

ENTUPIMENTO DE GOTEJADORES EM DECORRÊNCIA DE PULSOS DE PARTÍCULAS SÓLIDAS NA MALHA HIDRÁULICA

Rubens Duarte Coelho¹; Luiz Artur Alvarenga Vilela²; Ronaldo Souza Resende¹; Marconi Batista Teixeira¹; Jocelito Sacol de Sá¹

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

²*In memoriam*

1 RESUMO

Ruptura de tubulações em sistemas de irrigação resulta, inevitavelmente, na entrada de partículas sólidas do solo, as quais podem entupir gotejadores. Em experimento realizado em condições de laboratório, foi avaliada a sensibilidade de cinco modelos de gotejadores ao entupimento de causa física, através da simulação de pulso de sujeira com solo, em função do tempo de operação, da posição de instalação do gotejador na linha terciária e da textura do solo. Os resultados demonstraram ser o fator posição de instalação do emissor de maior preponderância em relação a fatores de textura do solo e tempo de operação. Os modelos Ram e Tiran apresentaram menor sensibilidade ao pulso, enquanto os modelos Streamline, Dripline e Typhoon mostraram desempenho inferior.

UNITERMOS: obstrução física, gotejamento, pulso de sujeira

COELHO, R. D.; VILELA, L. A. A.; RESENDE, R. S.; TEIXEIRA, M.B.; SÁ, J. S. de. DRIP CLOGGING BY DIRTINESS PULSE OCCURRENCE

2 ABSTRACT

An experiment was conducted at The Laboratory of Irrigation in The Department of Rural Engineering, ESALQ, USP, Piracicaba-SP, Brazil, in order to evaluate different dripper designs for physical clogging potential to dirtiness pulse by soil intake in pipeline. System operation time, emitter connection point and soil texture were evaluated. The results showed that emitter connection point was more sensitive to plugging potential than soil texture and system operation time. There were significant differences among emitter models in relation to clogging potential. Ram and Tiran models had better performance than Streamline, Dripline and Typhoon ones.

KEYWORDS: physical plugging, drip irrigation, dirtiness pulse

3 INTRODUÇÃO

A obstrução de emissores se constitui no maior problema associado à operação de irrigação por gotejamento. As pequenas aberturas disponíveis para a saída de água podem ser facilmente preenchidas com partículas orgânicas e inorgânicas como algas, sais e compostos resultantes de reações químicas, causando o entupimento das mesmas. As alterações do meio

líquido, como por exemplo, pH e temperatura, também podem influenciar na obstrução dos emissores.

Durante a montagem ou mesmo manutenção de sistemas localizados de irrigação, o serviço deve ser realizado de forma a evitar que partículas de solo adentrem às tubulações. Entretanto, nem sempre isto é possível, seja por descuido ou por possíveis acidentes. Adicionalmente, quando da ocorrência de rupturas em qualquer ponto de malha hidráulica do sistema de irrigação, inicia-se, após o desligamento do sistema para reparo, um processo de refluxo de água com conseqüente formação de vácuo, o que resulta na possibilidade de entrada de partículas do solo, após o sistema de filtragem.

Para a retirada destas partículas do interior da tubulação se faz necessário a abertura dos pontos extremos da tubulação para promover o escoamento destas para fora da tubulação, o que pode não acontecer efetivamente. A formação de filmes biológicos dentro das tubulações em uso, em razão da ação de microrganismos, além de promover possíveis alterações na uniformidade de distribuição de água, também se constitui em um fator capaz de ampliar os efeitos decorrentes da entrada de partículas de solo nas tubulações, uma vez que as partículas mais finas de argila podem aderir ao biofilme, dificultando sua remoção.

Inexistem informações na literatura a respeito do entupimento de gotejadores devido à penetração acidental de partículas de sujeira nas canalizações, tanto em emissores novos como em usados, onde pode ocorrer formação de filmes biológicos, decorrentes da ação de bactérias no interior das tubulações.

O entupimento de emissores por causa física está principalmente relacionado com a quantidade de sedimentos que está presente em suspensão na água de irrigação ou que é succionada pelo conjunto motobomba. Partículas de PVC e fitas de polietileno utilizadas para vedação de rosca em tubos, bem como restos de corpos de pequenos insetos, principalmente formigas e aranhas, estão comumente associados à ocorrência deste tipo de entupimento; a existência de partículas físicas foi identificada por Gilbert et al. (1981) como a principal causa de entupimento de emissores, com 55% das ocorrências.

Boman & Ontermma (1994) observaram em entrevistas a irrigantes, realizadas na Flórida, EUA, que o entupimento de emissores por estas causas foi observado em 72% dos entrevistados, estando próximo ao percentual de 54% determinado por Boman (1995), em estudo de campo, também na Flórida.

Nakayama & Bulks (1980), citados por Gilbert & Ford (1986) apontam um limite de 50 mg L⁻¹ de sólidos em suspensão para que uma água seja considerada de risco mínimo para ocasionar entupimento físico. Capra & Scicolone (1998) propuseram, para as condições do seu trabalho, uma classificação mais flexível, com limite de 200 mg L⁻¹ para a água ser considerada como de risco mínimo.

A dificuldade de se remover todo material em suspensão foi apontada por Nakayama et al. (1979). Qualquer esforço no sentido de reduzir a malha dos elementos filtrantes esbarra no aumento da frequência de retrolavagens, resultando em freqüente desbalanço hidráulico do sistema e dificultando o trabalho de fertirrigação.

Assim, a suscetibilidade do gotejador selecionado deve ser considerada antes da escolha do sistema de filtração, observando a recomendação do fabricante quanto ao grau mínimo de filtragem. Não dispondo-se desse dado, a malha de filtração deve ser definida com base na décima parte da menor abertura de passagem de água do emissor (Nakayama et al., 1979).

Para Pizarro (1996), o risco de obstrução de um emissor depende do diâmetro mínimo do orifício de saída e da velocidade da água neste ponto. Nos emissores de baixa vazão, o diâmetro de saída pode variar de 0,3 até aproximadamente 1,0 mm, excetuando-se os tubos

porosos, nos quais as perfurações são de tamanho microscópico. Nos emissores de alta vazão, como no caso de microaspersores, o risco de obstrução é menor, pois os diâmetros podem ser superiores a 2,0 mm. O autor também comenta que quanto maior a velocidade da água dentro de um conduto, menor é o risco de sedimentação e por esta razão, prefere-se o regime turbulento ao laminar para fluxo de água no interior dos gotejadores.

Vários modelos de microaspersores disponíveis no mercado são dotados de mecanismos anti-insetos, visando minimizar o problema de entrada de formigas e outros insetos em microaspersores, pois com o funcionamento do sistema estes morrem, acumulando-se dentro do emissor e causando entupimento dos mesmos.

O decréscimo gradual da velocidade da água do início ao fim da linha lateral, devido à vazão dos emissores, resulta no assentamento de pequenas partículas e sua acumulação no final das linhas. Dessa forma, as laterais devem ser lavadas periodicamente para remoção desses depósitos (Shannon et al., 1982).

O presente trabalho teve como objetivo estudar a susceptibilidade de diversos modelos de gotejadores ao entupimento causado pela entrada de partículas de solo com diferentes texturas no interior de tubulações de sistemas de irrigação novos e usados em diferentes posicionamentos de instalação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

Este trabalho foi desenvolvido em bancada de ensaio instalada no Laboratório de Irrigação da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), situada na cidade de Piracicaba, SP.

Os tratamentos constituíram-se de cinco modelos de gotejadores (Streamline 100 - SL, Ram 17L - RAM, Dripline 2000 - DL, Tiran 17 - TR e Typhoon 20 - TY), avaliados sob duas posições de montagem na linha lateral (Para cima - P/C e Para Baixo - P/B), duas condições de tempo de uso do gotejador (gotejador com 6.000 horas de uso e novo) e duas texturas de solo (Argiloso e Arenoso). As características dos gotejadores e solos estudados, encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Os emissores avaliados são todos do tipo câmara simples, percurso tortuoso, fluxo turbulento e apresentaram, em ensaios preliminares, coeficiente de uniformidade de fabricação - CV, inferior a 5%.

Tabela 1. Características dos emissores utilizados

Código	Modelo	Vazão (Lh ⁻¹)	Pressão (kPa)	Diâmetro orifício (mm)	Espessura da parede (mm)	Diâmetro interno (mm)
SL	STREAMLINE	1,60	100	0,53	0,25	16,0
RAM	RAM 17 L	2,30	100	1,04	0,62	14,6
DL	DRIPLINE	2,00	100	-	0,90	15,2
TR	TIRAN 17	2,00	100	1,38	1,20	14,6
TY	TYPHOON 20	1,75	100	0,71	0,50	15,4

Fonte: Catálogos técnicos dos fabricantes.

Tabela 2. Composição granulométrica dos solos

Tipo de solo	Areia (dag kg ⁻¹)	Silte (dag kg ⁻¹)	Argila (dag kg ⁻¹)	Densidade de partícula (g.cm ⁻³)
Latossolo Vermelho-Amarelo	69,5	12,0	18,5	2,66
Nitossolo vermelho	42,3	17,5	40,2	2,92

Os solos utilizados no experimento são classificados como Nitossolo vermelho, com textura franco-argilosa, e Latossolo Vermelho-Amarelo, textura franco-arenosa, segundo EMBRAPA (1999). Após prévia secagem e destorroamento, as amostras de solo foram passadas em peneiras com abertura de malha de 2 mm. Para efeito de designação de tratamentos, o solo Nitossolo vermelho foi denominado argiloso e o solo Latossolo, como arenoso.

4.2 Descrição da bancada do ensaio

A bancada foi confeccionada em madeira, com dimensões de 6m de comprimento, 1,3 m de largura e 1,45 m de altura, onde foram instaladas as linhas de gotejadores. A representação esquemática do ensaio é apresentada na Figura 1.

Os gotejadores foram distribuídos em 4 blocos distintos, cada um composto por 5 linhas, sendo uma para cada modelo de gotejador. Cada linha de gotejadores foi composta por 39 unidades do mesmo modelo, perfazendo um total de 156 emissores em cada bloco. Dois blocos foram montados com os gotejadores na posição “para baixo” e os dois restantes com gotejadores na posição “para cima”. Para cada par de blocos representando a posição de montagem dos gotejadores foram avaliados dois tipos de solo, um de textura argilosa e o outro de textura arenosa.

Foram instalados registros na entrada de cada linha de gotejadores com o objetivo de individualizar as vazões das mesmas e, com isso, proporcionar um tempo de operação idêntico para cada tratamento, após a injeção do solo em cada bloco.

Para adequar os comprimentos das mangueiras aos da bancada, uma vez que os tubogotejadores possuem diferentes distâncias entre os pontos de emissão, e também objetivando reduzir o tamanho da bancada, as mangueiras com o espaçamento original entre emissores foram cortadas e remontadas. Para isso, fez-se a conexão de cada segmento por meio de emendas de mangueira, resultando em um espaçamento único entre gotejadores de 0,11 m para todos os modelos. O final das linhas laterais foi mantido fechado, de maneira que a vazão observada no início de cada linha lateral perfazia o somatório das vazões individualizadas de cada emissor.

A pressão de serviço foi mantida em 100 ± 10 kPa, por meio de válvula reguladora de pressão colocada na entrada da linha de alimentação da bancada.

A água, após passar através dos gotejadores, era recolhida por uma calha que a reconduzia ao tanque de captação, constituindo desta forma, um sistema fechado de recirculação de água.

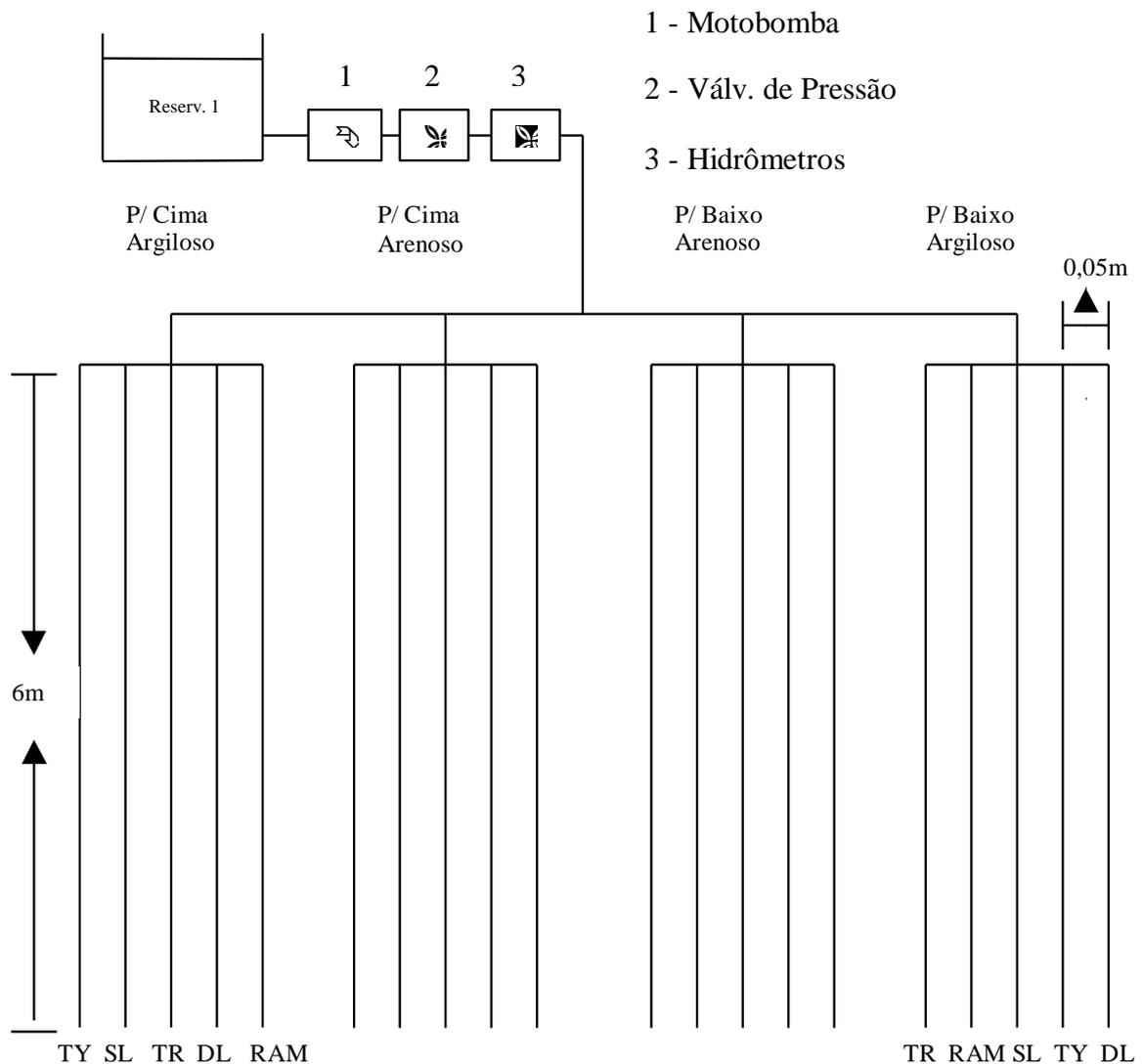


Figura 1. Desenho esquemático da bancada de ensaio

Com o objetivo de facilitar o processo de medição da vazão dos gotejadores, montou-se uma estrutura de madeira, a qual permitia a inserção de uma bateria de 39 provetas graduadas de 250 ml. Assim, os volumes emitidos por cada gotejador de uma mesma linha lateral eram coletados simultaneamente.

4.3 Metodologia aplicada no experimento

Inicialmente foram tomadas as vazões dos emissores já existentes na bancada, os quais se apresentavam com aproximadamente 6.000 horas de uso, sendo estas vazões tomadas como inicial para determinação do efeito do pulso de sujeira, no tratamento correspondente aos emissores usados.

Quando da realização do pulso, a água que passava pelos gotejadores era recolhida na calha e desviada para um segundo reservatório, independente do circuito fechado. Este desvio era mantido até o momento em que os padrões de turbidez da água que saía dos gotejadores,

determinados visualmente, se assemelhavam ao da água contida no reservatório do circuito fechado.

No total foram realizados 2 pulsos, sendo que cada pulso foi feito introduzindo-se uma massa de 100 g de cada solo avaliado, pesada em balança de precisão. Para tanto utilizou-se um funil no qual foi adaptada uma mangueira que era inserida na abertura da tubulação de sucção da motobomba. O solo era misturado com água no funil, sendo então succionado. Os solos foram introduzidos individualmente, sendo realizadas manobras nos registros instalados no início de cada linha de gotejadores, para garantir a distribuição nos blocos correspondentes a cada um dos tratamentos.

Após a realização do pulso, o sistema foi operado por seis períodos de 1 hora, medindo-se a vazão média do bloco através de hidrômetros; este procedimento objetivou verificar se após esse período de tempo os emissores voltariam a apresentar as mesmas vazões médias determinadas, também por hidrômetro, antes da injeção dos solos. Finalmente, após a estabilização das vazões lidas através dos hidrômetros, determinou-se a vazão individual dos emissores. Para isto, todos os registros instalados no início de cada uma das linhas laterais foram fechados, excetuando apenas aquele que manteria o fluxo para a linha lateral na qual estariam sendo tomados os respectivos volumes para a determinação da vazão.

Tendo sido finalizada esta primeira etapa, procedeu-se à substituição dos emissores usados por novos e iniciou-se uma segunda etapa, obedecendo-se exatamente aos procedimentos adotados na anterior.

Para determinação do nível de entupimento nos emissores foi utilizada a seguinte seqüência de cálculo:

– a vazão média de cada tratamento foi proporcionalizada em relação à vazão nominal do respectivo modelo de gotejador (a vazão nominal é referente à primeira leitura de vazão realizada para cada modelo de gotejador novo), obtendo-se uma vazão relativa – Q_r (%):

$$Q_r = \frac{Q_{média}}{Q_{nominal}} \quad (1)$$

– os valores de Q_r de cada tratamento, depois de efetuado o pulso, foi subtraído do valor de Q_r respectivo, na condição anterior ao pulso, obtendo-se o grau de entupimento, em percentagem e em função do pulso:

$$RP = \left(\frac{Q_{rP1} - Q_r}{Q_r} * 100 \right) * (-1) \quad (2a)$$

$$RP = \left(\frac{Q_{rP2} - Q_r}{Q_r} * 100 \right) * (-1) \quad (2b)$$

em que

RP – redução percentual (%);

Q_{rP1} – vazão relativa após pulso 1;

Q_{rP2} – vazão relativa após pulso 2; e

Q_r – vazão relativa sem pulso

Esse procedimento objetivou isolar a influência do nível de entupimento já existente nos emissores usados, permitindo a comparação com os emissores novos, bem como entre diferentes modelos.

O percentual de gotejadores apresentando entupimento total foi determinado subtraindo-se o número de gotejadores com vazão zero após cada pulso, do número antes da aplicação do pulso, sendo o resultado proporcionalizado em relação ao total de gotejadores

instalados por tratamento. Na situação de emissor novo, a proporcionalização foi direta, uma vez que, naturalmente, não havia emissores entupidos antes do pulso.

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado com fatorial 2 x 2 x 5 (posição de instalação, textura do solo e modelo de gotejador, respectivamente), sendo efetuada análise de variância e teste de Tuckey para comparação de médias para os dados dos gotejadores novos e usados.

Foram analisados os valores da redução percentual da Qr, calculada pela equação 2a para o pulso 1 e equação 2b para o pulso 2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de Qr obtidos para cada gotejador, tipo de solo e posição de instalação são apresentados na Tabela 3.

A partir dos dados de vazão relativa (Qr) presentes na Tabela 3, foi possível obter as Figuras 2 e 3, que apresentam o nível de entupimento de gotejadores após o pulso de sujeira em emissores usados e novos.

5.1 Emissores usados

O efeito da textura do solo no grau de entupimento foi reduzido para a maioria dos modelos. Quanto a este fato a exceção mais acentuada ocorreu para o modelo Ram, onde a textura arenosa, para o emissor usado, resultou em aumento de vazão, possivelmente devido à acomodação de partículas de solo na área de assentamento da membrana de compensação de pressão.

Observa-se, através da Tabela 3, que os gotejadores apresentaram diferentes níveis de entupimento após 6.000 horas de operação (situação anterior ao pulso), tendo o modelo Ram apresentado as maiores reduções de vazão. A pressão manual exercida sobre os gotejadores para ajustar sua posição de instalação na bancada, liberando parte do material que vinha causando a redução de vazão, podem explicar as diferenças de percentual da vazão nominal encontradas entre gotejadores nas posições para cima e para baixo anteriormente à aplicação do pulso.

Os modelos Streamline, Dripline e Typhoon sofreram os maiores níveis de redução de vazão, sendo isto verdadeiro para as duas texturas de solo. Para estes modelos, a redução de vazão variou de 12 a 70%, tendo os maiores níveis de redução ocorridos com os gotejadores na posição “para baixo”.

O modelo Tiran apresentou um menor nível de redução, tendo sido mais afetado pelo solo arenoso e, contrariamente ao comportamento dos demais emissores, quando instalado para cima. De modo contrário a todos os demais emissores, no modelo Ram a aplicação do pulso utilizando solo arenoso, resultou em aumento da vazão (redução do entupimento) de até 33%. Para o solo argiloso, este emissor, quando instalado na posição para cima, não foi afetado pela aplicação dos pulsos e, juntamente com o modelo Tiran, apresentou o menor nível de redução de vazão, quando na posição de instalação “para baixo”.

O aumento da vazão observada no gotejador Ram, nas duas posições de instalação e para o solo arenoso, está relacionado com a possível acomodação de partículas do solo na área de assentamento da membrana responsável pela característica de autocompensação de pressão. O assentamento de tais partículas pode criar espaços por onde a água passaria sem sofrer ação da membrana. Gilbert et al., (1981), observaram incrementos de vazão em

emissores autocompensantes devido às falhas do diafragma, atribuindo tais falhas à deterioração da membrana por ação de atividade microbiana e de químicos aplicados no tratamento preventivo do entupimento. O mesmo fato ocorreu com o modelo Typhoon, para a textura argilosa e posição de instalação Para Cima. Um possível efeito de “esmerilhamento” de partículas de solo sobre placas gelatinosas possivelmente existentes no interior do emissor poderia ser a causa de tal fato, uma vez que este modelo se encontrava com apenas 52% da sua vazão nominal antes da realização do pulso.

Os modelos Dripline e Typhoon, apesar de semelhantes na sua arquitetura apresentaram evidente diferença de comportamento, principalmente na posição Para Cima, nas duas texturas de solo avaliadas. Este fato foi também observado por Resende (1999), trabalhando com entupimento de causa biológica, sem que encontrasse uma explicação plausível.

Tabela 3 – Vazão relativa, % (Qr) dos gotejadores em função da aplicação dos tratamentos

SOLO/MODELO	ARGILOSO					ARENOSO				
	SL	RAM	DL	TR	TY	SL	RAM	DL	TR	TY
1. GOTEJADORES USADOS										
ANTES DO PULSO (Qr0)										
P/ CIMA	99	68	88	83	53	97	35	78	80	83
P/ BAIXO	99	70	74	62	97	94	62	82	59	98
APÓS PULSO 1 (QrP1)										
P/ CIMA	56	68	34	43	62	58	68	30	55	85
P/ BAIXO	28	38	15	38	23	24	70	17	54	28
APÓS PULSO 2 (QrP2)										
P/ CIMA	42	68	34	62	83	58	63	13	45	65
P/ BAIXO	28	43	2	49	26	31	99	5	30	28
2. GOTEJADORES NOVOS										
ANTES DO PULSO (Qr0)										
P/ CIMA	112	97	106	102	109	107	98	106	101	104
P/ BAIXO	105	97	100	103	105	111	99	102	100	104
APÓS PULSO 1 (QrP1)										
P/ CIMA	99	104	96	91	95	78	96	87	93	97
P/ BAIXO	31	89	40	86	35	36	85	41	88	71
APÓS PULSO 2 (QrP2)										
P/ CIMA	83	99	85	93	77	77	118	90	92	97
P/ BAIXO	8	100	23	71	24	13	112	19	84	37

5.2 Emissores novos

Da mesma forma como observado para os emissores usados, nos emissores novos o efeito da posição de instalação foi marcadamente mais evidente que o efeito da textura do solo, sendo que a análise de variância se revelou significativa para o primeiro fator e não significativa para o segundo. A posição de instalação Para Baixo resultou em maior nível de

entupimento que a posição Para Cima, ocorrendo de forma significativa para todos os modelos de gotejadores e textura de solo estudado, conforme revelou teste de comparação de médias, no nível de 5% de probabilidade. Observa-se pelas Tabelas 4 e 5, que a diferença do nível de entupimento entre as texturas avaliadas, para todos os emissores, foi da ordem de dez pontos percentuais, enquanto a diferença entre as posições de instalação variou de vinte a trinta pontos percentuais.

Também, de forma idêntica ao que ocorreram para os emissores usados, os modelos Streamline, Dripline e Typhoon apresentaram, nessa ordem e para ambas as posições de instalação e textura de solo estudado, os maiores níveis de entupimento, com valores variando de 8 a 97% em relação à situação sem aplicação do pulso. As diferenças observadas entre esse grupo de gotejadores e o grupo formado pelos modelos Ram e Tiran se revelaram estatisticamente significativa para os fatores posição de instalação Para Baixo, solo Arenoso e solo Argiloso, somente não o sendo quando se isolou o fator posição Para Cima.

Também, da mesma forma que ocorrido com os gotejadores usados, o efeito do pulso no modelo Ram resultou em aumento da sua vazão, embora em menor magnitude. Também de forma idêntica ao emissor usado, esse efeito foi mais evidente na posição Para Cima e no solo arenoso.

A textura do solo apresentou diferença significativa no nível de redução de vazão quando comparando a média de todos os modelos avaliados, nas duas posições de instalação estudadas. Na posição Para Cima, o solo de textura arenosa causou maior nível de redução de vazão, enquanto que na posição Para Baixo o solo argiloso resultou em maior grau de entupimento. Esse resultado contraria o pressuposto, uma vez que, em função do maior diâmetro de partículas do solo arenoso, esperava-se uma maior deposição destas na parte inferior do tubogotejador, causando um maior nível de redução de vazão desse solo na posição Para Baixo.

Tabela 4. Resultados do teste de comparação de médias do grau de entupimento, em %, entre os modelos de gotejadores avaliados, em função da sua posição de instalação e da textura do solo

Tratamentos	Posição Para Cima	Posição Para Baixo	Solo Argiloso	Solo Arenoso
Streamline	89a	33c	65b	57b
Ram	100a	87a	96a	91a
Dripline	92a	40c	68b	64b
Tiran	91a	87a	88a	90a
Typhoon	96a	53b	65b	84a

Tabela 5. Resultados do teste de comparação de médias do grau de entupimento, em %, entre as posições de instalação do gotejador e textura do solo, para cada modelo avaliado

Tratamentos	Geral	SL	RAM	DL	TR	TY	S. Argiloso	S. Arenoso
Para Cima	93a	89a	100b	92a	91a	96a	97a	90a
Para Baixo	60b	33a	87b	40b	87a	53b	56b	64b
							Para Cima	Para Baixo
S. Argiloso	77a	65a	96a	68a	88a	65b	97a	56b
S. Arenoso	77a	57a	91a	64a	90a	84a	90b	64a

5.3 Emissores novos x usados

O efeito dos tratamentos foi mais sentido nos emissores usados, tendo sido relacionado ao incremento do entupimento, para os modelos Streamline, Dripline e Tiran, ao aumento de vazão, nos modelos Ram e Typhoon e mais evidente na posição Para Baixo. Esperava-se um menor efeito do pulso, para ambas as posições de instalação, nos emissores novos, uma vez que os usados já apresentavam, para a maior parte dos modelos, níveis entupimento elevado. Sabe-se, através do histórico dos emissores usados, que o entupimento existente foi causado principalmente por mucilagem bacteriana, aumentando, com isso, a possibilidade de retenção de material no emissor, principalmente partículas finas.

5.4 Grau de entupimento

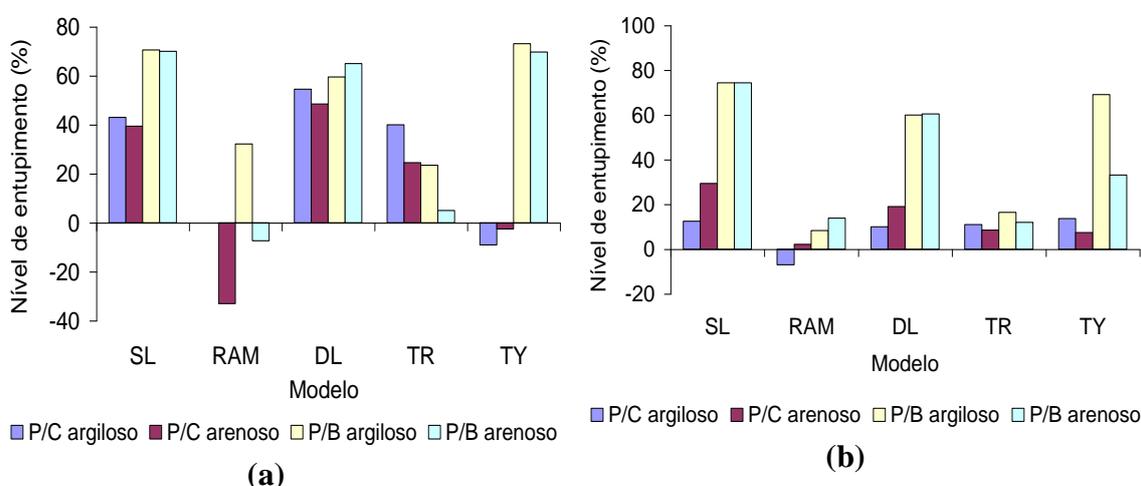


Figura 2. Nível de entupimento de gotejadores após pulso de sujeira na situação de emissor usado (a) e novo (b).

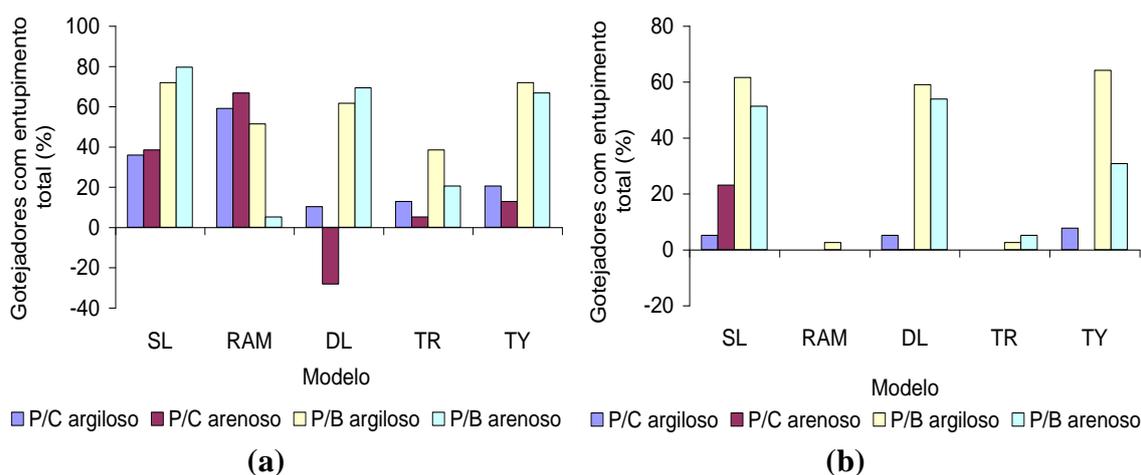


Figura 3. Percentual de gotejadores apresentando entupimento total após o pulso de sujeira na situação de emissor usado (a) e novo (b).

A Figura 3 apresenta o percentual de gotejadores com entupimento total, ou seja, com redução de vazão de 100%, permitindo observar o predomínio do entupimento total em relação ao parcial, principalmente para os modelos Streamline, Dripline e Typhoon, onde esse

percentual alcançou valores superiores a 90%, no caso do modelo Streamline. Chamam atenção o modelo Ram na situação de emissores usados e posição para cima, nas duas texturas de solo avaliadas; embora tenha apresentado nível mínimo de entupimento, quando utilizando a vazão média como parâmetro (Figura 2a), mostra-se com um elevado percentual de emissores com entupimento total (Figura 3a). Embora contraditório tal fato se explica pelo fato de que vários emissores da linha apresentavam vazões de até 3,0 L/h, bem acima da nominal, de 2,3L/h.

A distribuição dos gotejadores com entupimento total não permitiu identificar uma tendência de localização bem definida na linha lateral; da mesma forma, Boman (1995) observou que o entupimento de causa física pareceu ser aleatoriamente distribuído através da parcela e não relacionado com a posição dentro do sistema. Também concordando com os resultados observados por este mesmo autor, o número de emissores entupidos mostrou relação com o diâmetro do orifício de passagem de água. O modelo Streamline, que apresenta o menor diâmetro de passagem de todos os modelos, apresentou o maior número de emissores com entupimento total, enquanto os modelos Ram e Tiran, com os maiores diâmetros de orifício, apresentaram os menores níveis e restando, na posição intermediária para os dois parâmetros, os modelos Dripline e Typhoon.

Outro fator que pode ter determinado um melhor desempenho do gotejador Ram refere-se à altura do orifício interno de entrada de água, em relação à parede do tubo, resultando em menor quantidade de partículas assentadas sobre o orifício.

A velocidade média da água na linha de gotejadores, para as condições do presente trabalho, tomando como exemplo o gotejador Ram novo e na situação sem aplicação do pulso, foi de $0,17 \text{ m s}^{-1}$, resultando em valores de número de Reynolds que caracterizam um fluxo de água do tipo laminar. É de se esperar que os níveis de entupimento determinados no presente trabalho, bem como o padrão aleatório da localização do entupimento na linha de gotejadores, tenham sido sobreestimados em função destes fatores.

Quanto a análise estatística dos dados para os pulsos 1 e 2, devido ao tipo de cálculo utilizado para obter a redução percentual da Qr (RP) em %, alguns valores foram negativos, pois alguns gotejadores tiveram sua Qr aumentada após o pulso de partículas.

A Tabela 6 apresenta a análise de variância para os gotejadores novos e usados para os pulsos 1 e 2.

Tabela 6. Resultados da análise de variância para os gotejadores novos e usados para os pulsos 1 e 2

Causa de variação	Novos		Usados	
	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 1	Pulso 2
	Valores de F		Valores de F	
Tipo de Solo (S)	0,31	10,49**	2,97	0,14
Posição (P)	193,83**	237,54**	13,37**	3,52
Modelo (M)	45,91**	97,38**	16,81**	18,63**
S x P	7,52**	0,14	0,73	11,41**
S x M	4,94**	1,68	1,42	6,1**
P x M	17,21**	24,88**	10,19**	12,29**
S x P x M	1,27	1,03	0,72	6,61**

** Significativo a nível de 1% de probabilidade

Observa-se na Tabela 6 que o pulso 1 para gotejadores novos foi significativo a 1% para todas as causas de variação, com exceção apenas para o tipo de solo (S) e para a interação tripla solo versus posição versus modelo (S x P x M).

Tabela 7. Resultados da análise dos dados pelo teste de médias (Tukey) para os gotejadores novos e usados para os pulsos 1 e 2

Causa de variação	Redução média da vazão (%)		
	Novos	Usados	
Tipo de Solo – Pulso 2			
Argiloso	35,5 a*	–	
Arenoso	27,3 b*	–	
Interação S x P – Pulso 1**			
		Posição	
	Tipo de Solo	Baixo	Cima
Argiloso		44,3 a	7,3 b
Arenoso		37,0 a	12,1 a
Interação S x M – Pulso 1**			
		Solo	
	Modelo	Argiloso	Arenoso
SL		41,2 a	46,5 a
RAM		0,2 b	7,8 b
DL		34,9 a	38,7 a
TR		13,4 b	10,1 b
TY		39,2 a	19,6 b
Interação P x M – Pulso 1**			
		Posição	
	Modelo	Baixo	Cima
SL		69,0 a	18,7 a
RAM		10,8 c	-2,8 b
DL		60,1 ab	13,5 a
TR		14,0 c	9,5 a
TY		49,2 b	9,6 a
Interação P x M – Pulso 2**			
		Posição	
	Modelo	Baixo	Cima
SL		90,3 a	26,5 a
RAM		-8,8 d	-11,4 c
DL		79,2 ab	17,7 ab
TR		23,6 c	8,5 b
TY		70,7 b	17,7 ab

* Médias seguidas da mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

** Para as interações a comparação foi feita entre linhas, ou seja, diferentes letras representam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O pulso 2 para gotejadores novos foi significativo a 1% para tipo de solo (S), posição do gotejador (P), modelo de gotejador (M) e interação posição versus modelo (P x M) (Tabela 7).

Para os gotejadores usados o pulso 1 foi significativo a 1% para posição (P), modelo (M) e a interação posição versus modelo (P x M). Já o pulso 2 foi significativo para todas as causas de variação, com exceção apenas para o tipo de solo (S) e a posição do gotejador na linha (P).

A Tabela 8 apresenta a análise pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os gotejadores usados apenas para a interação posição versus modelo (P x M) para o pulso 1 e como a análise de variância deu significativa para todas as interações para o pulso 2, foi feita a análise apenas para a interação tripla.

Tabela 8. Resultados das interações para os gotejadores usados

Interação P x M – Pulso 1		Posição		
Modelo	Baixo*	Cima*		
SL	78 a	43 a		
RAM	41 b	5 bc		
DL	93 a	60 a		
TR	0,77 b	45 ab		
TY	82 a	-6 c		
Interação S x P x M – Pulso 2				
Modelo	Tipo de Solo			
	Argiloso		Arenoso	
	Baixo*	Cima*	Baixo*	Cima*
SL	78 a	57 a	76 a	43 b
RAM	37 ab	9 a	-118 b	34 b
DL	96 a	58 a	97 a	81 a
TR	-14 b	21 a	40 a	42 b
TY	81 a	-60 b	73 a	24 b

* A comparação foi feita entre linhas, ou seja, diferentes letras representam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A Figura 4 apresenta a redução percentual da vazão entre os gotejadores novos e usados.

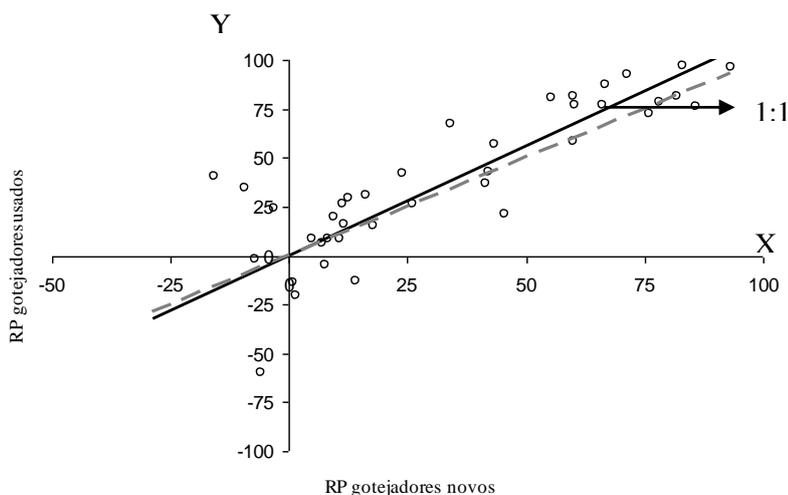


Figura 4. Redução percentual da vazão para os gotejadores novos versus gotejadores usados.

A redução da vazão dos gotejadores usados foi 12,48% maior do que dos gotejadores novos.

Pelo "Teste t" não houve diferença significativa entre gotejadores novos e usados.
 $t = 0,367$ ($P = 0,7149$).

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na condução do ensaio permitiram evidenciar:

- A posição de instalação do emissor apresentou maior resposta que a textura do solo, à ocorrência do pulso de sujeira;
- Os modelos Streamline, Dripline e Typhoon apresentaram maiores níveis de sensibilidade à ocorrência do pulso, em relação aos modelos Ram e Tiran;
- O entupimento total foi predominante em relação ao parcial;
- O entupimento mostrou-se aleatoriamente distribuído na linha de emissores;
- Os gotejadores usados apresentaram uma redução de vazão 12,48% maior do que os gotejadores novos; e
- Não houve diferença significativa na suscetibilidade ao entupimento entre emissores novos e usados, constatando-se apenas uma tendência de redução de vazão.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Agrônomo Adriano José Soares pelo auxílio na condução do experimento.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOMAN, B. J. Effects of orifice size on microsprinkler clogging rates. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 11, n. 6, p. 839-843, 1995.

BOMAN, B.; ONTERMAA, E. Citrus microsprinkler clogging: costs, causes, and cures. **Proc. Fla. State. Hort. Soc.**, v. 10, n. 1, p. 739-747, 1994.

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

GILBERT, R. G. et al. Trickle irrigation: emitter clogging and other flow problems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 159-178, Mar. 1981.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BULKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. cap. 3, p. 142-163.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 1, p. 77-80, Jan./Fev. 1981.

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

RESENDE, R. S. **Susceptibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação**. 1999. 77 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

SHANNON P. E. et al. Sediment transport and deposition in trickle irrigation laterals. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 25, n. 1, p. 160-164, Jan./Fev. 1982.