

DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM O USO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO TRATADO POR PROCESSO BIOLÓGICO

NATALIA PRADO FORTUNA MACAN¹; TAMARA MARIA GOMES²; FABRÍCIO ROSSI³ E GIOVANA TOMMASO⁴

¹Eng. de Biosistemas, Mestranda em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Av. Cândido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP, 13083-875, Brasil. E-mail: npfortuna@gmail.com

²Eng. de Biosistemas, Profa. Doutora no Depto. de Engenharia de Biosistemas, FZEA/USP, Pirassununga-SP, R. Duque de Caxias, 225 - Campus Fernando Costa, Pirassununga - SP, 13635-900 Brasil. E-mail: tamaragomes@usp.br

³Eng. de Biosistemas, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia de Biosistemas, FZEA/USP, Pirassununga-SP, Brasil. E-mail: fabricio.rossi@usp.br.

⁴Eng. de Alimentos, Profa. Doutora, Depto. de Engenharia de Alimentos, FZEA/USP, Pirassununga-SP, Brasil. E-mail: tommaso@usp.br

1 RESUMO

Os laticínios geram efluentes que podem ser reaproveitados na irrigação. No entanto, o efeito desses efluentes nos sistemas de irrigação ainda é pouco estudado. Assim, os objetivos desse trabalho foram caracterizar o efluente de laticínio tratado por processos biológicos, classificá-lo quanto ao potencial de entupimento de emissores e avaliar a uniformidade do sistema de irrigação por gotejamento por meio da determinação dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD), de Christiansen (CUC) e estatístico (CUE). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 3, com quatro repetições e avaliações dos coeficientes ao longo do tempo. Os tratamentos foram constituídos de três fontes de água: água de abastecimento (AB); efluente de laticínio tratado por sistema anaeróbio (EAN) e por sistema aeróbio (EA); e por três lâminas de irrigação, 50% (W1), 100% (W2) e 150% (W3) da evapotranspiração da cultura da beterraba. Após 40 horas de funcionamento, CUD, CUC e CUE foram classificados como “Excelente”, com valores superiores a 96%. As diferentes lâminas aplicadas não influenciaram nos coeficientes. Entretanto, ao longo do tempo, as três fontes de água utilizadas ocasionaram diminuição do CUD, CUC e CUE, sendo que a maior redução foi encontrada nas parcelas que utilizaram efluente anaeróbio.

Palavras-chave: água residuária, reúso, coeficiente de uniformidade, gotejador, tratamento anaeróbio e aeróbio.

MACAN, N. P. F.; GOMES, T. M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G.
PERFORMANCE OF DRIP IRRIGATION SYSTEM USING DAIRY EFFLUENT
TREATED BY BIOLOGICAL PROCESS

2 ABSTRACT

The dairy industry produces effluents that can be reused on irrigation. However, the effect of these effluents on the irrigation systems is still little studied. Thus, the goals of this work were to characterize the dairy effluent treated by biological processes, classify it for its potential to

Recebido em 04/02/2016 e aprovado para publicação em 23/05/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p575-590>

cause emitter clogging, and evaluate the drip irrigation system uniformity by determination of emission uniformity coefficient (EUC), Christiansen coefficient (CUC), and Statistical uniformity coefficient (SUC). The experimental design was performed in randomized blocks, with a 3 x 3 factorial design, four replications, and coefficients evaluation over the time. The treatments consisted of three types of water: freshwater (AB), dairy effluent treated by anaerobic processes (EAN), and effluent treated by aerobic processes (EA) at three irrigation depths – 50% (W1), 100% (W2), and 150% (W3) – of the estimated table beet evapotranspiration. After 40 hours of irrigation, EUC, CUC e SUC were classified as excellent, with values greater than 96%. The different irrigation depths did not affect the uniformity coefficients. However, the use of the three water sources led to EUC, CUC and SUC reduction over time, and the largest reduction was found on plots that used anaerobic effluent.

Keywords: agro-industry, uniformity coefficient, emitter, reuse, anaerobic and aerobic treatment.

3 INTRODUÇÃO

Dentre as indústrias de alimentos os laticínios são responsáveis pela produção do maior volume de efluentes, gerando entre 0,2 a 10 L de água residuária por cada litro de leite processado (VOURCH et al., 2008). Este efluente é proveniente principalmente dos processos de limpeza e lavagem de equipamentos e piso, e do descarte de matéria láctea não aproveitada durante o processo produtivo. Dessa forma, apresentam em sua composição alta carga orgânica (950 a 68814 mg/L), elevada quantidade de sólidos suspensos (340 a 12500 mg/L) e variação de pH entre 3,4 a 11,04 (DEMIREL; YENIGUN; ONAY, 2005).

O tratamento e reúso de águas constituem uma necessidade diante do cenário de crescimento populacional. Além de representar uma fonte hídrica alternativa capaz de auxiliar no atendimento da crescente demanda por água, a irrigação com águas residuárias evita que parte dos efluentes sejam lançados, por exemplo, nos mananciais.

A legislação brasileira estabeleceu através da resolução CNRH nº 121 diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal. Os constituintes físico-químicos e microbiológicos dessas águas devem atender os padrões estabelecidos pelas legislações pertinentes, no tocante a saúde pública e aos valores de prevenção de contaminação do solo e das águas subterrâneas (BRASIL, 2010).

No caso da irrigação, atividade responsável por 72% do consumo de água no Brasil (ANA, 2015), a vantagem do reúso é ainda maior, devido à presença de nutrientes nos efluentes com potencial de fertilizante. Estudos mostraram manutenção e até aumentos na produtividade de culturas que foram irrigadas com efluentes (SINGH; DESHBHRATAR; RAMTEKE, 2012; PRAZERES et al., 2014) e também redução na fertilização nitrogenada em relação a dose recomendada (GOMES et al., 2015).

O sistema de irrigação por gotejamento é o mais aceito para o reúso de efluentes pelas agências regulamentadoras, pois limita o contato da água residuária com o público exposto e com a cultura. Apesar da elevada eficiência, a principal limitação desse sistema é a sensibilidade de obstrução dos emissores por contaminantes físicos, biológicos e químicos presentes nas águas (DOSORETZ et al., 2011). Devido a importância da qualidade da água no funcionamento de sistemas de irrigação localizados, Bucks, Nakayama e Gilbert (1979)

descreveram os componentes que podem ocasionar obstrução dos emissores e desenvolveram uma classificação quanto ao potencial de entupimento.

A ocorrência de obstrução parcial ou total dos emissores reduz a uniformidade de distribuição de água e ainda pode causar excesso de irrigação sobre parte da produção, pois para garantir que todas as plantas tenham suas necessidades hídricas supridas é comum aumentar o volume de água utilizado. Segundo Capra e Scicolone (2007) isso afeta negativamente o produtor, pois além de um maior gasto com água e energia, há a possibilidade de perda de nutrientes por lixiviação.

Dessa forma, a avaliação do desempenho do sistema de irrigação é importante para determinação da eficiência e dos custos de operação. Nos casos em que as fontes de água são efluentes tratados, as avaliações devem ser rotineiras também para garantir o manejo adequado da irrigação (DANTAS et al., 2014). Para os sistemas de irrigação localizada, o desempenho pode ser avaliado por meio de medidas de uniformidade de aplicação de água, taxas de aplicação e pressão de serviço (AIROLDI, 2007). A uniformidade de aplicação expressa à variabilidade da lâmina de irrigação aplicada sobre o solo (SOLOMON, 1984) e pode ser representada através de coeficientes como o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE).

Assim, diante da importância do reúso de águas residuárias e da necessidade de se conhecer o efeito dessas águas sobre o desempenho dos sistemas de irrigação, esse trabalho foi conduzido para estudar um sistema de gotejamento utilizando efluente de laticínio tratado por sistema biológico. Os objetivos consistiram em caracterizar o efluente tratado por processos anaeróbios e aeróbios, classificá-lo quanto ao potencial de entupimento de emissores, e avaliar a uniformidade de aplicação do sistema ao longo do tempo com a utilização de diferentes lâminas de irrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma estufa agrícola localizada na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP) em Pirassununga – SP (21°59'S; 47°26'O, altitude 627 m). A estufa é do modelo tipo arco, com cobertura plástica, laterais com sombrite e dimensões de 7,0 m de largura, 30,0 m de comprimento e 2,5 m de pé direito. O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 3, com quatro repetições e avaliações dos coeficientes de uniformidade ao longo do tempo. Foram utilizadas três fontes de água: (i) EAN - Efluente de laticínio tratado por sistema anaeróbio, sob batelada sequencial com biomassa imobilizada, tempo de detenção hidráulica de 48 horas; (ii) EA - Efluente de laticínio tratado por reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com biomassa imobilizada, fluxo contínuo, abastecido 50% com efluente e 50% com água; (iii) AB - Água de abastecimento, proveniente da rede de distribuição de água do *Campus*. As três lâminas de irrigação utilizadas corresponderam a 50% (W1), 100% (W2) e 150% (W3) da evapotranspiração da cultura (ET_c).

O efluente utilizado foi proveniente da Estação Experimental de Tratamento de Efluentes do Laticínio Escola da FZEA/USP. Antes de serem utilizados na irrigação, EAN e EA passaram por um filtro composto de uma camada de pedregulho tamanho sete (0,07 m) e coberto com manta geotêxtil para remoção dos sólidos suspensos. A manta geotêxtil era do tipo não tecido, modelo GF7/130, marca GeoFort com abertura de filtração (O95) de 0,16 mm e permissividade de 2,35 s⁻¹. O filtro possuía uma área de 0,48 m² e foi dimensionado de

acordo com Sundefeld Junior (2012) para suportar até 1,5 kg de sólidos suspensos totais (SST) por m² e garantir um efluente filtrado com valores de SST iguais ou inferiores a 10 mg L⁻¹. A taxa de filtração do sistema foi de 4,17 m³ m⁻² h⁻¹. A acumulação de sólidos no filtro, conforme ocasionava redução na taxa de filtração a ponto do efluente extravasar da caixa, indicava o momento de substituição da manta geotêxtil. Após a filtração os efluentes passavam por desinfecção microbiológica, através de um sistema de lâmpadas de ultravioleta e eram armazenados em caixas de PVC de 1.000 L.

As três fontes de águas utilizadas na irrigação foram caracterizadas físico-química e microbiologicamente, com frequência quinzenal, no período de 30/04/2014 a 22/07/2014, sendo que os efluentes eram coletados após o sistema de desinfecção e a água de abastecimento era coletada direto da rede de distribuição. A série de sólidos (sólidos totais - ST, sólidos suspensos totais - SST, sólidos dissolvidos totais - SDT), Ca⁺², Mg⁺², Mn, Fe Total, condutividade elétrica e pH, foram analisadas conforme APHA, AWWA e WEF (2012). As coletas e acondicionamento das águas foram realizados seguindo o guia nacional de coleta e preservação de amostras de água (CETESB; ANA, 2011). Quanto às análises microbiológicas, a quantificação de *Escherichia coli* e de coliformes totais foi realizada usando inoculação em placas com meio cromogênico Petrifilm® EC (3M®), Método Oficial AOAC n° 991.14 (CONSTANTINO, 2011). Já a contagem de bactérias heterotróficas foi realizada de acordo com Silva et al. (2007). Posteriormente, os valores das análises físico-química e microbiológicas foram comparadas com os valores propostos por Bucks, Nakayama e Gilbert (1979) e por Capra e Scicolone (1998) (Tabela 1), e o potencial de entupimento das fontes de água utilizadas foi classificado em baixo, moderado ou severo.

Tabela 1. Classificação proposta por Bucks, Nakayama e Gilbert (1979) e por Capra e Scicolone (1998) da qualidade da água em relação ao potencial de entupimento de emissores de irrigação localizada.

Fator de entupimento	Potencial de entupimento					
	Baixo		Moderado		Severo	
	Bucks et al. (1979)	Capra & Scicolone (1998)	Bucks et al. (1979)	Capra & Scicolone (1998)	Bucks et al. (1979)	Capra & Scicolone (1998)
SST (mg L ⁻¹)	< 50	< 200	50 - 100	200 - 400	>100	>400
CE (dS m ⁻¹)	NC	< 1	NC	1,0 - 4,5	NC	>4,5
pH	< 7	NC	7 - 8	NC	> 8	NC
Fe (mg L ⁻¹)	< 0,2	< 0,5	0,2 - 1,5	0,5 - 1,2	> 1,5	> 1,2
Mn (mg L ⁻¹)	< 0,1	< 0,7	0,1 - 1,5	0,7 - 1,0	> 1,5	> 1,0
Ca (mg L ⁻¹)	NC	< 250	NC	250 - 450	NC	> 450
Mg (mg L ⁻¹)	NC	< 25	NC	25 - 90	NC	>90
NB (n° ml ^l)	< 10.000	NC	10.000 - 50.000	NC	>50.000	NC

SST=Sólidos Suspensos Totais; CE=Condutividade Elétrica; NB=número de bactérias; NC=não classificado.

Durante a condução do experimento foi cultivada beterraba, *cabernet*, cujas mudas foram transplantadas em caixas quadradas (1 m x 1 m) de PVC de 500 L, com espaçamento de 25 cm entre linhas e 15 cm entre plantas. O solo utilizado foi uma mistura (2:1) de Latossolo Vermelho Eutrófico, textura média argilosa com areia fina. Cada caixa representava uma parcela experimental e possuía quatro linhas de plantas e duas linhas de irrigação. O período de avaliação do sistema de irrigação compreendeu dois ciclos de cultivo da beterraba, sendo o de primavera, com plantio das mudas em 16/09/2013 e colheita em 27/11/2013, e o de outono, com plantio em 30/04/2014 e colheita em 22/07/2014. No intervalo entre os dois ciclos foi realizado no mesmo local um experimento de mitigação de sódio do solo, através do cultivo de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) irrigado com água de abastecimento. Dessa forma, entre o período de 03/01/2014 e 14/03/2014, o sistema de irrigação funcionou em todas as parcelas do delineamento experimental com água de abastecimento e com lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração da cultura do milho.

O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento superficial, com gotejadores modelo NaanTif 25 16 mm (marca NaanDanJain), integrados, não-compensantes, com espaçamento de 0,20 m e vazão nominal de 2,3 L h⁻¹ para pressão de serviço de 98,06 kPa. O valor médio da vazão real ao longo do experimento foi 2,38±0,04 L h⁻¹. Cada parcela continha duas linhas de tubos gotejadores com 1 m de comprimento cada e espaçadas 0,30 m. Para cada fonte de água aplicada (AB, EAN, EA) foi utilizada um bombeamento exclusivo, com bomba centrífuga de rotor semi-aberto e potência de 1 cv, acionada por painel controlador. No total, o sistema foi composto por três moto-bombas de acionamento elétrico, três painéis controladores, nove válvulas hidráulicas acionadas por solenóides, nove hidrômetros e nove reguladores de pressão (103,42 kPa). Após cada sistema de bombeamento foi instalado um filtro de disco de 120 mesh.

O manejo da irrigação foi realizado por meio da evaporação de um tanque classe A reduzido, instalado no interior da casa de vegetação em um estrado de madeira de 0,15 m de altura. As leituras da lâmina evaporada foram realizadas três vezes por semana, e para determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) foram utilizados o coeficiente de correção do tanque (K_p) proposto por Prados (1986) e o coeficiente da cultura (K_c) proposto por Marouelli, Silva e Silva (2008). A partir dos dados da ET_c, da área da parcela e da vazão dos gotejadores foi possível determinar as diferentes lâminas de irrigação aplicadas (50%, 100% e 150% da ET_c), e que resultaram em diferentes tempos de funcionamento do sistema.

O desempenho do sistema de irrigação por gotejamento foi avaliado ao longo do tempo, por meio das medições de vazão de operação em cada um dos gotejadores do sistema. Em baixo de cada emissor foi colocado um coletor, e após 2 minutos foi utilizada uma proveta para mensurar o volume coletado. A vazão foi então calculada pela relação do volume pelo tempo.

Como o experimento compreendeu dois ciclos de cultivo da beterraba, intercalado com um ciclo de milho, foram realizadas quatro avaliações do sistema de irrigação pela medição de vazão. A avaliação 1 ocorreu antes do plantio do primeiro ciclo da beterraba, a avaliação 2 após a colheita deste ciclo, a avaliação 3 logo após a colheita do milho e antes do plantio do segundo ciclo de beterraba, e a avaliação 4 após a colheita do segundo ciclo da beterraba (Figura 1).

Figura 1. Duração dos ciclos de cultivo e momentos de realização das avaliações da vazão do sistema de irrigação.



A partir dos valores de vazão obtidos em cada avaliação foram determinados para cada tratamento três coeficientes de uniformidade:

Coefficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD), proposto por Keller e Karmeli (1974) e que leva em consideração a média das 25% menores vazões observadas (Equação 1). De acordo com Merriam e Keller (1978) o CUD pode ser classificado como Excelente para valores superiores a 90%, Bom entre 90 e 80%, Regular entre 80 e 70%, Ruim para valores inferiores a 70%.

Coefficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942) para irrigação por aspersão e posteriormente adaptado para irrigação localizada, leva em consideração o desvio médio das vazões (Equação 2). Segundo Mantovani (2002), para sistemas de irrigação por gotejamento, o CUC pode ser classificado como Excelente para valores entre 100 e 90%, Bom entre 90 e 80%, Razoável entre 80 e 70%, Ruim entre 70 e 60%, Inaceitável para valores inferiores a 60%.

Coefficiente de uniformidade estatístico (CUE), originalmente proposto por Wilcox e Swailes (1947) para irrigação por aspersão, foi adaptado para irrigação localizada através da substituição das lâminas de água pela vazão dos emissores. Leva em consideração o desvio padrão das vazões (Equação 3), e de acordo com Bralts (1986) pode ser classificado como Excelente para valores superiores a 90%, Muito Bom entre 90 e 80%, Regular entre 80 e 70%, Ruim entre 70 e 60 %, Inaceitável para valores inferiores a 60%.

$$CUD = 100 * \left(\frac{q_{25\%}}{q_m} \right) \quad (1)$$

Onde, CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição de água, expresso em porcentagem; $q_{25\%}$ - Vazão média dos 25% dos emissores com as menores vazões, $L h^{-1}$; q_m - Vazão média dos emissores, $L h^{-1}$.

$$CUC = 100 * \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n * q} \right) \quad (2)$$

Onde, CUC - Coeficiente de uniformidade de Christiansen, expresso em porcentagem; q_i - Vazão de cada emissor, $L h^{-1}$; q_m - Vazão média dos emissores, $L h^{-1}$; n - Número total de emissores.

$$CUE = 100 * \left(1 - \frac{S_q}{q_m} \right) \quad (3)$$

Onde, CUE - Coeficiente de uniformidade estatístico, expresso em porcentagem; S_q - Desvio padrão da vazão dos emissores, $L h^{-1}$; q_m - Vazão média dos emissores, $L h^{-1}$.

Os coeficientes de uniformidade foram submetidos a análise de variância (ANOVA), com as avaliações no tempo sendo consideradas como sub-parcelas, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das fontes de água

Muitos autores (LIU; HUANG, 2009; PUIG-BARGUÉS et al., 2005; LI et al., 2012) relacionam o entupimento dos emissores de sistemas localizados à qualidade da água utilizada na irrigação. As tabelas 2, 3 e 4 apresentam, respectivamente, os resultados das análises química, física e microbiológica das três fontes de água utilizadas no experimento e sua classificação segundo a literatura quanto ao potencial risco de entupimento aos emissores de irrigação.

Analisando as características químicas das águas (Tabela 2) é possível notar que de acordo com a classificação proposta por Bucks, Nakayama e Gilbert (1979), ambos efluentes (EAN e EA) apresentaram baixo risco de entupimento para os parâmetros ferro total e manganês, mas mostraram severo potencial de entupimento para o parâmetro pH. A alcalinidade da água de irrigação é considerada um fator severo de entupimento de emissores pois de acordo com Bucks, Nakayama e Gilbert (1979) pH igual ou superior a 7,5 favorece a precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio, que podem formar incrustações e restringir o movimento da água. Já os sulfetos de ferro e manganês são bastantes insolúveis mesmo em soluções ácidas, e a presença desses ânions pode reduzir a eficácia da cloração e também ocasionar a precipitação de ferro (NAKAYAMA; BUCKS, 1991). Na classificação de Capra e Scicolone (1998), EA e EAN foram classificados com baixo potencial de entupimento para os parâmetros cálcio, ferro e manganês, e moderado potencial para magnésio e condutividade elétrica. A água de abastecimento (AB) apresentou baixo potencial de entupimento para todos os parâmetros, em ambas classificações.

Em relação à análise física das fontes de águas (Tabela 3) é possível notar que os maiores valores de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) foram encontrados no efluente anaeróbico (EAN), seguido pelo efluente aeróbico (EA), e pela água de abastecimento (AB). Contudo, tanto na classificação proposta por Bucks, Nakayama e Gilbert (1979) como na classificação de Capra e Scicolone (1998), os valores de SST encontrados nas três fontes de água correspondem a baixo potencial de entupimento dos emissores. Capra e Scicolone (2007) estudando esgoto tratado de diferentes formas chegaram à conclusão que o valor de sólidos suspensos totais igual a $50 mg L^{-1}$ deve ser considerado um valor crítico, pois apenas águas residuárias que possuem valores de SST inferiores a esse podem manter a uniformidade de distribuição de um sistema de gotejamento superior a 85%. Em relação aos sólidos dissolvidos, ambos efluentes (EA e EAN) foram classificados com moderado potencial de entupimento. Liu e Huang (2009) avaliando sistema de irrigação por

gotejamento com água de abastecimento e esgoto tratado observaram que a elevada presença de sólidos dissolvidos juntamente com o pH elevado foram os principais responsáveis por promover entupimento aos emissores. Marques et al. (2016) verificaram o desempenho de diferentes modelos de gotejadores com aplicação de efluente de laticínio e dentre as principais características, os sólidos suspensos e dissolvidos foram os parâmetros que interferiram na vazão e no coeficiente de uniformidade de distribuição dos emissores.

Os valores elevados de desvio padrão encontrados nos dados dos sólidos se devem a sazonalidade do efluente, que tem suas características modificadas de acordo com a produção do laticínio, ou seja, são produzidos leite pasteurizado, queijo, manteiga, sorvetes, bebidas lácteas, em diferentes momentos, adicionando cargas de sólidos variadas aos efluentes.

Tabela 2. Caracterização química das três fontes de água e classificação quanto ao risco de entupimento de emissores. Pirassununga-SP, Brasil, 2014.

Parâmetros	AB	EA	EAN	Potencial de Entupimento					
				Bucks et al. (1979)			Capra & Scicolone (1998)		
				AB	EA	EAN	AB	EA	EAN
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	6,85 ± 1,06	67,05 ± 17,46	54,41 ± 20,26	NC	NC	NC	B	B	B
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	1,83 ± 0,27	65,83 ± 16,42	86,16 ± 7,22	NC	NC	NC	B	M	M
Fe (mg L ⁻¹)	0,15 ± 0,00	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,02	B	B	B	B	B	B
Mn (mg L ⁻¹)	0,006 ± 0,005	0,028 ± 0,019	0,029 ± 0,008	B	B	B	B	B	B
CE (dS m ⁻¹)	0,05 ± 0,02	2,69 ± 0,74	3,90 ± 1,04	NC	NC	NC	B	M	M
pH	6,92 ± 0,18	8,26 ± 0,21	8,02 ± 0,31	B	S	S	NC	NC	NC

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; CE=condutividade elétrica; NC= não classificado; B=baixo; M= moderado; S=severo.

Tabela 3. Caracterização física das três fontes de água e classificação quanto ao risco de entupimento de emissores. Pirassununga-SP, Brasil, 2014.

Parâmetro	AB	EA	EAN	Potencial de Entupimento					
				Bucks et al. (1979)			Capra & Scicolone (1998)		
				AB	EA	EAN	AB	EA	EAN
ST (mg L ⁻¹)	214,67 ± 126,97	1380 ± 451,68	1991,00 ± 746,65	NC	NC	NC	NC	NC	NC
SST (mg L ⁻¹)	6,67 ± 7,76	8,67 ± 4,04	23,00 ± 21,38	B	B	B	B	B	B
SDT (mg L ⁻¹)	208,67 ± 118,89	1372,00 ± 448,48	1968,00 ± 726,57	B	M	M	NC	NC	NC

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; ST= sólidos totais; SST= sólidos suspensos totais; SDT= sólidos dissolvidos totais. NC= não classificado; B= baixo; M= moderado; S=severo.

Os resultados da análise microbiológica do efluente (Tabela 4) mostraram que de acordo com Bucks, Nakayama e Gilbert (1979), apenas o EAN apresentou severo potencial de entupimento dos emissores devido à presença de bactérias heterotróficas. De acordo com Bucks, Nakayama e Gilbert (1979), a atividade microbiológica pode produzir lodo, filamentos e depósitos químicos que podem obstruir os emissores. Além disso, pequenas partículas sólidas em suspensão podem ficar retidas no biofilme produzido pelas bactérias aumentando assim o risco de entupimento (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

No caso das águas residuárias, a presença de elevados teores de nutrientes e substâncias orgânicas favorece o desenvolvimento de microorganismos (ZHOU et al., 2013), que junto com polissacarídeos secretados pelas próprias bactérias formam os biofilmes (LI et al., 2012). Na avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, Puig-Bargués et al. (2005) e Batista, Souza e Ferreira (2010) observaram que a formação de biofilme foi a principal causa de entupimento de sistemas de irrigação por gotejamento que utilizaram esgoto tratado.

Tabela 4. Caracterização microbiológica das três fontes de água e classificação quanto ao risco de entupimento de emissores. Pirassununga-SP, Brasil, 2014.

Parâmetro	AB	EA	EAN	Potencial de Entupimento		
				Bucks et al. (1979)		
				AB	EA	EAN
Coliformes Totais (UFC mL ⁻¹)	2,66 x 10 ¹ ± 5,24 x 10 ¹	7,61 x 10 ² ± 1,70 x 10 ³	8,66 x 10 ¹ ± 1,76 x 10 ²	B	B	B
Escherichia Coli (UFC mL ⁻¹)	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,20 ± 4,60	B	B	B
Bactérias Heterotróficas (UFC mL ⁻¹)	1,11 x 10 ³ ± 1,59 x 10 ³	8,91 x 10 ³ ± 1,23 x 10 ⁴	5,09 x 10 ⁴ ± 8,38 x 10 ⁴	B	B	S

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; UFC mL⁻¹= Unidades formadoras de colônias por mililitro; NC= não classificado; B= baixo; M= moderado; S=severo.

5.2. Avaliação do sistema de irrigação

As tabelas 5 e 6 apresentam a lâmina bruta total aplicada e o tempo total de funcionamento do sistema de irrigação para cada tratamento. As lâminas e as horas contabilizadas com água nos tratamentos com efluentes (EA e EAN) correspondem à condução do experimento de mitigação de sódio do solo, em que todas as parcelas funcionaram com água de abastecimento e com lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração da cultura do milho.

Como as parcelas tinham 1 m², os volumes de água e de efluente que passaram pelo sistema de irrigação são numericamente iguais aos valores de lâmina bruta apresentadas na tabela 5. Essas diferentes lâminas de irrigação aplicadas (W1, W2, W3) resultaram em diferentes tempos de funcionamento do sistema (Tabela 6), sem no total ultrapassar 50 h. O tratamento W3 da água de abastecimento (AB) apresentou lâmina aplicada e tempo total superiores ao tratamento W3 dos efluentes devido a um problema com a programação do controlador durante o primeiro ciclo da beterraba.

Tabela 5. Lâmina bruta total aplicada pelo sistema de irrigação por gotejamento no cultivo de beterraba e de milho em Pirassununga-SP, Brasil, 2014.

	Lâmina Total Aplicada (mm)								
	AB			EA			EAN		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
Água	1114,8	1333,5	1601,5	855,8	796	725	844,8	814,3	778,8
Efluente	-	-	-	373,8	533	736,5	303,3	480,8	696,5
Total	1114,8	1333,5	1601,5	1229,5	1329	1461,5	1148	1295	1475,3

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; W1=lâmina 50% da evapotranspiração da cultura (ETc); W2=100% da ETc; W3=150% da ETc.

Tabela 6. Tempo total de funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento no cultivo de beterraba e de milho em Pirassununga-SP, Brasil, 2014.

	Tempo Total de Funcionamento (h)								
	AB			EA			EAN		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
Água	28,1	37,8	47,9	15	14	13,5	15	14	13,5
Efluente	-	-	-	11,2	19,8	28,6	10,9	19,3	27,7
Total	28,1	37,8	47,9	26,3	33,9	42,1	25,9	33,3	41,2

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; W1=lâmina 50% da evapotranspiração da cultura (ETc); W2=100% da ETc; W3=150% da ETc.

Nas Tabelas 7, 8 e 9 são apresentados, respectivamente, os valores dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD), de Christiansen (CUC) e estatístico (CUE), obtidos ao longo das quatro avaliações. A análise estatística apresentou interação entre as avaliações e as fontes de água para o CUC e CUE e não encontrou efeito das diferentes lâminas utilizadas (50%, 100% e 150% da ETc) sobre CUD, CUC e CUE.

De forma geral, houve redução dos coeficientes ao longo do tempo para todas as fontes de água utilizadas. No entanto, essa redução foi maior para os tratamentos que receberam efluente anaeróbio (EAN). Provavelmente essa redução ocorreu devido as características potenciais de entupimento (pH, condutividade elétrica, Mg^{2+} , sólidos dissolvido e bactérias heterotróficas) do efluente anaeróbio, descritas nas tabelas 2, 3 e 4. Apesar do efluente aeróbio (EA) ter características potenciais de entupimento similar ao EAN (Tabelas 2 a 4) a redução de uniformidade ocorreu de forma mais lenta. Nas tabelas 8 e 9 é possível notar que para o EAN houve redução significativa da uniformidade já na avaliação 2, enquanto que para o EA essa redução só ocorreu na avaliação 4.

Os resultados obtidos mostram que a água utilizada em todo o sistema de irrigação durante o cultivo do milho promoveu uma limpeza dos emissores das parcelas que utilizavam efluentes. Nas Tabelas 8 e 9 é possível notar que para EAN, os valores de ambos os coeficientes tiveram uma redução significativa na avaliação 2, seguida de um aumento na avaliação 3, e uma posterior redução na avaliação 4. As reduções ocorreram, portanto, sempre com passagem do efluente, ou seja, após o primeiro ciclo de cultivo da beterraba (avaliação 2) e após o segundo ciclo de cultivo da beterraba (avaliação 4). Já o aumento dos valores de CUC e CUE ocorreram após o ciclo de cultivo do milho (avaliação 3), quando foi utilizado apenas água em todas as parcelas.

Tabela 7. Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para avaliações no tempo e para as três fontes de águas. Pirassununga-SP, Brasil, 2014.

Avaliação	CUD (%)
1	98,16 A
2	97,17 BC
3	97,68 AB
4	96,77 C
CV (%)	1,04
Fonte de Água	CUD (%)
AB	97,81 A
EA	97,40 AB
EAN	97,12 B
CV (%)	1,13

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Tabela 8. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para avaliações no tempo e para as três fontes de águas. Pirassununga-SP, Brasil, 2014

Avaliação	CUC (%)		
	Fonte de Água		
	AB	EA	EAN
1	99,06 Aa	98,44 Ab	98,75 Aab
2	98,53 ABa	98,26 ABa	97,67 Bb
3	98,42 Ba	98,37 Aa	98,57 Aa
4	98,21 Ba	97,70 Bab	97,58 Bb
CV (%) parcela	0,61		
CV (%) subparcela	0,55		

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nas Tabelas 8 e 9 quanto às fontes de água, nota-se que para todas as avaliações o tratamento com água de abastecimento sempre apresentou CUC e CUE superior ou igual aos efluentes. Em ambas as tabelas, para a avaliação 2, os tratamentos AB e EA apresentam valores de coeficientes superiores ao tratamento EAN. Na avaliação 3, as três fontes de água (AB, EA, EAN) apresentaram valores estatisticamente iguais, corroborando a hipótese de que a água utilizada na irrigação do milho promoveu limpeza dos emissores do EAN, com consequente aumento de uniformidade de distribuição. Na avaliação 4, ambos efluentes (EA e EAN) apresentaram valores de CUC e CUD inferiores ao da água de abastecimento (AB), evidenciando mais uma vez que apesar de todas as fontes de água terem promovido diminuição de uniformidade ao longo do tempo, essa redução foi maior para os tratamentos que utilizaram efluentes.

Tabela 9. Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) para avaliações no tempo e para as três fontes de águas. Pirassununga-SP, Brasil, 2014

Avaliação	CUE (%)		
	Fonte de Água		
	AB	EA	EAN
1	98,75 Aa	98,01 Aa	98,44 Aa
2	98,07 ABa	97,73 Aa	96,87 Bb
3	97,82 Ba	97,84 Aa	98,04 Aa
4	97,75 Ba	96,85 Bb	96,80 Bb
CV (%) parcela			0,95
CV (%) subparcela			0,80

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Importante ressaltar que apesar de ter ocorrido uma redução dos valores dos coeficientes ao longo do tempo, todas as fontes de água sempre tiveram CUD, CUC e CUE com valores superiores a 96%, sendo classificados como excelente pela literatura (MERRIAM; KELLER, 1978; MANTOVANI, 2002; BRALTS, 1986). Isso indica que o uso do sistema de irrigação por gotejamento, no tempo de condução do experimento, não comprometeu a distribuição de água às plantas.

Thebaldi et al. (2013) estudando o desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com o uso de efluente proveniente de abate de bovino e tratado por lagoa facultativa, obtiveram para um tempo total de funcionamento do sistema de 55,47 h, valores de CUD, CUC e CUE iguais a 88,99 %, 94,49% e 92,10% respectivamente. Já Batista et al. (2013) utilizando gotejador com vazão nominal de 2 L h⁻¹ e efluente tratado de suinocultura com 333 mg L⁻¹ de SST e 1370 mg L⁻¹ de SDT obtiveram, após 40 h de funcionamento do sistema de irrigação, um CUD de 89,73%. Percebe-se, portanto, que para um tempo de funcionamento próximo das 50 h, o uso intercalado de efluente de laticínio com água de abastecimento, estudado no presente experimento, conseguiu manter valores de coeficiente de uniformidade maiores do que os relatados na literatura, utilizando outros efluentes agroindustriais.

Em relação a um maior tempo de funcionamento do sistema de irrigação, Puig-Bargués et al. (2005) utilizando águas residuárias tratadas por lodo ativado, filtradas com um filtro de tela, e com 10,6 mg L⁻¹ de SST, observaram que após 750 h, 6,25% dos emissores estavam completamente obstruídos e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) era igual a 55%. Já para o mesmo efluente, mas que passou por um filtro de tela e por um tratamento terciário com filtros de areia, desinfecção com ultravioleta e injeção de cloro, e que possuía 5,0 mg L⁻¹ de SST, o CUD obtido foi superior a 90%, após as mesmas 750 h de funcionamento. Airol di (2007) utilizando efluente doméstico tratado por processo anaeróbio e aeróbio, e filtrados por filtro de disco, obteve após 500 h de funcionamento do sistema de irrigação valor de coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) igual a 12,4% para emissores do tipo microtubo e CUE igual a 76,2% para gotejadores do tipo labirinto. Liu e Huang (2009) também observaram diferença de uniformidade entre emissores do tipo labirinto operando com diferentes tipos de água: Enquanto que para 1680 h de funcionamento o CUD para o uso de esgoto tratado foi superior a 80% para gotejador auto-compensante e inferior a

30% para emissor não compensante, o CUD foi superior a 98% para ambos emissores utilizando água de abastecimento no mesmo período. Dessa forma percebe-se que tempo de funcionamento, qualidade da água e tipo do emissor são fatores que influenciam na uniformidade de sistemas de irrigação por gotejamento.

6 CONCLUSÕES

A caracterização física e microbiológica dos efluentes tratados de laticínio (EA e EAN) mostrou um baixo potencial de entupimento de emissores em relação à quantidade de sólidos suspensos, presença de *Escherichia coli* e coliformes totais, mas potencial moderado para os sólidos dissolvidos. Para o EAN a caracterização indicou também potencial severo para presença de bactérias heterotróficas. Em relação à análise química, EA e EAN apresentaram risco moderado de entupimento para os parâmetros magnésio e condutividade elétrica, e risco severo para pH.

Todas as fontes de água aplicadas (AB, EA e EAN) promoveram diminuição dos coeficientes de uniformidade (CUD, CUC e CUE), ao longo do tempo. No entanto essa redução foi maior para os tratamentos que receberam efluente anaeróbico. As diferentes lâminas de irrigação não influenciaram no desempenho dos gotejadores.

O tempo total de funcionamento do sistema de irrigação não superou 50 horas, e a uniformidade se manteve elevada, com valores superiores a 96%.

A água utilizada em todo sistema de irrigação durante o cultivo do milho promoveu uma limpeza dos emissores das parcelas que funcionaram com EAN durante o cultivo da beterraba, elevando os coeficientes de uniformidade desse tratamento, e apresenta-se como uma alternativa de manejo no uso de águas residuárias por gotejamento.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecimento à FAPESP pela concessão do auxílio pesquisa nº 2012/19239-0 e a bolsa de iniciação científica nº 2013/12656-8.

8 REFERÊNCIAS

AIROLDI, R. P. S. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento com água residuária.** 2007. 139 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2014.** Brasília, DF: ANA, 2015. 103 p. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014_inf.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. **Standard methods for the examination for water and wastewater.** 22. ed. Washington, 2012. 1496 p.

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. 18-22, 2010.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B.; OLIVEIRA, A. F. M.; AZEVEDO, C. A. V.; MEDEIROS, S. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 698–705, 2013.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16. dez. 2010. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=8>. Acesso em: 14 jun. 2017.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, p.149-162, 1979.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in trickle/drip irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 70, p. 355-365, 1998.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.15, p.1529-1534, 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. Disponível em: <http://tratamentodeagua.com.br/R10/Lib/Image/art_704673733_Guia_Nacional_de_Coleta_e_Preservacao_de_Amostras_.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2013.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 124 p.

CONSTANTINO, C. A. **Avaliação da técnica 3MTM Petrifilm™ para análises microbiológicas de água de consumo humano na região de Campinas**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

DANTAS, D. C.; SILVA, E. F. F.; MELO, R. F.; DANTAS, M. S. M.; SILVA, G. F.; SILVA, M. M. desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente doméstico. **Irriga**, Botucatu, p. 179-189, 2014. Edição Especial.

DEMIREL, B.; YENIGUN, O.; ONAY, T. T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. **Process Biochemistry**, Londres, v. 40, p. 2583-2595, 2005.

DOSORETZ, C.; TARCHITZKY, J.; KATZ, I.; KENIG, E.; CHEN, Y. Development and effects of a fouling layer in distribution and irrigation systems applying treated wastewater effluents. In: LEVY, G.; FINE, P.; BAR-TAL, A. (Ed.). **Use of treated sewage water in agriculture: impacts on crops and soil environment**. Oxford: BlackwellPublishing, 2011. p. 328-350.

GOMES, T. M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G.; RIBEIRO, R.; MACAN, N. P. F.; PEREIRA, R. S. Treated dairy wastewater effect on the yield and quality of drip irrigated table beet. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 31, n. 2, p. 255-260, 2015.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 17, p. 678-684, 1974.

LI, Y.; LIU, Y.; LI, G.; XU, T.; LIU, H.; REN, S.; YAN, D.; YANG, P. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. **Irrigation Science**, New York, v. 30, p. 43-56, 2012.

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.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA**: manual do usuário. Viçosa: DEA/UFV, 2002.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa informação tecnológica, 2008. 150p.

MARQUES, B. C. D.; CUNHA, V. T.; CUNHA, V. T.; SILVA, K. B.; BATISTA, R. O. Desempenho de gotejadores operando com água residuária de laticínios em escala laboratorial. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 140-155, 2016.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation. **Irrigation Science**, New York, v. 12, p. 187-192, 1991.

PRADOS, N. C. **Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almería: necesidades hídricas y extracción del nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno**. 1986. 195 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Cajá Rural Principal, Almería, 1986.

- PRAZERES, A. R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J.; PATANITA, M.; DÔRES, J. Reuse of pretreated cheese whey wastewater for industrial tomato production (*Lycopersicon esculentum* M. II). **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 140, p. 87-95, 2014.
- PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 77, p. 249-262, 2005.
- SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, R. F. S.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2007. 552 p.
- SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 103, p. 100-104, 2012.
- SOLOMON, K. H. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. **Irrigation Science**, New York, v. 5, p. 161-172, 1984.
- SUNDEFELD JUNIOR, G. C. **Pós-tratamento e desinfecção de efluentes de reatores UASB e de lagoas de estabilização visando ao uso agrícola**. 2012. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- THEBALDI, M. S.; ROCHA, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; AVELINO NETO, S. Diferentes tipos de água e seu efeito na uniformidade de gotejadores na cultura de tomate. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 212-222, 2013.
- VOURCH, M.; BALANNEC, B.; CHAUFER, B.; DORANGE, G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, Amsterdam, v. 219, p. 190-202, 2008.
- WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Journal of Scientific Agriculture**, Ottawa, v. 27, n. 11, p. 565-583, 1947.
- ZHOU, B.; LI, Y. K.; PEI, Y. T.; LIU, Y. Z.; ZHANG, Z. J.; JIANG, Y. G. Quantitative relationship between biofilms components and emitter clogging under reclaimed water drip irrigation. **Irrigation Science**, New York, v. 31, p. 1251-1263, 2013.