

Formação de biofilme em gotejadores aplicando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro

Rafael Oliveira Batista*, Antonio Teixeira de Matos, Fernando França da Cunha e Paola Alfonsa Lo Monaco

Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. Ph Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: roliveira_batista@zipmail.com.br

RESUMO. Este trabalho teve por objetivo analisar a formação de biofilme em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro (ARC) submetidas ou não à passagem em filtro orgânico. Para isso, foi montada uma estrutura hidráulica de avaliação, constituída de fitas gotejadores, não autocompensantes e posicionados no espaçamento de 0,3 m. Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que: águas residuárias da despolpa de frutos do cafeeiro apresentaram severo risco de entupimento de gotejadores, mesmo quando submetidas a tratamento prévio em filtros orgânicos.

Palavras-chave: entupimento, bactérias, sólidos, emissores.

ABSTRACT. Formation of biofilm in drippers applying wastewater from pulping of the coffee fruits. This work objectified to analyze the formation of biofilm in drip irrigation systems applying wastewater from pulping of the coffee fruits (ARC) with and without ticket in organic filter. For that, a hydraulic structure of evaluation, constituted of drip tape, non pressure compensating, positioned in the spacing of 0,3 m. In accordance with the results obtained can be concluded that: wastewater from pulping of the coffee fruits presented severe risk of clogging of emitters, same when submitted the treatment in organic filters.

Key words: clogging, bacteria, suspended solids, emitters.

Introdução

Grãos de café estão entre os principais produtos da pauta de exportação brasileira. O Brasil produz anualmente cerca de 30 milhões de sacas de grãos de café, sendo o Estado de Minas Gerais responsável por cerca de 50% da produção nacional. Com o objetivo de conquistar mercado, os produtores têm buscado o aumento da produtividade, associado com a melhoria da qualidade do produto e a preservação ambiental as quais agregam valor ao produto.

A atividade de lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, necessária para a redução do custo de secagem e a melhoria da qualidade de bebida é, no entanto, geradora de grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos, ricos em material orgânico e inorgânico que, se dispostos no meio ambiente sem tratamento, podem causar grandes problemas ambientais como degradação ou destruição da flora e da fauna, além de comprometer a qualidade da água e do solo.

A utilização de águas residuárias na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola.

Entretanto, para que isso possa se tornar uma prática viável, é preciso que sejam desenvolvidas técnicas de tratamento, aplicação e manejo de águas residuárias.

O método de irrigação localizada tem sido usado para aplicação de águas residuárias por ser de elevada eficiência de aplicação do efluente e de baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo. No entanto, os sistemas de irrigação localizada possuem emissores que apresentam alta suscetibilidade ao entupimento. A sensibilidade ao problema de entupimento varia com as características do emissor (Trooien *et al.*, 2000) e com a qualidade da água relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (Nakayama e Bucks, 1991).

Existem muitos fatores físicos, químicos e biológicos nas águas superficiais, subterrâneas e residuárias com elevado potencial de entupimento de gotejadores. Os sólidos suspensos que podem entupir as pequenas passagens dos gotejadores, são constituídos por materiais orgânicos e inorgânicos. Geralmente, partículas maiores que 1/10 do diâmetro da passagem do escoamento de água no gotejador representam risco potencial de entupimento (Keller e Bliesner, 1990). Problemas de entupimentos ocasionados somente por partículas

inorgânicas presentes em esgoto sanitário de lagoa de estabilização foram relatados por Taylor *et al.* (1995). Esses autores verificaram que, do total de gotejadores estudados, apenas 6% foram bloqueados por partículas inorgânicas. Adin e Sacks (1991) afirmaram que a severidade do entupimento, muitas vezes, depende mais do tamanho do que da quantidade de partículas na água de irrigação. Shannon *et al.* (1982) constataram deposições de partículas inorgânicas ao final das linhas laterais bloqueando até 33% da área de seção transversal. As algas e outros microrganismos podem, também, criar problemas de entupimento em sistemas de irrigação localizada, principalmente quando seu desenvolvimento é estimulado por excessos de nutrientes, como o nitrogênio ou o fósforo, freqüentemente encontrados em águas residuárias. Análises detalhadas do biofilme de gotejadores têm indicado que os gêneros de bactérias *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Clostridium*, *Flavobacterium*, *Brevibacterium*, *Micrococcus* e *Bacillus* podem propiciar problemas de obstruções (Nakayama e Bucks, 1991). A formação de biofilme, resultante da interação entre mucilagens bacterianas e sólidos suspensos, tem sido a principal causa de entupimento de gotejadores aplicando água residuária (Ravina *et al.*, 1997; Capra e Scicolone, 2004). Ravina *et al.* (1997) constataram desenvolvimento de biofilme nas paredes do equipamento de irrigação somente onde a velocidade de escoamento era inferior a $0,5 \text{ m s}^{-1}$.

O entupimento dos gotejadores reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por gotejamento. Hills *et al.* (2000) verificaram diminuição de até 75% na vazão nominal média de sistemas de irrigação por gotejamento aplicando esgoto sanitário tratado, após 3.000 horas de funcionamento. Rav-Acha *et al.* (1995) constataram redução de 68% na vazão nominal média de sistemas de irrigação por gotejamento aplicando esgoto sanitário tratado após 60 horas de funcionamento. Estudos realizados por Dehghanisani *et al.* (2003) indicaram que a aplicação de esgoto sanitário tratado proporcionou redução de até 9% no coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por gotejamento que operaram por 187 horas. Capra e Scicolone (2004) obtiveram coeficientes de uniformidade de distribuição de água variando de 0 a 77% em sistemas de irrigação por gotejamento que aplicaram esgoto sanitário tratado, após 60 horas de operação.

O presente trabalho objetivou analisar a formação de biofilme em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando água residuária da despulpa

dos frutos do cafeeiro submetidas ou não à passagem em filtro orgânico.

Material e métodos

O ensaio experimental foi realizado na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Estado de Minas Gerais.

Nesta área experimental, foram montadas duas plataformas de testes, cada qual constituída por três unidades de fertirrigação, cada uma contendo quatro linhas laterais. Nos testes, foi utilizado um único tipo de fita gotejadora, não autocompensante, com as seguintes especificações técnicas: vazão nominal de $1,0 \text{ L h}^{-1}$ e espaçamento entre gotejadores de 0,3 m.

Parte da água residuária bruta da despulpa dos frutos do cafeeiro (ARCB) foi submetida a tratamento primário, pela passagem em filtro orgânico, constituído por coluna de 1,20 m de altura, tendo o pergaminho dos grãos de café como elemento filtrante, na granulometria de 3-4 mm, conforme recomendações de Lo Monaco *et al.* (2002), antes da sua condução até o sistema de gotejamento.

Para a realização dos testes com ambas as águas residuárias, foi mantida, no início das linhas laterais, uma pressão de serviço de 101 kPa, propiciando uma vazão média inicial dos gotejadores de 1,25 e $1,35 \text{ L h}^{-1}$, nas unidades de fertirrigação aplicando água residuária bruta e filtrada, respectivamente.

Durante o período de testes com a água residuária filtrada (ARCF), foram realizadas cinco avaliações das vazões dos gotejadores, a cada 36 horas, por meio da seleção de 16 gotejadores equidistantes, em cada linha lateral. O mesmo não pôde ser feito com a água residuária bruta, que teve o sistema funcionado por apenas 36 horas, em razão do rápido entupimento dos emissores.

A vazão de cada gotejador foi obtida por meio da razão entre o volume de água residuária emitido pelo gotejador, coletado com o posicionamento de provetas junto aos emissores, e o tempo de coleta de três minutos.

O experimento foi conduzido no período de 3/7 a 13/8 de 2004, sendo que as unidades de fertirrigação funcionaram, em média, quatro horas por dia, sete dias por semana.

Durante o período de ensaio foram realizadas análises de características física e químicas das águas residuárias no Laboratório de Qualidade da Água do DEA/UFV. Para determinar o pH das águas residuárias, utilizou-se medidor de pH portátil, marca Orion, modelo 250. As concentrações dos

sólidos totais e suspensos foram obtidas por meio do método gravimétrico. As concentrações dos sólidos dissolvidos foram determinadas pela diferença entre as concentrações dos sólidos totais e dos sólidos suspensos.

Após 36 e 144 horas de funcionamento dos sistemas hidráulicos de aplicação de ARCB e ARCF, respectivamente, os testes foram paralisados, sendo retiradas amostras dos gotejadores entupidos para análise do biofilme no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do DMB/UFV. Do lodo existente nos gotejadores foram retiradas alíquotas, posteriormente colocadas em meio de cultura (placas de petrifilm), levadas à incubadora, sob temperatura controlada a 37°C, por 48 horas. Após este período, as placas de petrifilm foram retiradas da incubadora, sendo a contagem das colônias de bactérias realizadas com o auxílio de uma lupa.

Os dados de vazão foram interpretados com a análise das médias, dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação.

Resultados e discussão

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios das características física e químicas da água residuária bruta da despolpa dos frutos do café (ARCB) e da água residuária filtrada da despolpa dos frutos do café (ARCF) além da classificação dessas águas conforme sugerido por Nakayama e Bucks (1991), quanto ao risco de obstrução dos gotejadores.

Tabela 1. Características física e químicas da água residuária bruta da despolpa dos frutos do café (ARCB) e da água residuária filtrada da despolpa dos frutos do café (ARCF).

Característica	Unidade	ARCB		ARCF	
		Valores	Potencial de obstrução*	Valores	Potencial de obstrução*
Sólidos suspensos	mg L ⁻¹	100	Moderado	23	Baixo
Sólidos dissolvidos	mg L ⁻¹	3.916	Severo	3.685	Severo
pH	-	4,38	Baixo	4,46	Baixo

*Classificação proposta por Nakayama e Bucks (1991) com relação ao risco de obstrução dos gotejadores.

Ao longo do período de ensaio, verificou-se que os valores médios de sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e pH foram de 100 e 23 mg L⁻¹; 3.916 e 3.685 mg L⁻¹; e 4,38 e 4,36 para ARCB e ARCF, respectivamente. Os resultados encontrados para sólidos em suspensão na ARCF, indicaram que o uso de filtros orgânicos foi efetivo na redução do risco desse fator de entupimento nas águas residuárias da despolpa de frutos do café. Observa-se que as concentrações de sólidos dissolvidos foram superiores ao limite de 2.000 mg L⁻¹,

estabelecido por Nakayama e Bucks (1991), que classifica as águas residuárias com severo potencial de obstrução de gotejadores. As altas concentrações de sólidos dissolvidos presentes na ARCF são indicativas de que tratamento físico-químico, com a adição de agentes coagulantes na ARCB, tais como sulfato de alumínio, sulfato férrico e extrato de sementes de moringa (Cabanellas, 2004), antes da filtração, são indispensáveis caso se queira minimizar os riscos de entupimento de sistemas de baixa pressão, utilizados para a aplicação de águas residuárias da despolpa dos frutos do café.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das análises microbiológicas efetuadas na mucilagem formada ao longo das tubulações e, principalmente, junto aos emissores. Foram identificadas enterobactérias, pertencentes ao gênero *Enterobacter*, no material sólido dos dois sistemas hidráulicos de aplicação da água residuária do café. Batista (2004) constatou a presença do gênero *Enterobacter* no biofilme formado em gotejadores que aplicaram esgoto sanitário tratado.

Tabela 2. Resultado da análise microbiológica do biofilme formado no interior das linhas laterais nas unidades de fertirrigação aplicando água residuária bruta da despolpa dos frutos do café (ARCB) e água residuária filtrada da despolpa dos frutos do café (ARCF).

Especificações	Unidades	ARCB	ARCF
Contagem de enterobactérias	UFC* mL ⁻¹	< 10 ²	4,5 x 10 ⁴
Tempo de funcionamento dos sistemas hidráulicos de aplicação	Horas	36	144

*UFC - Unidades Formadoras de Colônias.

Notou-se também, na Tabela 2, que o nível populacional de enterobactérias no biofilme do sistema hidráulico de aplicação da ARCF foi 450 vezes maior do que no biofilme do sistema hidráulico de aplicação da ARCB. Tal fato é atribuído ao maior tempo de funcionamento do sistema hidráulico de aplicação da ARCF que possibilitou maior adesão das bactérias nas superfícies sólidas, favorecendo a divisão celular e, conseqüentemente, a maturação do biofilme. No caso do sistema hidráulico de aplicação da ARCB o menor tempo de funcionamento, provavelmente, diminuiu a adesão de bactérias nas superfícies sólidas e a divisão celular, resultando, em menor nível populacional de enterobactérias.

Durante o processo de formação do biofilme no sistema hidráulico de aplicação da ARCF, pode-se afirmar que os sólidos suspensos e dissolvidos presentes na água residuária (Tabela 1), ficaram presos à mucilagem bacteriana, proporcionando aumento do volume de biofilme formado com o passar do tempo. Enquanto, no sistema hidráulico de

aplicação da ARCB, o entupimento dos gotejadores foi ocasionado, principalmente, por sólidos suspensos maiores que 1/10 do diâmetro da passagem do escoamento de água no gotejador, devido à ausência de sistema de filtração.

Na Figura 1 está apresentado o detalhamento da acumulação de biofilme dentro e fora de gotejadores do sistema hidráulico de aplicação da ARCF. Como pode ser observado ocorreu o desenvolvimento de biofilme dentro e fora dos gotejadores, resultando no seu entupimento parcial ou total.



(a)



(b)

Figura 1. Detalhamento da acumulação de biofilme dentro e fora de gotejadores parcial (a) e totalmente (b) entupidos, devido à aplicação da água residuária filtrada da despolpa dos frutos do caféiro (ARCF).

Na Tabela 3 estão apresentados os dados médios, o desvio padrão e o coeficiente de variação das vazões obtidas ao longo do tempo de operação do sistema de gotejamento com ARCB e ARCF. Verificou-se, nessa tabela, que as vazões médias das unidades de fertirrigação diminuíram ao longo do tempo tanto aplicando água residuária bruta como filtrada. No entanto, a redução da vazão no sistema que aplicou ARCB ocorreu mais rapidamente, ou seja, com 36 horas de funcionamento, a vazão foi reduzida em 94,5%. O filtro orgânico possibilitou maior período de funcionamento do sistema que

operou com ARCF. Constataram-se variabilidades nos valores do desvio-padrão e do coeficiente de variação ao longo do tempo de funcionamento. Na unidade de fertirrigação que aplicava ARCB, o coeficiente de variação com 36 horas de funcionamento foi de 60,6%.

Tabela 3. Valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação das vazões obtidas ao longo do tempo de operação do sistema de gotejamento com água residuária bruta (ARCB) e filtrada da despolpa de frutos do caféiro (ARCF).

Água residuária bruta da despolpa de frutos do caféiro					
Repetições (L h ⁻¹)	Horas de funcionamento				
	0	36			
R ₁	1,26	0,06	-	-	-
R ₂	1,23	0,11	-	-	-
R ₃	1,25	0,03	-	-	-
Média	1,25	0,07	-	-	-
Desvio-padrão (L h ⁻¹)	0,02	0,04	-	-	-
Coeficiente de variação (%)	1,23	60,62	-	-	-
Água residuária filtrada da despolpa de frutos do caféiro					
Repetições (L h ⁻¹)	Horas de funcionamento				
	0	36	72	108	144
R ₁	1,36	0,82	0,54	0,39	0,46
R ₂	1,38	0,85	0,54	0,48	0,48
R ₃	1,31	0,80	0,55	0,47	0,42
Média	1,35	0,82	0,54	0,45	0,45
Desvio-padrão (L h ⁻¹)	0,04	0,02	0,01	0,05	0,03
Coeficiente de variação (%)	2,66	2,70	1,20	11,73	6,57

Verificou-se também, na Tabela 3, que a vazão média das unidades de fertirrigação aplicando ARCF decresceu em média 66,7% até 108 horas de funcionamento. As vazões médias das unidades de fertirrigação, nos tempos de funcionamento de 108 e 144 horas, foram idênticas, indicando estabilização das condições de operação do sistema de gotejamento. Ao longo das avaliações das vazões, constatou-se a desobstrução aleatória de alguns gotejadores, particularmente devido a possíveis movimentos bruscos sobre as linhas laterais. Batista (2004) verificou redução na vazão inicial média das unidades de fertirrigação de até 20%, após 560 horas de aplicação de esgoto sanitário tratado. A passagem da ARCB por filtros orgânicos, embora tenha melhorado o desempenho do sistema, não se mostrou suficiente para evitar a relativamente rápida obstrução dos gotejadores.

Conclusão

Nos sistemas hidráulicos de aplicação de ARCB e ARCF as reduções médias na vazão dos gotejadores foram de 94,5 e 66,7%, respectivamente.

A formação de biofilme, resultante da interação entre bactérias formadoras de mucilagens e sólidos suspensos e dissolvidos, consistiu no principal fator de entupimento dos gotejadores do sistema hidráulico de aplicação de ARCF; enquanto, os

sólidos suspensos foram os principais responsáveis pelo entupimento dos gotejadores do sistema hidráulico de aplicação de ARCB.

Referências

- ADIN, A.; SACKS, M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. *J. Irr. Drain. Eng.*, New York, v. 117, n. 6, p. 813-826, 1991.
- BATISTA, R.O. *Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado sobre sistemas de irrigação por gotejamento*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- CABANELLAS, C.F.G. *Tratamento da água sob recirculação, em escala laboratorial, na despolpa dos frutos do cafeeiro*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter for wastewater reuse by drip irrigation. *Agr. Water Manag.*, Amsterdam, v. 68, n. 2, p. 135-149, 2004.
- DEHGHANISANIJ, H. *et al.* Control of clogging in microirrigation using wastewater in Tohaku. Japan: ASAE Meeting; St. Joseph: ASAE, 2003.
- HILLS, D.J. *et al.* The influence of filtration on ultraviolet disinfection of secondary effluent for microirrigation. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v. 43, n. 6, p. 1499-1505, 2000.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: Avibook, 1990.
- LO MONACO, P.A. *et al.* Eficiência de materiais orgânicos filtrantes no tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. *Eng. Agric.*, Viçosa, v. 10, n. 1-4, p. 40-47, 2002.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irr. Sci.*, Amsterdam, v. 12, n. 4; p. 187-192, 1991.
- RAV-ACHA, C. *et al.* The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. *Water Res.*, New York, v. 29, n. 1, p. 119-129, 1995.
- RAVINA, I. *et al.* Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agr. Water Manag.*, Amsterdam, v. 33, n. 2-3, p. 127-137, 1997.
- SHANNON, W.M. *et al.* Sediment transport and deposition in trickle irrigation laterals. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v. 25, n. 1, p. 160-164, 1982.
- TAYLOR, H.D. *et al.* Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. *Water Sci. Tec.*, London, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.
- TROOIJEN, T.P. *et al.* Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: drip-line flow rates. *Appl. Eng. Agr.*, St. Joseph, v. 16, n. 5, p. 505-508, 2000.

Received on August 08, 2005.

Accepted on March 22, 2007.