

VAZÃO DE GOTEJADORES APLICANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DA CASTANHA DE CAJU

RAQUEL KARULINY ARAÚJO FERNANDES¹; RAFAEL OLIVEIRA BATISTA¹; SIMONE KEILY COSTA SILVA¹; JACINEUMO FALCÃO DE OLIVEIRA¹; LAIO ARIEL LEITE DE PAIVA¹

¹ Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, rk-fernandes@hotmail.com, rafaelbatista@ufersa.edu.br, simone_ky@hotmail.com, jacineumo@hotmail.com, laioariel@yahoo.com.br

1 RESUMO

A castanha de caju é um dos produtos de maior expressão socioeconômica para o território brasileiro, principalmente no semiárido brasileiro. O presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de água residuária da castanha de caju na vazão de distintos modelos de gotejadores. O experimento foi realizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), sendo montado no esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os modelos de gotejadores (G1, G2 e G3) e nas subparcelas os tempos de operação (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), com o Delineamento Inteiramente Casualizado em três repetições. A unidade de aplicação localizada foi composta por nove linhas laterais de 8,0 m, sendo três para cada modelo de gotejador. Essa unidade foi submetida a pressão de serviço de 70 kPa. A cada 20 h de operação da unidade de aplicação foi realizada a medição da vazão de sete gotejadores por linha lateral, durante as 160 h de operação. Paralelamente, amostras da água residuária foram coletadas para caracterização do pH, ferro total, manganês total, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, cálcio, magnésio e população bacteriana. Os resultados indicaram que a formação de biofilme, resultante da interação entre os agentes físicos, químicos e biológicos propiciaram o entupimento parcial dos gotejadores e, conseqüentemente, redução na vazão dos gotejados das unidades de irrigação; e o gotejador G1 foi mais suscetível ao entupimento do que os gotejadores G2 e G3 devido ao maior comprimento do labirinto e menor vazão.

Palavras-chave: efluente, obstrução, emissores, desempenho.

FERNANDES, R. K. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, S. K. C.; OLIVEIRA, J. F.; PAIVA, L. A. L.
FLOW RATE OF DRIPPERS WHEN CASHEW WASTEWATER IS APPLIED

2 ABSTRACT

Cashew is a product of high socio-economic value in the Brazilian territory, mainly in the semi-arid region. The study aimed at analyzing the effects of using cashew wastewater on the flow rate of drippers from different models. The experiment was carried out at the Rural Federal University of the Semi-Arid (UFERSA), using a split plot design and dripper models in the plots (G1, G2 and G3). Operating times in the subplots (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140

and 160 hours) and a completed randomized design with three replications were used. The unit of localized application consisted of 9 lateral lines, 8.0 m long, 3 of them for each dripper model, at a working pressure of 70 kPa. At every 20 hours of operation, flow rate of seven drippers per lateral line was measured over the 160 hours of operation. In addition, samples of wastewater were collected to determine the levels of pH, total iron, total manganese, suspended solids, total dissolved solids, calcium, magnesium and the bacterial population. The results showed that the formation of a biofilm as a result of the interaction among physical, chemical and biological agents caused a partial clogging of emitters, and therefore, a reduction in the dripper flow rate of the irrigation units. The G1 emitter was more susceptible to clogging than G2 and G3 emitters because of the longer length of the labyrinth and lower flow rate.

Keywords: wastewater, clogging, emitters, performance.

3 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cajucultura ocupa 740.000 ha e mobiliza 280 mil pessoas, proporcionando cerca de 250 mil toneladas de castanha de caju (OLIVEIRA, 2008).

O processo de industrialização da castanha de caju passa por uma série de etapas, o que resulta nas águas residuárias dessas indústrias. Os efluentes líquidos do processamento da castanha de caju são gerados, principalmente, nos processos de lavagem e umidificação da castanha, lavagem dos gases e lavagem dos equipamentos utilizados no processo industrial (LOPES et al., 2011).

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 (LIU; HUANG, 2009).

A formação do 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). Análises biológicas detalhadas do biofilme de gotejadores indicaram que as bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Clostridium*, *Flavobacterium*, *Vibro*, *Brevibacterium*, *Micrococcus* e *Bacillus* propiciam severos problemas de obstruções (NAKAYAMA et al., 2006).

Rav-Acha et al. (1995) constataram a formação de biofilme em gotejadores operando com esgoto doméstico secundário, sendo o biofilme resultante da interação entre mucilagens microbianas, partículas inorgânicas e algas da espécie *Chlorella vulgaris*. Fato similar foi verificado por Batista et al. (2006), que observaram a formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens de bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter* e algas pertencentes aos gêneros *Chlorococcus*, *Euglena*, *Phacus*, *Selenastrum*, *Scenedesmus* e *Sphaerocystis*.

Na maioria dos estudos com águas residuárias, o entupimento tem efeito direto na redução de vazão dos gotejadores (ROWAN et al., 2004; DEHGHANISANIJ et al., 2005; BATISTA et al., 2011). 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).

Rowan et al. (2004) estudaram a incidência de entupimento em quatro tipos de gotejadores, sendo dois autocompensantes com vazão nominal de 2,31 e 2,01 L h⁻¹ e dois não-autocompensantes com vazão nominal de 2,60 e 4,92 L h⁻¹, operando com efluente de tanque séptico durante 448 h. Mesmo utilizando filtro de discos com aberturas de 100 µm, a aplicação do efluente resultou em redução de até 83% na vazão inicial dos gotejadores.

Dehghanisani et al. (2005) analisaram seis tipos de gotejadores, sendo quatro autocompensantes com vazão nominal de 1,6 a 2,4 L h⁻¹ e dois não-autocompensantes com vazão nominal de 1,1 e 1,7 L h⁻¹, com água superficial eutrofizada filtrada em filtro de tela com aberturas de 175 µm. Depois de 200 h de funcionamento das unidades de aplicação, constatou-se redução de até 25% na vazão inicial dos gotejadores.

Diante o exposto, o presente trabalho objetivou analisar o efeito da aplicação de água residuária da castanha de caju na vazão de distintos modelos de gotejadores.

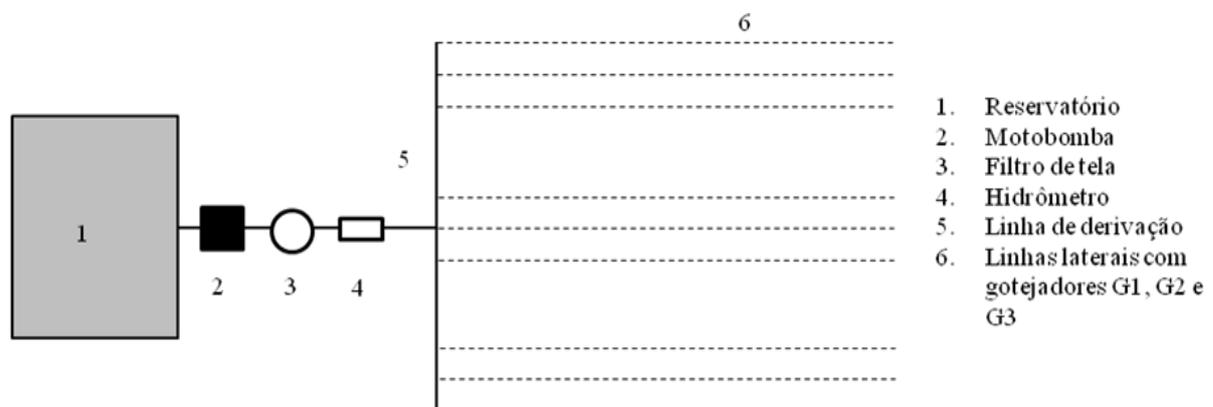
4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de 11 de março a 20 de abril de 2012, na área experimental da Universidade Federal Rural do Semi - Árido (UFERSA), em Mossoró-RN (5° 12' 27" S e 37°19'21" O).

A água residuária da castanha de caju foi coletada na estação de tratamento físico-químico existente na empresa AFICEL - A. Ferreira Ind. Comércio e Exportação Ltda, localizada na BR 304, s/n km 30, Contorno, Mossoró-RN.

Para os ensaios experimentais, montou-se uma bancada, nas dimensões de 2,0 m de largura por 8,0 m de comprimento, dotada de um reservatório de 5,0 m³, uma motobomba de 1 cv, um filtro de tela com aberturas de 130 µm, um hidrômetro de 1,5 m³ h⁻¹, uma linha derivação de 32 mm e nove linhas laterais, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Ilustração da bancada experimental utilizada para aplicação da água residuária da castanha de caju.



A bancada experimental foi constituída por três unidades de irrigação, com três linhas laterais de cada tipo de gotejador, cujas características estão apresentadas na Tabela 1. Os gotejadores utilizados no presente trabalho são comumente comercializados em Mossoró (Figura 2). Além disso, os gotejadores são dotados de labirintos tortuosos com saliências que

provocam um regime de escoamento turbulento que ameniza a sedimentação de partículas em seu interior.

Tabela 1. Gotejadores (G) utilizados nos ensaios experimentais, destacando o fabricante (F), o dispositivo de autocompensação (DA), a vazão nominal (Q), o coeficiente de vazão (k), expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento (x), a área de filtragem (A), o comprimento do labirinto (L), o coeficiente de variação de fabricação (CVf), a faixa de pressão recomendada (P) e o espaçamento entre emissores (EE).

G	F	DA*	Q* (L h ⁻¹)	k*	x*	A (mm ²)	L (mm)	CVf* (%)	P* (kPa)	EE* (m)
G1	Plastro Hydrodrip Super	Não	1,65	0,53	0,48	4,0**	37**	± 5	60 - 150	0,30
G2	Netafim PCJ-CNJ	Sim	2,00	2,00	0,00	2,0*	35*	± 7	50 - 400	1,00
G3	Netafim PCJ-CNJ	Sim	4,00	4,00	0,00	2,0*	35*	± 7	50 - 400	1,00

Nota: * e ** informações obtidas nos catálogos dos fabricantes e informações medidas com auxílio de um parquímetro digital com precisão de 0,01 mm, respectivamente. CNJ - sistema anti-drenante.

Figura 2. Ilustração dos gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) utilizados na aplicação da água residuária da castanha de caju.



As três unidades de irrigação operaram na pressão de serviço de 70 kPa, dentro das faixas recomendadas pelos fabricantes (Tabela 1), a qual foi monitorada, diariamente, com auxílio de um manômetro analógico de glicerina da marca GE CI2.5, graduado de 0 a 400 kPa. A pressão de serviço de 70 kPa foi escolhida pela maior potencial do entupimento nos gotejadores que aplicam águas residuárias, conforme relatado por Lesikar et al. (2004).

A cada 20 h de operação das unidades de irrigação foram coletadas amostras da água residuária da castanha de caju, a jusante do sistema de filtração, para caracterização físico-química e microbiológica, seguindo as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (RICE et al., 2012). As amostras foram acondicionadas em frascos plásticos esterilizados, sendo, posteriormente preservadas em caixa isotérmica com gelo à 4°C até a entrada nos laboratórios.

Nove amostras da água residuária de castanha de caju foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) para determinação dos valores de pH, condutividade elétrica (CE) dS m⁻¹, sólidos dissolvidos (SD) mg L⁻¹, sólidos suspensos (SS) mg L⁻¹, cálcio (Ca²⁺) mmol_c L⁻¹, magnésio (Mg²⁺) mmol_c L⁻¹, ferro total (Fe) mg L⁻¹ e manganês total (Mn) mg L⁻¹.

Outras nove amostras da água residuária de castanha de caju foram encaminhadas ao Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal da Universidade Federal Rural do

Semiárido (UFERSA) para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT).

A cada 20 h de operação da unidade de fertirrigação foi realizada a medição da vazão de sete gotejadores por linha lateral, durante 160 h de operação, 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 valores da vazão foram determinados sempre dos mesmos sete gotejadores identificados por linha lateral. Mediu-se o volume aplicado de efluente em cada gotejador, durante três minutos, obtendo-se a vazão com a utilização da equação 1.

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

em que:

q - vazão do gotejador, L h⁻¹;

V - volume de água coletada, mL; e

t - tempo de coleta da água, min.

A relação entre vazão e pressão de serviço dos gotejadores, foram determinadas tanto no início (0 h) quanto no final (160 h) do experimento, para cada tipo de gotejador, conforme as recomendações da NBR ISO 9261 (ABNT, 2006). As curvas vazão versus pressão de serviço foram obtidas empregando-se a equação 1.

$$Q = k \cdot P^x \quad (2)$$

em que:

Q - vazão do gotejador, L h⁻¹;

k - coeficiente de vazão, adimensional;

P - pressão na entrada do gotejador, kPa; e

x - expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento, adimensional.

Após 160 h de funcionamento das unidades de irrigação com água residuária da castanha de caju, alguns gotejadores foram abertos para a realização do registro fotográfico, dos pontos de acumulação de biofilme.

O experimento foi montado no esquema de parcelas subdivididas tendo nas parcelas os tipos de gotejadores (G1, G2 e G3) e nas subparcelas os tempos de operação (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), sendo o Delineamento Inteiramente Casualizado com três repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste “F” a 5% de probabilidade. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes da equação de regressão, pelo teste “t” a 10% de probabilidade, no valor do coeficiente de determinação (R²) e no processo em estudo.

O programa computacional usado nas análises estatísticas foi o SAEG 9.1 (RIBEIRO JÚNIOR; MELO, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentados na Tabela 2, os resultados das características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária da castanha de caju coletada a jusante do sistema de filtração.

Tabela 2. Características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária do processamento da castanha coletada a jusante do sistema de filtração, ao longo do período de operação das unidades de irrigação.

Características	Tempo de operação (h)								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
pH	8,45	8,50	7,57	7,00	7,19	7,32	7,66	7,71	7,07
CE (dS m ⁻¹)	3,45	3,59	3,44	3,88	3,84	4,04	4,32	3,78	3,43
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	23,80	23,38	23,31	26,52	21,81	22,99	26,67	20,64	16,66
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	9,47	12,32	15,08	9,17	9,00	12,90	12,62	11,47	14,95
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	3,58	3,52	3,91	3,85	4,02	4,30	3,76	3,40	8,50
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	6,93	6,34	5,50	7,61	6,34	5,66	5,66	5,42	3,92
Mn (mg L ⁻¹)	0,33	0,31	0,34	0,34	0,32	0,24	0,24	0,30	0,30
Fe (mg L ⁻¹)	0,47	0,52	0,46	0,35	0,48	0,53	0,53	0,52	0,43
SS (mg L ⁻¹)	103	170	234	286	333	370	355	377	386
SD (mg L ⁻¹)	2113	2230	2340	2360	2371	2389	2408	2401	2487
CT (NMP 100 mL ⁻¹)	3	497	35	97	58	50	50	545	34

Nota: pH - potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica, dS m⁻¹; Na⁺ - sódio, mmol_c L⁻¹; Ca²⁺ - cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ - magnésio, mmol_c L⁻¹; RAS - relação de adsorção de sódio, (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; Mn - manganês total, mg L⁻¹; Fe - ferro total, mg L⁻¹; SD - sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; SS - sólidos suspensos, mg L⁻¹; CT - coliformes totais, NMP 100 mL⁻¹; e NMP - número mais provável.

Os valores do potencial hidrogeniônico (pH) estão entre 7,00 e 8,50 como, indicando que o risco de entupimento de gotejadores oscila de moderado a severo, (NAKAYAMA et al., 2006). Os valores da condutividade elétrica (CE) variaram de 3,43 a 4,32 dS m⁻¹ indicando que se o efluente for utilizado na irrigação tem salinidade de moderada a severa, e pouco variou ao longo do período de operação. Os valores da razão de adsorção de sódio (RAS) do efluente variaram de 3,92 a 7,61 (mmol_c L⁻¹)^{0,5}. A RAS do efluente quando do seu uso na irrigação pode ser utilizada como medida do risco de sodicidade, visto que ela pode ser correlacionada com a RAS do solo, depois de atingido o equilíbrio dinâmico. Entretanto, a classificação da água de irrigação de acordo com o risco de problemas de infiltração de água no solo, deve estar baseada na RAS e na condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), levando-se em conta que, quanto maior a salinidade da água menor será o efeito dispersante do sódio, uma vez que os sais atuam no solo de maneira oposta ao sódio, ou seja, os sais presentes na solução do solo têm efeito flocculante, aumentando a infiltração (ANDRADE JÚNIOR et al., 2006)

O magnésio (Mg²⁺) oscilou de 3,40 a 8,50 mmol_c L⁻¹ sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como moderado para os valores de Mg²⁺ dentro da faixa-limite de 2,0 a 7,3 mmol_c L⁻¹ e severos para os valores de Mg²⁺ superiores ao limite de 7,3 mmol_c L⁻¹ (CAPRA; SCICOLONE, 1998). Os valores do Cálcio (Ca²⁺) variaram de 9,00 a 15,08 mmol_c L⁻¹, parte dos valores foram inferiores ao limite de 12,5 mmol_c L⁻¹ sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como baixo, e outra parte classificada como moderada, pois se encontra na faixa-limite de 12,55 a 22,55 mmol_c L⁻¹ estabelecido por Capra e Scicolone (1998). O sódio (Na⁺) encontrava-se em concentrações no efluente variando de

16,66 a 26,67 mmol_c L⁻¹. Segundo Ayers e Westcot (1999), efluentes que possuem concentração de Na⁺ elevada em relação ao cálcio e ao magnésio podem provocar sérios problemas de infiltração de água no solo devido à dispersão das argilas.

A concentração do Manganês (Mn) no efluente foi de 0,24 a 0,34 mg L⁻¹ sendo inferior ao limite de 0,7 mg L⁻¹ classificado como risco menor de entupimento (CAPRA; SCICOLONE, 1998). Enquanto, que na classificação proposta por Nakayama et al. (2006) a referida concentração de Mn está situada na faixa-limite de 0,1 a 1,5 mg L⁻¹ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado. O ferro (Fe) apresentou valores entre 0,35 e 0,53 mg L⁻¹. Nesse caso, alguns valores foram inferiores ao limite de 0,5 mmol_c L⁻¹ sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como baixo, outra parte se encontra na faixa-limite de 0,5 a 1,2 mmol_c L⁻¹ classificada como moderada, estabelecido por Capra e Scicolone (1998) e classificado como moderado por Nakayama et al. (2006) pois se encontra na faixa-limite de 0,2 a 1,5 mg L⁻¹.

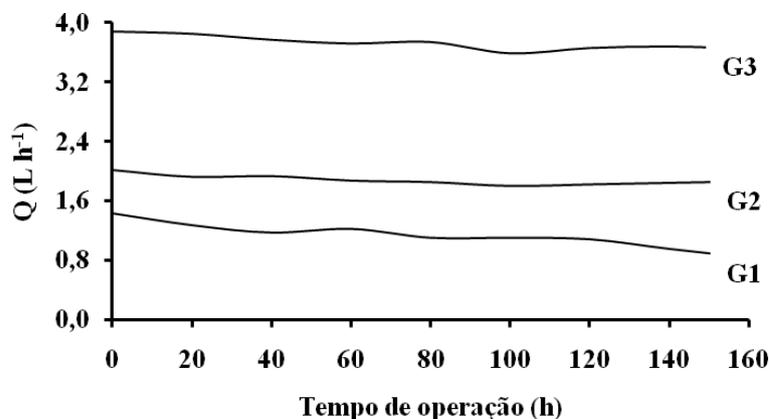
Constatou-se que a concentração dos sólidos suspensos (SS) no efluente variou de 103 a 386 mg L⁻¹. O risco de entupimento dos gotejadores foi classificado como menor para os valores menores que 200 mg L⁻¹ e moderado para os que estão na faixa-limite de 200 a 400 mg L⁻¹ conforme proposto por Capra e Scicolone (1998). Segundo Nakayama et al. (2006), o risco foi considerado severo, pois os valores de SS foram superiores ao limite de 100 mg L⁻¹. Os sólidos dissolvidos (SD) contidos no efluente oscilaram de 2113 a 2487 mg L⁻¹. Tais valores estão na faixa-limite de 625 a 2900 mg L⁻¹ estabelecida por Capra e Scicolone (1998), que classificaram o risco de entupimento como moderado. Esses valores foram superiores ao do limite de 2000 mg L⁻¹ proposto por Nakayama et al. (2006), que classificaram o risco de entupimento como severo.

Os níveis populacionais dos coliformes totais (CT) no efluente variou de 3 a 545 microrganismos por 100 mL⁻¹, sendo inferior ao limite de 1x10⁶ unidades formadoras de colônias por 100 mL proposto por Nakayama et al. (2006), que classifica o risco de entupimento como menor.

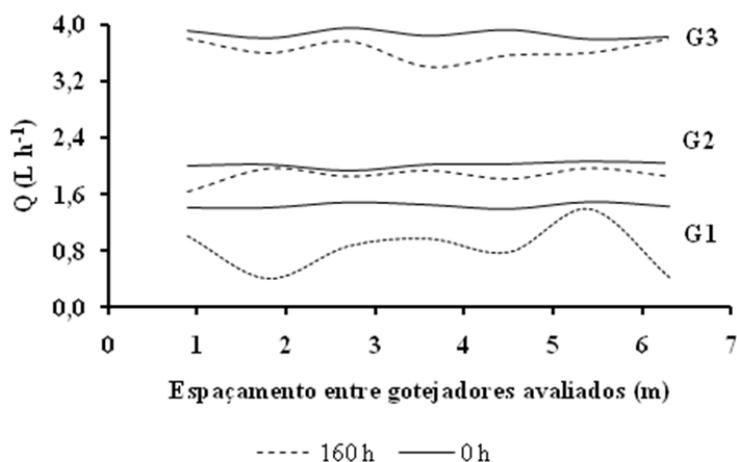
Apresentam-se na Figura 3A os valores de vazão dos gotejadores das unidades de aplicação de água residuária da castanha de caju em função do tempo de funcionamento. Estabelecendo comparação entre o tempo de funcionamento inicial e 160 h notam-se valores de 1,44 e 0,84 L h⁻¹; 2,00 e 1,86 L h⁻¹; 3,88 e 3,65 L h⁻¹, para os gotejadores G1, G2 e G3, respectivamente. Assim, as reduções nos valores das vazões foram de 42, 8, e 6 %. Esses resultados diferem dos encontrados por Batista et al. (2010) com esgoto doméstico terciário, onde constatou-se redução média de 5% na vazão inicial do gotejador não autocompensante com vazão nominal de 2,3 L h⁻¹, após 120 h de operação do sistema de irrigação em campo. Em outro trabalho de Batista et al. (2011) com gotejador diferente dos ensaiados no presente trabalho, notou-se que houve redução na vazão do gotejador Naan Drip-Paz 25 de 62, 22 e 61% para os efluentes domésticos primário, secundário e terciário, respectivamente, após 500 h de operação das unidades de irrigação.

Figura 3. Comportamento da vazão (Q) dos emissores (G1, G2 e G3) ao longo do tempo de operação (A) e ao longo da linha de irrigação (B).

A



B



Na Figura 3B, verifica-se que houve redução na vazão dos gotejadores G1, G2 e G3 ao longo das linhas laterais das unidades de irrigação operando na pressão de serviço 70 kPa, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de operação inicial (0 h) e final (160 h). No entanto, o entupimento dos gotejadores foi mais acentuado ao longo das linhas laterais dotadas do gotejador G1. Os gotejadores G2 e G3 apresentaram alterações menores, em função provavelmente da maior vazão e menor comprimento de labirinto, corroborando, assim, com as afirmações de Dehghanisani et al. (2005).

Na Tabela 3 encontra-se o resumo da análise de variância obtida para a vazão dos gotejadores (Q) no esquema de parcelas subdivididas. Verificou-se, na variável Q, que a interação Tipo de gotejador (G) x tempo de funcionamento (T) foi significativa a 1% de probabilidade. Os valores dos coeficientes de variação da parcela e da subparcela foram de 1,44 e 2,20%, respectivamente, inferiores aos valores de 13,09 e 6,06% obtidos por Batista et al. (2011).

Tabela 3. Resumo da análise de variância obtida para a vazão dos gotejadores (Q), no esquema de parcelas subdivididas.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Tipo de gotejador (G)	2	47,96**
Resíduo (a)	4	0,0010
Tempo de funcionamento (T)	8	0,099**
G x T	16	0,018**
Resíduo (b)	50	0,0024
CV (%) parcela		1,44
CV (%) subparcela		2,20

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

As equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados de vazão dos gotejadores (Q) em função dos tempos de funcionamento das subunidades de aplicação de água residuária de castanha de caju estão apresentadas na Tabela 4. Nas subunidades de irrigação dotadas dos gotejadores G1 e G2, houve redução linear dos valores de vazão dos gotejadores em função do tempo de funcionamento, apresentando coeficientes de determinação (R^2) de 0,90 e 0,62, respectivamente. Esses modelos de regressão foram semelhantes aos obtidos por Batista et al. (2011) em trabalho com sistemas de irrigação por gotejamento abastecidos com esgotos domésticos primário, secundário e terciário operando por 500 h. Enquanto, na subunidade de irrigação com gotejador G3 houve efeito quadrático do tempo de funcionamento em função da vazão dos gotejadores, tendo coeficiente de determinação (R^2) de 0,85 e ponto de máxima vazão no tempo de funcionamento de 135 h.

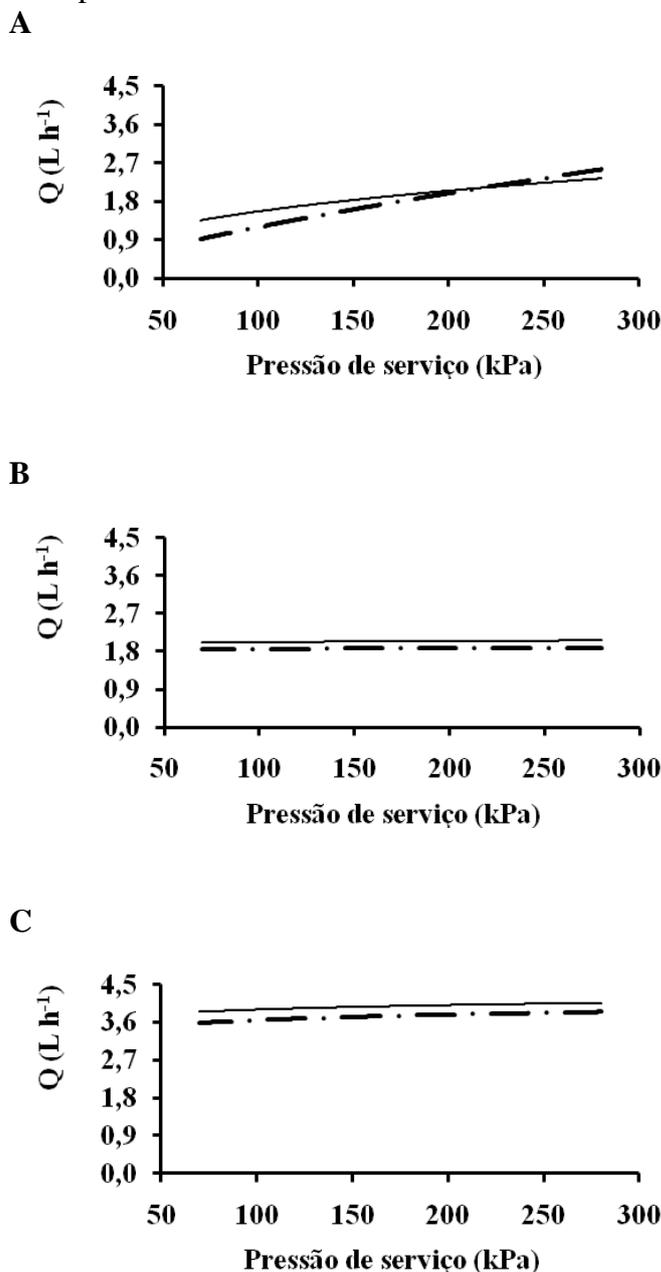
Tabela 4. Equações de regressão ajustadas à variável vazão (\hat{Q}), em $L h^{-1}$, das unidades de irrigação em função do tempo de funcionamento (T), em h, e os respectivos coeficientes de determinação.

Gotejador	Equações de regressão	R^2
G1	$\hat{Q} = 1,385 - 0,00308^{**} T$	0,90
G2	$\hat{Q} = 1,953 - 0,000958^{**} T$	0,62
G3	$\hat{Q} = 3,898 - 0,00371^{**} T + 0,0000137^{**} T^2$	0,85

Nota: ** e * significativos a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

As curvas relacionando vazão e pressão de serviço dos gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária da castanha de caju no início (0 h) e final (160 h) do experimento, estão apresentadas na Figura 4. Evidenciou-se que as curvas vazão versus pressão de serviço dos gotejadores diferem em relação aos tempo de operação, devido ao surgimento do entupimento; corroborando com Yavuz et al. (2010) que constaram alterações nas curvas vazão versus pressão de serviço de cinco tipos de gotejadores, a partir de um ano de operação em condições de campo.

Figura 4. Curvas relacionando vazão e pressão de operação dos gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) operando com água residuária de castanha de caju no início (—) e final (- - -) do experimento.



Na Tabela 5 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para as curvas relacionando vazão e pressão de serviço dos gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária da castanha de caju. Os valores do expoente da vazão (x) obtidos para os gotejadores G1, G2 e G3 nos tempos de operação inicial e final foram 0,388 e 0,730; 0,0204 e 0,0153; e 0,0391 e 0,0510, respectivamente. Os três tipos de gotejadores apresentaram valores do expoente da vazão (x) menores que 1, indicando a predominância do regime de escoamento turbulento (PIZARRO CABELLO, 1990).

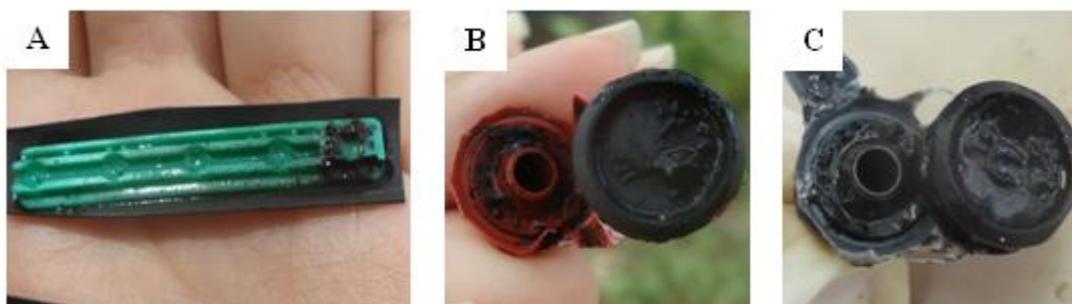
Tabela 5. Equações de regressão ajustadas à variável vazão (Q) em função da pressão de operação (P) dos gotejadores (G1, G2 e G3) operando com água residuária da castanha de caju no início (0 h) e no final (160 h) do experimento e os respectivos coeficientes de determinação.

Gotejador	Equação de regressão ajustada			
	0 h	R ²	160 h	R ²
G1	$\hat{Q} = 0,263 \cdot P^{0,388**}$	0,90	$\hat{Q} = 0,0417 \cdot P^{0,730**}$	0,91
G2	$\hat{Q} = 1,836 \cdot P^{0,0204**}$	0,64	$\hat{Q} = 1,731 \cdot P^{0,0153**}$	0,62
G3	$\hat{Q} = 3,259 \cdot P^{0,0391**}$	0,80	$\hat{Q} = 2,886 \cdot P^{0,0510**}$	0,60

Nota: ** significativos a 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Constatou-se no interior dos três tipos de gotejadores, a formação de biofilme (Figura 5), resultante da interação entre agentes físicos, químicos e biológicos. O desenvolvimento de biofilme na área de filtração dos gotejadores dificultou a passagem de efluente pelos pequenos orifícios, acarretando, assim, a redução na vazão.

Figura 5. Ilustração dos gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) com a presença de biofilme nos labirintos e áreas de filtração.



6 CONCLUSÕES

A água residuária da castanha de caju representa risco de obstrução de gotejadores em relação às características pH, cálcio, magnésio, manganês, sólidos suspensos, sólidos totais e população bacteriana.

A formação de biofilme resultante da interação entre os agentes físicos, químicos e biológicos propiciou entupimento parcial dos gotejadores e, conseqüentemente, redução na vazão das unidades de irrigação.

O gotejador G1 foi mais suscetível ao entupimento do que os gotejadores G2 e G3 devido ao maior comprimento de labirinto e menor vazão.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Equipamentos de irrigação agrícola - Emissores e tubos emissores - Especificações e métodos de ensaio.** ABNT NBR ISO 9261. São Paulo: ABNT, 2006. 17p.

ANDRADE JÚNIOR, A.; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; FRANCISCO DE B. MELO, F. B.; LEAL, C. M.. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p.873-880, 2006.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzida por GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMACENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).

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**, Mossoró, v. 24, p. 128-134, 2011.

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**, Viçosa, v.57, n.1, p.18-022, 2010.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores mediante a aplicação de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.2, p.81-87, 2006.

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.

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, 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.

DEGHANISANIJ, 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.

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.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405 p.

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.

OLIVEIRA, V. H. Cajucultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.1, p. 1-3. 2008.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

RAV-ACHA, C.; KUMMEL, M.; SALAMON, I.; ADIN, A. The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. **Water Research**, Oxford, v. 29, n. 1, p. 119-129, 1995.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; MELO, A. L. P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa-MG: UFV, 2008. 288p.

ROWAN, M.; MANCL, K.; TUOVINEN, O. H. Clogging incidence of drip irrigation emitters distributing effluents of differing levels of treatment. In: ON-SITE WASTEWATER TREATMENT, 10., 2004, Sacramento. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2004. p. 84-91. (Paper n. 701P0104).

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, p.5-8, 2011.

YAVUZ, M. Y.; DEMIREL, K.; ERKEN, O.; BAHAR, E.; DEVECILER, M. Emitter clogging and effects on drip irrigation systems performances. **African Journal of Agricultural Research**, Pretoria, v. 5, n. 7, p. 532-538, 2010.