

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE GOTEJADORES AUTOCOMPENSANTES EXPOSTOS À APLICAÇÃO DINÂMICA DE CLORO LIVRE (Parte II)

Rubens Duarte Coelho¹; Marconi Batista Teixeira¹; Ralini Ferreira de Mélo¹; Meiby Carneiro de Paula²

¹*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, rdcoelho@esalq.usp.br*

²*Melhoramento genético e reprodução animal, IAPAR – Estação Experimental da Faz. Modelo, Ponta Grossa, PR*

1 RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a caracterização hidráulica de 14 modelos de gotejadores autocompensantes, quanto ao efeito do cloro na redução de vazão, causada pela aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, e o efeito linear de redução de vazão para dosagens e tempos de aplicação calculados a partir da dosagem padrão de 100 mg L⁻¹ de cloro livre. Utilizou-se uma bancada de ensaios em estrutura metálica com 11,0 m x 4,0 m, instalada no Laboratório de Irrigação do DER– ESALQ/USP. Semanalmente, foi feita a coleta de água utilizando o método gravimétrico para todos os emissores presentes na linha gotejadora de cada um dos modelos estudados. Os modelos de gotejadores ensaiados apresentaram sensibilidade variável à aplicação de cloro livre. Ocorreu um decréscimo de 10 a 20% em média da vazão (L h⁻¹) para a maior parte dos emissores, com exceção do modelo E que apresentou aproximadamente 90% de redução de vazão com 2688 h de funcionamento e redução drástica de vazão na ordem de 100% em virtude do bloqueio total do orifício para o emissor I. Embora o efeito da dosagem de cloro tenha sido linear, não se observaram alterações na vazão dos gotejadores com a aplicação de 10 mg L⁻¹ de cloro livre.

UNITERMOS: cloração, emissores autocompensantes, entupimento de emissores.

COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B.; MÉLO, R. F. de; PAULA, M. C. de. HYDRAULIC CHARACTERIZATION OF COMPENSATING EMITTERS EXPOSED TO FREE CHLORINE DYNAMIC APPLICATION (PART II)

2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the hydraulic characterization of 14 compensating emitters regarding the effect of chlorine on the reduction of the flow rate and the linear effect of flow rate reduction at different times and dosages. The reduction of the flow rate was caused by the dynamic application of 100 mg L⁻¹ of free chlorine. The experiment was carried out under laboratory conditions in a metal bench (11.0 m x 4.0 m) at the University of São Paulo Brazil. Emitter flow was evaluated weekly using the gravimetric method. The studied emitter models presented varying sensitivity to the application of free chlorine. An average reduction of 10 to 20% in the flow rate (L h⁻¹) for most emitters was observed. The “E” model presented a reduction of 90% in the flow rate over 2,688 operation hours. The “I” model presented a sharp reduction of flow rate on the order of

100% (total clogging). Although the linear effect of chlorine dosage was present in all models, changes in the flow rate among the emitters during chlorine application of 10 mg L^{-1} were not observed.

KEY WORDS: chlorination, compensating emitters, emitter clogging.

3 INTRODUÇÃO

Os três tipos de processos de obstrução conhecidos são: o físico, que está relacionado à sedimentação de partículas que vêm em suspensão na água; o químico, que está relacionado à precipitação de substâncias diluídas na água e o biológico que está associado ao desenvolvimento de microorganismos no interior da malha hidráulica (Pizarro, 1996).

Para a minimização do entupimento, são sugeridas diversas técnicas na literatura. Entre as práticas mais usuais, estão a filtragem e a cloração. O conjunto de medidas adotadas visando reduzir ou evitar o entupimento de emissores irá variar em função da fonte causadora do entupimento. A avaliação sistemática do sistema de irrigação e o monitoramento da qualidade da água são essenciais para prevenir o entupimento.

De modo geral, uma das medidas mais utilizadas é o tratamento químico da água, com o uso da acidificação e a cloração para controlar o entupimento de origem biológica.

A cloração pode ser contínua ou intermitente. No entanto, deve-se selecionar um método adequado à necessidade de cada sistema. A aplicação contínua é feita utilizando-se baixas dosagens de cloro (1 a 10 mg L^{-1} de cloro livre), e a intermitente pode ser efetuada utilizando-se aplicações de choque, fazendo uso de altas dosagens de cloro (acima de 100 mg L^{-1}), na última meia hora ou uma hora de irrigação, deixando o sistema hidráulico desativado por pelo menos 12 horas (Nakayama & Bucks, 1991).

Souza et al. (2006) verificaram que após quatro aplicações de 150 mg L^{-1} de cloro livre (hipoclorito de sódio, 12%) para recuperação da vazão nominal de um modelo de gotejador autocompensante com dois anos de uso, que operava com água, contendo $1,7 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro total, as vazões dos gotejadores ficaram muito abaixo da vazão nominal nas pressões abaixo de 200 kPa e com pequena variação a partir desta pressão. Tal fato pode indicar algum possível dano à membrana de compensação, o que é condizente com Nakayama et al. (1977), que afirmam que doses superiores a 100 mg L^{-1} podem causar danos à membrana de compensação de pressão. Desta forma, Souza et al. (2006) afirmam a importância de uma avaliação em gotejadores novos para verificar especificamente a ocorrência de danos à membrana de compensação, como forma de comprovar os resultados obtidos em seus estudos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, utilizando-se 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, sendo cada andar da bancada independente dos demais, permitindo a realização de ensaios de pesquisa simultâneos (Figura 1).



Figura 1 – Foto ilustrativa da bancada de ensaios.

A Tabela 1 apresenta a listagem dos gotejadores que foram utilizados na pesquisa, com suas características técnicas e a vazão mais comercializada no mercado nacional.

Tabela 1 – Características técnicas dos modelos com fluxo autocompensante, vazões, diâmetro nominal (\varnothing N), pressão de serviço, forma do labirinto e forma do emissor, utilizados na pesquisa

Fabricante	Modelo	Vazão	\varnothing N	Pressão de serviço	Forma do labirinto		Forma do emissor		
		L h ⁻¹	mm		kPa	Curto e tortuoso	Longo e tortuoso	Plano	Cilíndrico
Irrimon	Irridrip	2,5	16	100 – 350		X			X
Carborundum	Carbodrip PC	2,3	16	100 – 400		X			X
Netafim	Uniram	1,6	17	50 – 400	X		X		
Naan	Naan PC	3,8	16	100 – 350		X			X
Plastro	Hydro PCND	2,35	16	80 – 350		X			X
Netafim	Ram	2,3	17	50 – 400	X		X		
Drip In	Drip In PC	2,4	16	100 – 350		X			X
Naan	Naan PC	2,1	16	100 – 350		X			X
Netafim	Ram	1,6	16	50 – 400	X		X		
Irrimon	Twin Plus	1,8	17,5	100 – 350	X		X		
Plastro	Hydro PC	2,2	16	80 – 350		X			X
Netafim	Dripnet PC	1,6	17	50 – 400	X		X		
Plastro	Hydro PC	2,0	17	80 – 350		X			X
Irrimon	Vip Line	3,6	16	100 – 350	X				X

Fonte: Catálogos dos fabricantes.

Os espaçamentos dos emissores na linha gotejadora bem como as vazões e diâmetros de tubulação foram adotados conforme a recomendação técnica. Como os emissores ensaiados são produtos comerciais, os dados e análises aqui apresentados foram codificados para evitar qualquer tipo de especulação comercial dos resultados apresentados, uma vez que os ensaios conduzidos não são normatizados. As letras utilizadas na codificação dos modelos de gotejadores (A, B, C, ..., N), não têm nenhuma relação com os nomes comerciais apresentados na Tabela 1 e nem com a seqüência dos mesmos.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com utilização dos testes “F” para análise de variância e Tuckey, a 5% de significância, para comparação de médias e análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS (1999), pelo procedimento GLM (Modelo Linear Generalizado). A análise de regressão foi feita para as variáveis que apresentaram diferença significativa a 5%. A repetição foi dada pelo número mínimo de gotejadores presentes na linha gotejadora (dez) e não pelo número de linhas.

A água utilizada nos ensaios foi proveniente da estação de tratamento de água da ESALQ/USP – Piracicaba, SP. A água, após passar através dos gotejadores, era recolhida por um sistema de calhas que a reconduzia ao tanque de captação, constituindo, assim, um sistema de recirculação de água.

Utilizou-se um filtro de disco de 100 mesh para a retirada de partículas sólidas que porventura entravam no sistema. Acoplou-se um registro de 2' na linha principal e um registro de ¾' na entrada de cada nível. As linhas gotejadoras foram unidas no início e ao final, por registros de ½' e conexões de PVC e sustentadas por dispositivos (barras de ferro).

O sistema motobomba utilizado nos ensaios foi composto por duas bombas centrífugas marca KSB, modelos Megabloc 32-160.1R (utilizada para aplicação de água em todo o sistema e limpeza das linhas laterais) e Hydrobloc C 1000 (aplicação dos tratamentos químicos). A operacionalização do funcionamento da bancada, quanto ao horário de início e de parada, foi efetuada manualmente, obedecendo rigorosamente os horários de aplicação e leitura.

Para a medição da pressão de serviço, à entrada da linha de emissores, foi instalada uma tomada de pressão, permitindo o ajuste da pressão a cada medição de vazão, sendo utilizado, no entanto, um manômetro de Bourdon com faixa de leitura de 0 – 700 kPa.

Para a confecção das curvas vazão em função da pressão após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, utilizou-se um manômetro digital com faixa de leitura de 0 – 1000 kPa. Utilizaram-se as seguintes pressões: 50, 100, 200, 300 e 400 kPa (temperatura da água a 25 °C).

Primeiramente, foi realizada uma irrigação de 36 horas com os 14 modelos de gotejadores autocompensantes descritos na Tabela 1, para adequar o funcionamento da membrana de compensação de pressão antes de se iniciar o ensaio. A aplicação do tratamento foi realizada posteriormente, num intervalo de 24 h, sendo preparada uma calda num volume de água de 400 L (reservatório). Após o início da aplicação da calda, a pressão era aferida para 200 kPa, sendo medida também a temperatura e o pH da solução para o monitoramento adequado do ensaio. Para a manutenção do pH na faixa de 5,5 a 6,0, utilizou-se ácido fosfórico 85% P.A.

Uma vez por semana, foi realizada uma leitura individual dos gotejadores em cada uma das 14 linhas gotejadoras. O procedimento para as leituras de vazão de cada gotejador consistiu na pressurização do sistema (200 kPa), posicionamento de recipientes plásticos (com dimensões adequadas para receber um volume de até 1L) sob os respectivos gotejadores. Para

apoiar os recipientes plásticos junto aos gotejadores, foram utilizadas placas de madeira (25 x 15 cm²) apoiadas sobre a calha.

O procedimento para leitura consistiu no posicionamento dos recipientes (coletores) sob os respectivos gotejadores com uma defasagem de cinco segundos, retirada seqüencial dos recipientes após dez minutos com defasagem de cinco segundos, transporte dos mesmos à bancada de pesagem, pesagem e tabulação dos dados.

Para se obter maior exatidão foi utilizado o método gravimétrico para a determinação do volume coletado de cada emissor, expressando-se os valores de vazão em L h⁻¹. Foi utilizada uma balança de precisão certificada (OHAUS) com precisão de 0,01 g. Cada recipiente com água foi pesado; descontando-se sua tara e dividido pelo peso específico da água, para obtenção em volume.

As Figuras 2a e b mostram os acessórios (suporte de madeira, recipiente plástico, balança, cronômetro) utilizados para a coleta do volume de água no tempo pré-determinado.



Figura 2a. Coleta da água pelo recipiente

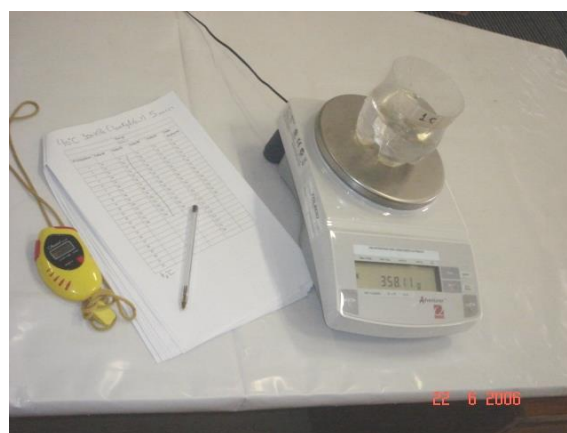


Figura 2b. Leitura do volume de água coletado em peso

Periodicamente, antes da leitura de vazão dos gotejadores em cada linha lateral, procedeu-se à limpeza das linhas com água da estação de tratamento da ESALQ/USP. Uma adaptação no tubo de 100 mm conectado ao fundo da calha permitia descartar, em um canal dentro do Laboratório de Irrigação, a água utilizada para a limpeza.

Depois de tabulados os pesos, efetuaram-se os cálculos da vazão, coeficiente de variação e uniformidade de distribuição de água pelas eq. (1 a 3).

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

em que:

q – vazão do gotejador novo (primeira leitura) ou usado, L h⁻¹;

P – peso da água coletada, g;

t – tempo de coleta, min; e

γ – peso específico da água, N m⁻³ (25 °C)

$$CV = \frac{s}{q} 100 \quad (2)$$

em que:

CV – coeficiente de variação, %;

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

\bar{q} – vazão média, L h⁻¹.

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

em que:

UD – uniformidade de distribuição, %;

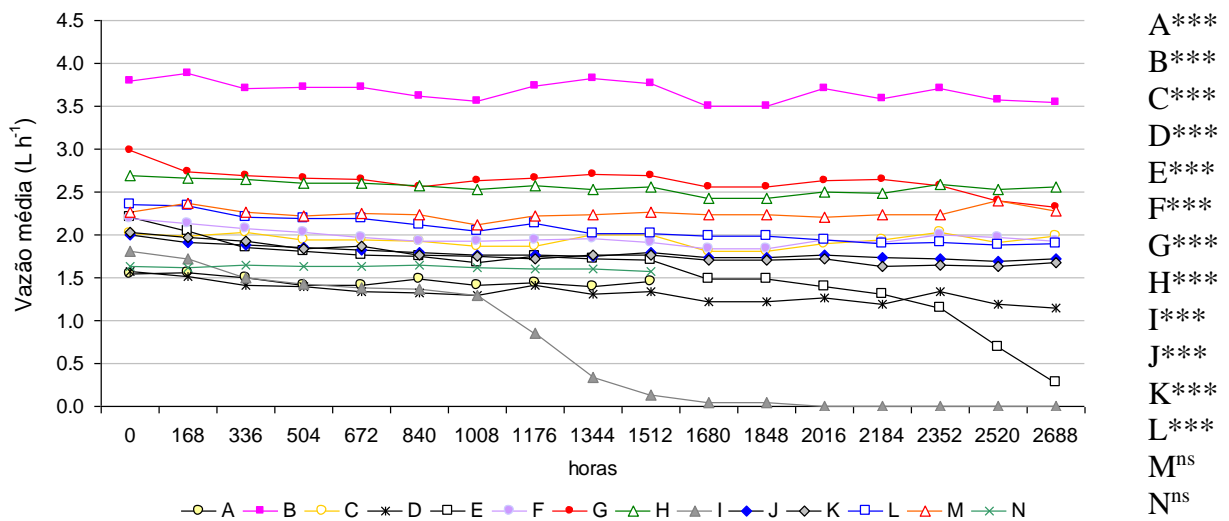
$q_{25\%}$ - vazão média de ¼ dos menores valores, L h⁻¹; e

$q_{\text{média}}$ – vazão média, L h⁻¹.

Cálculos estequiométricos foram realizados para a determinação da dosagem de cloro livre a ser utilizada, sendo que, para efeito de monitoramento, amostras de água ao final das laterais foram coletadas para determinar o teor de cloro livre, utilizando-se kits de medição usados no tratamento de piscinas, com a necessária diluição para atingir a faixa de leitura do kit, a qual é de 1 a 5 mg L⁻¹. Durante o período de ensaio, a cada três dias, a água do reservatório (tratamento) foi substituída, e uma nova solução preparada para evitar perdas quanto ao teor de 100 mg L⁻¹ de cloro livre presente na solução.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os valores de vazão média expresso em L h⁻¹ obtidos pela coleta individual de vazão dos emissores ao longo da linha e análise de regressão.



*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Figura 3. Vazão média expresso em L h⁻¹ e análise de regressão.

Regressões lineares são mais indicadas para gotejadores autocompensantes devido à propriedade dos mesmos de manterem a vazão aproximadamente constante para diferentes pressões de funcionamento, na faixa de operação recomendada pelo fabricante.

Observa-se que a vazão média diminuiu gradativamente ao longo do tempo com a aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre. Os modelos E e I foram os que sofreram as maiores alterações de redução de vazão.

A análise de regressão para cada modelo de gotejador foi significativa a 5%, com exceção dos modelos M e N, ou seja, ocorreu ao longo do tempo redução da vazão, devido à ação do cloro sobre a membrana de compensação.

A Figura 4 apresenta a variação da uniformidade de distribuição de água (UD), no período do ensaio, para os modelos de gotejadores avaliados.

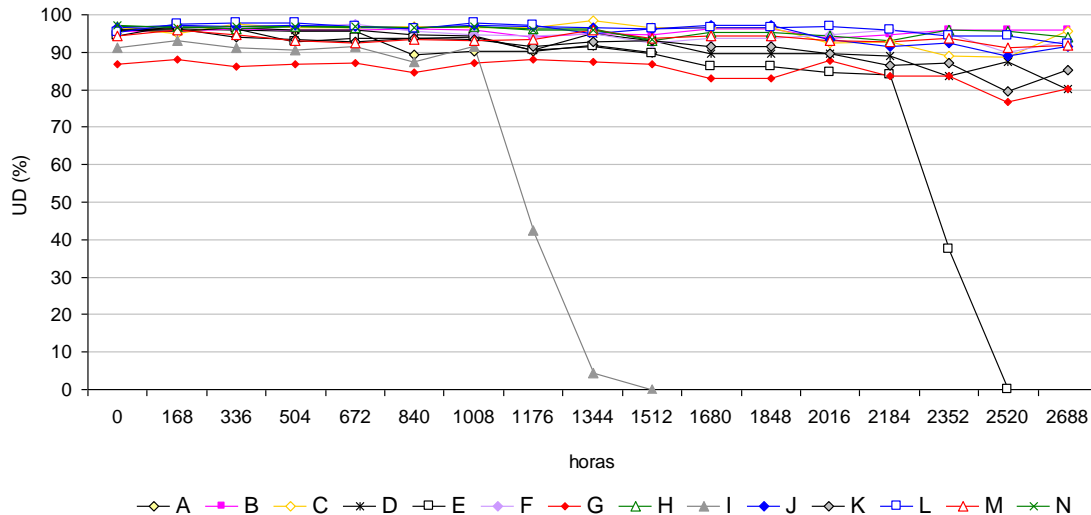


Figura 4. Variação da uniformidade de distribuição de água (UD), no período do ensaio.

Os modelos A, B, F, H, L, M e N apresentaram uniformidade de distribuição de água superior a 90%, podendo ser classificada como excelente, segundo Solomon (1979).

Os modelos C, D e J, apresentaram valores na faixa de 80 – 90%, podendo ser classificados como bons e os modelos G e K apresentaram valores $> 75\%$. Já os modelos E e I, chegaram a níveis inadequados para utilização na irrigação por gotejamento a partir de 2184 h e 1008 h de funcionamento, apresentando a partir, de 2520 h (modelo E) e 1512 h (modelo I) valores nulos de UD.

O modelo que demonstrou redução menos brusca na sua UD foi o modelo B, sendo que o menor valor por ele apresentado foi de 2,04% com 2016 h de funcionamento.

Os modelos A, B, C, E, F, H, J, K, L, M e N apresentaram coeficiente de variação de vazão no início (0 h de aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre) menor que 5%, enquanto que os demais modelos apresentaram valores de CV maior que 10% no início. As diferenças encontradas, nas demais épocas de amostragem, estão relacionadas ao processo de entupimento dos emissores devido ao dano químico sofrido pela membrana de compensação com conseqüente aumento de volume da mesma.

Os modelos A, B, C, F, H, J, L, M e N apresentaram coeficiente de variação no final do experimento $< 10\%$, enquanto que os modelos D, F, G e K apresentaram valores $< 20\%$ com 2688 h de funcionamento. Já os modelos E e I apresentaram uma tendência de acréscimo nos valores de CV ao longo do experimento, sendo que com 2352 h de funcionamento, o modelo E apresentou valor de CV acima de 100% e o modelo I apresentou o mesmo comportamento com apenas 1176 h de funcionamento.

O modelo que apresentou o melhor desempenho com respeito ao CV foi o modelo B, indicando que a redução de vazão de 7% no período, ocorreu uniformemente para todos os emissores ao longo da linha lateral.

A Figura 5 apresenta o coeficiente de variação (CV), no período do ensaio, para os modelos de gotejadores avaliados.

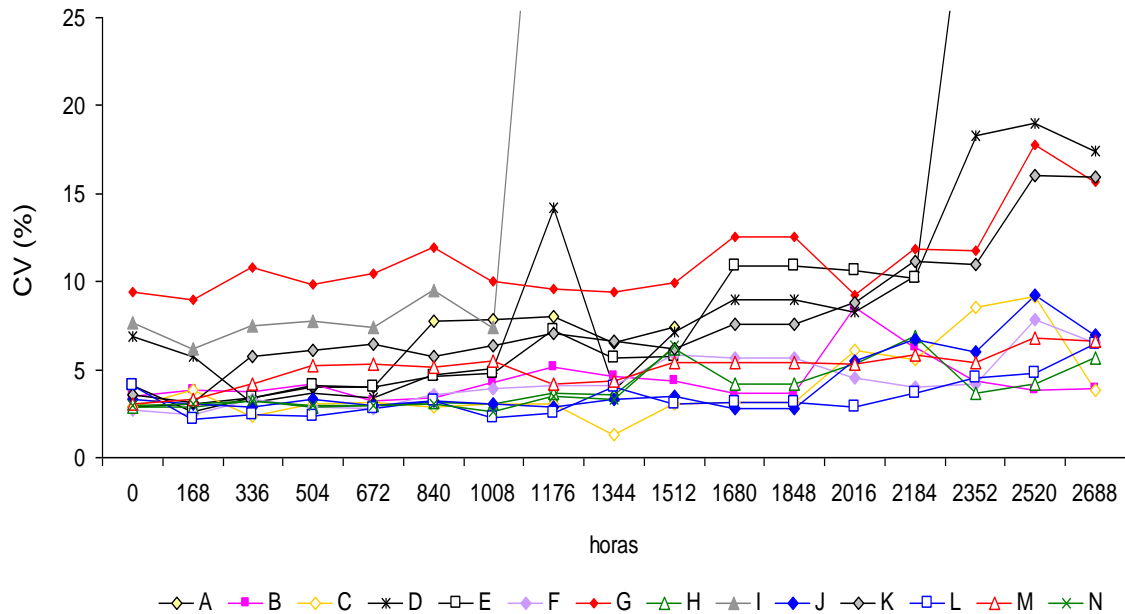


Figura 5. Coeficiente de variação de vazão (CV), no período do ensaio.

A Tabela 2 apresenta os valores dos coeficientes da equação do emissor (K e x), e vazão média (q_m) para as curvas vazão em função da pressão para 0h, 1152 h e 2688 h a 25 °C (temperatura da água).

Obs.: Todos os emissores, com exceção dos modelos K e N para 0h, apresentaram equação tipo potencial:

$$q = K (H, \text{kPa})^x.$$

^[a] Equação tipo linear: $q = x(H, \text{kPa}) + K$.

Devido aos modelos A e N terem sido adquiridos 60 dias após o início do experimento, são apresentadas as curvas vazão em função da pressão para o início (0h) e o tempo final de 1512 h de funcionamento do sistema. Já para o modelo I, não foi realizada a curva vazão em função da pressão para 2688 h porque todos os gotejadores já se encontravam entupidos.

O valor do coeficiente x da equação do emissor ($q = K H^x$) indica que o regime de escoamento pode ser considerado turbulento, independente do tempo operacional aos quais os diferentes modelos de gotejadores mantiveram-se expostos à ação do cloro, com conseqüente redução de vazão, mas sem alterar seu regime de fluxo.

Tabela 2. Coeficientes da equação do emissor para diferentes tempos de aplicação de 100 mg L⁻¹ de cloro livre e vazão média (q_m)

Emissor	Tempo	Coeficientes da equação ^[a] ^[b]		q _m (200 kPa)*
	h	K	x	(L h ⁻¹)
A	0	1,5473	0,0022	1,55 ^a
	1152	—	—	—
	1512	1,3854	0,0087	1,45 ^b
B	0	3,8689	0,0022	3,79 ^a
	1152	2,4638	0,0844	3,76 ^{ab}
	2688	3,5345	0,0057	3,54 ^b
C	0	2,0519	0,0043	2,05 ^a
	1152	1,3067	0,0857	1,98 ^{ab}
	2688	1,2789	0,0768	1,99 ^b
D	0	1,5799	0,0017	1,54 ^a
	1152	0,8669	0,0952	1,34 ^b
	2688	0,5437	0,1334	1,14 ^c
E	0	2,3185	0,0024	2,31 ^a
	1152	1,2021	0,0784	1,78 ^b
	2688	0,1129	0,1892	0,28 ^c
F	0	2,472	-0,0141	2,19 ^a
	1152	1,3149	0,0802	1,97 ^{ab}
	2688	1,7583	0,0169	1,92 ^b
G	0	3,295	-0,0146	3,02 ^a
	1152	1,7033	0,0892	2,54 ^{ab}
	2688	2,5601	-0,004	2,32 ^b
H	0	1,9326	0,0652	2,72 ^a
	1152	1,2681	0,1386	2,58 ^a
	2688	1,3298	0,1223	2,56 ^a
I	0	1,0156	0,1192	1,89 ^a
	1152	0,2146	0,3006	1,03 ^b
	2688	—	—	0,00 ^c
J	0	1,9579	0,008	2,05 ^a
	1152	1,1527	0,0879	1,80 ^a
	2688	0,8691	0,1298	1,72 ^a
K	0 ^[a]	2,2248	-0,0001	2,14 ^a
	1152	1,1969	0,0807	1,81 ^a
	2688	1,5043	0,0304	1,68 ^a
L	0	2,5135	0,0024	2,49 ^a
	1152	1,3581	0,0887	2,08 ^b
	2688	1,7451	0,0173	1,90 ^b
M	0	2,118	0,0236	2,40 ^a
	1152	1,2526	0,1083	2,23 ^a
	2688	0,857	0,182	2,24 ^a
N	0 ^[a]	1,6629	0,00001	1,63 ^a
	1152	—	—	—
	1512	1,532	0,0068	1,57 ^b

* 200 kPa – valor de pressão utilizado, no período do ensaio (temperatura da água = 25 °C).

A Tabela 3 mostra as curvas vazão em função da pressão após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, com temperatura da água igual a 25°C, utilizando as seguintes pressões: 50, 100, 200, 300 e 400 kPa e teste de média, respectivamente.

Tabela 3. Curvas vazão em função da pressão, expresso em L h⁻¹ após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, com temperatura da água igual a 25°C, e teste de média, respectivamente

Modelos	Pressões (kPa)				
	50	100	200	300	400
A	1,44 ^b	1,43 ^b	1,45 ^b	1,49 ^b	1,67 ^a
B	3,70 ^{ab}	3,53 ^b	3,54 ^b	3,83 ^a	3,81 ^a
C	1,74 ^b	1,79 ^b	1,99 ^a	2,08 ^a	2,07 ^a
D	0,93 ^a	0,97 ^a	1,14 ^a	1,15 ^a	0,87 ^a
E	0,17 ^a	0,41 ^a	0,28 ^a	0,35 ^a	0,14 ^a
F	1,82 ^{bc}	1,91 ^{ab}	1,92 ^{ab}	2,01 ^a	1,70 ^c
G	2,65 ^a	2,43 ^a	2,32 ^a	2,65 ^a	2,47 ^a
H	2,19 ^b	2,26 ^b	2,56 ^a	2,75 ^a	2,58 ^a
I	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
J	1,41 ^c	1,65 ^b	1,72 ^{ab}	1,84 ^a	1,77 ^{ab}
K	0,00 ^c	1,76 ^{ab}	1,68 ^b	1,89 ^a	1,57 ^b
L	1,86 ^a	1,90 ^a	1,90 ^a	2,05 ^a	1,98 ^a
M	1,78 ^c	1,95 ^{bc}	2,29 ^{ab}	2,49 ^a	2,19 ^{bc}
N	1,58 ^a	1,57 ^a	1,57 ^a	1,63 ^a	1,60 ^a

* Média com a mesma letra minúscula na linha não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os emissores F, H, J e M perderam a capacidade de regulação de vazão dentro da faixa de pressão ensaiada.

O emissor K não apresentou vazão para a pressão de 50 kPa devido a sua função anti-drenante que faz com que o mesmo entre em funcionamento com pressões superiores a esta.

O modelo E apresentou redução severa de vazão ao longo do tempo, mas sem a ocorrência de distúrbios quanto à compensação de pressão.

As Tabelas 4a, b e c apresentam uma proposta dos autores para simulação do tempo necessário para ocorrência de danos na membrana de compensação, para diferentes doses de cloro livre e tempos de aplicação em função dos resultados obtidos com a aplicação contínua de 100 mg L⁻¹ de cloro livre durante os ensaios. Admite-se tal proposta com base na hipótese de comportamento linear em função da dosagem e do tempo de contato para que o cloro danifique a membrana de compensação.

Observa-se pelas Tabelas 4a, b e c, que, ao utilizar a dose de 100 mg L⁻¹ de cloro livre com um tempo de aplicação menor (1 h de aplicação), ocorre linearmente uma redução de até 24 vezes para que os diferentes modelos de gotejadores ensaiados possam entupir completamente, ou seja, para os modelos E e I que apresentam redução de vazão igual a 100% com apenas 0,58 e 0,23 anos, a aplicação num tempo menor (1 h) pode contribuir para que o completo entupimento desses emissores apareça somente após 13,81 e 5,52 anos de uso com aplicação diária de 100 mg L⁻¹ de cloro livre.

A utilização de dosagens menores (50, 25 e 10 mg L⁻¹) com tempo de aplicação de 24 h dia⁻¹ também contribui para reduzir o aparecimento de danos na membrana de compensação num tempo menor, ou seja, com uma dosagem de 50 mg L⁻¹ de cloro livre (24 h dia⁻¹) o

entupimento total (dano severo na membrana de compensação) será duas vezes menor que com a aplicação de 100 mg L^{-1} , isto para uma avaliação linear do dano causado à membrana de compensação em função dos resultados obtidos durante o ensaio.

A associação de uma dosagem menor (10 mg L^{-1}) com um tempo de aplicação menor (5 ou 1 hora) é superior a 15 anos de uso do sistema de irrigação por gotejamento, para o caso de se estar avaliando apenas danos na membrana de compensação, desconsiderando, assim, outros fatores em campo que possam contribuir para o mau funcionamento do sistema num tempo menor, como a falta de manutenção do sistema de filtragem, uso de herbicidas, má qualidade da água.

A única exceção é para o modelo I no caso de se utilizar uma aplicação contínua de 10 mg L^{-1} de cloro livre por 5 h dia^{-1} , que pode contribuir para o completo entupimento do emissor com um tempo de uso igual há 11,05 anos. Já para 1 h dia^{-1} , o dano total ao emissor ocorrerá após 55,23 anos de uso.

Sagi (1995) observou que para o controle do entupimento de gotejadores por bactérias oxidantes de enxofre, o uso de hipoclorito de sódio a 10%, por uma hora, à concentração de 10 mg L^{-1} de cloro livre, foi efetiva somente para curtos intervalos entre as aplicações, e que a vazão média de gotejadores tratados com cloro diariamente ou a cada três dias foi 97% da vazão inicial, enquanto nos gotejadores-testemunha e nos que receberam cloro a cada 10 dias, a vazão declinou para 75 e 79%, respectivamente. São dosagens que quando confrontadas com os dados apresentados nas Tabelas 4a, b e c, não apresentam risco de danos à membrana de compensação num tempo inferior a 15 anos de uso do sistema de irrigação.

Tabela 4a. Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos A a C

Modelo	Dose mg L^{-1}	Aplicação h dia^{-1}	Redução de vazão (%)							
			5	10	15	20	40	60	80	100
	Tempo (anos)									
A	100	24	0,10	0,17	0,26	0,35	0,69	1,04	1,38	1,73
	100	1	2,30	4,14	6,21	8,28	16,57	24,85	33,14	41,42
	50	24	0,19	0,35	0,52	0,69	1,38	2,07	2,76	3,45
	25	24	0,38	0,69	1,04	1,38	2,76	4,14	5,52	6,90
	10	24	0,96	1,73	2,59	3,45	6,90	10,36	13,81	17,26
	10	5	4,60	8,28	12,43	16,57	33,14	49,71	66,28	82,85
	10	1	23,01	41,42	62,14	82,85	165,70	248,55	331,40	414,25
B	100	24	0,10	0,21	0,32	0,42	0,84	1,27	1,69	2,11
	100	1	2,30	5,06	7,59	10,13	20,25	30,38	40,50	50,63
	50	24	0,19	0,42	0,63	0,84	1,69	2,53	3,38	4,22
	25	24	0,38	0,84	1,27	1,69	3,38	5,06	6,75	8,44
	10	24	0,96	2,11	3,16	4,22	8,44	12,66	16,88	21,10
	10	5	4,60	10,13	15,19	20,25	40,50	60,76	81,01	101,26
	10	1	23,01	50,63	75,95	101,26	202,52	303,78	405,04	506,30
C	100	24	0,10	0,21	0,32	0,42	0,84	1,27	1,69	2,11
	100	1	2,30	5,06	7,59	10,13	20,25	30,38	40,50	50,63
	50	24	0,19	0,42	0,63	0,84	1,69	2,53	3,38	4,22
	25	24	0,38	0,84	1,27	1,69	3,38	5,06	6,75	8,44
	10	24	0,96	2,11	3,16	4,22	8,44	12,66	16,88	21,10
	10	5	4,60	10,13	15,19	20,25	40,50	60,76	81,01	101,26
	10	1	23,01	50,63	75,95	101,26	202,52	303,78	405,04	506,30

Tabela 4b. Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos D a I

Modelo	Dose mg L ⁻¹	Aplicação h dia ⁻¹	Redução de vazão (%)							
			5	10	15	20	40	60	80	100
	Tempo (anos)									
D	100	24	0,02	0,04	0,17	0,29	0,58	0,86	1,15	1,44
	100	1	0,46	0,92	4,14	6,90	13,81	20,71	27,62	34,52
	50	24	0,04	0,08	0,35	0,58	1,15	1,73	2,30	2,88
	25	24	0,08	0,15	0,69	1,15	2,30	3,45	4,60	5,75
	10	24	0,19	0,38	1,73	2,88	5,75	8,63	11,51	14,38
	10	5	0,92	1,84	8,28	13,81	27,62	41,42	55,23	69,04
	10	1	4,60	9,21	41,42	69,04	138,08	207,12	276,16	345,21
E	100	24	0,02	0,04	0,06	0,08	0,23	0,35	0,46	0,58
	100	1	0,46	0,92	1,38	1,84	5,52	8,28	11,05	13,81
	50	24	0,04	0,08	0,12	0,15	0,46	0,69	0,92	1,15
	25	24	0,08	0,15	0,23	0,31	0,92	1,38	1,84	2,30
	10	24	0,19	0,38	0,58	0,77	2,30	3,45	4,60	5,75
	10	5	0,92	1,84	2,76	3,68	11,05	16,57	22,09	27,62
	10	1	4,60	9,21	13,81	18,41	55,23	82,85	110,47	138,08
F	100	24	0,04	0,08	0,21	0,28	0,56	0,84	1,13	1,41
	100	1	0,92	1,84	5,06	6,75	13,50	20,25	27,00	33,75
	50	24	0,08	0,15	0,42	0,56	1,13	1,69	2,25	2,81
	25	24	0,15	0,31	0,84	1,13	2,25	3,38	4,50	5,63
	10	24	0,38	0,77	2,11	2,81	5,63	8,44	11,25	14,06
	10	5	1,84	3,68	10,13	13,50	27,00	40,50	54,01	67,51
	10	1	9,21	18,41	50,63	67,51	135,01	202,52	270,03	337,53
G	100	24	0,02	0,04	0,27	0,36	0,72	1,07	1,43	1,79
	100	1	0,46	0,92	6,44	8,59	17,18	25,78	34,37	42,96
	50	24	0,04	0,08	0,54	0,72	1,43	2,15	2,86	3,58
	25	24	0,08	0,15	1,07	1,43	2,86	4,30	5,73	7,16
	10	24	0,19	0,38	2,68	3,58	7,16	10,74	14,32	17,90
	10	5	0,92	1,84	12,89	17,18	34,37	51,55	68,73	85,92
	10	1	4,60	9,21	64,44	85,92	171,84	257,75	343,67	429,59
H	100	24	0,17	0,25	0,37	0,50	1,00	1,50	1,99	2,49
	100	1	4,14	5,98	8,98	11,97	23,93	35,90	47,87	59,84
	50	24	0,35	0,50	0,75	1,00	1,99	2,99	3,99	4,99
	25	24	0,69	1,00	1,50	1,99	3,99	5,98	7,98	9,97
	10	24	1,73	2,49	3,74	4,99	9,97	14,96	19,95	24,93
	10	5	8,28	11,97	17,95	23,93	47,87	71,80	95,74	119,67
	10	1	41,42	59,84	89,75	119,67	239,34	359,01	478,68	598,36
I	100	24	0,02	0,04	0,06	0,08	0,12	0,13	0,15	0,23
	100	1	0,46	0,92	1,38	1,84	2,76	3,22	3,68	5,52
	50	24	0,04	0,08	0,12	0,15	0,23	0,27	0,31	0,46
	25	24	0,08	0,15	0,23	0,31	0,46	0,54	0,61	0,92
	10	24	0,19	0,38	0,58	0,77	1,15	1,34	1,53	2,30
	10	5	0,92	1,84	2,76	3,68	5,52	6,44	7,36	11,05
	10	1	4,60	9,21	13,81	18,41	27,62	32,22	36,82	55,23

Tabela 4c. Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos J a N

Modelo	Dose mg L ⁻¹	Aplicação h dia ⁻¹	Redução de vazão (%)							
			5	10	15	20	40	60	80	100
			Tempo (anos)							
J	100	24	0,04	0,17	0,29	0,38	0,77	1,15	1,53	1,92
	100	1	0,92	4,14	6,90	9,21	18,41	27,62	36,82	46,03
	50	24	0,08	0,35	0,58	0,77	1,53	2,30	3,07	3,84
	25	24	0,15	0,69	1,15	1,53	3,07	4,60	6,14	7,67
	10	24	0,38	1,73	2,88	3,84	7,67	11,51	15,34	19,18
	10	5	1,84	8,28	13,81	18,41	36,82	55,23	73,64	92,05
	10	1	9,21	41,42	69,04	92,05	184,11	276,16	368,22	460,27
K	100	24	0,04	0,06	0,23	0,29	0,58	0,86	1,15	1,44
	100	1	0,92	1,38	5,52	6,90	13,81	20,71	27,62	34,52
	50	24	0,08	0,12	0,46	0,58	1,15	1,73	2,30	2,88
	25	24	0,15	0,23	0,92	1,15	2,30	3,45	4,60	5,75
	10	24	0,38	0,58	2,30	2,88	5,75	8,63	11,51	14,38
	10	5	1,84	2,76	11,05	13,81	27,62	41,42	55,23	69,04
	10	1	9,21	13,81	55,23	69,04	138,08	207,12	276,16	345,21
L	100	24	0,04	0,10	0,21	0,29	0,58	0,86	1,15	1,44
	100	1	0,92	2,30	5,06	6,90	13,81	20,71	27,62	34,52
	50	24	0,08	0,19	0,42	0,58	1,15	1,73	2,30	2,88
	25	24	0,15	0,38	0,84	1,15	2,30	3,45	4,60	5,75
	10	24	0,38	0,96	2,11	2,88	5,75	8,63	11,51	14,38
	10	5	1,84	4,60	10,13	13,81	27,62	41,42	55,23	69,04
	10	1	9,21	23,01	50,63	69,04	138,08	207,12	276,16	345,21
M	100	24	0,23	0,46	0,69	0,92	1,84	2,76	3,68	4,60
	100	1	5,52	11,05	16,57	22,09	44,19	66,28	88,37	110,47
	50	24	0,46	0,92	1,38	1,84	3,68	5,52	7,36	9,21
	25	24	0,92	1,84	2,76	3,68	7,36	11,05	14,73	18,41
	10	24	2,30	4,60	6,90	9,21	18,41	27,62	36,82	46,03
	10	5	11,05	22,09	33,14	44,19	88,37	132,56	176,75	220,93
	10	1	55,23	110,47	165,70	220,93	441,86	662,79	883,73	1104,66
N	100	24	0,17	0,35	0,52	0,69	1,38	2,07	2,76	3,45
	100	1	4,14	8,28	12,43	16,57	33,14	49,71	66,28	82,85
	50	24	0,35	0,69	1,04	1,38	2,76	4,14	5,52	6,90
	25	24	0,69	1,38	2,07	2,76	5,52	8,28	11,05	13,81
	10	24	1,73	3,45	5,18	6,90	13,81	20,71	27,62	34,52
	10	5	8,28	16,57	24,85	33,14	66,28	99,42	132,56	165,70
	10	1	41,42	82,85	124,27	165,70	331,40	497,10	662,79	828,49

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na condução do ensaio permitiram chegar às seguintes conclusões:

- a. Os emissores F, H, J e M perderam a capacidade de regulação de vazão dentro da faixa de pressão ensaiada;
- b. Os emissores E e I reduziram drasticamente a vazão, mostrando que a ação do cloro em dosagem extrema afetou a regulação da membrana de compensação desses emissores.
- c. A hipótese adotada de efeito linear da dosagem de cloro sobre as membranas dos emissores evidencia uma elevada segurança na aplicação de 10 mg L^{-1} de cloro livre para todos os modelos de gotejadores avaliados, uma vez que o dano do produto químico nas membranas altera a vazão dos emissores dentro de limites bastante reduzidos, aceitáveis do ponto de vista prático no campo. Caso a hipótese de linearidade venha a ser rejeitada (existência de concentração limiar de dano), o efeito ocasionado será menor ainda, pois, em geral, a taxa de ataque aumenta com a concentração, mas em muitos casos há níveis limiares no qual nenhum efeito químico significativo é observado;
- d. De acordo com os resultados obtidos, observa-se que as recomendações das empresas de irrigação para uso de cloro no campo precisam ser revistas, pois estão bem abaixo do nível de dano aos emissores, o que dificulta a limpeza dos mesmos sob condição de tratamento de choque para dosagens máximas recomendadas de 10 mg L^{-1} de cloro livre.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. 2004. 130f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARARO, D. C. et al. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.

LEITE, J. A. O. **Avaliação da susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio**. 1995. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.; FRENCH, O. F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, Michigan, v. 20, p. 278-280, 1977.

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

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3. ed. Madri: Mundi Prensa, 1996. 513

p.

RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação**, 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

SAGI, G.; PAZ, E.; RAVINA, I. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. **Proceedings**.... St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254

STATISTICAL ANALYSES SYSTEM. **The SAS system for Windows Version 8**. 5. ed. Cary, 1999. 88 p.

SCHISCHA, A. et al. Drip irrigation with reclaimed effluent - the clogging problems. 'The platform trials' test filters and emitter sensitivity. **International Water and Irrigation Review**, Israel, v. 17, n. 3, p. 8-12, 1997.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1043, 1979.

SOUZA, J. A. A. de; CORDEIRO, E. de A.; COSTA, E. L. da. 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.