

GOTEJADORES SUBMETIDOS A CONDIÇÕES CRÍTICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

PABLO ATAHUALPA DE AGUIAR RIBEIRO¹; MARCONI BATISTA TEIXEIRA²; RUBENS DUARTE COELHO¹; ELENILSON MOREIRA FRANCO¹; NELMÍCIO FURTADO DA SILVA²; LILIAN CRISTINA CASTRO DE CARVALHO¹; MARIA EMÍLIA BORGES ALVES²

¹ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, pabbloagro@yahoo.com.br

² Departamento de Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO.

1 RESUMO

Neste trabalho, buscou-se quantificar possíveis distúrbios de vazão em gotejadores submetidos à aplicação de cloreto de potássio, sólidos em suspensão, água contendo material orgânico e elevada concentração de ferro. O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, analisando o desempenho de 22 modelos de tubos gotejadores. Todos os tratamentos receberam água rica em fitoplâncton + 1 kg de solo argiloso + hidróxido de ferro, com as aplicações de cloreto de potássio e o posicionamento dos emissores variando da seguinte forma: T1, cloreto de potássio branco com emissores posicionados para baixo (T1+So+Sc↓); T2, cloreto de potássio vermelho com emissores posicionados para cima (T2+So+Sc↑); T3, cloreto de potássio branco com emissores posicionados para cima (T1+So+Sc↑); e T4, cloreto de potássio vermelho com emissores posicionados para baixo (T2+So+Sc↓). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com a utilização dos testes “F” para análise de variância e Tukey a 5% de significância, para comparação de médias. Os resultados mostraram que a aplicação de sólidos em suspensão e elevado teor de ferro intensificou a variação de vazão, sugerindo que a arquitetura interna dos gotejadores tenha sido o fator determinante na caracterização do processo de entupimento.

Palavras-Chave: qualidade de água; entupimento de gotejadores; fertirrigação

RIBEIRO, P. A. de A.; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; FRANCO, E. M.; SILVA, N. F. da; CARVALHO, L. C. C. de; ALVES, M. E. B. DRIPPERS SUBJECT TO CONDITIONS OF CRITICAL WATER QUALITY

2 ABSTRACT

This work aims to quantify possible disturbances of flow rate in drip emitters subject to the application of potassium chloride, suspended solids, water containing organic material and concentrated solution of soluble iron. The experiment was accomplished in the Laboratory of Irrigation of the Department of Biosystem Engineering at ESALQ/USP, analyzing the performance of 22 drippers. All treatments had water with phytoplankton + 1 kg of clay soil, with applications of potassium chloride and positioning of emitters ranging as follows: T1: white potassium chloride with dripper facing down (T1+So+Sc↓); T2: red potassium chloride

with dripper facing up (T2+So+Sc↑); T3: white potassium chloride with dripper facing up (T1+So+Sc↑); and T4: red potassium chloride with dripper facing down (T2+So+Sc↓). The experimental design was completely randomized, with the test “F” for variance analysis and Tukey test at 5% of significance to comparison of means. The results showed that applying suspended solids and high content of iron intensified the clogging process, suggesting that internal architecture of emitters, it is a major factor related to clogging resistance to treatments imposed.

Keywords: water quality; clogging; fertigation

3 INTRODUÇÃO

De acordo com Coelho (2007), no sistema de irrigação localizada, a água é, em geral, aplicada em apenas uma fração do sistema radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais (gotejadores), lineares (tubo poroso) ou superficiais (microaspersores). A proporção da área molhada varia de 20 a 80% da área total, o que pode resultar em economia de água. O teor de umidade do solo pode ser mantido alto por meio de irrigações frequentes e em pequenas quantidades, beneficiando culturas que respondem a essa condição.

A manutenção de elevada uniformidade de aplicação e distribuição de água nos sistemas de irrigação por gotejamento torna-se fundamental para uma eficiente irrigação e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento dos recursos hídricos e redução dos custos. Segundo Coelho (2007), vários fatores podem afetar a uniformidade de distribuição de água nos sistemas de irrigação localizada (pressão de operação do emissor, velocidade da água na tubulação, alinhamento da linha lateral, entupimento de emissores, entre outros).

A obstrução dos emissores está diretamente relacionada à qualidade da água de irrigação e à arquitetura interna do tubo gotejador. Portanto, os sólidos em suspensão, a composição química e a atividade microbiológica ditam o tipo de tratamento de água necessário para prevenção das obstruções (Dazhuang et al., 2009).

Ribeiro et al. (2010) afirmam que as alterações no coeficiente de variação de vazão estão relacionados ao processo de obstrução, cujo principal responsável é a qualidade da água usada na irrigação, uma vez que o problema não afeta igualmente todos os gotejadores ao longo da linha lateral, sendo dependente também do coeficiente de variação de fabricação.

O entupimento leva a uma diminuição na uniformidade de emissão (UE) e a um aumento no coeficiente de variação de vazão (CV), provocando uma redução significativa da uniformidade de distribuição de água ao longo das linhas laterais (Cararo et al., 2006).

Barros et al. (2009) afirmam que as obstruções causadas pelas precipitações químicas ocorrem gradualmente e, portanto, são mais difíceis de serem localizadas. As obstruções oriundas de material em suspensão (partículas sólidas) são as de mais fácil solução, haja vista que um eficiente sistema de filtragem pode reduzir significativamente o problema (Souza et al., 2006).

Portanto, levando-se em consideração os aspectos mencionados, o trabalho teve como objetivo quantificar possíveis distúrbios de vazão em gotejadores submetidos à aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho), utilizando água contendo material orgânico (fitoplâncton/algas), sólidos em suspensão (partículas de solo) e elevada concentração de ferro solúvel, buscando, assim, caracterizar condições extremas para o uso de sistema de irrigação por gotejamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biosistemas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, utilizando uma bancada de ensaios em estrutura metálica, com 11,0 m de comprimento por 4,0 m de largura e 5,80 m de altura, composta por quatro módulos experimentais.

Foram utilizados 22 modelos de tubogotejadores, com quatro linhas laterais cada modelo e com dez repetições, cada repetição representada por um gotejador. Os respectivos tubogotejadores eram usados e apresentavam boas condições de uso (vazão média próxima da vazão nominal e baixos valores de coeficiente de variação de vazão), permitindo que fossem submetidos aos seguintes tratamentos: T1, água rica em fitoplâncton + cloreto de potássio branco + 1 kg de solo argiloso + hidróxido de ferro (solução concentrada) com emissores posicionados para baixo (T1+So+Sc↓); T2, água rica em fitoplâncton + cloreto de potássio vermelho + 1 kg de solo argiloso + hidróxido de ferro (solução concentrada) com emissores posicionados para cima (T2+So+Sc↑); T3, água rica em fitoplâncton + cloreto de potássio branco + 1 kg de solo argiloso + hidróxido de ferro (solução concentrada) com emissores posicionados para cima (T1+So+Sc↑); e T4, água rica em fitoplâncton + cloreto de potássio vermelho + 1 kg de solo argiloso + hidróxido de ferro (solução concentrada) com emissores posicionados para baixo (T2+So+Sc↓).

Tais tratamentos foram aplicados com a finalidade de potencializar o risco de entupimento dos tubos gotejadores, submetendo-os a condições mais críticas de qualidade de água.

Conduziu-se o experimento durante 288 horas acumuladas de aplicação de cada tratamento. As aplicações foram divididas em ciclos, cada ciclo composto por 12 horas de aplicação contínua e 36 horas de repouso entre cada aplicação, ou seja, a cada 48 h completava-se um ciclo e ao final de uma etapa de aplicação de 13 dias era feita a avaliação da vazão dos gotejadores. O décimo quarto dia era utilizado para fazer a manutenção do sistema (limpeza de filtro, reservatórios etc.) e a renovação das soluções.

A solução concentrada foi sempre aplicada depois de feita a irrigação de seu respectivo tratamento, sendo assim, esta solução permanecia em repouso dentro da linha do tubo gotejador até a próxima irrigação, que se dava após 72 horas. A aplicação da respectiva solução concentrada diretamente na linha sem passar pelo sistema de filtragem correspondeu a uma concentração 30 vezes superior à solução utilizada nas irrigações.

O espaçamento entre gotejadores, a vazão e as demais características técnicas foram mantidos conforme a disponibilidade comercial, evitando alterar o espaçamento original de cada tubogotejador. De acordo com Teixeira et al. (2010), a manutenção das características originais de fábrica é apropriada para reduzir erros e representar melhor a condição real do sistema de irrigação no campo.

Em razão da não existência de norma específica para ensaios de entupimento de gotejadores, conforme as normas técnicas ISO, ASAE e ABNT, os modelos de tubogotejadores utilizados nos ensaios tiveram seus nomes comerciais codificados como forma de evitar especulações comerciais. Assim, os modelos foram codificados em números (A1-gotejador autocompensante modelo X e C1 - gotejador convencional modelo Y), de forma aleatória, não apresentando nenhuma relação com o nome dos produtos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características técnicas dos modelos de tubogotejadores de acordo com os fabricantes: vazão nominal ($L h^{-1}$), diâmetro interno (mm) e faixa operacional (kPa)

Fabricante	Modelo	Vazão nominal	Diâmetro interno	Faixa operacional
		$L h^{-1}$	mm	kPa
Netafim	Ram	1,6	16	50 – 400
Netafim	Ram	2,2	16	50 – 400
Netafim	Uniram	1,6	16	50 – 400
Netafim	Dripnet PC	1,6	16	50 – 400
Netafim	Tiran	2,2	16	100 – 300
Netafim	Super Typhoon	2,0	16	50 – 200
Toro Ag	Drip In PC	2,5	17	100 – 350
Plastro	Hydrogol	2,0	15	80 – 100
Plastro	Hydro PC	2,2	17	80 – 350
Plastro	Hydro PC Nd	2,35	16	80 – 350
Plastro	Hydro Drip	2,0	16	100 – 250
Naan	Naan PC	2,1	16	100 – 350
Naan	Naan PC	3,8	16	50 – 300
Naan	Naan Paz	1,7	17	100 – 300
Naan	Naan Tif	1,0	16	100 – 300
Amanco	Amancodrip	2,3	16	100 – 300
Amanco	Amancodrip AC	2,3	17	100 – 250
Petroísa	Petro drip	1,5	16	75 – 200
Azud	Azud Line	1,4	17	100 – 350
Irrimon	Twin Plus	1,8	17,5	100 – 350
Irrimon	Vip Line	3,6	16	100 – 350
Irrimon	Irridrip Plus	2,5	16	100 – 350

O sistema de pressurização utilizado no experimento foi composto por duas motobombas centrífugas da marca KSB, modelo KSB Hydrobloc C 750. A operação de funcionamento das bombas, quanto ao horário de início e término de cada ciclo de aplicação, foi feita manualmente, obedecendo aos horários de início, duração de aplicação e ensaio de vazão. Para evitar a entrada de partículas em suspensão no sistema, com tamanho superior ao diâmetro dos emissores, foi utilizado um filtro de disco de 120 mesh/Amiad, com capacidade para $15 m^3 h^{-1}$ de vazão.

À entrada de cada nível, instalou-se uma tomada de pressão, permitindo o ajuste da pressão de serviço no início de cada tubo gotejador durante os ensaios de vazão e quando necessário ajustada àquela preestabelecida. Para a medição e monitoramento da pressão de serviço, foi utilizado um manômetro digital com faixa de leitura de 0 – 700 kPa.

A aplicação das soluções consistiu de um sistema fechado, ou seja, um processo de recirculação da solução. O sistema de recolhimento foi composto por dois conjuntos de telhas de aço zincado, colocadas abaixo dos tubos com inclinação de 3%, que conduzia a solução gotejada para uma calha de aço zincado, localizada no centro do módulo. A partir dessa calha, a solução retornava para a respectiva caixa de captação por meio de um conjunto de tubos PVC de 0,1 m de diâmetro. Além disso, foram instalados rufos nas margens das telhas com 0,3 m de altura e cortinas de plásticos para evitar perdas de solução provocadas pelos respingos, gerados pelo impacto das gotas na superfície da telha.

Adotou-se como critério para a concentração inicial da solução de cloreto de potássio um nível de salinidade com condutividade elétrica de 2,5 dS m⁻¹. Para determinar essa concentração do produto a ser adicionada na água de irrigação, foi realizado um teste em laboratório, determinando-se a quantidade de produto comercial a ser adicionada ao reservatório com 0,8 m³ de água.

O procedimento para a leitura de vazão consistiu da pressurização do sistema, estabilização da pressão em 150 kPa (+/- 5 kPa) no início da linha, posicionamento dos coletores sob os respectivos gotejadores com três segundos de defasagem e retirada dos coletores com a mesma sequência e defasagem de tempo após cinco minutos de coleta. Para obter maior exatidão, foi utilizado o método gravimétrico para a determinação do volume coletado de cada gotejador, expressando-se os valores de vazão em L h⁻¹. Foi utilizada uma balança de precisão certificada (OHAUS) com precisão de 0,01 g.

Para comparação dos tratamentos, foi feito o monitoramento da vazão dos gotejadores (L h⁻¹), do coeficiente de variação de vazão (CV, %), da uniformidade de distribuição de água (UD, %) e do grau de entupimento (%), calculados pelas equações (1), (2), (3) e (4), respectivamente.

$$q = \frac{P}{1000 t \gamma} 60 \quad (1)$$

em que:

q – vazão do gotejador usado, L h⁻¹;

P – peso da água coletada, g;

t – tempo de coleta, min.; e

γ – peso específico da água utilizada no ensaio (o valor médio utilizado para conversão da água para 25 °C foi de 0,997).

$$CV_q = \frac{s}{q_m} 100 \quad (2)$$

em que:

CV_q – coeficiente de variação de vazão, %;

s – desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h⁻¹; e

q_m – vazão média dos gotejadores usados, L h⁻¹.

$$UD = \frac{q_{25\%}}{q_m} 100 \quad (3)$$

em que:

UD – uniformidade de distribuição de água, %; e

$q_{25\%}$ - vazão média de ¼ dos menores valores de vazão, L h⁻¹.

$$GE = \left(1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}} \right) 100 \quad (4)$$

em que:

GE – grau de entupimento, %.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o desempenho dos gotejadores (C1 a C8) para os respectivos tratamentos aplicados, permitindo classificá-los quanto à sua suscetibilidade ao entupimento em baixa, média e alta.

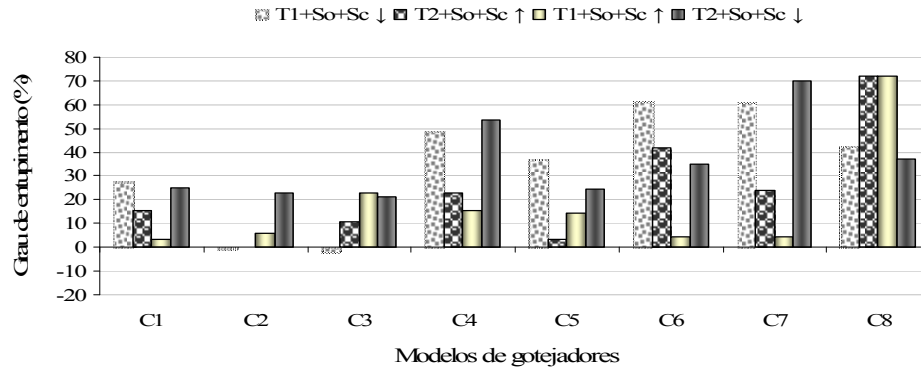


Figura 1. Grau de entupimento (%) dos modelos de gotejadores convencionais (C1 a C8) em função dos diferentes tratamentos aplicados após 288 horas de irrigação.

Em geral, os gotejadores são mais suscetíveis ao entupimento, quando o orifício do emissor está posicionado para baixo, juntamente com partículas em suspensão no interior dos tubos. Observou-se que, para a maioria dos modelos de gotejadores, os tratamentos T1+So+Sc↓ e T2+So+Sc↓ apresentaram redução de vazão, enquanto os tratamentos T1+So+Sc↑ e T2+So+Sc↑ mantiveram a vazão em níveis adequados para alguns modelos, evidenciando, assim, o comportamento esperado quanto ao posicionamento (para baixo ou para cima) do orifício do gotejador.

No tratamento T2+So+Sc↓, os valores foram acima de 21,4 % para todos os modelos avaliados, e no tratamento T1+So+Sc↓, esses valores ficaram acima de 27,8 %, com exceção do modelo C2 e C3, com -1,1 e -2 %, respectivamente.

O modelo C8 apresentou valores considerados elevados de entupimento com 42,6; 71,9; 72,1 e 37,3 %, para os tratamentos T1+So+Sc↓ (T1), T2+So+Sc↑ (T2), T1+So+Sc↑ (T3) e T2+So+Sc↓ (T4), respectivamente, sendo o único modelo a apresentar valores mais elevados de entupimento para os tratamentos com orifício dos emissores posicionados para cima, comparados aos dois tratamentos com orifício dos emissores posicionados para baixo.

Os modelos C4 e C7 apresentaram valores de entupimento bastante expressivos para os tratamentos T1+So+Sc↓ e T2+So+Sc↓, e o modelo C7 foi o que mais reduziu a vazão com valores de 60,7 e 70 % para os dois tratamentos, respectivamente (Figura 1).

É possível confirmar o baixo desempenho dos modelos C4 e C7 em relação a estes tratamentos, observando os elevados valores de CV (%) e valores nulos de UD (%), quando submetidos às condições propostas nesse trabalho (Tabela 2).

Observa-se na Tabela 2 que o coeficiente de variação de vazão (CV, %) apresentou valores acima de 58 % para o modelo C8 em todos os tratamentos, e a uniformidade de distribuição de água (UD, %) atingiu valores inaceitáveis segundo Solomon (1979).

Tabela 2. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) para os modelos de gotejadores C4, C7 e C8 após 288 horas de irrigação

Tratamentos	L Ref	CV (%)				L Ref	UD (%)			
		72	144	216	288		72	144	216	288
Horas →	0					0				
Modelo C4										
T1+So+Sc↓	3,1	3,4	36,1	77,1	87,2	96,5	95,9	67,2	0,0	0,0
T2+So+Sc↑	6,2	5,6	3,6	4,4	5,3	92,4	94,5	96,1	95,4	95,0
T1+So+Sc↑	2,2	4,4	14,9	3,0	35,0	98,7	95,6	81,4	96,9	72,2
T2+So+Sc↓	3,5	3,9	35,4	69,4	88,7	95,5	95,3	69,4	0,0	0,0
Modelo C7										
T1+So+Sc↓	5,8	8,1	68,8	87,0	129,2	94,3	93,3	0,7	0,1	0,0
T2+So+Sc↑	3,9	3,0	4,7	3,9	7,4	96,0	96,8	94,2	96,8	91,2
T1+So+Sc↑	6,7	6,0	5,5	7,1	11,8	93,8	94,2	94,6	93,9	88,2
T2+So+Sc↓	4,0	3,1	53,0	86,6	161,0	96,3	97,0	38,4	0,0	0,0
Modelo C8										
T1+So+Sc↓	3,4	45,6	44,0	43,2	58,0	95,9	48,3	50,3	51,7	29,0
T2+So+Sc↑	16,5	160,8	153,1	129,5	129,6	89,3	0,0	2,8	0,0	0,0
T1+So+Sc↑	4,7	139,5	143,6	133,2	126,6	95,3	0,0	3,2	0,0	0,2
T2+So+Sc↓	6,4	98,1	92,8	67,0	60,1	93,1	4,4	6,8	23,9	26,5

* L Ref: leitura de vazão referência.

A Tabela 3 mostra que os modelos C1, C5 e C6 apresentaram valores de CV % variando de 3,9 a 62,6 % para os tratamentos T1+So+Sc↑ e T2+So+Sc↑, em que os orifícios dos emissores ficaram posicionados para cima. O mesmo comportamento foi observado para a UD %, que apresentou uma variação semelhante ao CV, com valores entre 30 e 95,3 %.

Tabela 3. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) para os modelos de gotejadores C1, C5 e C6 após 288 horas de irrigação

Tratamentos	L Ref	CV (%)				L Ref	UD (%)			
		72	144	216	288		72	144	216	288
Horas →	0					0				
Modelo C1										
T1+So+Sc↓	1,8	8,6	6,1	37,2	53,1	98,6	88,7	92,1	62,4	31,1
T2+So+Sc↑	1,5	2,8	3,7	35,0	35,1	98,2	96,8	96,1	71,8	73,4
T1+So+Sc↑	2,5	6,5	10,0	14,4	15,3	97,6	92,3	87,5	83,6	83,0
T2+So+Sc↓	5,4	10,0	7,4	8,0	53,5	96,3	87,4	91,5	90,0	35,4
Modelo C5										
T1+So+Sc↓	1,0	11,1	7,9	36,5	26,6	98,9	89,5	90,5	65,2	74,6
T2+So+Sc↑	1,6	5,6	4,1	3,3	3,9	98,2	94,6	95,7	97,2	95,3
T1+So+Sc↑	2,2	44,2	26,0	6,9	6,5	97,9	38,1	67,5	92,4	93,2
T2+So+Sc↓	1,3	17,7	17,7	15,5	37,8	98,5	79,8	80,4	83,8	61,0
Modelo C6										
T1+So+Sc↓	5,3	47,1	47,6	44,2	62,6	95,0	51,7	53,4	53,4	30,0
T2+So+Sc↑	4,5	15,8	19,9	31,9	38,0	95,4	84,3	76,9	61,9	57,8
T1+So+Sc↑	3,4	16,2	17,2	37,6	6,7	95,9	78,3	77,5	62,4	91,7
T2+So+Sc↓	4,2	9,3	4,7	21,8	54,6	96,1	91,6	94,2	80,3	34,6

* L Ref: leitura de vazão referência.

Para os modelos C2 e C3, os valores de entupimento dos gotejadores apresentaram comportamento peculiar para o tratamento T1+So+Sc↓, com valores negativos de entupimento, ou seja, apresentaram aumento de vazão com valores superiores à média de referência. Já para o tratamento T2+So+Sc↓, os modelos apresentaram redução de vazão (21,4 e 53,7 % de entupimento) para os respectivos modelos. Os valores de CV (%) e UD (%), Tabela 4, confirmam esse comportamento dos modelos C2 e C3, com valores aceitáveis de UD % acima de 90 % (Solomon, 1979) para os tratamentos T1+So+Sc↑ e T2+So+Sc↑.

Tabela 4. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) para os modelos de gotejadores C2 e C3 após 288 horas de irrigação

Tratamentos	L Ref					L Ref	UD (%)				
	0	72	144	216	288		0	72	144	216	288
Modelo C2											
T1+So+Sc↓	2,3	6,9	3,4	3,4	3,1	97,7	92,6	96,6	95,8	96,7	
T2+So+Sc↑	2,5	4,0	4,5	3,1	2,5	97,0	95,4	94,8	96,5	97,0	
T1+So+Sc↑	2,3	11,0	10,2	6,9	4,2	98,1	87,4	87,5	91,8	95,7	
T2+So+Sc↓	1,8	5,5	5,4	6,6	52,9	97,8	93,0	93,7	92,9	38,6	
Modelo C3											
T1+So+Sc↓	1,9	2,2	1,7	35,8	3,9	97,7	97,5	98,3	64,8	97,4	
T2+So+Sc↑	3,7	2,5	4,5	15,8	3,2	95,8	97,2	95,7	93,0	96,8	
T1+So+Sc↑	1,5	4,2	6,0	7,9	36,2	98,2	94,8	93,1	90,8	65,6	
T2+So+Sc↓	3,4	3,2	6,5	3,6	54,7	96,5	96,4	92,3	96,5	38,3	

* L Ref: leitura de vazão referência.

Os modelos de gotejadores autocompensantes também apresentaram desempenho variável quanto à suscetibilidade ao entupimento, desde modelos com excelente desempenho a modelos de baixo desempenho (redução de vazão inaceitável ou imprópria para sistemas de irrigação por gotejamento). Tal variação operacional dos emissores está correlacionada com a arquitetura de cada gotejador: comprimento, formato e dimensões.

Nas Figuras 2 e 3 são mostrados os desempenhos dos gotejadores autocompensantes de A1 até A7 e de A8 até A14, respectivamente.

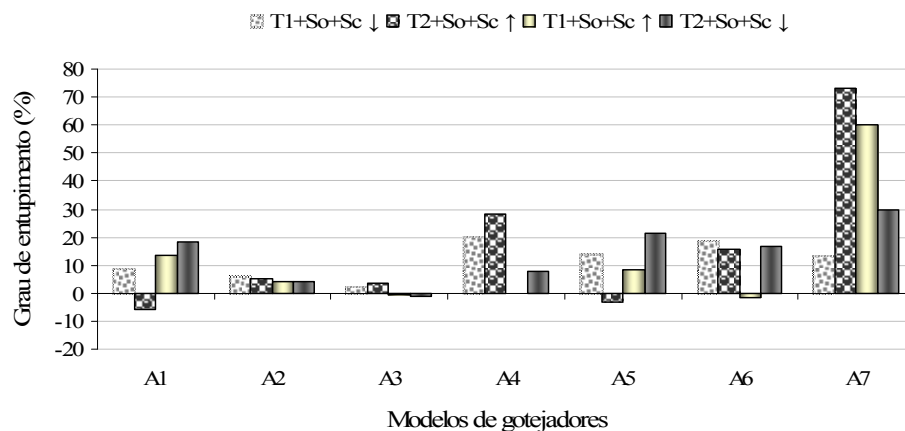


Figura 2. Grau de entupimento (%) dos modelos de gotejadores autocompensantes (A1 até A7) após 288 horas de irrigação.

Os modelos A2 e A3 apresentaram melhor desempenho, com valores de entupimento variando de -1,1 a 6,1% (Figura 2). Os demais tubos gotejadores foram mais suscetíveis ao entupimento (A7, A9, A10 e A13) conforme mostra a Figura 3.

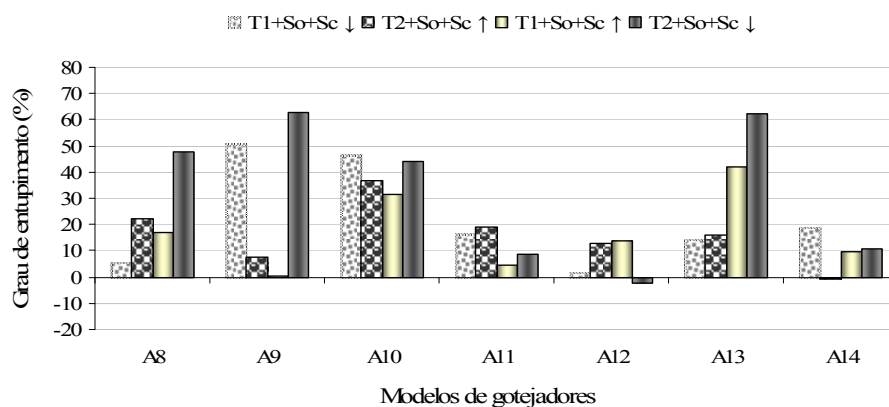


Figura 3. Grau de entupimento (%) dos modelos de gotejadores autocompensantes (A8 até A14) após 288 horas de irrigação.

Observou-se que a maioria dos modelos se mostrou mais sensível aos tratamentos T1+So+Sc↓ e T2+So+Sc↓, comparado aos tratamentos T1+So+Sc↑ e T2+So+Sc↑, evidenciando o comportamento esperado quanto ao melhor desempenho de emissores com o orifício posicionado para cima. O modelo A12 apresentou 1,9; 13,0; 13,8 e -2,0 % de entupimento, mostrando maior suscetibilidade aos tratamentos T2+So+Sc↑ e T1+So+Sc↑ (Figura 3).

Os modelos A7, A8, A9, A10 e A13 mostraram alta suscetibilidade ao entupimento, com valores expressivos de redução de vazão, principalmente para os tratamentos T1+So+Sc↓ e T2+So+Sc↓, com exceção do modelo A7, que teve valores mais expressivos de entupimento para os tratamentos T2+So+Sc↑ e T1+So+Sc↑. O modelo A10 foi o único a apresentar redução de vazão acima de 30 % em todos os tratamentos.

Tabela 5. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) para os modelos de gotejadores A2, A3 e A12 após 288 horas de irrigação

Tratamentos	L Ref	CV (%)				L Ref	UD (%)			
		72	144	216	288		72	144	216	288
Horas →	0	72	144	216	288	0	72	144	216	288
Modelo A2										
T1+So+Sc↓	5,8	8,3	9,3	13,2	7,4	93,4	89,7	89,4	84,1	90,6
T2+So+Sc↑	7,7	8,5	7,4	7,3	8,6	91,0	89,4	90,5	91,7	89,8
T1+So+Sc↑	3,6	6,2	7,7	7,0	7,7	95,9	93,6	93,6	94,8	92,2
T2+So+Sc↓	3,8	17,9	16,9	6,6	4,9	96,3	81,8	83,9	92,8	94,2
Modelo A3										
T1+So+Sc↓	9,4	3,6	5,1	5,4	5,6	93,4	96,4	94,0	93,4	94,0
T2+So+Sc↑	5,8	7,7	8,3	7,4	6,3	94,3	93,1	92,9	93,9	94,0
T1+So+Sc↑	3,1	6,6	5,2	4,9	5,4	97,3	93,5	94,7	95,3	93,7
T2+So+Sc↓	4,9	14,3	10,8	7,4	6,3	95,0	80,9	87,1	90,9	93,4
Modelo A12										

T1+So+Sc↓	4,1	4,3	4,9	17,1	6,8	95,5	94,9	95,4	85,8	92,1
T2+So+Sc↑	2,8	4,3	6,9	5,3	2,7	96,8	95,3	93,2	93,4	96,7
T1+So+Sc↑	1,9	14,2	14,2	15,4	8,4	97,5	85,8	85,8	82,1	90,7
T2+So+Sc↓	2,7	13,2	14,1	39,3	9,9	97,2	84,5	82,5	58,7	90,2

* L Ref: leitura de vazão referência.

Observa-se, na Tabela 5, que, apesar dos valores mais elevados de entupimento nos tratamentos T2+So+Sc↑ e T1+So+Sc↑, a UD(%) se manteve acima de 90% e os valores de CV(%) ficaram entre 2,7 e 9,9%.

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos para os modelos A7, A8, A9, A10 e A13, podendo ser confirmado o baixo desempenho desses gotejadores, levando-os a serem classificados como inaceitáveis para uso em sistemas de irrigação por gotejamento quando submetidos a tais condições de uso.

Tabela 6. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) dos gotejadores A7, A8, A9, A10 e A13 após 288 horas de irrigação

Tratamentos	L Ref	CV (%)				L Ref	UD (%)			
		Horas→	72	144	216		288	0	72	144
Modelo A7										
T1+So+Sc↓	8,8	19,7	24,8	30,4	29,4	90,7	76,0	67,5	60,1	64,9
T2+So+Sc↑	7,8	10,1	71,3	137,4	89,0	92,3	89,9	14,9	0,0	3,7
T1+So+Sc↑	11,1	12,3	99,7	190,8	107,5	87,7	85,2	0,6	0,0	0,2
T2+So+Sc↓	11,1	11,5	42,7	37,6	41,1	87,7	86,4	56,0	62,2	55,3
Modelo A8										
T1+So+Sc↓	3,2	10,1	62,7	19,6	33,0	97,1	88,7	14,3	76,9	65,7
T2+So+Sc↑	2,9	9,5	12,8	14,2	53,1	96,9	88,4	85,3	82,5	37,1
T1+So+Sc↑	2,9	10,4	72,9	87,8	41,4	97,0	88,7	64,2	0,4	49,7
T2+So+Sc↓	5,6	23,4	26,6	71,7	83,1	93,4	70,1	70,0	0,1	0,0
Modelo A9										
T1+So+Sc↓	2,8	3,7	3,7	20,1	69,1	97,1	95,7	96,1	76,3	0,0
T2+So+Sc↑	2,6	7,7	8,8	25,5	5,2	97,5	91,3	89,0	69,8	93,5
T1+So+Sc↑	1,8	1,6	2,7	30,9	3,2	98,4	98,2	96,8	32,8	96,4
T2+So+Sc↓	2,8	2,0	52,6	64,6	114,0	97,5	97,7	35,6	9,0	0,0
Modelo A10										
T1+So+Sc↓	3,2	15,6	27,5	26,9	61,3	96,1	84,2	65,1	71,4	32,4
T2+So+Sc↑	2,9	8,4	40,5	53,0	69,4	96,5	92,6	56,0	38,9	0,0
T1+So+Sc↑	5,8	16,8	19,6	43,7	51,4	92,6	81,6	79,5	45,8	39,5
T2+So+Sc↓	2,7	5,6	14,0	32,6	70,4	96,5	93,1	83,4	61,0	0,6
Modelo A13										
T1+So+Sc↓	5,1	6,0	9,2	81,2	53,4	94,5	92,6	88,9	0,0	28,3
T2+So+Sc↑	4,5	12,5	14,3	18,8	44,2	95,4	86,4	84,6	75,5	48,2
T1+So+Sc↑	4,2	12,7	23,0	43,0	59,8	95,0	89,6	74,3	52,5	34,2
T2+So+Sc↓	6,9	6,3	17,6	95,2	116,3	93,0	92,1	81,1	0,0	0,0

* L Ref: leitura de vazão referência.

De maneira geral, ocorreu maior suscetibilidade ao entupimento em razão do posicionamento do orifício dos gotejadores, utilizando-se os tratamentos T1+So+Sc↓ e T2+So+Sc↓, com valores mais elevados de CV %, caracterizando os gotejadores A1, A4, A5, A6, A11 e A14 após 288 horas de irrigação como inaceitáveis (Tabela 7).

Tabela 7. Coeficiente de variação de vazão (CV, %) e uniformidade de distribuição de água (UD, %) dos gotejadores A1, A4, A5, A6, A11 e A14 após 288 horas de irrigação.

Tratamentos	L Ref	CV (%)				L Ref	UD (%)				
		Horas→	0	72	144		216	288	0	72	144
Modelo A1											
T1+So+Sc↓	3,3	3,8	5,6	37,5	42,0	96,0	96,0	94,1	62,4	46,3	
T2+So+Sc↑	2,7	4,2	8,1	7,1	7,9	97,8	95,2	92,0	91,9	91,7	
T1+So+Sc↑	6,1	5,0	8,4	56,5	24,2	95,0	94,5	88,3	29,8	72,9	
T2+So+Sc↓	3,1	2,7	17,2	92,2	60,8	96,6	96,7	80,5	0,0	14,3	
Modelo A4											
T1+So+Sc↓	4,0	20,7	20,9	22,7	42,2	96,1	75,0	75,6	73,5	49,7	
T2+So+Sc↑	5,3	9,0	16,6	18,4	21,3	93,5	89,5	80,7	76,3	74,9	
T1+So+Sc↑	3,5	25,2	33,8	16,7	14,3	96,1	70,0	60,6	88,1	83,5	
T2+So+Sc↓	3,3	16,5	25,3	16,1	50,7	96,2	83,3	74,9	82,1	38,7	
Modelo A5											
T1+So+Sc↓	3,1	9,0	18,5	13,5	41,4	96,3	90,2	77,1	83,3	47,1	
T2+So+Sc↑	4,8	5,0	12,6	9,8	8,1	95,1	94,9	84,9	89,0	90,7	
T1+So+Sc↑	2,5	6,0	9,7	39,8	29,7	97,6	93,1	91,6	58,4	70,6	
T2+So+Sc↓	4,6	4,9	14,7	9,6	55,7	94,3	94,5	83,0	89,2	30,0	
Modelo A6											
T1+So+Sc↓	3,9	3,4	5,0	8,9	56,7	96,0	96,0	94,5	90,5	41,0	
T2+So+Sc↑	4,7	8,8	6,4	8,5	8,7	94,7	89,9	92,2	89,5	89,9	
T1+So+Sc↑	4,3	3,9	4,1	8,4	4,8	95,2	96,2	95,9	91,1	94,4	
T2+So+Sc↓	4,6	3,8	4,1	16,9	13,3	94,6	95,2	95,0	91,5	85,3	
Modelo A11											
T1+So+Sc↓	2,4	6,1	5,6	8,5	35,5	97,6	93,1	94,0	89,8	69,1	
T2+So+Sc↑	4,2	5,0	6,0	9,6	10,9	94,8	95,2	93,9	90,3	88,9	
T1+So+Sc↑	2,2	10,0	6,6	11,9	13,3	97,4	88,2	92,8	86,0	81,2	
T2+So+Sc↓	3,6	10,3	10,3	18,6	16,2	95,5	89,3	89,3	79,2	80,1	
Modelo A14											
T1+So+Sc↓	2,4	5,7	37,4	61,0	36,9	97,4	93,1	64,1	23,0	53,6	
T2+So+Sc↑	2,2	3,4	5,6	5,9	4,4	97,3	97,3	93,7	93,2	95,2	
T1+So+Sc↑	2,5	4,7	8,0	35,3	21,8	97,6	94,5	94,3	68,8	70,2	
T2+So+Sc↓	3,2	4,7	4,7	7,4	37,7	96,5	95,4	95,4	94,1	58,3	

* L Ref: leitura de vazão referência.

É importante ressaltar que alguns modelos tiveram redução de vazão e outros apresentaram aumento de vazão. Assim, os valores positivos indicam entupimento com redução de vazão e os valores negativos indicam entupimento com aumento de vazão, concordando com Ribeiro et al. (2010).

6 CONCLUSÕES

Os modelos de tubos gotejadores apresentaram desempenhos variáveis, tanto na suscetibilidade ao entupimento quanto no coeficiente de variação de vazão, sugerindo que a arquitetura interna dos gotejadores avaliados foi o fator determinante na caracterização do processo de entupimento;

Os modelos convencionais foram os mais sensíveis, tornando-os altamente suscetíveis ao entupimento quando posicionados para baixo. O modelo C3 foi o que apresentou melhor desempenho entre os modelos convencionais;

Entre os modelos autocompensantes, destacaram-se os modelos A2 e A3 com uma boa recuperação de vazão, apresentando excelente desempenho ao final do experimento.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, A. C.; COELHO, R. D.; MEDEIROS, P. R. F.; MÉLO, R. F. de; BARBOZA JÚNIOR, C. R. A.; DIAS, C. T. dos S. Entupimento de gotejadores em função da aplicação de superfosfato simples e ácido nítrico. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.62-71, jan./mar. 2009.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.22, n.2, p.251-257, 2006.

COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192p. Livre-Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

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.

RIBEIRO, P. A. de A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.279-287, mar./abr. 2010.

SOUZA, J. A. A.; CORDEIRO, E. A.; COSTA, E. L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.5-9, 2006.

SOLOMON, K. **Manufacturing variation of trickle irrigation systems**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.

TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; SILVEIRA, P. R. A. Avaliação de tratamentos utilizados para desobstrução de tubos gotejadores. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.1, p.43-55, 2010.