

# Potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado

Hudson Salatiel Marques Vale<sup>1</sup>, Luiz Eduardo Vieira de Arruda<sup>1</sup>, Danniely de Oliveira Costa<sup>1</sup>,  
Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa<sup>1</sup> & Rafael Oliveira Batista<sup>1</sup>

Protocol 07.2013 - Received: 01/03/2013 - Accepted: 10/04/2013

**Resumo:** O presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA) em assentamento rural do semiárido Potiguar. A área experimental está localizada no Assentamento Milagres em Apodi - RN. Os tratamentos utilizados foram: T1 = 100% de EDP; T2 = 75% de EDP mais 25% de AA; T3 = 50% de EDP mais 50% de AA; T4 = 25% de EDP mais 75% de AA; e T5 = 100% de AA. Foram realizadas as análises físico-químicas e microbiológicas de EDP e AA bem como medição da vazão e determinação da uniformidade de aplicação. Os resultados indicaram que EDP representa risco de obstrução para emissores, principalmente em relação à população de microrganismos; a aplicação de EDP proporcionou alteração da uniformidade de aplicação e da vazão dos emissores; e o tratamento T4 (25% de EDP mais 75% de AA) foi mais susceptível ao entupimento em relação aos demais.

**Palavras-chave:** fertigação, reúso de água, obstrução, assentamento Milagres

## Clogging potential of a drip irrigation system operating with treated domestic sewage

**Abstract:** This study aimed to evaluate the potential of clogging of a drip irrigation system operating with primary domestic sewage (EDP) and supply water (AA) in the rural community of semiarid Potiguar - RN, Brazil. The experimental area is located in the rural community of Milagres in Apodi - RN. The treatments studied were: T1 = 100% of EDP, T2 = 75% of EDP + 25% of AA, T3 = 50% of EDP + 50% of AA, T4 = 25% of EDP + 75% of AA, and T5 = 100% of AA. The physico-chemical and microbiological characteristics of EDP and AA as well as the flow rate and uniformity of application were determined. The results indicate that EDP represents risk of obstruction of emitters, especially in relation to the population of microorganisms; applying EDP caused alteration of uniformity and flow rate of emitters, and T4 (25% EDP + 75% AA) was more susceptible to clogging in relation to other treatments.

**Key words:** fertigation, water reuse, obstruction, community Milagres

<sup>1</sup> DCAT/UFERSA, Mossoró, RN. E-mail: klaus\_angel@hotmail.com; luizengeaa@hotmail.com; danniely\_oliveira@hotmail.com; fabricia\_gratyelli@hotmail.com; rafaelbatista@ufersa.edu.br

## Introdução

O uso de águas residuárias na agricultura encontra-se em crescente valorização. Esta prática exige, no entanto, atenção detalhada em relação à quantidade de nutrientes adicionados via fertirrigação bem como as quantidades de nutrientes requeridos pelas plantas; esse cuidado poderá evitar eventuais prejuízos ao ambiente, por exemplo, por conta da lixiviação de nutrientes e acumulação de sais no solo, garantindo em última análise o aumento no rendimento da cultura (Léon Suematsu & Cavallini, 1999).

A utilização de águas residuárias para irrigação é uma prática que, apesar de potencialmente benéfica, exige uma gestão cuidadosa em todas as suas etapas, desde o plantio até a colheita da cultura, necessitando sempre de orientações técnicas adequadas (Souza et al., 2011).

Estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em áreas fertirrigadas com águas residuárias, desde que estas sejam adequadamente manejadas. Léon Suematsu e Cavallini (1999) afirmaram que a utilização de esgoto sanitário tratado como fonte de nutrientes, traz benefícios ao meio ambiente e ao produtor rural, que irá reduzir seus custos com aplicação de fertilizantes e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas.

No trabalho realizado por Shende (1985), comparando o rendimento anual de algumas culturas, comprovou-se que os cultivos fertirrigados com águas residuárias apresentaram maior rendimento do que os cultivos irrigados com água limpa e fertilizados com adubos químicos. De acordo com Santos (2004), a aplicação de esgoto sanitário tratado proporcionou aumento nas concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio das folhas do cafeeiro, em relação às folhas de cafeeiros irrigados com água limpa. Rocha et al. (2003) relataram que plantas de couve fertirrigadas com esgoto sanitário tratado apresentaram maior produtividade e menores teores de nitrogênio total nas folhas em relação às plantas cultivadas com esterco bovino.

A aplicação de água residuária por meio da irrigação localizada tem se tornado uma opção eficaz para a aplicação racional de água na agricultura, por se tratar de um sistema que opera a baixas pressões e alta eficiência (Puig-Bargués et al., 2010). Por outro lado, têm-se algumas restrições quanto ao seu uso, devido principalmente, ao entupimento de emissores. Estes podem obstruir por diversas causas, tornando o entupimento um dos principais problemas de uso e manutenção

destes sistemas. A obstrução de emissores afeta a uniformidade de aplicação de água, reduzindo-a e, conseqüentemente, reduz a eficiência da aplicação de produtos químicos via irrigação, o que resulta em perdas de produtividade (López et al., 1992).

Os emissores podem obstruir por diversas causas, tornando o entupimento um dos principais problemas de uso e manutenção destes sistemas. A obstrução de emissores afeta a uniformidade de aplicação de água, reduzindo-a e, conseqüentemente, reduz a eficiência da aplicação de produtos químicos via irrigação, o que resulta em perdas de produtividade (López et al., 1992; Batista et al., 2011a,b).

O entupimento pode ser de origem física, química ou biológica (Capra & Scicolone, 2004). Os entupimentos físicos são ocasionados pelas partículas que a água leva em suspensão e que obstruem ou fecham os emissores (gotejadores e microaspersores) ou as próprias tubulações. Já os entupimentos provocados pelas precipitações químicas são mais difíceis de localizar e difíceis de tratar quando estão em estado avançado, necessitando assim fazer tratamentos preventivos mais frequentes quanto mais altos forem os riscos de entupimento, que pode ser originado por excesso de carbonato ou sulfato de cálcio e magnésio, ou pela oxidação do ferro, formando precipitados pouco solúveis, quando as condições de umidade, temperatura, pH e/ou concentração de sais favorecem estes processos. O entupimento biológico diz respeito à acumulação de biofilme contendo algas, bactérias e fungos (Nakayama & Bucks, 1991).

Mesmo em vistas às dificuldades de manejo na aplicação de águas residuárias para fins agrícolas, ainda assim, percebe-se que o reuso pode se tornar uma prática segura e viável, sem que haja o comprometimento da qualidade ambiental. Em trabalho conduzido com lodo de esgoto, Martins et al. (2005) verificaram que a fertilização do solo com aplicação do lodo não afetou a qualidade de bebida do café.

O presente trabalho objetivou avaliar o potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico e água de abastecimento em assentamento rural do semiárido Potiguar.

## Material e Métodos

O presente trabalho foi realizado no Assentamento Milagres em Apodi-RN, situado a 100 km de Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5°35'17" de latitude sul e 37°54'07"

de longitude oeste e altitude de 152 m. Atualmente, o assentamento possui 105 habitantes em 28 residências e dispõe de rede coletora de todo esgoto doméstico produzido, além de sistema de tratamento primário. Estima-se que as residências da agrovila produzem diariamente um volume de esgoto doméstico em torno de 20 m<sup>3</sup>.

O experimento foi instalado numa área de 744 m<sup>2</sup>, sendo essa destinada à produção agrícola de girassol, milho, pimenta malagueta e cana-de-açúcar; a área experimental era caracterizada pela presença dos seguintes componentes: a) reservatório de 10 m<sup>3</sup> para armazenamento de esgoto doméstico tratado (Figura 1A); b) reservatório de 10 m<sup>3</sup> para armazenamento de água de abastecimento (Figura 1B); c) conjuntos motobomba automatizados de 1,5 cv e filtros de discos com aberturas de 130 µm (Figura 1C); e d) unidades de irrigação por gotejamento (Figura 1D) dotados de emissor não autocompensante fabricados pela Plastro com vazão nominal de 1,6 L h<sup>-1</sup> e espaçamento entre emissores de 0,30 m.

A avaliação da uniformidade de aplicação do efluente foi realizada de acordo com a metodologia

proposta por Merriam & Keller (1978) modificada por Deniculi et al. (1980), na qual se determina a vazão dos gotejadores, em oito posições e em quatro linhas laterais, sendo a primeira linha lateral, a situada a 1/3 da origem, a situada a 2/3 e a última linha. Em cada linha lateral, selecionam-se oito gotejadores (o primeiro, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do comprimento e o último). Os dados de vazão foram obtidos coletando-se o volume aplicado pelo emissor, durante um período de três minutos.

Para o cálculo da uniformidade de aplicação de efluente, foram utilizados o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ), conforme apresentado nas Eqs 1, 2 e 3.

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

em que:

A.



B.

B.



C.



**Figura 1.** Fotografia do conjunto de irrigação pressurizado no Assentamento Milagres em Apodi-RN, detalhando reservatório para esgoto doméstico (A), reservatório para água de abastecimento (B), conjuntos motobomba com filtros de discos (C) e unidades de irrigação por gotejamento (D)

CUC - coeficiente de uniformidade de Christian-  
sen, %;

$q_i$  - vazão de cada gotejador, L h<sup>-1</sup>

$q$  - vazão média dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>

$n_e$  - número de gotejadores.

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

em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de distribui-  
ção, %; e

$q_{25\%}$  - valor médio dos 25% menores valores de  
vazões dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>.

$$CVQ = \frac{S}{\bar{q}} 100 \quad (3)$$

em que:

CVQ - coeficiente de variação de vazão, %

S - desvio-padrão da vazão da amostra, L h<sup>-1</sup>.

Paralelamente à medição de vazão dos  
gotejadores, a pressão de serviço dos conjuntos de  
irrigação foi medida com manômetro e mantida  
em 120 kPa.

No período de 01 de setembro a 18 de outubro  
de 2011 foi utilizado esgoto doméstico primário  
para a produção de milho e girassol, totalizando  
um período de aplicação de 48h. As necessidades  
hídricas das culturas foram estimadas com base  
no balanço de água no solo e na evapotranspiração  
da cultura pela metodologia da FAO (Allen et al.,  
2006).

Os dados meteorológicos necessários para  
a estimativa da ETo, como velocidade do vento,  
umidade relativa do ar, insolação, radiação  
solar e temperatura foram obtidos de estação  
meteorológica instalada na área.

As irrigações foram realizadas diariamente  
com base no coeficiente de cultura (Kc), no valor  
da evapotranspiração de referência e no teor de  
água do solo. O turno de rega usado foi de um  
dia.

Os tratamentos utilizados no experimento  
foram:

- Tratamento 1: 100% de aplicação de esgoto  
doméstico primário;

- Tratamento 2: 75% de aplicação de esgoto  
doméstico primário e 25% de água de abasteci-  
mento;

- Tratamento 3: 50% de aplicação de esgoto  
doméstico primário e 50% de água de abasteci-  
mento;

- Tratamento 4: 25% de aplicação de esgoto  
doméstico primário e 75% de água de abasteci-  
mento; e

- Tratamento 5: 100% de aplicação de água de  
abastecimento.

A amostragem para caracterização do esgoto  
doméstico primário armazenado nos reservatórios  
foi realizada nos dias 01 de setembro e 18 de  
outubro de 2011, totalizando duas amostras.  
Para caracterização físico-química dos efluentes,  
as amostras foram coletadas e preservadas em  
caixas isotérmicas com gelo à temperatura de  
4°C até a entrada no laboratório. Posteriormente,  
as amostras foram encaminhadas para o  
Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da  
Universidade Estadual do Rio Grande do Norte  
(UERN) onde foram realizadas análises de:  
pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO),  
sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos (SS),  
cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), ferro total (Fe) e  
manganês total (Mn).

Na caracterização microbiológica dos  
efluentes, amostras foram coletadas e  
preservadas em caixa isotérmica com gelo,  
sendo posteriormente encaminhadas para  
o Laboratório de Inspeção de Produtos de  
Origem Animal, localizado na Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)  
para identificação e quantificação dos níveis  
populacionais de coliformes totais (CT).

## Resultados e Discussão

Estão apresentadas na Tabela 1 as caracterís-  
ticas físico-químicas e microbiológicas do esgoto  
doméstico primário e da água de abastecimento  
utilizados no abastecimento dos conjuntos de  
irrigação por gotejamento, bem como os riscos  
de entupimento de gotejadores (Nakayama &  
Bucks, 1991; Capra & Scicolone, 1998).

O valor médio do pH do esgoto doméstico  
primário (Tabela 1) encontra-se dentro da faixa  
7,0 a 7,5 estabelecida por Nakayama & Bucks  
(1991), a qual classifica o risco de obstrução de  
emissores como moderado. No trabalho realizado  
por Batista et al. (2011a), avaliando a obstrução de  
gotejadores, constataram que os valores médios de  
pH do esgotos domésticos primário, secundário e  
terciário foram de 7,2, 8,3 e 8,8, respectivamente.  
Da mesma forma, o valor médio do pH da água  
de abastecimento apresenta risco moderado de  
obstrução de emissores, corroborando com o  
trabalho de Liu & Huang (2009).

A concentração de sólidos suspensos do  
esgoto doméstico primário foi inferior aos  
limites de 50 e 200 mg L<sup>-1</sup> estabelecidos por  
Nakayama & Bucks (1991) e Capra & Scicolone

**Tabela 1.** Características físico-químicas e microbiológicas do esgoto doméstico primário (EDP) e da água de abastecimento (AA) utilizados na irrigação por gotejamento, bem como os riscos de entupimento de gotejadores

Características	EDP	Risco de entupimento de gotejadores			Risco de entupimento de gotejadores	
		Nakayama & Bucks (1991)	Capra & Scicolone (1998)	AA	Nakayama & Bucks (1991)	Capra & Scicolone (1998)
pH*	7,3*	Moderado	n.c.	7,00	Moderado	n.c.
SS	44*	Menor	Menor	0	Nenhum	Nenhum
SD (mg L <sup>-1</sup> )	350*	Menor	Menor	50	Menor	Menor
Fe (mg L <sup>-1</sup> )	0,60*	Moderado	Moderado	0,40	Moderado	Menor
Mn (mg L <sup>-1</sup> )	0,20*	Moderado	Menor	0,07	Menor	Menor
Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,80*	n.c.	Menor	0,30	n.c.	Menor
Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,70*	n.c.	Menor	0,50	n.c.	Menor
DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	20*	n.c.	n.c.	0	n.c.	n.c.
PB (UFC mL <sup>-1</sup> )	1,1x10 <sup>4**</sup>	Moderado	n.c.	0	Nenhum	n.c.

Nota: SS = sólidos suspensos; SD = sólidos dissolvidos; Fe = ferro total; Mn = manganês total; Ca<sup>2+</sup> = cálcio; Mg<sup>2+</sup> = magnésio; DBO<sub>5</sub> = Demanda Bioquímica de Oxigênio; PB = população bacteriana; e UFC = unidades formadoras de colônias. \* Média aritmética das características. \*\* Média geométrica da característica. n.c.= não classificado

(1998), respectivamente, que classificam o risco de obstrução de emissores como menor. Essa concentração média encontra-se dentro da faixa de 33,6 a 101,4 mg L<sup>-1</sup> obtida por Dazhuang et al. (2009) com esgoto doméstico de sistema de lodos ativados. Portanto, a concentração média de sólidos suspensos da água de abastecimento não representa risco de obstrução de emissores.

O valor médio dos sólidos dissolvidos do esgoto doméstico primário foi inferior aos limites de 500 e 625 mg L<sup>-1</sup> estabelecidos por Nakayama & Bucks (1991) e Capra & Scicolone (1998), respectivamente, que classificam o risco de obstrução de emissores como menor. Tal valor médio foi inferior a faixa de 542 a 567 mg L<sup>-1</sup> obtida por Dazhuang et al. (2009) com esgoto doméstico de sistema de lodos ativados, sendo que tal faixa representa risco moderado de obstrução de emissores. Enquanto, para a água de abastecimento o risco de obstrução também foi classificado como menor, corroborando com os resultados obtidos por Liu & Huang (2009).

A concentração média de ferro total do esgoto doméstico primário encontra-se dentro das faixas limites de 0,2 a 1,5 mg L<sup>-1</sup> e 0,5 a 1,2 mg L<sup>-1</sup> estabelecidas por Nakayama & Bucks (1991) e Capra & Scicolone (1998), respectivamente, que classificam o risco de obstrução de emissores como moderado. Esse valor médio foi menor que 2,3, 2,7 e 1,7 mg L<sup>-1</sup> obtidos por Batista et al. (2011a) em ensaios experimentais de esgotos domésticos primário, secundário e terciário utilizados no abastecimento de sistema de irrigação por gotejamento. Para a água de abastecimento, a concentração média de ferro total foi inferior a 0,5 mg L<sup>-1</sup>, representando menor risco de obstrução de emissores conforme a classificação proposta por Nakayama & Bucks (1991).

O valor médio do manganês total do esgoto doméstico primário (Tabela 1) encontra-se dentro da faixa limite de 0,1 a 1,5 mg L<sup>-1</sup> estabelecida por Nakayama & Bucks (1991), que classifica o risco

de obstrução como moderado. Tal valor médio foi superior à 0,03 mg L<sup>-1</sup> obtido por Liu & Huang (2009) com esgoto doméstico de sistema de lodos ativados. Enquanto, para água de abastecimento o valor médio do manganês total foi inferior ao limite de 0,1 mg L<sup>-1</sup> estabelecido por Nakayama & Bucks (1991), corroborando com os resultados apresentados por Liu & Huang (2009) para água de abastecimento.

A concentração média de cálcio do esgoto doméstico primário (Tabela 1) foi inferior ao limite de 12,5 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> estabelecido por Capra & Scicolone (1998), sendo o risco de obstrução classificado como menor. Tal valor médio foi superior a 0,55 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> obtido por Capra & Scicolone (2007) com esgoto doméstico secundário. Para água de abastecimento, a concentração média de cálcio foi inferior à 2,42 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> obtido por Liu & Huang (2009) com água de abastecimento.

O valor médio do magnésio presente no esgoto doméstico primário foi menor que o limite de 2,0 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> estabelecido por Capra & Scicolone (1998), sendo o risco de obstrução classificado como menor. Esse valor médio foi inferior à 0,73 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> obtido por Capra & Scicolone (2007) com esgoto doméstico secundário. Para água de abastecimento o risco de obstrução de emissores também foi classificado como menor, sendo inferior ao valor de 1,0 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> obtido por Liu & Huang (2009) com água de abastecimento.

A concentração média da Demanda Bioquímica de Oxigênio (Tabela 1) foi inferior ao limite de 25 mg L<sup>-1</sup> de DBO<sub>5</sub>, estabelecido por Capra & Scicolone (2004) para ótimo desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento que operam com águas residuárias. Tal valor médio foi inferior a 165,4 mg L<sup>-1</sup> obtido por Batista et al. (2011a) com esgoto doméstico primário.

O nível populacional médio dos coliformes totais (Tabela 1) encontra-se dentro da faixa limite

de  $1,0 \times 10^4$  a  $5,0 \times 10^4$  unidades formadoras de colônias por mililitro, estabelecida por Nakayama & Bucks (1991), sendo o risco de obstrução de emissores classificado como moderado. Tal valor médio foi inferior a  $2,4 \times 10^1$  unidades formadoras de colônias por mililitro obtida por Dazhuang et al. (2009) com esgoto doméstico de sistema de lodos ativados. Já a água de abastecimento não representa risco de obstrução de emissores.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen das unidades de aplicação de esgoto doméstico, durante 48 h de operação.

**Tabela 2.** Valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) das unidades de aplicação de esgoto doméstico, durante 48 h de operação

Data	CUC (%)				
	T1	T2	T3	T4	T5
01/09/2011	94	93	92	93	93
18/10/2011	29	46	57	74	86
Redução (%)	69	50	38	21	8

Nota: T1 = 100% de esgoto doméstico; T2 = 75% de esgoto doméstico mais 25% de água de abastecimento; T3 = 50% de esgoto doméstico mais 50% de água de abastecimento; T4 = 25% de esgoto doméstico mais 75% de água de abastecimento; e T5 = 100% de água de abastecimento

Os valores de CUC referentes ao tempo de funcionamento inicial (01 de setembro de 2011) das unidades de fertirrigação foram superiores a 90% e, de acordo com Merriam & Keller (1978), são classificados como excelentes.

Entretanto, no tempo de funcionamento de 48 h (18 de outubro de 2011), somente o valor do CUC da unidade submetida ao tratamento T5 (0% de esgoto doméstico mais 100% de água de abastecimento) foi classificado como bom; os valores de CUC da unidade submetida ao tratamento T4 (25% de esgoto doméstico mais 75% de água de abastecimento) encontrou-se na faixa de 70 a 80%, sendo classificado como razoável; e os valores do CUC das demais unidades foram menores que 70%, razão pelo qual receberam a classificação ruim.

Estabelecendo comparação entre tempos de funcionamento inicial (0 h) e 48 h, notou-se que os valores de CUC das unidades operando nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 apresentaram reduções de 69, 50, 38, 21 e 8%, respectivamente. Cunha et al. (2006) obtiveram redução de 76% nos valores de CUC de unidades de irrigação por gotejamento abastecidas com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro após 144 horas de operação.

A redução no valor do CUC do tratamento T5 provavelmente está associada à presença de cálcio e magnésio da água de abastecimento que em função da alteração de pH proporcionou

a formação de precipitados que aderiram aos labirintos dos emissores conforme relatado por Nakayama & Bucks (1991).

Estão apresentados na Tabela 3 os valores do coeficiente de uniformidade de distribuição das unidades de aplicação de esgoto doméstico, durante 48 h de operação.

**Tabela 3.** Valores do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) das unidades de aplicação de esgoto doméstico, durante 48 h de operação

Data	CUD (%)				
	T1	T2	T3	T4	T5
01/09/2011	94	94	93	94	93
18/10/2011	1	3	30	12	81
Redução (%)	99	97	68	87	13

Nota: T1 = 100% de esgoto doméstico; T2 = 75% de esgoto doméstico mais 25% de água de abastecimento; T3 = 50% de esgoto doméstico mais 50% de água de abastecimento; T4 = 25% de esgoto doméstico mais 75% de água de abastecimento; e T5 = 100% de água de abastecimento

No tempo de funcionamento inicial (01 de setembro de 2011), todos os valores de CUD das unidades foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes por Merriam & Keller (1978). Porém, quando se analisaram os valores do CUD das unidades no tempo de funcionamento de 48 h (18 de outubro de 2011) somente o valor de CUD do tratamento 5 (0% de esgoto doméstico mais 100% de água de abastecimento) foi classificado como bom. Os valores de CUD dos demais tratamentos foram classificados como ruins, por serem inferiores a 70%.

As reduções nos valores de CUD das unidades operando nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 apresentaram reduções de 99, 97, 68, 87 e 13%, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 48 h. Batista et al. (2011a) obtiveram reduções nos valores de CUD de 61, 27 e 57% em sistemas de irrigação operando com esgotos domésticos primário, secundário e terciário, respectivamente.

As reduções dos valores de CUD dos tratamentos T1 a T4 podem ser associadas à formação de biofilme resultante da interação entre bactérias e sólidos suspensos nos emissores corroborando com Batista et al. (2011a,b). Na aplicação da água residuária, pode-se aumentar o tempo de fertirrigação; assim, as plantas que receberam menor lâmina de fertirrigação passam a receber maior quantidade de efluente, de modo a atender às suas exigências nutricionais. No entanto, aquelas plantas que recebiam a lâmina adequada passam a ter problema de fertirrigação excessiva, ocorrendo, também, aumento da perda por percolação (López et al., 1992).

Na Tabela 4 estão apresentados os valores do coeficiente de variação de vazão das unidades de

**Tabela 4.** Valores do coeficiente de variação de vazão (CVQ) das unidades de aplicação de esgoto doméstico, durante 48 h de operação

Data	CVQ (%)				
	T1	T2	T3	T4	T5
01/09/2011	5,2	5,8	6,3	5,1	5,4
18/10/2011	78	62	44	100	10
Aumento (%)	1506	1067	691	1943	85

Nota: T1 = 100% de esgoto doméstico; T2 = 75% de esgoto doméstico mais 25% de água de abastecimento; T3 = 50% de esgoto doméstico mais 50% de água de abastecimento; T4 = 25% de esgoto doméstico mais 75% de água de abastecimento; e T5 = 100% de água de abastecimento

aplicação de esgoto doméstico, durante 48 h de operação.

No início (01 de setembro de 2011), verificou-se que os valores de CVQ das subunidades foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons, segundo a norma ASAE EP 405 (ASAE, 2003). Já no tempo de funcionamento de 48 h (18 de outubro de 2011) somente o valor de CVQ do tratamento T5 (0% de esgoto doméstico mais 100% de água de abastecimento) foi classificado como razoável; os demais valores de CVQ das subunidades foram superiores a 20%, recebendo, assim, a classificação de inaceitável.

Comparando os tempos de funcionamento inicial e 48 h, percebeu-se que os valores de CVQ das unidades operando nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram aumentados em 1506, 1067, 691, 1943 e 85%, respectivamente. O elevado aumento no CVQ das subunidades proporciona distribuição desuniforme de águas e nutrientes do esgoto doméstico primário, podendo resultar em perda de produtividade (López et al., 1992).

Comparando as unidades submetidas aos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 nos tempos de funcionamento inicial (01 de setembro de 2011) e 48 h (18 de outubro de 2011) notou-se reduções de vazão de 34, 36, 25, 77 e 9% (Tabela 5). Estabelecendo comparações entre os tempos de operação de 0 e 500 horas no trabalho desenvolvido por Batista et al. (2011b), notou-se que houve redução na vazão dos gotejadores dos conjuntos de irrigação de 62, 22 e 61% para os esgotos domésticos primário, secundário e terciário, respectivamente. No trabalho realizado por Batista et al. (2010) com esgoto doméstico terciário constatou-se redução de 5% na vazão inicial dos gotejadores após 120 horas de operação do conjunto de irrigação em campo. Berkowitz (2001) avaliou o desempenho de cinco conjuntos de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico secundário durante seis anos; foram utilizados gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 2,3 L h<sup>-1</sup>; o entupimento dos gotejadores foi observado somente em dois

**Tabela 5.** Valores de vazão dos emissores das unidades de aplicação de esgoto doméstico, durante 48 h de operação

Data	Q (L h <sup>-1</sup> )				
	T1	T2	T3	T4	T5
01/09/2011	1,62	1,60	1,60	1,64	1,64
18/10/2011	1,07	1,03	1,21	0,38	1,49
Redução (%)	34	36	25	77	9

Nota: T1 = 100% de esgoto doméstico; T2 = 75% de esgoto doméstico mais 25% de água de abastecimento; T3 = 50% de esgoto doméstico mais 50% de água de abastecimento; T4 = 25% de esgoto doméstico mais 75% de água de abastecimento; e T5 = 100% de água de abastecimento

conjuntos de aplicação, com redução máxima da vazão inicial de 23%.

## Conclusões

1. O esgoto doméstico primário representa risco de obstrução para emissores, principalmente em relação à população de microrganismos.
2. A aplicação de esgoto doméstico primário proporcionou alteração da uniformidade de aplicação e da vazão dos emissores.
3. O tratamento T4 (25% de esgoto doméstico mais 75% de água de abastecimento) foi mais suscetível ao entupimento.

## Literatura Citada

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 298p.
- ASAE - American Society of Agricultural Engineers. ASAE EP 405. Design and installation of microirrigation systems. In: ASAE Standards 2003. St. Joseph: ASAE. 2003. p.900-905.
- Batista, R. O.; Costa, F. G. B.; Lopes, H. S. S.; Coelho, D. C. L.; Costa Paiva, M. R. F. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. Revista Caatinga, v.24, p.137-144, 2011a.
- Batista, R. O.; Soares, A. A.; Moreira, D. A.; Feitosa, A. P.; Bezerra, J. M. Influência de diferentes qualidades de esgoto doméstico na vazão de gotejadores. Revista Caatinga, v.24, p.128-134, 2011b.
- Batista, R. O.; Souza, J. A. R.; Ferreira, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. Revista Ceres, v.57, p.18-022, 2010.
- Berkowitz, S. J. Hydraulic performance of subsurface wastewater drip systems. In: On-Site Wastewater Treatment, 9, 2001, Fort Worth. Proceedings... St. Joseph: ASAE, 2001. p. 583-592.

- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.70, p.355-365, 1998.
- Capra, A.; Scicolone, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v.68, p.135-149, 2004.
- Capra, A.; Scicolone, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. *Journal of Cleaner Production*, v.15, p.1529-1534, 2007.
- Cunha, F. F.; Matos, A. T.; Batista, R. O.; Lo Monaco, P. A. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.28, p.143147, 2006.
- Dazhuang, Y.; Zhihui, B.; Rowan, M.; Likun, G.; Shumei, R.; Peiling, Y. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. *Journal of Environmental Sciences*, v.21, p.834-841, 2009.
- Denículi, W.; Bernardo, S.; Thiábaut, J. T. L.; Sedyama, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Ceres*, v.27, p.155-162, 1980.
- Léon Suematsu, G.; Cavallini, J. M. Tratamento e uso de águas residuárias. Campina Grande: UFPB, 1999. 109p.
- Liu, H.; Huang, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, v.96, p.745-756, 2009.
- López, J. R.; Abreu, J. M. H.; Regalado, A. P.; Hernández, J. F. G. Riego localizado. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405p.
- Martins, D. R.; Camargo, O. A. de; Bataclia, O. C. Qualidade do grão e da bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto. *Bragantia*, v.64, p.115-126, 2005.
- Merriam, J. L.; Keller, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271p.
- Nakayama, F. S.; Bucks, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*, v.12, p.187-192, 1991.
- Puig-Bargués, J.; Arbat, G.; Elbana, M.; Duran-Ros, M.; Barragán, J.; Ramírez de Cartagena, F.; Lamm, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management*, v.97, p.883-891, 2010.
- Rocha, R. E. M.; Pimentel, M. S.; Zago, V. C. P. Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.1435-1441. 2003.
- Santos, S. S. Influência da aplicação, via irrigação por gotejamento, de esgoto sanitário tratado na cultura do cafeeiro e no solo. Viçosa: UFV, 2004. 70p. Dissertação Mestrado
- Shende, G. B. Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to Indian experience and research and development needs. In: *FAO Regional Seminar on the Treatment and Use of Sewage Irrigation*. Rome: FAO, 1985. p.157-182.
- Souza, J. A. A.; Batista, R. O.; Ramos, M. M.; Soares, A. A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. *Acta Scientiarum. Technology*, v.33, p.5-8, 2011.