

# GOTEJADORES APLICANDO PROPORÇÕES DE TEMPO DE IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DA SUINOCULTURA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO

## *DRIPPERS APPLYING PROPORTIONS OF IRRIGATION TIME WITH SWINE WASTEWATER AND WATER SUPPLY*

**Rafael Oliveira BATISTA<sup>1</sup>; Manuel Januário da SILVA JÚNIOR<sup>2</sup>;  
Delfran Batista dos SANTOS<sup>3</sup>; Fernando França da CUNHA<sup>4</sup>;  
Francisco de Oliveira MESQUITA<sup>5</sup>; Francisco Gilliard Chaves FREIRE<sup>6</sup>**

1. Professor Adjunto, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró, RN, Brasil. [rafaelbatista@ufersa.edu.br](mailto:rafaelbatista@ufersa.edu.br); 2. Professor Adjunto, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró, RN, Brasil; 3. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IF Baiano, Senhor do Bonfim, BA, Brasil; 4. Professor Adjunto, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS, Chapadão do Sul, MS, Brasil; 5. Doutorando em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Mossoró, RN, Brasil; 6. Mestre em Irrigação e Drenagem, DCAT, UFERSA, Mossoró, RN, Brasil.

**RESUMO:** Este trabalho objetivou analisar os efeitos de proporções de tempo de irrigação com água residuária da suinocultura (ARS) e água de abastecimento (AA) na alteração de indicadores de desempenho hidráulico de sistemas de irrigação com três modelos de gotejadores (G1 - não autocompensante de 2,0 L h<sup>-1</sup>, G2 - não autocompensante de 1,7 L h<sup>-1</sup> e G3 - autocompensante de 3,6 L h<sup>-1</sup>). O experimento foi realizado junto ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA/UFV) em Viçosa-MG, tendo os seguintes tratamentos: i) 1E3A (1 h de ARS e 3 h de AA); ii) 2E2A (2 h de ARS e 2 h de AA); iii) 3E1A (3 h de ARS e 1 h de AA); e iv) 4E (4 h de ARS). As características físico-químicas e biológicas da ARS e AA foram determinadas a cada 20 h e 80 h, respectivamente. Os valores do coeficiente de variação de vazão (CV<sub>q</sub>), coeficiente de uniformidade estatística (Us) e coeficiente de vazão relativa média (DRA) foram obtidos a cada 20 h, durante 160 h de operação do sistema. Após 160 h, gotejadores e linhas laterais foram dissecados para investigação do material ocasionar de obstrução. A obstrução por biofilme foi mais acentuada nas combinações G1 x 2E2A e G1 x 3E1A, enquanto as combinações G2 x 1E3A e G3 x 4E apresentaram os maiores valores de desempenho hidráulico, minimizando a obstrução nas unidades de irrigação com biofilme.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desempenho hidráulico. Emissores. Obstrução.

## INTRODUÇÃO

Dados apresentados no ANUALPEC (2013) apontaram o Brasil como o quarto produtor mundial de carne suína no ano de 2013, com produção de 3,33 milhões de toneladas, possuindo cerca de 39,17 milhões de animais. Neste mesmo ano, o Estado de Minas Gerais apresentou o quarto rebanho suínico do país, com aproximadamente 5,14 milhões de cabeças.

Segundo Cabral et al. (2011), um dos maiores problemas do confinamento de animais é a quantidade considerável de dejetos produzidos por unidade de área e quando manejados inadequadamente, esses resíduos podem causar impactos negativos ao ambiente.

A utilização de águas residuárias de suinocultura na agricultura é uma alternativa para controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, além da disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, reciclagem de nutrientes e aumento na produção agrícola (RODRIGUES et al., 2010).

O método de irrigação localizada é usado para aplicação de águas residuárias, em razão da

elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação tanto do produto agrícola quanto de operadores no campo (ORON et al., 1999).

Nos sistemas de irrigação localizada, entretanto, os emissores apresentam alta suscetibilidade ao entupimento (PUIG-BARGUÉS et al., 2010; BATISTA et al., 2011). A sensibilidade ao problema de entupimento varia com as características do gotejador (LIU; HUANG, 2009; ZHANG et al., 2010) e com a qualidade da água relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (NAKAYAMA et al., 2006; DURAN-ROS et al., 2009).

A formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e partículas orgânicas e inorgânicas é a principal causa de entupimento de gotejadores que operam com águas residuárias (DAZHUANG et al., 2009; DURAN-ROS et al., 2009; PUIG-BARGUÉS et al., 2010).

O entupimento de gotejadores prejudica o funcionamento geral do sistema de irrigação localizada, afetando as suas características de operação e exigindo manutenções mais frequentes (NAKAYAMA et al., 2006). Geralmente, a

obstrução reduz a vazão e, conseqüentemente, aumenta o coeficiente de variação de vazão dos sistemas de irrigação localizada (SILVA et al., 2012; SILVA et al., 2013).

De acordo com Silva et al. (2012), a concentração de sólidos suspensos foi o principal agente de obstrução em sistemas de irrigação por gotejamento que operam com água residuária doméstica tratada com filtro digestor associado a uma lagoa de estabilização. Onde após 120 dias de operação o coeficiente de uniformidade estatística foi de 84%, classificado como bom. No trabalho de Silva et al. (2013) com água residuária do processamento da castanha de caju, notou-se que o coeficiente de variação de vazão passou de 5% para 44%, após 160 h de operação da unidade de irrigação com gotejador não autocompensante. Trabalhando com água residuária doméstica tratada Oliver et al. (2014) obtiveram reduções nos valores de coeficiente de vazão relativa média de até 53%, após 3600 h de operação dos sistemas de irrigação por gotejamento.

Sendo assim, este trabalho teve por objetivo analisar os efeitos de proporções de tempo de irrigação com água residuária de suinocultura e água de abastecimento na alteração de indicadores de desempenho hidráulico de sistemas de irrigação dotados de três modelos de gotejadores.

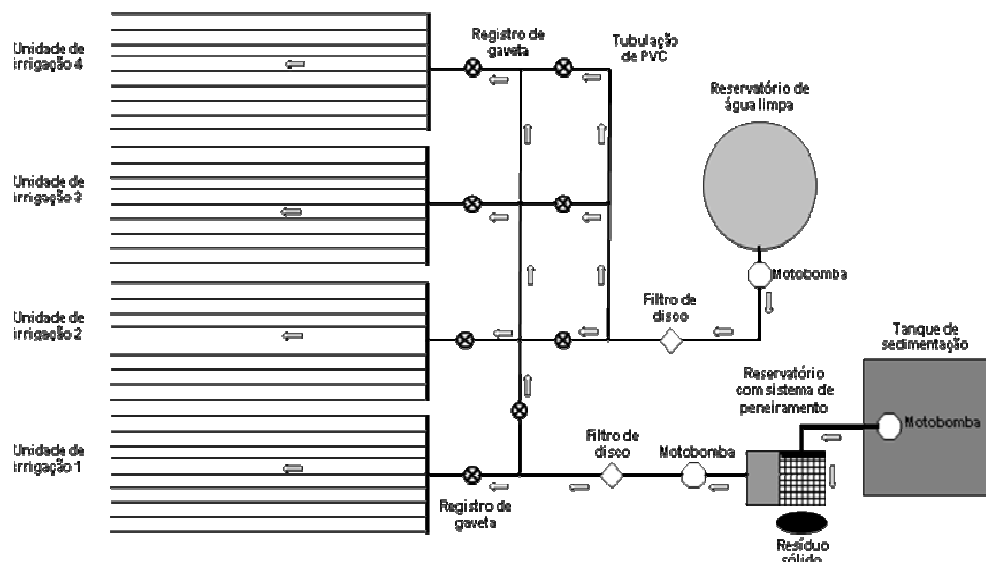
## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em área experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa-MG, situada nas coordenadas geográficas 20°46'11.25" de latitude sul e 42°51'44.96" de longitude oeste.

Uma plataforma de testes foi montada nas dimensões de 3,4 m de largura por 18,0 m de comprimento, com declividade transversal de 2%. Uma canaleta foi construída ao longo da lateral mais baixa da plataforma, com a finalidade de coletar e retirar da plataforma a água residuária e a água de abastecimento aplicada pelos gotejadores.

A unidade de controle para bombeamento da água residuária de suinocultura foi constituída por um reservatório de 7,0 m<sup>3</sup>, uma peneira com tela metálica de 47 µm e um conjunto motobomba de 3 cv. Essa peneira permitiu a remoção dos sólidos suspensos, principalmente de pêlos de suínos, e óleos e graxas presentes na água residuária de suinocultura para minimizar os agentes físicos de obstrução no filtro de discos do sistema de irrigação.

A outra unidade de controle para o bombeamento de água de abastecimento foi composta por um reservatório de 6,0 m<sup>3</sup>, um conjunto motobomba de 3 cv e um filtro de discos com aberturas de 130 µm.



**Figura 1.** Bancada experimental, destacando-se a plataforma de testes, as unidades de controle para bombeamento da água residuária de suinocultura e da água de abastecimento e as unidades de irrigação por gotejamento.

Na plataforma foram montadas quatro unidades de irrigação, sendo que cada uma delas possuía uma válvula reguladora de pressão de 105 kPa, uma linha de derivação de PVC com diâmetro nominal de 32 mm e nove linhas laterais de

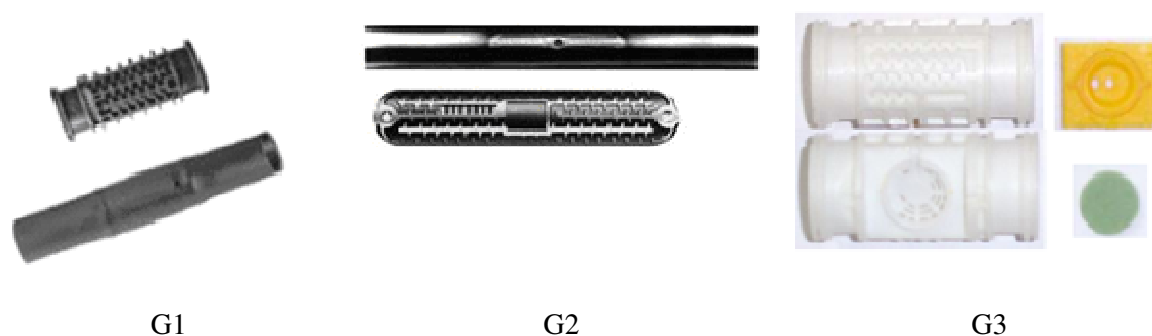
polietileno. Em cada unidade de irrigação foram testados três tipos de gotejadores, apresentados na Tabela 1. As características dos gotejadores foram obtidas de catálogos técnicos fornecidos pelos fabricantes e medidas com auxílio de parquímetro.

**Tabela 1.** Características dos gotejadores (G) utilizados nos ensaios experimentais: dispositivo de autocompensação (DA), vazão nominal (Q), área do orifício (A), comprimento do labirinto (L), coeficiente de variação de fabricação (CV<sub>f</sub>), faixa de pressão recomendada (P) e espaçamento entre gotejadores (EE)

G	DA	Q (L h <sup>-1</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )	L (mm)	CV <sub>f</sub> (%)	P (kPa)	EE
G1	Não	2,00	4,45	327	≤ 3	80 - 300	0,5
G2	Não	1,70	1,86	176	≤ 3	40 - 100	0,3
G3	Sim	3,60	2,54	44	≤ 4	80 - 350	0,5

Na Figura 2 estão ilustrados os tipos de gotejadores testados: gotejador não-autocompensante, cilíndrico, interno e com labirinto tortuoso (G1); gotejador não-autocompensante,

plano, interno e com labirinto tortuoso (G2) e gotejador autocompensante cilíndrico, interno, com labirinto tortuoso e amplo filtro secundário (G3).



**Figura 2.** Modelo de gotejadores G1, G2 e G3 utilizados na montagem da bancada experimental.

Na linha de derivação de cada unidade de irrigação foram inseridas três linhas laterais para cada um dos três tipos de gotejadores. As linhas laterais apresentaram 18 m de comprimento, sendo posicionadas sobre o piso da bancada experimental que não possuía declividade nessa direção. Em todas as linhas laterais marcaram-se 22 emissores para a medição da vazão, ao longo do período experimental.

Na condução dos ensaios experimentais foram utilizadas as seguintes proporções de tempo de irrigação com água residuária de suinocultura (ARS) e água de abastecimento (AA): a) 1E3A = uma hora de aplicação de ARS seguida de três horas de aplicação de AA; b) 2E2A = duas horas de aplicação de ARS seguida de duas horas de aplicação de AA; c) 3E1A = três horas de aplicação de ARS seguida de uma hora de aplicação de AA; e d) 4E = quatro horas de aplicação de ARS. A alternância de proporções de tempo de irrigação com ARS e AA foram motivadas pela interferência da aerobiose e anaerobiose das águas residuária no processo de obstrução de gotejadores como descrito por Puig-Bargués et al. (2005) e Batista et al. (2011).

As unidades de irrigação funcionaram quatro horas por dia até completar 160 h, seguindo a

metodologia proposta por Cunha et al. (2006), onde um tempo de operação de 144 h foi suficiente para proporcionar obstrução de gotejadores que operaram com água residuária. Os dados de vazão foram obtidos dos 22 gotejadores identificados por linha lateral, seguindo a recomendação de Capra e Scicolone (1998), que recomendaram no mínimo 16 gotejadores para avaliação do desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento com problemas de entupimento. A vazão de cada gotejador foi determinada coletando-se o volume aplicado durante três minutos e calculada empregando a equação 1.

$$q = \frac{V}{1000 \cdot t} \cdot 60 \quad (1)$$

em que:

q – vazão do gotejador, L h<sup>-1</sup>;

V – volume de água coletada, mL; e

t – tempo de coleta da água, min.

O desempenho hidráulico e o nível de obstrução dos gotejadores das unidades de irrigação operando com água residuária de suinocultura e água de abastecimento foram obtidos por meio das equações 2, 3 e 4.

$$CV_q = \frac{S_n}{\bar{q}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$Us = (1 - CV_q) \cdot 100 \quad (3)$$

$$Dra = \sum \frac{Dr}{n} \cdot 100 \quad (4)$$

em que:

$CV_q$  - coeficiente de variação de vazão ASABE (2008), %;

$S_n$  - desvio padrão da vazão dos gotejadores,  $L h^{-1}$ ;

$\bar{q}$  - vazão média ponderada do gotejador,  $L h^{-1}$ ;

$Us$  - coeficiente de uniformidade estatística segundo Capra e Scicolone (1998), %;

$Dra$  - coeficiente da vazão relativa média segundo Capra e Scicolone (1998), %;

$Dr$  - vazão relativa de cada gotejador ensaiado, obtida pela razão entre a vazão atual do gotejador ( $L h^{-1}$ ) e vazão do gotejador novo ( $L h^{-1}$ ), adimensional; e

$n$  - número de gotejadores avaliados.

Com o uso de válvulas reguladoras de pressão nas quatro unidades de irrigação, a pressão de serviço foi mantida em  $105 \pm 5$  kPa e medida, diariamente, com manômetro analógico possuindo

glicerina da marca GE CI2.5 graduado de 0 a 400 kPa. No tempo de operação inicial (0 h), quando não houve obstrução, as variações de vazão entre os gotejadores encontraram-se na faixa de  $\pm 7\%$  assim como, o coeficiente de variação de fabricação ( $CV_f$ ) da amostra não deve exceder  $\pm 7\%$ , estabelecida na NBR ISO 9261 (ABNT, 2006).

O monitoramento da qualidade da água residuária de suinocultura foi realizado a cada 20 h, simultaneamente com a determinação dos indicadores de desempenho hidráulico das unidades de irrigação, totalizando nove amostragens até o encerramento dos ensaios experimentais, no tempo de operação de 160 h. A água residuária de suinocultura foi proveniente do Setor de Suínos da UFV, sendo a maior frequência do monitoramento atribuída às elevadas oscilações das características físico-químicas e biológicas do efluente em detrimento do manejo da alimentação, vacinação, vermifugação e limpeza das instalações. Na Tabela 2 estão apresentados os atributos físico-químicas e biológico da ARS obtidos a cada 20 h, até completar o tempo de operação de 160 h.

**Tabela 2.** Atributos físico-químicos e biológico da água residuária de suinocultura (ARS) obtidas cada 20 h de operação das unidades de irrigação até completar o tempo de operação de 160 h

Atributos	Tempo de operação das unidades de irrigação (h)								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
SS	298	362	416	378	312	242	256	338	394
SD	1.787	1.474	1.592	1.696	1.100	1.066	1.394	1.171	1.052
S	29,00	28,93	39,55	45,13	48,21	52,59	54,30	55,63	55,24
Fe	4,76	4,54	6,87	12,83	4,77	4,45	3,74	3,84	3,66
Mn	0,57	0,66	2,73	1,28	0,53	0,52	0,52	0,38	0,36
pH	7,60	7,37	7,44	7,61	7,61	7,66	7,37	7,40	7,77
Ca <sup>+2</sup>	5,14	2,99	5,12	6,64	4,77	4,76	4,62	4,79	4,83
Mg <sup>+2</sup>	3,08	3,17	2,85	3,32	2,34	2,36	2,42	2,77	3,00
PBC	$1,6 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$1,1 \times 10^7$	$1,7 \times 10^4$	$1,3 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$5,4 \times 10^5$

**Nota:** SS = sólidos suspensos,  $mg L^{-1}$ ; SD = sólidos dissolvidos,  $mg L^{-1}$ ; S = enxofre,  $mg L^{-1}$ ; Fe = ferro,  $mg L^{-1}$ ; Mn = manganês,  $mg L^{-1}$ ; pH = potencial hidrogeniônico; Ca<sup>+2</sup> = cálcio,  $mmol_c L^{-1}$ ; Mg<sup>+2</sup> = magnésio,  $mmol_c L^{-1}$ ; e PBC = população bacteriana, UFC  $mL^{-1}$ , sendo UFC = unidades formadoras de colônias.

No monitoramento da qualidade da água de abastecimento, as amostragens foram realizadas a cada 80 h, devido à menor variação das características físico-químicas e biológicas. A água de abastecimento foi oriunda da rede de

abastecimento de água da Companhia de Saneamento de Minas Gerais-COPASA. Na Tabela 3 estão apresentados os atributos físico-químicos e biológico da AA obtidos a cada 80 h, até completar o tempo de operação de 160 h.

**Tabela 3.** Atributos físico-químicos e biológico da água de abastecimento (AA) obtidos cada 20 h de operação das unidades de irrigação até completar o tempo de operação de 160 h

Atributos	Tempo de funcionamento (h)		
	0	80	160
SS	0	0	0
SD	61	44	57
S	0	0	0
Fe	0	0	0
Mn	0	0	0
pH	7,20	7,07	7,10
Ca <sup>+2</sup>	0,55	0,47	0,58
Mg <sup>+2</sup>	0,21	0,21	0,22
PBC	3,3 x 10 <sup>3</sup>	7,0 x 10 <sup>2</sup>	1,5 x 10 <sup>3</sup>

**Nota:** SS = sólidos suspensos, mg L<sup>-1</sup>; SD = sólidos dissolvidos, mg L<sup>-1</sup>; S = enxofre, mg L<sup>-1</sup>; Fe = ferro, mg L<sup>-1</sup>; Mn = manganês, mg L<sup>-1</sup>; pH = potencial hidrogeniônico; Ca<sup>2+</sup> = cálcio, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup> = magnésio, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; e PBC = população bacteriana, UFC mL<sup>-1</sup>, sendo UFC = unidades formadoras de colônias.

Determinaram-se as características físico-químicas e biológicas da água residuária de suinocultura e água de abastecimento seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (RICE et al., 2012). No Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV foram medidos os valores do potencial hidrogeniônico (pH), com peagâmetro de bancada. Determinaram-se, também, as concentrações dos sólidos suspensos (SS) pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro (0,45 µm de diâmetro de poro); e dos sólidos totais (ST) pelo método gravimétrico. As concentrações dos sólidos dissolvidos (SD) foram obtidas pela diferença entre as concentrações dos sólidos totais (ST) e dos sólidos suspensos (SS). Nos Laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica, ambos do Departamento de Solos da UFV, foram determinadas as concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e enxofre (S) por espectrofotometria de absorção atômica. As análises microbiológicas foram feitas

no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Microbiologia da UFV. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC mL<sup>-1</sup>).

Depois de 160 h de operação das unidades de irrigação, fez-se o corte das linhas laterais, abrindo-se diversos gotejadores para retirar amostras do material que provocou obstrução dos gotejadores e realização de registros fotográficos.

Os indicadores de desempenho hidráulico CV<sub>q</sub>, U<sub>s</sub> e Dra foram representados por 12 combinações entre os modelos de gotejador (G) e os tempos de irrigação com água residuária de suinocultura e água de abastecimento (EA), conforme apresentado na Tabela 4. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t num nível de 10%, no coeficiente de determinação e no processo em estudo. Na realização das análises estatísticas foi utilizado o programa computacional R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

**Tabela 4.** Representação das combinações modelo de gotejador (G) e tempos de irrigação com água residuária de suinocultura e água de abastecimento (EA)

Combinações	1	2	3	4	5	6
G x EA	G1 x 1E3A	G2 x 1E3A	G3 x 1E3A	G1 x 2E2A	G2 x 2E2A	G3 x 2E2A
Combinações	7	8	9	10	11	12
G x EA	G1 x 3E1A	G2 x 3E1A	G3 x 3E1A	G1 x 4E	G2 x 4E	G3 x 4E

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentadas na Figura 3, as combinação entre modelos de gotejadores e tempos de irrigação. Evidenciou-se, nessa figura, que as

combinações 2 (G2 x 1E3A), 3 (G3 x 1E3A), 10 (G1 x 4E) e 12 (G3 x 4E) apresentaram menores níveis de obstrução dos gotejadores, enquanto as combinações 4 (G1 x 2E2A) e 7 (G1 x 3E1A) potencializaram o entupimento.

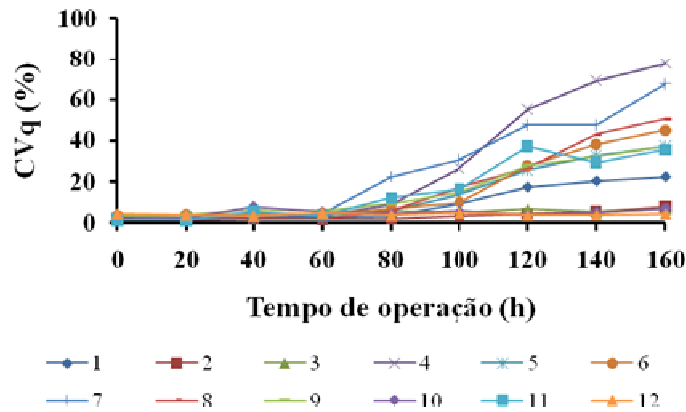
De acordo com os resultados, se verificou que o gotejador G1 foi mais suscetível ao entupimento do que os gotejadores G2 e G3, fato atribuído à menor vazão e ao maior comprimento de labirinto, corroborando com Cararo et al. (2006) que verificaram aumento linear do nível de entupimento com o comprimento do labirinto de gotejadores que operaram com água residuária.

As reduções nos valores dos indicadores de desempenho hidráulico (CVq, Us e Dra) das unidades submetidas aos tempos de irrigação 2E2A e 3E1A foram mais acentuadas do que nas submetidas aos tempos de irrigação 1E3A e 4E, devido ao oxigênio dissolvido presente na água de abastecimento que estimulou o desenvolvimento de microrganismos aeróbios com maior potencial de formação biofilme corroborando com Batista et al. (2011) que evidenciaram maiores níveis de obstrução nos sistemas de irrigação por gotejamento

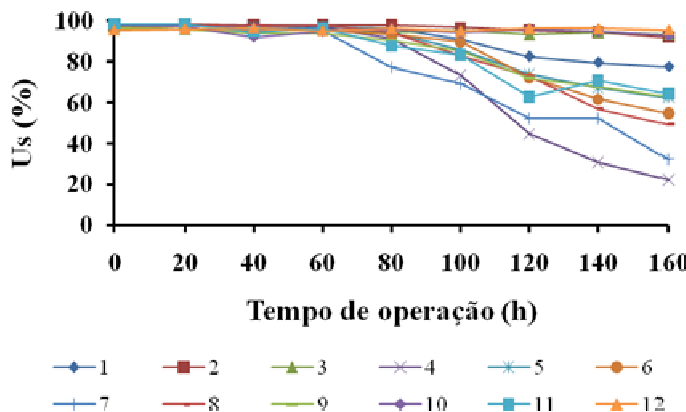
que operaram com água residuária doméstica secundária e terciária (aerobiose) em relação aos que operaram com água residuária primária (anaerobiose).

Comparando os tempos de irrigação 1E3A e 4E notou-se que a redução dos indicadores de desempenho hidráulico (CVq, Us e Dra) foi menor em 4E, devido à anaerobiose do efluente que não estimula o desenvolvimento de bactérias especializadas na formação de biofilme, com maior potencial de obstrução de gotejadores, tais como *Enterobacter*, *Clostridium*, *Flavobacterium*, *Vibro*, *Brevibacterium*, *Micrococcus* e *Bacillus* que propiciam severos problemas de obstruções, conforme descrito por Nakayama et al. (2006); além de não favorecer o desenvolvimento de bactérias que oxidam o ferro (*Gallionella*, *Leptothrix*, *Toxothrix*, *Crenothrix* e *Sphaerotilus*) e o enxofre (*Thiothrix nivea* e *Beggiatoa* sp).

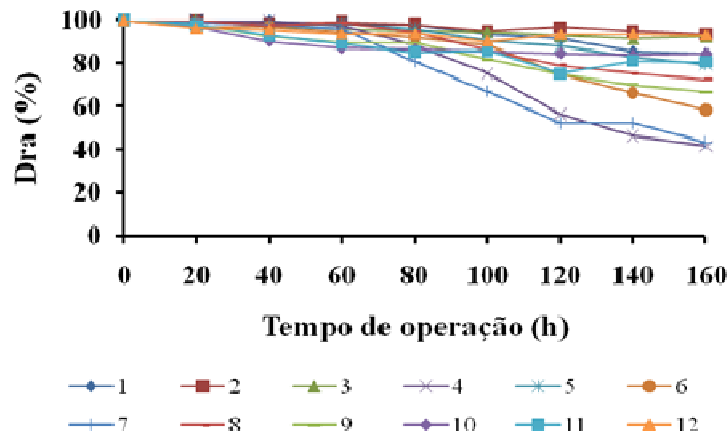
A.



B.



C.



**Nota:** Combinação 1 = G1 x 1E3A; Combinação 2 = G2 x 1E3A; Combinação 3 = G3 x 1E3A; Combinação 4 = G1 x 2E2A; Combinação 5 = G2 x 2E2A; Combinação 6 = G3 x 2E2A; Combinação 7 = G1 x 3E1A; Combinação 8 = G2 x 3E1A; Combinação 9 = G3 x 3E1A; Combinação 10 = G1 x 4E; Combinação 11 = G2 x 4E; e Combinação 12 = G3 x 4E.

**Figura 3.** Combinação entre modelos de gotejadores (G) e tempos de irrigação com água residuária de suinocultura e água de abastecimento (EA), ao longo do tempo de operação das unidades de irrigação.

Na Figura 3A constatou-se que os valores médios de CVq de todas as combinações entre gotejadores e tempos de irrigação foram menores que 10% no tempo de operação inicial (0 h), sendo classificados como bons pelos critérios estabelecidos na ASABE (2008). Entretanto, no tempo de operação final (160 h) a classificação do CVq variou com as combinações entre gotejadores e tempos de irrigação, onde: i) os valores médios de CVq das combinações 2 (G2 x 1E3A), 3 (G3 x 1E3A), 10 (G1 x 4E) e 12 (G3 x 4E) foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons pela ASABE (2008); e ii) os valores médios de CVq das combinações 1 (G1 x 1E3A), 4 (G1 x 2E2A), 5 (G2 x 2E2A), 6 (G3 x 2E2A), 7 (G1 x 3E1A), 8 (G2 x 3E1A), 9 (G3 x 3E1A) e 11 (G2 x 4E) foram superiores a 20%, recebendo a classificação inaceitável, conforme estabelecido na ASABE (2008). Os resultados das combinações que acarretaram maiores níveis de entupimento corroboram com Silva et al. (2013), que obtiveram valor médio de CVq de 44% em unidade de irrigação por gotejamento, operando com água residuária do processamento da castanha de caju e pressão de serviço de 70 kPa, após 160 h de operação.

Observou-se, na Figura 3B, que no tempo de operação inicial (0 h), os valores médios de Us de todas as combinações entre gotejadores e tempos de irrigação foram superiores a 89%, recebendo a classificação elevada proposta por Capra e Scicolone (1998). No tempo de operação final (160 h), os valores médios de Us foram classificados da seguinte forma: i) os valores médios de Us das

combinações 2 (G2 x 1E3A), 3 (G3 x 1E3A), 10 (G1 x 4E) e 12 (G3 x 4E) foram superiores a 89%, sendo classificados como elevados por Capra e Scicolone (1998); ii) o valor médio de Us da combinação 1 (G1 x 1E3A) está dentro da faixa de 71 a 89% estabelecida por Capra e Scicolone (1998), recebendo a classificação média; e iii) os valores médios de Us das combinações 4 (G1 x 2E2A), 5 (G2 x 2E2A), 6 (G3 x 2E2A), 7 (G1 x 3E1A), 8 (G2 x 3E1A), 9 (G3 x 3E1A) e 11 (G2 x 4E) foram inferiores a 61%, sendo classificados como baixos, segundo o critério estabelecido por Capra e Scicolone (1998). Os resultados das combinações com maiores níveis de obstrução corroboram com Batista et al. (2011) que constataram redução média de Us de 54%, 24% e 59%, em sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária primária, secundária e terciária, respectivamente, após 500 h de operação.

Notou-se, na Figura 3C, que os valores médios de Dra de todas as combinações entre gotejadores e tempos de irrigação foram superiores a 79%, recebendo a classificação elevada proposta por Capra e Scicolone (1998). No entanto, no tempo de operação final (160 h) a classificação do Dra oscilou com as combinações entre gotejadores e tempos de irrigação, onde: i) os valores médios de Dra das combinações 1 (G1 x 1E3A), 2 (G2 x 1E3A), 3 (G3 x 1E3A), 5 (G2 x 2E2A), 10 (G1 x 4E), 11 (G2 x 4E) e 12 (G3 x 4E) foram superiores a 79%, sendo classificados como elevados pelos critérios estabelecidos por Capra e Scicolone (1998); ii) os valores médios de Dra das combinações 8 (G2 x 3E1A) e 9 (G3 x 3E1A)

encontram-se dentro da faixa de 61 a 79%, recebendo a classificação média conforme proposto por Capra e Scicolone (1998); e iii) os valores médios de Dra das combinações 4 (G1 x 2E2A), 6 (G3 x 2E2A) e 7 (G1 x 3E1A) foram inferiores ao valor limite de 61% estabelecido por Capra e Scicolone (1998), sendo classificados como baixos. Os resultados das combinações que apresentaram maiores níveis de obstrução de gotejadores corroboram com Oliver et al. (2014); que obtiveram valores médios de Dra de 47%, 63% e 79% em unidades de irrigação dotadas dos gotejadores E1 (1,60 L h<sup>-1</sup>), E2 (2,0 L h<sup>-1</sup>) e E3 (2,3 L h<sup>-1</sup>), respectivamente, após 3600 h de operação com água residuária doméstica tratada.

Estão apresentadas, na Tabela 5, Equações de regressão ajustadas às variáveis CVq, Us e Dra em função dos tempos de operação das unidades de irrigação para a combinação entre modelos de gotejadores e tempos de irrigação.

Constatou-se, nessa tabela, que o modelo raiz quadrada foi o que melhor representou a relação entre as variáveis dependentes CVq e Us e a variável independente tempo de operação das unidades de irrigação para as combinações 1 (G1 x 1E3A), 2 (G2 x 1E3A), 4 (G1 x 2E2A), 5 (G2 x 2E2A), 7 (G1 x 3E1A), 9 (G3 x 3E1A) e 11 (G2 x 4E), tendo elevados valores de R<sup>2</sup> que oscilaram de 0,89 a 0,97. O modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de CVq e Us e o tempo de operação das unidades de irrigação para as combinações 6 (G3 x 2E2A) e 8 (G2 x 3E1A), tendo valores de R<sup>2</sup> de 0,97 a 0,98. Constatou-se que o modelo linear foi o que melhor representou a relação entre os dados de CVq e Us e o tempo de operação das unidades de irrigação para a combinação 3 (G3 x 1E3A), tendo valor de R<sup>2</sup> de 0,81. Nas combinações 10 (G1 x 4E) e 12 (G3 x 4E) o modelo nulo (média) foi o que melhor representou a relação entre os dados de CVq e Us e o tempo de operação das unidades de irrigação. Indicando minimização dos efeitos dos agentes de obstrução nessas combinações de modelos de gotejadores e tempos de irrigação com água residuária de suinocultura e água de abastecimento. Estes resultados diferem dos obtidos por Batista et al. (2011), onde os modelos lineares e quadráticos foram os que melhor se ajustaram a relação entre Us e tempo de operação das unidades de irrigação que operaram com água residuária primária, secundária

e terciária, possuindo valores de R<sup>2</sup> variando de 0,90 a 0,94. Diferem, também, dos resultados obtidos por Batista et al. (2008) com sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária terciária, onde os modelos linear e exponencial foram os que melhor se ajustaram a relação entre as variáveis dependente CVq e Us e a variável independente tempo de operação das unidades de irrigação, apresentando valores de R<sup>2</sup> que oscilaram de 0,89 a 0,98.

Evidenciou-se, na Tabela 5, que o Dra é um indicador de obstrução de gotejadores mais sensível do que CVq e Us, pois considera o valor médio da vazão relativa dos gotejadores, permitindo a detecção do entupimento parcial homogêneo, que é mais difícil de ser quantificado por outros indicadores de desempenho hidráulico. O modelo raiz quadrada foi o que melhor representou a relação entre a variável Dra e tempo de operação das unidades de irrigação para as combinações 1 (G1 x 1E3A), 4 (G1 x 2E2A), 5 (G2 x 2E2A), 6 (G3 x 2E2A), 7 (G1 x 3E1A), 8 (G2 x 3E1A) e 9 (G3 x 3E1A), tendo elevados valores de R<sup>2</sup> que oscilaram de 0,94 a 0,98. Observou-se que o modelo linear foi o que melhor representou a relação entre os dados de Dra e o tempo de operação das unidades de irrigação para a combinação 2 (G2 x 1E3A), 3 (G3 x 1E3A) e 11 (G2 x 4E), tendo valores de R<sup>2</sup> variando de 0,85 a 0,94. O modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de Dra e o tempo de operação das unidades de irrigação para as combinações 10 (G1 x 4E) e 12 (G3 x 4E), tendo valores de R<sup>2</sup> oscilando de 0,84 a 0,97. A maior parte dos resultados apresentados diferem dos obtidos por Cararo et al. (2006), que obtiveram somente relação linear entre o nível de obstrução dos gotejadores e o tempo de operação das unidades de irrigação abastecidas com água residuária doméstica tratada. No trabalho apresentado por Capra e Scicolone (1998) houve relação linear entre a variável dependente Us e a variável independente Dra em sistemas de irrigação com obstrução físico-química e biológica.

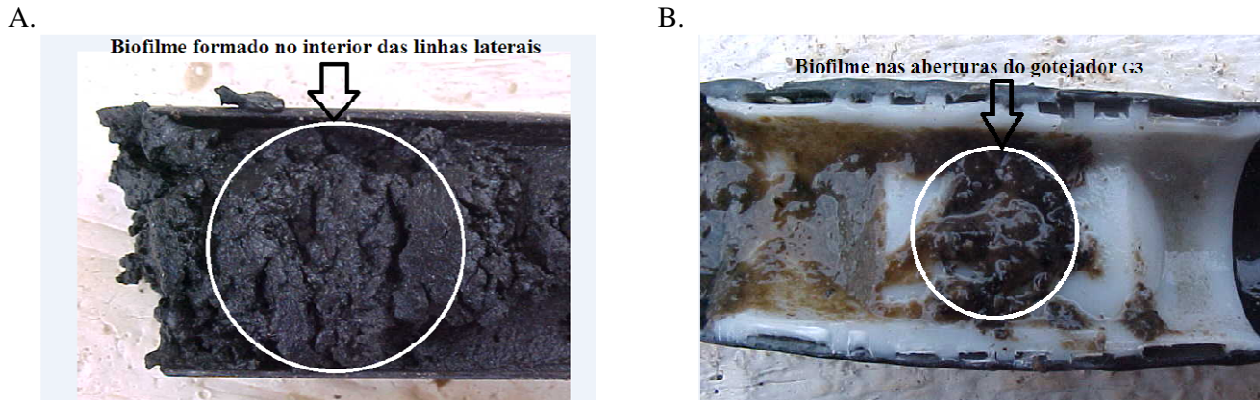
Após 160 h de operação das unidades de irrigação foi detectado no final das linhas laterais e nas aberturas dos gotejadores o desenvolvimento de biofilme de coloração castanho escuro, resultante da interação entre agentes físicos (sólidos), químicos (precipitados) e biológicos (bactérias), conforme apresentado na Figura 4.



**Tabela 5.** Equações de regressão ajustadas às variáveis CVq, Us e Dra em função dos tempos de operação das unidades de irrigação para a combinação entre modelos de gotejadores (G) e tempos de irrigação com água residuária de suinocultura e água de abastecimento (EA)

Combinação	Especificação	Equação de regressão	R <sup>2</sup>
<b>CVq</b>			
1	G1 x 1E3A	$CVq = 3,305 - 2,239^* T^{0,5} + 0,301^{**} T$	0,94
2	G2 x 1E3A	$CVq = 2,126 - 0,625^* T^{0,5} + 0,0794^{**} T$	0,91
3	G3 x 1E3A	$CVq = 3,074 + 0,0230^{**} T$	0,81
4	G1 x 2E2A	$CVq = 6,006 - 8,302^{**} T^{0,5} + 1,110^{**} T$	0,94
5	G2 x 2E2A	$CVq = 3,260 - 3,683^{**} T^{0,5} + 0,504^{**} T$	0,95
6	G3 x 2E2A	$CVq = 4,803 - 0,168^* T + 0,00273^{**} T^2$	0,97
7	G1 x 3E1A	$CVq = 3,421 - 4,922^{**} T^{0,5} + 0,774^{**} T$	0,97
8	G2 x 3E1A	$CVq = 2,287 - 0,154^* T + 0,00297^{**} T^2$	0,98
9	G3 x 3E1A	$CVq = 4,846 - 2,921^* T^{0,5} + 0,433^{**} T$	0,95
10	G1 x 4E	$CVq = 4,913$	-
11	G2 x 4E	$CVq = 1,800 - 2,287^0 T^{0,5} + 0,408^{**} T$	0,89
12	G3 x 4E	$CVq = 4,148$	-
<b>Us</b>			
1	G1 x 1E3A	$Us = 96,695 + 2,239^* T^{0,5} - 0,301^{**} T$	0,94
2	G2 x 1E3A	$Us = 97,874 + 0,625^* T^{0,5} - 0,0794^{**} T$	0,91
3	G3 x 1E3A	$Us = 96,926 - 0,0230^{**} T$	0,81
4	G1 x 2E2A	$Us = 93,994 + 8,302^{**} T^{0,5} - 1,110^{**} T$	0,94
5	G2 x 2E2A	$Us = 96,740 + 3,683^{**} T^{0,5} - 0,504^{**} T$	0,95
6	G3 x 2E2A	$Us = 95,196 + 0,168^* T - 0,00273^{**} T^2$	0,97
7	G1 x 3E1A	$Us = 96,579 + 4,922^{**} T^{0,5} - 0,774^{**} T$	0,97
8	G2 x 3E1A	$Us = 97,712 + 0,154^* T - 0,00297^{**} T^2$	0,98
9	G3 x 3E1A	$Us = 95,130 + 2,921^* T^{0,5} - 0,433^{**} T$	0,95
10	G1 x 4E	$Us = 95,087$	-
11	G2 x 4E	$Us = 98,200 + 2,287^0 T^{0,5} - 0,408^{**} T$	0,89
12	G3 x 4E	$Us = 95,852$	-
<b>Dra</b>			
1	G1 x 1E3A	$Dra = 99,268 + 1,411^* T^{0,5} - 0,203^{**} T$	0,94
2	G2 x 1E3A	$Dra = 100,000 - 0,0398^{**} T$	0,86
3	G3 x 1E3A	$Dra = 99,881 - 0,0556^{**} T$	0,94
4	G1 x 2E2A	$Dra = 98,076 + 5,515^{**} T^{0,5} - 0,806^{**} T$	0,96
5	G2 x 2E2A	$Dra = 99,234 + 1,533^* T^{0,5} - 0,240^{**} T$	0,96
6	G3 x 2E2A	$Dra = 97,764 + 3,262^* T^{0,5} - 0,486^{**} T$	0,94
7	G1 x 3E1A	$Dra = 99,540 + 3,775^* T^{0,5} - 0,671^{**} T$	0,96
8	G2 x 3E1A	$Dra = 99,284 + 2,238^* T^{0,5} - 0,352^{**} T$	0,96
9	G3 x 3E1A	$Dra = 99,595 + 0,983^* T^{0,5} - 0,286^{**} T$	0,98
10	G1 x 4E	$Dra = 100,000 - 0,258^{**} T + 0,00101^{**} T^2$	0,97
11	G2 x 4E	$Dra = 98,570 - 0,139^{**} T$	0,85
12	G3 x 4E	$Dra = 99,528 - 0,134^{**} T + 0,000608^{**} T^2$	0,84

Nota: \*\*, \* e <sup>0</sup> significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste t.



**Figura 4.** Formação de biofilme no final das linhas laterais das unidades de irrigação (A) e nas aberturas do gotejador G3 (B).

## CONCLUSÃO

A obstrução por biofilme foi mais acentuada nas combinações 4 (G1 x 2E2A) e 7 (G1 x 3E1A).

As combinações 2 (G2 x 1E3A) e 12 (G3 x 4E) apresentaram os maiores valores de desempenho hidráulico, minimizando a obstrução nas unidades de irrigação com biofilme.

**ABSTRACT:** This study aimed to analyze the effects of irrigation time with swine wastewater (ARS) and water supply (AA) on alteration of hydraulic performance indicators in irrigation systems with three models drippers (G1 - non pressure compensating for  $2.0 \text{ L h}^{-1}$ , G2 - non pressure compensating for  $1.7 \text{ h L}^{-1}$  and G3 - pressure compensating for  $3.6 \text{ h L}^{-1}$ ). The experiment was conducted at the Agricultural Engineering Department (DEA/UFV) in Viçosa-MG, with the following treatments: i) 1E3A (ARS 1 h and 3 h AA); ii) 2E2A (ARS 2 h and 2 h AA); iii) 3E1A (ARS 3 h and 1 h of AA); and iv) 4E (ARS 4 h). The physico-chemical and biological characteristics of ARS and AA were determined every 20 h and 80 h, respectively. The coefficient of variation of discharge (CVq), coefficient of statistical uniformity (Us) and coefficient of relative mean flow (Dra) were obtained every 20 h, during 160 h of operation. After 160 h, drippers and lateral lines were dissected to investigate the material cause of obstruction. The obstruction by biofilm was more pronounced in combinations G1 x 2E2A and G1 x 3E1A, while the combinations G2 x 1E3A and G3 x 4E showed higher hydraulic performance, minimizing the obstruction on irrigation units with biofilm.

**KEYWORDS:** Hydraulic performance. Emitters. Obstruction.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR AGRICULTURAL ENGINEERING - ASAE EP405.1 APR1988 (R2008). **Design and installation of microirrigation systems**. ASABE, St. Joseph, MI, 2008, 5p.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA - ANUALPEC. **Suínos e outros**. São Paulo: Instituto FNP, 2013, cap. 8, p.263-300.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Equipamentos de irrigação agrícola - Emissores e tubos emissores - Especificações e métodos de ensaio**. ABNT NBR ISO 9261. São Paulo: ABNT, 2006. 17p.

BATISTA, R. O.; BEZERRA COSTA, F. G.; 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**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 137-144, out.-dez., 2011.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; SOUZA, J. A. R.; BATISTA, R. O. Modelos empíricos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 3, p. 369-377, jul.-set., 2008.

- CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 823-831, ago., 2011.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.
- CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.
- 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**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, jan.-mar., 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**, Beijing, v. 21, n. 6, p. 834-841, 2009.
- DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUE'S, J.; ARBAT, G.; BARRAGA'N, J.; RAMI'REZ DE CARTAGENA, F. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n.1, p. 67-79, 2009.
- LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 5, p. 745-756, 2009.
- NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). **Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management**. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389 - 430.
- 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**, Amsterdam, v. 97, n. 6, p. 883-891, 2010.
- OLIVER, M. M. H.; HEWA, G. A.; PEZZANITI, D. Bio-fouling of subsurface type drip emitters applying reclaimed water under medium soil thermal variation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 133, n. 3, p. 12-23, 2014.
- ORON, G.; CAMPOS, C.; GILLERMAN, L.; SALGOT, M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 223-234, 1999.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, 2010. URL <http://www.R-project.org>.
- RODRIGUES, L. S.; SILVA, I. J.; ZOCCATO, M. C. O.; PAPA, D. N.; SPERLING, M. V.; OLIVEIRA, P. R. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 94-100, jan., 2010.
- SILVA, K. B.; SILVA JÚNIOR, M. J.; BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 339-346, mai.-jun., 2013.
- SILVA, L. P.; SILVA, M. M.; CORREA, M. M.; SOUZA, F. C. D.; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p.480-486, mai., 2012.