

Irrigação por gotejamento com água residuária tratada da indústria da castanha de caju sob pressões de serviço

Drip irrigation with treated wastewater from cashew nut industry under service pressures¹

Ketson Bruno da Silva²; Manuel Januário da Silva Júnior³;
Rafael Oliveira Batista^{3*}; Delfran Batista dos Santos⁴;
Raquel Oliveira Batista⁵; Luis César de Aquino Lemos Filho³

Resumo

O aproveitamento agrícola das águas residuárias geradas no processamento da castanha de caju possibilita a racionalização do uso da água, bem como a minimização da poluição e da degradação ambiental. O trabalho objetivou analisar o efeito de pressões de serviço na uniformidade de distribuição de unidades de irrigação por gotejamento aplicando água residuária tratada da castanha de caju. O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as pressões de serviço (70, 140, 210 e 280 kPa), nas subparcelas os modelos de gotejadores (G1, G2 e G3) e nas subsubparcelas os períodos das avaliações (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h de operação das unidades de irrigação). Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. O coeficiente de uniformidade de distribuição das unidades de irrigação, bem como as características físicas, químicas e microbiológicas do efluente foram determinadas a cada 20 h de operação das unidades de irrigação até totalizar 160 h. A combinação gotejador G3 e pressão de serviço de 140 kPa proporcionou níveis excelentes da uniformidade de distribuição de efluente nas unidades de irrigação, operando com água residuária tratada da castanha de caju. Para aplicação de água residuária tratada da castanha de caju não é recomendada o uso de gotejadores de baixa vazão nominal ($\leq 1,6 \text{ L h}^{-1}$) e maior comprimento de labirinto ($\geq 58 \text{ mm}$).

Palavras-chave: Reuso, desempenho, emissores, entupimento

Abstract

The agricultural use of wastewater generated in the processing of cashew nuts enables the rationalization of water use, as well as the minimization of pollution and environmental degradation. The study aimed to analyze the effect of service pressures in the distribution uniformity of drip irrigation units applying treated wastewater from cashew nut industry. The experiment was conducted in split-split plots scheme having the service pressures (70, 140, 210 and 280 kPa) on parcels, the emitters models (G1, G2 and

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal Rural do Semi-Árido. UFRSA, Mossoró, RN.

² Discente do Curso de Doutorado em Manejo de Solo e Água, UFRSA, Campus Mossoró, Mossoró, RN. E-mail: ketsonbruno@hotmail.com

³ Profs. da UFRSA, Deptº de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFRSA, Campus Mossoró, Mossoró, RN. E-mail: mjanuario@ufersa.edu.br; rafaelbatista@ufersa.edu.br; lcalfilho@ufersa.edu.br

⁴ Prof. do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano, Campus Senhor do Bonfim, Senhor do Bonfim, BA. E-mail: delfran.batista@gmail.com

⁵ Discente do Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Campus Universitário, Lavras, MG. E-mail: batista.raqueloliveira@gmail.com

* Autor para correspondência

G3) on subplots and the evaluation periods (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 and 160 h of operation of the irrigation units) on subsubplots. The treatments were distributed in a completely randomized design with three replications. The coefficient of uniformity of distribution of irrigation units, as well as the physical, chemical and microbiological characteristics of the effluent were determined every 20 hours of operation the irrigation units to totalize 160 h. The combination of dripper G3 and service pressure of 140 kPa provided excellent levels of distribution uniformity of effluent on irrigation units operating with treated wastewater of cashew nut industry. For application of treated wastewater from cashew nut it is not recommended the use of drippers with low flow rate ($\leq 1.6 \text{ L h}^{-1}$) and labyrinth of greater length ($\geq 58 \text{ mm}$).

Key words: Reuse, performance, emitter, clogging

Introdução

No processamento da castanha de caju são geradas águas residuárias nas etapas de lavagem e umidificação da castanha de caju, lavagem dos equipamentos utilizados nos processo industrial e lavagem dos gases no sistema de tratamento de resíduos gasosos (CHEDEVILLE; DEBACQ; PORTE, 2009; LOPES et al., 2011).

O aproveitamento agrícola das águas residuárias geradas no processamento da castanha de caju possibilita a racionalização do uso da água, minimização da poluição e da degradação ambiental, economia de fertilizantes, conservação do solo, preservação dos corpos hídricos e aumento da produção agrícola. Porém, vale ressaltar a importância de um planejamento adequado que possa garantir a utilização dessas águas residuárias de forma segura e funcional na agricultura. Tendo em vista que o Brasil não dispõe de legislação ambiental mais específica para a atividade do reuso, devendo, assim, serem estabelecidas bases política, legais e institucionais para essa atividade.

Os sistemas de irrigação localizada são recomendados para aplicação de águas residuárias por causa da elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo (SOUZA et al., 2011). No entanto, os sistemas de irrigação por gotejamento possuem emissores que apresentam alta suscetibilidade ao entupimento (DURAN-ROS et al., 2009; LIU; HUANG, 2009). A formação de biofilme nos gotejadores e nas linhas laterais de sistemas de irrigação por gotejamento é o principal

problema quando da aplicação de águas residuárias (DAZHUANG et al., 2009; DURAN-ROS et al., 2009; LIU; HUANG, 2009).

O entupimento dos gotejadores acarreta perdas de vazão e desuniformidade de distribuição de água ou efluente na irrigação por gotejamento que, comprometem a produção agrícola (SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006).

A minimização dos problemas provocados pelo entupimento de gotejadores tem sido constatada com o aumento da pressão de serviço do sistema de irrigação. Dessa forma, o aumento na magnitude da pressão de serviço interfere positivamente na redução do processo de entupimento de gotejadores devido a maior energia dinâmica no regime de escoamento, dificultando à deposição de sedimentos, bem como a formação de muco microbiano no interior dos gotejadores e das linhas laterais (LESIKAR; WEYNAND; PERSYN, 2004).

O entupimento dos gotejadores pode acarretar mudanças nos valores da pressão de serviço em todo o sistema de irrigação por gotejamento, resultando em redução da vida útil dos equipamentos. Faria et al. (2002) evidenciaram que a redução de vazão dos emissores provocou aumento considerável da pressão na tubulação de distribuição de água do sistema de irrigação por gotejamento estudado. No trabalho desenvolvido por Batista (2007) houve redução na obstrução de gotejadores aplicando água residuária de suinocultura com o aumento da pressão de serviço, sendo as pressões de serviço de 145 e 285 kPa mais recomendadas que as de 75 e 145 kPa.

Diante o exposto, o trabalho objetivou analisar o efeito de pressões de serviço na uniformidade de distribuição de efluente em unidades de irrigação por gotejamento operando com água residuária tratada da castanha de caju.

Material e Métodos

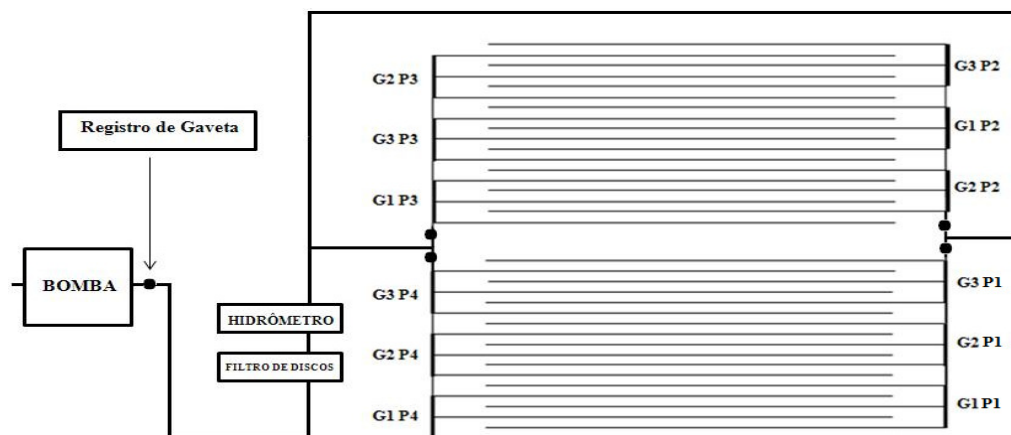
O trabalho foi realizado na Unidade Experimental de Reuso de Água (UERA) instalada no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) em Mossoró-RN, sob coordenadas geográficas 5°12'27" de latitude sul e 37°19'21" de longitude oeste.

A água residuária resultante do processamento da castanha de caju utilizada no trabalho foi proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da empresa AFICEL, localizada em Mossoró-RN. Deve-se ressaltar que a água residuária bruta foi originada do processo de umidificação e lavagem

das castanhas *in natura* e da lavagem do piso das instalações do empreendimento.

Para os ensaios foi montada uma bancada experimental em alvenaria na UERA com 2,0 m de largura por 8,0 m de comprimento, dotada de piso impermeabilizado com declividade de 1% e possuindo uma canaleta com declividade de 2% para recirculação do efluente visando à minimização das perdas por evaporação. A jusante desta bancada foi construído um reservatório em alvenaria com capacidade armazenadora para 5,0 m³. No interior da bancada experimental foram montadas quatro unidades de irrigação por gotejamento compostas de: um conjunto motobomba de 1,0 cv, um hidrômetro com capacidade para 1,5 m³ h⁻¹, um filtro de tela com aberturas de 130 m, linha de derivação em PVC de 32 mm e linhas laterais de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm dotadas de três modelos de gotejadores, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Esquema da bancada experimental constituída de quatro unidades de irrigação com três modelos de gotejadores (G1, G2 e G3) operando com água residuária tratada da castanha de caju nas pressões de serviço de 70 (P1), 140 (P2), 210 (P3) e 280 (P4) kPa.



Fonte: Elaboração dos autores.

No início de cada linha de derivação foram instalados registros de gaveta para controle da pressão de serviço nas unidades de irrigação por gotejamento (70, 140, 210 e 280 kPa). Na linha de derivação de cada unidade de fertirrigação foram inseridos nove conectores. Para cada modelo de

gotejador foram instaladas três linhas laterais com 8 m de comprimento. Os três tipos de gotejadores avaliados, de acordo com os fabricantes, foram selecionados com base na sua menor suscetibilidade ao entupimento e por serem comercializados no mercado nacional (Tabela 1).

Tabela 1. Características dos gotejadores (G) utilizados nos ensaios: dispositivo de autocompensão (DA), vazão nominal (Q), área de filtração (A), comprimento do labirinto (L), faixa de pressão recomendada (P) e espaçamento entre emissores (EE).

G	DA	Q (L h ⁻¹)	A (mm ²)	L (mm)	P (kPa)	EE (m)
G1	Não	1,6	5,0	58	55 – 200	0,3
G2	Sim	2,0	2,0	35	70 – 400	1,0
G3	Sim	4,0	2,0	35	70 – 400	1,0

Fonte: Elaboração dos autores.

O experimento foi realizado no período de 11 de março a 20 de abril de 2012. As unidades de irrigação por gotejamento funcionaram, em média, quatro horas por dia até completar 160 h. O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foi avaliado a cada 20 h durante o período de aplicação do efluente de 160 h. Para isso, mediu-se a vazão de sete gotejadores de todas as linhas laterais das unidades de irrigação por gotejamento, coletando-se o volume aplicado durante três minutos. A pressão de serviço foi medida diariamente com um manômetro de glicerina graduado de 0 a 400 kPa. O cálculo da uniformidade de aplicação do efluente foi obtido com a equação 1.

$$CUD = \left(\frac{Q_{25\%}}{Q_m} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$Q_{25\%}$ – média de 25% do total dos gotejadores com as menores vazões, L h⁻¹; e

Q_m – média das vazões de todos os gotejadores, L h⁻¹.

As características físicas, químicas e biológicas da água residuária tratada da castanha de caju foram determinadas, também, a cada 20 h de funcionamento das unidades de irrigação, em conformidade com as recomendações do *Standard Methods* (APHA, 2005). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas e no Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal do Departamento de Ciências Animais, ambos pertencentes à UFERSA. Na Tabela 2 estão apresentadas os métodos de determinação das características físicas, químicas e biológicas da água residuária tratada da castanha de caju.

Tabela 2. Características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária tratada da indústria da castanha de caju e método de determinação.

Características	Unidade	Método de determinação
pH	-	Eletrométrico
Ferro total (Fe)	mg L ⁻¹	Espectrofotometria de absorção atômica
Manganês total (Mn)	mg L ⁻¹	Espectrofotometria de absorção atômica
Cálcio (Ca ²⁺)	mmol _c L ⁻¹	Titulométrico
Magnésio (Mg ²⁺)	mmol _c L ⁻¹	Titulométrico
Sólidos suspensos (SS)	mg L ⁻¹	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos (SD)	mg L ⁻¹	Gravimétrico
Coliformes totais (CT)	NMP mL ⁻¹	Tubos múltiplos

Nota: NMP – Número Mais Provável.

Fonte: Elaboração dos autores.

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias e os desvios-padrão das características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária tratada da castanha de caju. Os valores de pH, sólidos suspensos (SS) e sólidos dissolvidos (SD) representam risco severo de obstrução de gotejadores, segundo as diretrizes apresentadas por Nakayama, Boman e Pitts (2006). No trabalho apresentado por Batista et al. (2011) o risco de obstrução de gotejadores foi classificado como severo para as características pH e SS quando da aplicação de esgoto doméstico terciária, enquanto o risco de obstrução de gotejadores foi classificado como baixo na característica SD. Em outros trabalhos Cunha et al. (2006) e Batista et al. (2007) trabalharam com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro e constataram riscos de obstrução de gotejadores classificado como baixo, moderado e severo nas características pH, SS e SD. Os teores de manganês total (Mn) e ferro total (Fe) apresentam risco de obstrução de gotejadores classificado como moderado como estabelecido por Nakayama, Boman e Pitts (2006). O teor médio de Fe foi inferior ao valor de 1,7 mg L⁻¹ obtido por Batista et al. (2011)

em trabalho com esgoto doméstico tratado, que representou também risco moderado de obstrução de gotejadores. No trabalho apresentado por Batista et al. (2011), não foi constatada a presença de Mn, no esgoto doméstico terciário, sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como baixo. Segundo Capra e Scicolone (1998), as concentrações de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) apresentam risco de obstrução de gotejadores baixo e moderado, respectivamente. No trabalho realizado por Liu e Huang (2009) com esgoto doméstico tratado em sistema de lodo ativado, o risco de obstrução de gotejadores proporcionado por Ca²⁺ e Mg²⁺, também, foram classificados com baixo e moderado. Enquanto, no trabalho desenvolvido por Batista et al. (2011) com esgoto doméstico terciário tanto Ca²⁺ quanto Mg²⁺ apresentaram baixo risco de obstrução de gotejadores. O nível populacional de coliformes totais (CT) representa baixo risco de obstrução de gotejadores, conforme proposto por Nakayama, Boman e Pitts (2006). Tal resultado foi semelhante ao apresentado por Liu e Huang (2009), onde o risco de obstrução de CT também foi classificado como baixo.

Tabela 3. Valor médio e desvio-padrão das características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária tratada da indústria da castanha de caju.

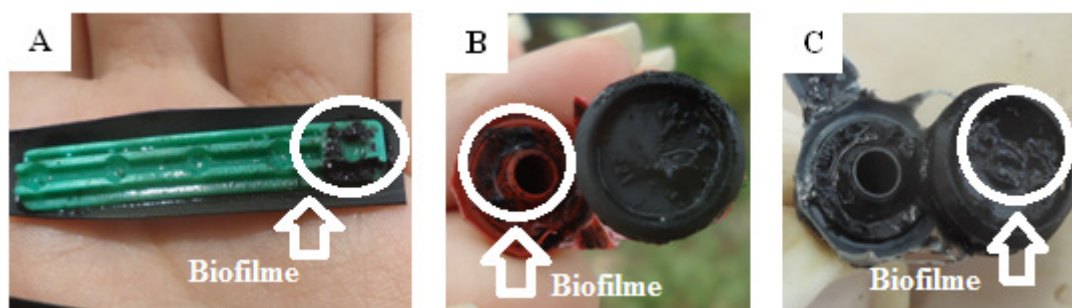
pH	Fe (mg L ⁻¹)	Mn (mg L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)	SD (mg L ⁻¹)	CT (NMP 100 mL ⁻¹)
7,61±0,55	0,48±0,06	0,30±0,04	11,89±2,32	4,32±1,59	290±101	2344±110	152±210

Nota: pH = potencial hidrogeniônico; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; Mn = manganês total, mg L⁻¹; Fe = ferro total, mg L⁻¹; SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; CT = coliformes totais, NMP 100 mL⁻¹; sendo NMP = número mais provável.

Fonte: Elaboração dos autores.

Decorrido o período de 160 h de aplicação da água residuária tratada da castanha de caju realizou-se a abertura manual dos gotejadores obstruídos para a realização do registro fotográfico da acumulação do biofilme, conforme apresentado na Figura 2. Constatou-se nos gotejadores a presença de biofilme resultante da interação entre agentes físico (PH, sólidos suspensos), químico (sólidos dissolvidos, cálcio, magnésio e manganês) e

biológico (bactérias). A formação desse biofilme está associada a não-realização de abertura de finais de linhas laterais para limpeza, tendo a ausência dessa prática o propósito de potencializar os efeitos do entupimento e, conseqüentemente, apontar o gotejador menos suscetível ao entupimento, conforme as recomendações de Dazhuang et al. (2009).

Figura 2. Gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) com a presença de biofilme.

Fonte: Elaboração dos autores.

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as pressões de serviço (70, 140, 210 e 280 kPa), nas subparcelas os modelos de gotejadores (G1, G2 e G3) e nas subsubparcelas os períodos das avaliações (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), no delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância empregando-se o teste F a 5% de probabilidade. Enquanto, as médias foram comparadas utilizando-se o teste Tukey à 5% de probabilidade.

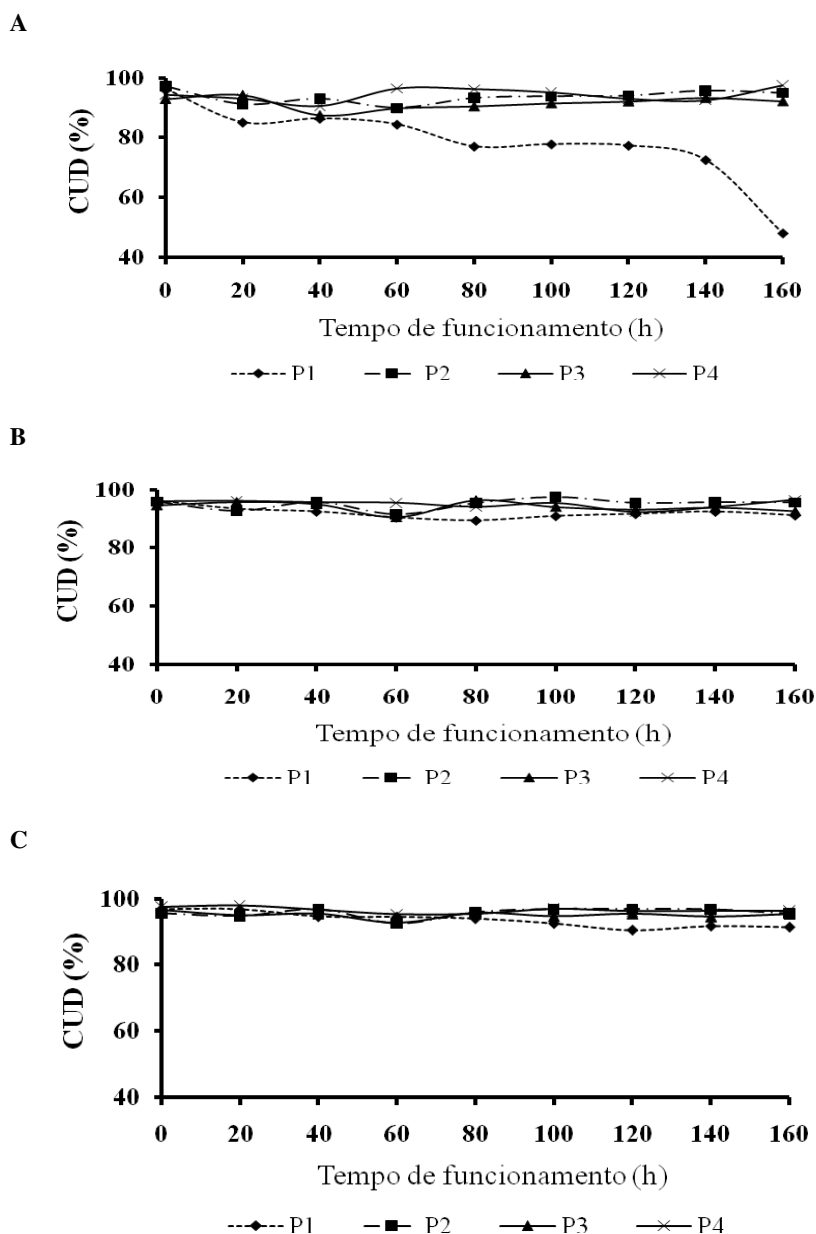
Resultados e Discussão

Em função do pequeno comprimento das linhas laterais, a perda de carga distribuída não foi considerada como fator de variação da vazão dos gotejadores. Do mesmo modo, o efeito da temperatura do fluido circulante como causa de perda de uniformidade de aplicação foi desprezado, devido à utilização de gotejadores tipo labirinto, com regime de escoamento turbulento. Ademais, as linhas laterais foram instaladas em nível, eliminando o desnível como fonte de desuniformidade de aplicação. Assim, toda variação de vazão dentro das linhas laterais foi atribuída ao coeficiente de variação de fabricação, inerente a cada gotejador

e, posteriormente, ao processo de entupimento de gotejadores. Na Figura 2 estão apresentados os resultados da uniformidade de distribuição (CUD) nas unidades de irrigação com gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária tratada da castanha de caju sob distintas pressões de serviço.

As unidades de irrigação com gotejador G1, submetidas às pressões de serviço 70, 140, 210 e 280 kPa, nos tempos de funcionamento inicial e 160h apresentaram valores do CUD de 96 e 48%; 97 e 95%; 93 e 92%; e 94 e 97%, respectivamente (Figura 3a). Esses resultados corroboram com os apresentados por Lesikar, Weynand e Persyn (2004) que utilizaram sistemas de irrigação por gotejamento para aplicação de esgoto doméstico tratado e filtrado em filtro de tela de 74 μm . Constataram nos sistemas de irrigação operando com pressões de serviço de 58 e 78 kPa que 2 e 30%, respectivamente, dos gotejadores avaliados apresentaram entupimento total. Entretanto, no sistema de irrigação que operou com pressão de serviço de 296 kPa nenhum gotejador foi completamente entupido. O gotejador G1, não autocompensante, apresentou os maiores níveis de entupimento em relação a G2 e G3, devido ao maior comprimento de labirinto (58 mm) e à menor vazão nominal ($1,6 \text{ L h}^{-1}$); fato similar foi constatado por Cararo et al. (2006), que verificaram aumento linear do nível de entupimento com o comprimento do labirinto.

Figura 3. Valores médios do coeficiente uniformidade de distribuição (CUD), ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação com gotejador G1 (a), G2 (b) e G3 (c) submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).



Fonte: Elaboração dos autores.

Segundo Merriam e Keller (1978), os valores de CUD no tempo de operação de 160 h foram classificados como excelentes ($> 90\%$) nas pressões de serviço 140, 210 e 280 kPa, porém na pressão de serviço 70 kPa o valor de CUD foi classificado como ruim ($< 70\%$), indicando elevado número

de gotejadores obstruídos na unidade de irrigação. Esses resultados diferem dos obtidos por Batista (2007) com unidades de irrigação por gotejamento operando com água residuária de suinocultura durante 160 h; onde as unidades de irrigação dotadas de gotejador não autocompensante apresentaram

valores de CUD sempre inferiores a 70% para as pressões de serviço de 75, 145, 215 e 285 kPa.

Já as unidades de irrigação com gotejador G2, submetidas às pressões de serviço 70, 140, 210 e 280 kPa, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h apresentaram valores do CUD de 96 e 91%; 96 e 96%; 95 e 93%; e 96 e 96%, respectivamente (Figura 3b). O Gotejador G2 apresentou menores níveis de entupimento em relação a G1, em função do menor comprimento de labirinto (35 mm) e da maior vazão nominal (2,0 L h⁻¹), além disso, o menor valor de área de filtração (2,0 mm²) propicia maior velocidade do escoamento de efluente dificultando a deposição de sedimentos e adesão de muco microbiano (DEHGHANISANIJ et al., 2005; CARARO et al., 2006).

De acordo com Merriam e Keller (1978), todos os valores foram excelentes para o CUD (> 90%). Esses resultados diferem dos obtidos por Batista (2007) com unidades de irrigação por gotejamento operando com água residuária de suinocultura; pois no tempo de funcionamento de 160 h, os valores de CUD obtidos nas pressões de serviço 75 e 145 kPa foram inferiores a 70%, sendo classificados como ruins, enquanto os valores de CUD nas pressões de serviço 215 e 285 se encontram dentro da faixa de 70 a 80%, recebendo a classificação razoável.

Nos tempos de funcionamento inicial e 160h, as unidades de irrigação com gotejador G3, submetidas às pressões de serviço 70, 140, 210 e 280 kPa apresentaram valores do CUD de 97 e 91%; 96 e 95%; 96 e 95%; e 97 e 96%, respectivamente (Figura 3C). O gotejador G3, assim como o gotejador G2, apresentou menores níveis de entupimento em relação ao gotejador G1, devido ao menor comprimento de labirinto (35 mm) e à maior vazão nominal (4,0 L h⁻¹), corroborando com Cararo et al. (2006).

Todos os valores de CUD foram classificados como excelente (> 90%), conforme proposto por

Merriam e Keller (1978). Esses resultados diferem dos obtidos por Capra e Scicolone (2004), que estudaram o desempenho hidráulico de unidades de irrigação por gotejamento dotadas de quatro tipos de gotejadores, não-autocompensantes, com vazão nominal de 3,8 a 4,0 L h⁻¹ e abastecidos com esgoto doméstico tratado durante 60 h; onde os valores de CUD nas unidades de irrigação oscilaram de 0 a 77%.

A maior suscetibilidade ao entupimento do gotejador G1, em relação os gotejadores G2 e G3 na pressão de serviço P1 (70 kPa), está associada ao maior comprimento de labirinto e menor vazão; nessas condições a velocidade do escoamento de efluente no interior do emissor é menor, favorecendo tanto a deposição de partículas quanto a adesão de bactérias formadoras de biofilme, corroborando assim com os resultados apresentado por Dehghanisanij et al. (2005), Dazhuang et al. (2009), Duran-Ros et al. (2009), Liu e Huang (2009).

Na Tabela 4, encontra-se o resumo da análise de variância do CUD das unidades de irrigação com gotejadores G1, G2 e G3 sob distintas pressões de serviço no esquema de parcelas subdivididas.

Houve diferença estatística a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação pressão de serviço (P), tipo de gotejador (G), interação PxG, tempo de funcionamento (T), interação PxT, interação GxT e interação PxGxT. Esses resultados corroboram com os obtidos por Batista (2007) em sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária de suinocultura sob pressões de serviço, onde a interação PxGxT também foi significativa à 1% pelo teste F.

Os valores dos coeficientes de variação da parcela, subparcela e subsubparcelas foram de 2,67; 2,13; e 2,71%. Segundo Pimentel Gomes (2009), em experimentos de campo, se o coeficiente de variação for inferior a 10% considera-se o mesmo como baixo, ou seja, o experimento tem alta precisão.

Tabela 4. Resumo da análise de variância obtidas da variável CUD, no esquema de parcelas subdivididas.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio CUD
Pressão de serviço (P)	3	917,75**
Resíduo (a)	6	6,17
Tipo de gotejador (G)	2	986,19**
P x G	6	355,39**
Resíduo (b)	16	3,92
Tempo de funcionamento (T)	8	73,52**
P x T	24	77,30**
G x T	16	31,08**
P x G x T	48	44,88**
Resíduo (c)	194	6,35
CV (%) parcela		2,67
CV (%) subparcela		2,13
CV (%) subsubparcela		2,71

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

Fonte: Elaboração dos autores.

Estão apresentados na Tabela 4 os valores médios da variável CUD das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço operando com água residuária tratada da castanha do caju. Ao longo das avaliações do CUD, constata-se a desobstrução aleatória de alguns gotejadores, particularmente devido a possíveis movimentos bruscos sobre as linhas laterais, conforme descrito por Cunha et al. (2006).

Estabelecendo comparação entre as médias da variável CUD seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas colunas da Tabela 5, constata-se que: na pressão de serviço de 70 kPa, o CUD da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUD das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 20h. Na pressão de serviço de 210 kPa, verificou-se que o CUD das unidades de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUD das unidades com gotejadores G2 e G3, nos tempos de funcionamento de 40 e 80h. Na pressão de serviço 280 kPa, o CUD da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUD da unidade de irrigação com gotejador G3, no tempo de funcionamento de 20h. Para a pressão de serviço

280 kPa, nota-se que o CUD da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUD das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3, no tempo de funcionamento de 40h. No trabalho realizado por Batista (2007), verifica-se que o CUD da unidade de irrigação com gotejador não autocompensante (2,0 L h⁻¹), operando na pressão de serviço de 75 kPa, diferiu do CUD das demais unidades de irrigação, a partir do tempo de funcionamento de 120 h.

Comparando as médias da variável CUD seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas linhas da Tabela 5, nota-se que: a partir do tempo de funcionamento de 20 h, o CUD da unidade de irrigação com gotejador G1 submetida à pressão de serviço de 70 kPa diferiu do CUD das unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço de 140, 210 e 280 kPa; a partir do tempo de funcionamento de 80 h, o CUD da unidade de irrigação com gotejador G2 submetida à pressão de serviço de 70 kPa diferiu do CUD das unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço de 140, 210 e 280 kPa; e somente no tempo de funcionamento de 120 h, o CUD da unidade de irrigação com gotejador G3 submetida à pressão de serviço de 70 kPa diferiu do CUD das unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço de 140 e 280 kPa.

Tabela 5. Valores médios da variável CUD (%) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Pressão de serviço*			
		P1 (70 kPa)	P2 (140 kPa)	P3 (210 kPa)	P4 (280 kPa)
0	G1	96,14aA	97,20aA	92,98aA	94,33aA
	G2	96,14aA	95,89aA	94,55aA	95,89aA
	G3	96,75aA	95,57aA	96,53aA	97,56aA
20	G1	85,07bB	91,14aA	95,80aA	93,04bA
	G2	93,38aA	92,66aA	96,93aA	96,05abA
	G3	96,69aA	94,78aA	96,62aA	97,90aA
40	G1	86,37bB	92,99aA	87,49bB	90,64bAB
	G2	92,45aA	95,73aA	94,99aA	95,56aA
	G3	94,57aA	96,70aA	95,40aA	96,59aA
60	G1	84,40bC	89,92aB	89,86aB	96,40aA
	G2	90,41aA	89,92aA	90,39aA	95,42aA
	G3	94,43aA	92,63aA	92,67aA	95,18aA
80	G1	77,05bC	93,24aAB	90,50bB	96,21aA
	G2	89,40aB	95,37aA	96,36aA	94,04aAB
	G3	93,95aA	95,86aA	95,68aA	95,92aA
100	G1	77,80bB	93,83aA	91,53aA	95,11aA
	G2	90,93aB	97,46aA	93,96aAB	95,30aAB
	G3	92,48aA	96,78aA	94,63aA	96,85aA
120	G1	77,34bB	94,02aA	92,14aA	93,03aA
	G2	91,64aA	95,44aA	93,05aA	92,29aA
	G3	90,44aB	94,02aA	95,42aAB	96,15aA
140	G1	72,52bB	95,75aA	93,37aA	92,49aA
	G2	92,41aA	95,69aA	93,77aA	93,96aA
	G3	91,70aA	96,68aA	94,52aA	96,24aA
160	G1	48,04bC	94,95aAB	92,22aB	97,43aA
	G2	91,14aB	95,61aAB	92,53aAB	96,44aA
	G3	91,37aA	95,46aA	95,31aA	96,27aA

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas colunas para cada tempo de funcionamento e maiúsculas nas linhas para cada pressão de serviço não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaboração dos autores.

Conclusões

1. A combinação gotejador G3 e pressão de serviço de 140 kPa proporcionou níveis excelentes da uniformidade de distribuição de efluente nas unidades de irrigação operando com água residuária tratada da castanha de caju.

2. Para aplicação de água residuária tratada da castanha de caju não é recomendada o uso de gotejadores de baixa vazão nominal ($\leq 1,6 \text{ L h}^{-1}$) e maior comprimento de labirinto ($\geq 58 \text{ mm}$).

Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268 p.

BATISTA, R. O. *Desempenhos de sistemas de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura*. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

- 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*, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 137-144, 2011.
- BATISTA, R. O.; MATOS, A. T.; CUNHA, F. F.; Lo MONACO, P. A. Formação de biofilme em gotejadores aplicando água residuária da despulpa dos frutos do cafeeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 29, n. 3, p. 367-371, 2007.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 68, n. 2, p. 135-149, 2004.
- _____. 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.
- CHEDEVILLE, O.; DEBACQ, M.; PORTE, C. Removal of phenolic compounds present in olive mill wastewaters by ozonation. *Desalination*, Amsterdam, v. 249, n. 2, p. 865-869, 2009.
- 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 despulpa dos frutos do cafeeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, 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.
- DEGHANISANI, H.; YAMAMOTO, T.; OULD AHMAD, B. V.; FUJIYAMA, H.; MIYAMOTO, K. The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and the performance of drip irrigation. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, v. 48, n. 2, p. 519-527, 2005.
- 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.
- FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; FLECHA, P. A. N.; ROBLES, W. G. R.; VÁSQUEZ, M. A. N. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 195-198, 2002.
- LESIKAR, B. J.; WEYNAND, V. L.; PERSYN, R. A. Evaluation of the application uniformity of subsurface drip distribution systems. In: ON – SITE WASTEWATER TREATMENT, 10., Sacramento, 2004. *Proceedings...* St. Joseph: ASAE, 2004. p. 73-83. (Paper n. 701P0104).
- 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.
- LOPES, M. S. S.; OLIVEIRA, P. C. C.; ANDRADE, M. V. F.; ARAÚJO, R. S.; MARINHO, G.; RODRIGUES, K. Remoção de macronutrientes de efluente da indústria de castanha de caju por uso de reator aeróbio em batelada com inoculo fúngico. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 17-26, 2011.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Ed.). *Microirrigation for crop production: design, operation, and management*. Amsterdam: Elsevier, 2006. cap. 11, p. 389-430.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.
- 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*, Maringá, v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011.
- SOUZA, J. A. A.; CORDEIRO, E. A.; COSTA, E. L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 5-9, 2006.

