} \quad (1)$$

$$Us = (1 - CVQ) \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

Us = coeficiente de uniformidade estatísticas, %;

CVQ = coeficiente de variação da vazão dos gotejadores, %;

Q_{25%} = valor médio dos 25% menores valores de vazões dos gotejadores, L h⁻¹; e

Q_m = vazão média dos gotejadores, L h⁻¹.

Durante o período de testes, foram realizadas análises físicas, químicas e microbiológicas nos esgotos sanitários, conforme as recomendações do Standard

Methods for the Examination of Water and Wastewater. Os valores de temperatura (termômetro) e potencial hidrogeniônico (medidor portátil) foram medidos “in loco”, enquanto as análises de coliformes totais (teste comercial, auto-análise Colilert-AC, baseado na tecnologia dos substratos definidos), sólidos dissolvidos (método gravimétrico), sólidos suspensos (método gravimétrico), Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO₅²⁰ (processo Winkler), ferro total (espectrofotômetro de absorção atômica), manganês total (espectrofotômetro de absorção atômica), magnésio (espectrofotômetro de absorção atômica) e cálcio (espectrofotômetro de absorção atômica) foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água (DEA/UFV), Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos (DPS/UFV) e Laboratório de Espectrofotometria Atômica (DPS/UFV). Tais características físico-químicas e microbiológicas são utilizadas para avaliação do risco de entupimento de gotejadores que operam com esgotos domésticos, conforme recomendações de Bucks *et al.* (1979), Capra e Scicolone (1998) e Capra e Scicolone (2004).

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os diferentes níveis de tratamento submetidos ao esgoto sanitário (tratamento preliminar - ESP; secundário -

ESS; e terciário - EST) e, nas subparcelas, os tempos das avaliações (0, 100, 200, 300, 400 e 500 horas), no delineamento inteiramente casualizado com seis repetições.

Os dados de vazão foram submetidos a teste de Lilliefors a 1% de probabilidade e a análise de variância com 5% de probabilidade. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, aplicando-se o teste t em nível de até 10% de significância, no coeficiente de determinação. Para análise estatística dos

dados de vazão utilizou-se o programa computacional Sistema para Análises Estatísticas (SAEG versão 9.1).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas, realizadas em amostras de esgoto sanitário após tratamento preliminar (ESP), secundário (ESS) e terciário (EST), coletadas no período de janeiro a abril de 2010, em Viçosa-MG.

Tabela 1. Caracterização física, química e microbiológica de amostras de esgoto doméstico preliminar (ESP), esgoto doméstico secundário (ESS) e esgoto doméstico terciário (EST), coletadas no período de janeiro a abril de 2010, em Viçosa-MG.

Amostras	Temp.	pH	CT	DBO ₅ ²⁰	SD	SS	Fe	Mn	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	°C		NMP 100 mL ⁻¹	-----mg L ⁻¹ -----					---mmol _c L ⁻¹ ---	
EDB	26,0	7,2	1,3x10 ⁸	165,4	536,0	192,0	2,3	0,0	0,54	1,93
EDS	26,0	8,3	2,3x10 ⁷	40,9	241,0	27,0	2,7	0,0	0,05	0,38
EDT	26,0	8,8	1,6x10 ⁵	30,9	137,0	101,0	1,7	0,0	0,23	0,97

Sendo: Temp. - temperatura dos efluentes; pH - potencial hidrogeniônico; CT - coliformes totais; NMP - número mais provável; DBO₅²⁰ - Demanda Bioquímica de Oxigênio a 20°C após 5 dias de incubação; SD - sólidos dissolvidos; SS - sólidos suspensos; Fe - ferro total; Mn - manganês total; Mg²⁺ - magnésio; e Ca²⁺ - cálcio.

Na Tabela 2, estão apresentados critérios, conforme Bucks *et al.* (1979) e Capra e Scicolone (1998), para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores com base nas características físicas, químicas e microbiológicas da água de abastecimento de sistemas de irrigação localizada.

Baseando-se nos valores apresentados na Tabela 2, verificou-se que as características ferro total e coliformes total representaram risco severo de entupimento de gotejadores que operam com ESP, ESS e EST, enquanto, em relação à característica sólidos suspensos (SS), este risco de entupimento é considerado baixo para ESS e severo para ESP e EST.

Segundo Capra e Scicolone (2007), partículas maiores que 1/4 e 1/10 do diâmetro da passagem do escoamento de efluente no gotejador, representam risco

potencial de entupimento quando se utiliza esgoto sanitário tratado contendo até 50 mg L⁻¹ e, de 100 a 150 mg L⁻¹, de sólidos suspensos, respectivamente.

Tabela 2. Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem conjuntos de irrigação localizada.

Tipo de problema	Risco de entupimento					
	Menor		Moderado		Severo	
	a	b	a	b	a	b
Físico						
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	< 50		50 - 100		> 100	
Químico						
pH	< 7,0		7,0 - 7,5		> 7,5	
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500		500 - 2.000		> 2.000	
Manganês total (mg L ⁻¹)	< 0,1		0,1 - 1,5		> 1,5	
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,2		0,2 - 1,5		> 1,5	
Sulfeto de hidrogênio (mg L ⁻¹)	< 0,2		0,2 - 2,0		> 2,0	
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)			< 12,5		12,5 - 22,5	
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)			< 2,0		2,0 - 7,3	
Biológico						
População bacteriana (UFC mL ⁻¹)	< 10.000		10.000 - 50.000		> 50.000	

Nota: (a) Segundo Bucks *et al.* (1979) e (b) De acordo com Capra e Scicolone (1998); e UFC – unidades formadoras de colônias.

Para a característica pH, o risco de entupimento de gotejadores foi considerado como severo para ESS e EST e, moderado para ESP. A característica sólidos dissolvidos representou risco de entupimento moderado para ESP, e baixo para ESS e EST. Para as características manganês total, magnésio e cálcio, o risco de entupimento de gotejadores foi considerado como baixo para ESP, ESS e EST.

Constatou-se que a temperatura média dos efluentes no período de janeiro a

abril de 2010, em Viçosa-MG, foi de 26,0 °C. Segundo Pizarro Cabello (1990), a temperatura, a matéria orgânica solúvel e o pH são fatores que influenciam tanto no crescimento das populações bacterianas, quanto no desenvolvimento de mucilagens. O referido autor afirma, ainda, que temperaturas compreendidas entre 20,0 e 30,0°C favorecem a formação de muco microbiano, que podem desenvolver-se também sob baixas temperaturas.

A Demanda Bioquímica de Oxiênio (DBO₅²⁰) média dos efluentes ESP, ESS e

EST foi de 165,4; 40,9; e 30,9 mg L⁻¹, respectivamente. Segundo Capra e Scicolone (2004), concentrações de DBO₅²⁰ superiores a 25 mg L⁻¹, acarretam redução na vazão dos gotejadores e, conseqüentemente, não possibilitam ótima uniformidade de aplicação de efluente nos conjuntos de aplicação.

Na Figura 3 estão apresentada a variação nos valores dos coeficientes de uniformidade de aplicação de efluente CUD e Us, ao longo do período experimental, dos conjuntos de irrigação por gotejamento operando com esgoto sanitário após tratamento preliminar (ESP), secundário (ESS) e terciário (EST).

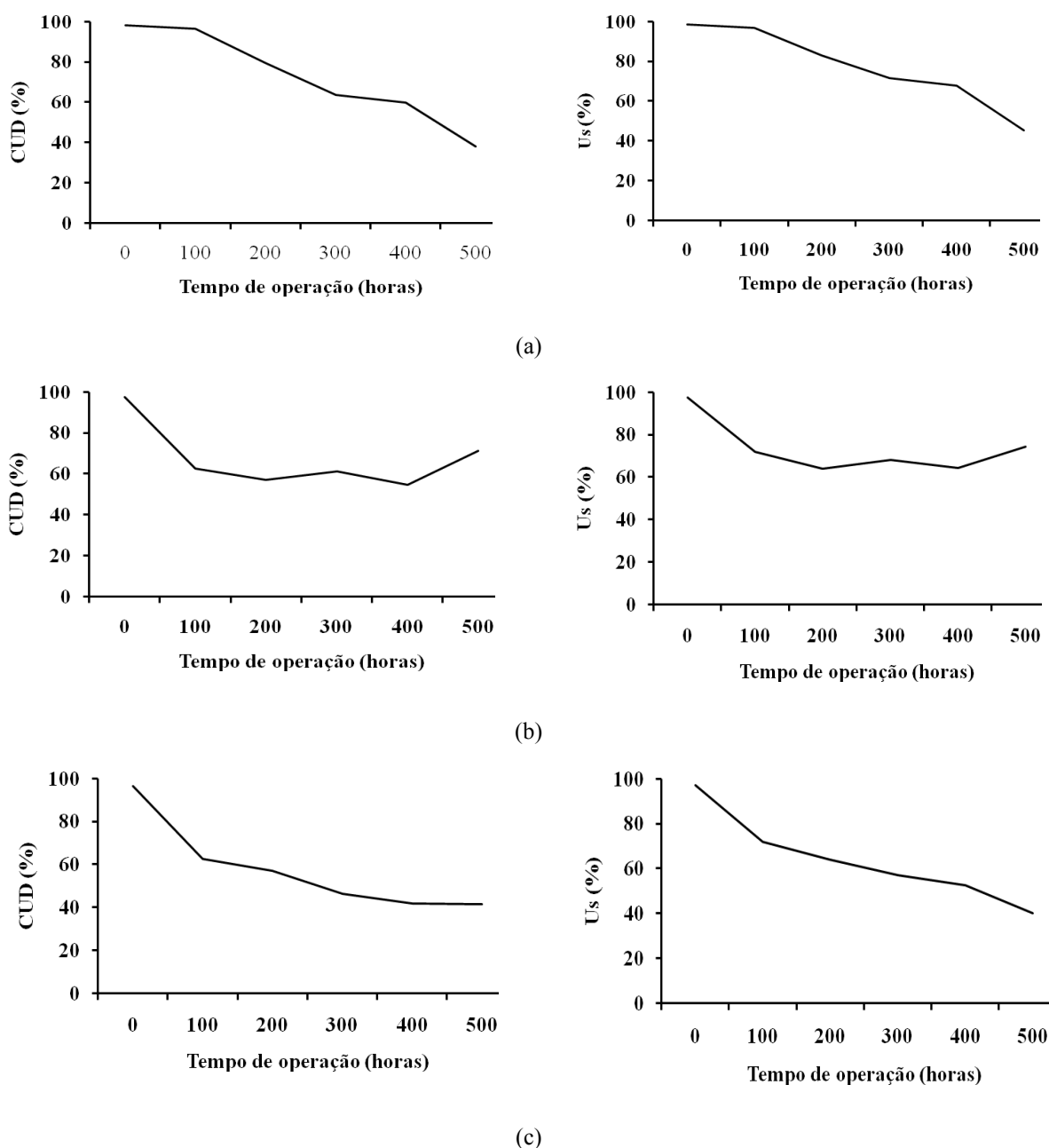


Figura 3. Variação nos valores dos coeficientes de uniformidade CUD e Us em função dos tempos de operação, operando com ESP (a), ESS (b) e EST (c).

Verificou-se, também, na Figura 3, que os três níveis de tratamento submetidos o esgoto sanitário (ESB, ESS e EST) proporcionaram redução nos valores de CUD e U_s dos conjuntos de irrigação ensaiados. No entanto, a obstrução foi maior nos sistemas de irrigação operando com ESP e EST em relação àquele com ESS que, provavelmente, pode ser devido à maior concentração de sólidos suspensos nestes, em relação ESS.

Os resultados apresentados na Figura 3 corroboram com aqueles obtidos por Capra e Scicolone (2004; 2007). Os referidos autores verificaram que esgoto sanitário secundário apresentando concentrações de sólidos suspensos superiores a 78 mg L^{-1} não possibilitou adequada uniformidade de aplicação nas unidades de fertirrigação e, que esgoto sanitário terciário com concentração de sólidos suspensos inferior a 50 mg L^{-1} proporcionou maior entupimento nos gotejadores de menor vazão nominal.

Os valores iniciais de CUD e U_s dos conjuntos de irrigação abastecidos com ESP, ESS e EST foram de 98,27, 97,30 e 96,57 % e, 98,44, 97,62 e 97,03 %, respectivamente. Tais valores de uniformidade de aplicação de efluente são classificados, conforme Merriam e Keller (1978) e ASAE Standards (2001), como excelentes.

Estabelecendo-se comparações entre os tempos de operação de 0 e 500 horas, observa-se elevada redução nos valores de CUD e U_s dos sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT. As reduções nos valores de CUD e U_s foram de 61 e 54 %; 27 e 24 %; e 57 e 59 % para os sistemas de irrigação operando com ESP, ESS e EST, respectivamente.

Tais valores corroboram com os resultados apresentados por Batista *et al.* (2005a) que, utilizando sistemas de irrigação por gotejamento, dotados de fitas gotejadoras com vazão nominal de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, para aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro tratada em filtro orgânico, também verificaram elevada redução do CUD, passando de 94 a 0%, após 144 h de operação. Em outro estudo, Batista *et al.* (2005b) obtiveram redução nos valores de CUD de 90, 65 a 72 %, em sistemas de aplicação, dotadas de gotejadores com vazões nominais de 1,7; 2,1; e $2,0 \text{ L h}^{-1}$, após 560 h de funcionamento com esgoto sanitário tratado e posteriormente filtrado em filtro de discos com aberturas de $130 \mu\text{m}$.

Observou-se, ainda, que a classificação dos valores de CUD, após 500 horas de operação dos sistemas de irrigação abastecidos com ESP, ESS e EST, passou de excelente à ruim, conforme critérios estabelecidos por Merriam e

Keller (1978). Os referidos autores consideram, como critério geral que, com valores de CUD maior que 90%, o sistema pode ser considerado como de excelente uniformidade de aplicação; enquanto valores entre 80 e 90%, são considerados como boa uniformidade; entre 70 e 80%, como uniformidade regular e, menor que 70%, como de uniformidade de aplicação ruim.

Para a classificação dos valores de Us observou-se que, após o período de 500 horas de operação dos sistemas de irrigação abastecidos com ESP, ESS e EST, passaram de excelente à ruim e inaceitável, conforme critérios da ASAE Standards (2001). Segundo este critério, ASAE (2001), valores de Us maiores que 95 %, indicam sistema com excelente uniformidade de aplicação, enquanto valores entre 90 e 85%, indicam boa uniformidade; valores entre 80 e 75%, com razoável uniformidade; valores entre 70 e 65%, como de uniformidade ruim e, valores menores que 60%, com uniformidade inaceitável.

Finalizado o período experimental, após 500 horas de operação, foram retiradas amostras de gotejadores para identificação do material causador de entupimento. Nessas amostras, foram identificadas biomassas, preenchendo tanto

os labirintos, quanto as aberturas dos filtros secundários dos gotejadores. A acumulação do biofilme nos gotejadores acarretou redução da vazão, devido a redução da secção de escoamento dos labirintos combinado com formação de biofilme sobre o filtro secundário do gotejador, dificultando a entrada do esgoto doméstico pelas pequenas aberturas. O material de obstrução resultou da interação entre bactérias e sólidos suspensos presentes em ESP, ESS e EST.

Por meio do teste de Lilliefors a 1% de probabilidade, constatou-se que os dados de Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e de Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) seguiram distribuição normal (Tabela 3).

Na Tabela 3, verifica-se que a interação tempo de operação x tipo esgoto doméstico foi significativa a 1% de probabilidade. O valor do coeficiente de variação das variáveis CUD e Us na subparcela foi de 14,92 e 9,88%, respectivamente, indicando ótima precisão dos dados obtidos durante o período experimental. Tais coeficientes de variação foram superiores àqueles obtidos por Batista *et al.* (2005b), em trabalho com sistemas de irrigação abastecidos com esgoto sanitário terciário.

Tabela 3. Resumo da análise de variância dos valores de CUD e Us dos sistemas de irrigação abastecidos com ESP, ESS e EST e, respectivos coeficientes de variação

Fontes de variação	Graus de liberdade	CUD		Us	
		Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Tipo de esgoto doméstico	2	2108,77	8,13**	1705,07	13,50**
Resíduo (a)	15	259,49		126,31	
Tempo de operação	5	5679,89	58,92**	4443,74	89,28**
Tempo de operação x tipo de esgoto doméstico	10	852,54	8,84**	603,03	12,12**
Resíduo (b)	75	96,40		49,77	
Total	107				
CVparcela (%)		24,45		15,74	
CVsubparcela (%)		14,92		9,88	

** = F significativo a 1% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Em vista dos resultados das análises de variância, realizou-se o desdobramento da interação tempo de operação x tipo esgoto doméstico. As equações de

regressão que melhor se ajustaram aos dados de CUD e Us em função dos tempos de operação, em cada tipo de esgoto sanitário, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas ao Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) em função do tempo de operação (T), para os diferentes níveis de tratamento submetidos ao esgotos sanitário e os respectivos coeficientes de determinação

Tipo de esgotos doméstico	Equações de regressão	R ²
EDP	$\bar{CUD} = 103,152 - 0,122^{**}T$	0,96
EDS	$\bar{CUD} = 93,091 - 0,268^{*}T + 0,000451^{*}T^2$	0,87
EDT	$\bar{CUD} = 82,518 - 0,0999^{**}T$	0,80
EDP	$\bar{Us} = 103,162 - 0,104^{**}T$	0,94
EDS	$\bar{Us} = 94,607 - 0,211^{**}T + 0,000346^{*}T^2$	0,90
EDT	$\bar{Us} = 88,726 - 0,0999^{**}T$	0,92

** = significativos a 1% de probabilidade pelo teste t; * = significativos a 5% de probabilidade pelo teste t.

A equação de regressão linear foi a que melhor se ajustou aos dados CUD e Us dos sistemas de irrigação abastecidos com ESP e EST, com coeficientes de determinação de 0,96 e 0,91; e 0,94 e 0,92, respectivamente. Enquanto a equação de regressão quadrática foi a que melhor se ajustou aos dados de CUD e Us dos sistemas de irrigação abastecidos com ESS, apresentando coeficientes de determinação de 0,87 e 0,90. Estes resultados corroboram com os obtidos por Batista *et al.* (2008) e Batista *et al.* (2009), que verificaram, em ensaios com esgoto sanitário terciário, que o modelo de regressão linear apresentou melhor ajuste a variação de Us e CUD dos sistemas de irrigação, ao longo de um tempo de operação de 560 horas. Os valores de R^2 , obtidos pelos referidos autores, variaram entre 0,87 a 0,95 para sistemas de irrigação com gotejador dotados de vazão nominal de 1,7 a 2,1 L h⁻¹.

4. CONCLUSÕES

O esgoto sanitário submetido a diferentes níveis de tratamentos representam risco severo para entupimento de gotejadores em relação as características ferro total e coliformes totais, entretanto, para as características manganês total, cálcio e fósforo, este risco de obstrução é considerado baixo;

A formação de biofilme resultante da interação entre sólidos suspensos e bactérias foi a principal causa de obstrução de gotejadores nos conjuntos de irrigação;

Houve elevada redução na uniformidade de aplicação de esgoto sanitário nos sistemas de irrigação abastecidos com ESP, ESS e EST. No entanto, tais reduções foram maiores nos sistemas de irrigação que operam com ESP e EST, em virtude da maior concentração de sólidos suspensos;

Os valores de CUD e Us apresentaram, após 500 horas de operação, redução de 61 e 54 %; 27 e 24 %; e 57 e 59 %, respectivamente, para os conjuntos de irrigação abastecidos com ESP, ESS e EST.

5. REFERÊNCIAS

- ASAE EP 458. **Field evaluation of microirrigation systems**. ASAE Standards, St. Joseph, p. 792-797, 2001.
- BATISTA, R. O. *et al.* Taponamiento de goteros y del filtro de discos con agua residual sanitaria de una laguna de maduración. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v. 62, n. 1, p. 4957-4966, 2009.
- BATISTA, R. O. *et al.* Modelos empíricos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 3, p. 369-377, 2008.
- BATISTA, R. O. *et al.* Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores mediante a aplicação de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na**

- Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 81-87, 2006.
- BATISTA, R. O. *et al.* Obstrução de gotejadores utilizados para a aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 299-305, 2005a.
- BATISTA, R. O. *et al.* Efeito do efluente de lagoa de maturação em gotejadores com e sem tratamento químico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, (suplemento), p. 62-65, 2005b.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 16, p. 1529-1534, 2007.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 68, n. 2, p. 135-149, 2004.
- CARARO, D. C. *et al.* Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.
- CUNHA, F. F. *et al.* Manejo da micro-irrigação baseada em avaliação de sistema na cultura do meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 147-155, 2008.
- FRIGO, E. P. *et al.* Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 305-318, 2006.
- HILLS, D. J.; EL-EBABY, F. G. Evaluation of microirrigation self-cleaning emitters. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 6, n. 4, p. 441-445, 1990.
- MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 142 p. (Caderno Didático, 38).
- MEDEIROS, S. S. **Alterações física e químicas do solo e estado nutricional do cafeeiro em resposta à fertirrigação com água residuária de origem doméstica**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- PUIG-BARGUÉS, J. *et al.* Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. **Agricultural Water Management**, v. 77, n. 1-3, p. 249-262, 2005.