

ENTUPIMENTO DE GOTEJADORES CONVENCIONAIS POR PRECIPITADOS QUÍMICOS DE CARBONATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO, COM QUATRO ÍNDICES DE SATURAÇÃO DE LANGELIER

Ralini Ferreira de Mélo¹; Rubens Duarte Coelho²; Marconi Batista Teixeira²

¹*Escola Agrotécnica Federal de Vitória de Santo Antão, Propriedade Terra Preta, Vitória de Santo Antão, PE, fmralini@yahoo.com.br*

²*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP*

1 RESUMO

Com o objetivo de avaliar a influência da indução forçada de precipitados químicos à base de carbonatos de cálcio e magnésio no coeficiente de variação e uniformidade de distribuição de água, foi realizado um ensaio no Laboratório de Irrigação da ESALQ/USP, utilizando-se quatro índices de saturação de Langelier (ISL): ISL -2,268; ISL 0,469; ISL 1,156 e ISL 1,439. Em cada ensaio com um determinado ISL, foram utilizados oito tipos de gotejadores convencionais, instalados em uma bancada com 11 m de comprimento. As obstruções observadas nos gotejadores, tanto parciais como totais decorrentes do tempo de funcionamento, resultaram em aumento do coeficiente de variação e redução drástica da uniformidade de distribuição de água. Para as condições de ensaio realizado, observou-se que o índice de saturação de Langelier não deve ser usado como único parâmetro para prever a obstrução dos gotejadores.

UNITERMOS: irrigação localizada, cálcio e magnésio, Índice de Saturação de Langelier.

MÉLO, R. F. de; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. CLOGGING OF A COMMERCIAL DRIPPERS BY CALCIUM AND MAGNESIUM PRECIPITATES USING FOUR LANGELIER SATURARION INDEXES

2 ABSTRACT

An essay was carried out in the laboratory of irrigation at ESALQ/USP to evaluate the effect of calcium and magnesium precipitates on the variation and uniformity coefficients in irrigation drippers. Four Langelier saturation indexes (LSI) (-2,268; 0,469; 1,156; 1,439) and eight commercial drippers were used. They were installed on an 11m bench testing apparatus. Both partial and total obstructions of the drippers were observed over the operating time increasing the variation coefficient and reducing the water distribution uniformity. Within the test conditions, LSI should not be used as a single parameter to estimate dripper clogging.

KEY WORDS: drip irrigation, calcium and magnesium, Langelier saturation index

3 INTRODUÇÃO

No Brasil, a irrigação localizada começou a ser utilizada no final da década de 1970, ocupando em 1999, uma área estimada de 212 mil hectares, correspondendo a 8% do total da área irrigada (Christofidis, 2002). Este método tem sido bastante utilizado devido a suas características de aplicações de pequenas vazões e alta frequência, aplicação de fertilizantes via água de irrigação (distribuídos na zona radicular das culturas), baixas pressões e alta eficiência (geralmente superior a 90%), possibilitando um controle eficiente da lâmina de irrigação (Bernardo et al., 2006; Leite, 1995; Resende, 1999;).

Este sistema de irrigação, na maioria das vezes, ameniza o problema de escassez de água, entretanto, o pequeno diâmetro dos orifícios dos gotejadores facilita o entupimento, contribuindo para a redução da sua eficiência, produtividade e qualidade da colheita (Leite, 1995).

O entupimento de emissores continua sendo o principal problema em sistemas de irrigação por gotejamento. Para culturas anuais de alto valor econômico e para culturas perenes onde a longevidade do sistema é especialmente importante, emissores entupidos podem causar perdas econômicas. Embora informações quanto aos fatores que causam o entupimento estejam disponíveis, o controle por medidas preventivas nem sempre tem êxito. Os problemas podem ser minimizados por design apropriado, instalação e práticas operacionais ou procedimentos para recuperação de emissores entupidos, que resulta em aumento do custo operacional. Problemas de entupimento desencorajam frequentemente novos irrigantes, causando descrédito temporário na tecnologia, pois a solução do problema nem sempre está disponível ou não é economicamente viável (Bucks et al., 1979; Nakayama & Bucks, 1986, 1991).

Diversos fatores podem provocar o entupimento parcial ou a completa obstrução dos bocais de emissores e tubulações, prejudicando o fluxo de água e a sua distribuição ao longo da linha principal, de derivação e principalmente nas laterais, reduzindo, conseqüentemente, a eficiência do sistema. Dentre tais fatores, destacam-se a precipitação química por íons contidos na água de irrigação, especialmente os carbonatos de cálcio e/ou de magnésio, bastante comuns em regiões áridas e semi-áridas. Águas utilizadas em irrigação com essas características ocorrem com frequência no Norte de Minas Gerais, em algumas regiões do Estado de São Paulo e em parte do Nordeste do País (Leite, 1995; Nakayama & Bucks, 1991; Ravina et al., 1992; Resende, 1999, 2003).

O mercado dispõe de diversos tipos de gotejadores, apresentando diferentes sensibilidades ao entupimento (Pizarro Cabello, 1996; Ravina et al., 1992; Resende, 1999). Segundo Ravina et al. (1992), os gotejadores, geralmente, apresentam vulnerabilidade aos problemas citados, em função de apresentarem estreitas passagens e pequenas aberturas.

Os precipitados químicos podem ser produzidos quando as condições iniciais da água (pH, temperatura, sólidos dissolvidos totais) são modificadas e, sobretudo pela evaporação da água nos emissores após cada irrigação, o que aumenta a concentração dos sais dissolvidos que se precipitam ao superar o limite de solubilidade. As obstruções são formadas gradualmente e, portanto, são mais difíceis de detectar (Pitts et al., 1990; Leite, 1995; Pizarro Cabello, 1996), sendo esses fatores mais freqüentes em climas árido e semi-árido.

Dentre os trabalhos feitos com objetivo de se observar e prevenir a precipitação por carbonatos, destaca-se o de Hills et al. (1989) que avaliaram por 100 dias o efeito de precipitados químicos no entupimento de emissores e na uniformidade da irrigação, com diferentes manejos: variação do pH, da temperatura e da condutividade elétrica. Eles observaram que a obstrução parcial e total por precipitados químicos ocorreu em todos os

manejos para a água com alta concentração de sais e elevado pH. Leite (1995) avaliou a susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio e, durante a condução do ensaio, verificou que as precipitações químicas ocorreram gradualmente, modificando os coeficientes de variação de vazão e as uniformidades de distribuição dos tubogotejadores; como forma de tratamento, utilizou a sobrepressão hidráulica no sistema ao final do teste, o que se mostrou ineficiente. Dias et al. (2003) avaliaram a susceptibilidade de diferentes tipos de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de sulfato de cálcio e observaram modificações da vazão com reduções de até 78%.

Langelier (1936) desenvolveu um *índice de saturação de Langelier* (ISL) para ser utilizado em água com valores de pH entre 6,5 e 9,5, o que permite prever se em uma determinada água haverá ou não precipitação de carbonato de cálcio. Se o ISL for positivo, a água terá tendência de produzir precipitados químicos de CaCO_3 . Caso contrário, se o ISL for negativo, a água terá a tendência de manter o CaCO_3 dissolvido em solução, isto é, não produzirá precipitados químicos.

Deste modo, objetivou-se avaliar a susceptibilidade de gotejadores autocompensantes ao entupimento induzido, sob condição forçada, por precipitados químicos à base de carbonato de cálcio e magnésio.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Irrigação e Drenagem, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-ESALQ/USP, localizada no município de Piracicaba-SP.

Montaram-se quatro Ensaios denominados de 1; 2; 3 e 4. Aplicaram-se águas com quatro índices de Langelier (ISL): ISL -2,268; ISL 0,469; ISL 1,156 e ISL 1,439, sendo que esses índices foram aplicados nos Ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Em cada ensaio, utilizaram-se 8 modelos de gotejadores convencionais de diferentes marcas comerciais e fabricantes. Fez-se a uma marcação inicial em dez gotejadores por modelo e por mangueira, onde se realizou a medição inicial de vazão de todos os gotejadores novos e que estavam marcados por uma fita. A pressão de serviço utilizada no ensaio foi de 150 ± 15 kPa. Utilizou-se um manômetro para aferir a pressão de entrada na linha principal de bombeamento em cada nível da bancada, e filtragem da água em filtro de tela de 130 mesh, da marca Amiad, em todos os tratamentos.

Utilizou-se o método gravimétrico para a determinação do volume de água emitido por cada emissor (tempo de coleta de 10 minutos), expressando-se os valores de vazão em L h^{-1} . Procedimento esse realizado a cada 15 dias, uma vez que se parava o sistema, e era efetuada a leitura, sendo essas leituras, realizadas nos dez gotejadores marcados previamente antes de iniciar o experimento, como pode ser observado na Figura 1 (C).

A determinação da vazão na linha dos emissores foi efetuada com frequência semanal, utilizando-se um medidor do tipo eletromagnético marca Conaut – Krohne modelo IFS 4000 W/6 com conversor de sinal modelo IFC 090 D e com faixa de leitura de $0-90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e precisão de 99%.

A água de abastecimento do laboratório utilizada no ensaio é oriunda do sistema de abastecimento da ESALQ/USP. Foi feito o monitoramento da água com a realização de análises químicas no início dos ensaios, e a cada três meses foram repetidas. Para o preparo e armazenamento da água para todos os ensaios, utilizou-se como recipientes caixas de fibro-

cimento com capacidade de 1000 L, das quais a água era bombeada para o sistema de gotejadores. Após a preparação das águas com diferentes índices de Langelier, as mesmas eram agitadas dentro das caixas com três micro-bombas submersas com vazão de 340 L h^{-1} , garantindo a recirculação da água dentro das caixas (Figura 1).

As águas utilizadas no ensaio foram preparadas mediante adição de solução de CaCO_3 e MgCO_3 à água proveniente de abastecimento da ESALQ/USP, de forma a se obter uma relação Ca:Mg de 1,7:1, que é a relação predominante nas principais fontes de água, disponíveis para irrigação no Nordeste brasileiro (Medeiros, 1992).

Adotou-se como critério a solubilidade máxima do carbonato de cálcio em água (66 mg L^{-1}). Com isso, prepararam-se as seguintes percentagens de solubilidade do CaCO_3 : a) Testemunha: água do laboratório de irrigação com ISL de -2,268; b) 25% da solubilidade, que forneceu ISL de 0,469; c) 50% da solubilidade, que forneceu ISL de 1,156; e d) 100% de solubilidade, que forneceu ISL de 1,439, solubilidade máxima do carbonato na água utilizada. Além da solubilidade máxima do carbonato de cálcio em água, considerou-se, também, o limite máximo de pH de 8,84, pois nenhuma água observada na literatura nacional apresenta pH maior que esse valor.



Figura 1. Detalhe do sistema de abastecimento da bancada, (A) caixas para o preparo das águas com os ISL; (B) sistema de condução da água e motobomba; (C) gotejadores marcados para leituras de vazões manuais; (D) entrada da linha de gotejadores e manômetro para aferição da pressão de serviço.

A água original do laboratório de irrigação possuía ISL de 0,44 e pH de 7,5. Como esse já é um índice positivo e com risco de incrustações, adicionou-se à água uma solução de 3 mg

L⁻¹ de hipoclorito de sódio (total de 20 mL) e 36 mL de HNO₃; ambos para o preparo de 800 L de solução, com o objetivo de reduzir o ISL para um valor negativo, de forma que o pH final dessa água fosse 5,5.

Por falta de informações quanto à redução da vazão e formação das incrustações por precipitados químicos de cálcio e magnésio, foi feita leitura com medidor magnético de vazão a cada 72 h. Antes de aplicar as águas com diferentes *índices de saturação de Langelier*, ligou-se o sistema por cinco horas. Os ciclos foram 12 h, sendo 12 h funcionando e 36 h descansando, em relação ao primeiro tratamento (ISL-2,268).

A cada dois ciclos com as águas com diferentes ISL, fez-se a leitura com medidor magnético de vazão. Inicialmente, se adotou como limite de entupimento a redução de vazão de 25%. Mesmo nas linhas que atingiram a porcentagem de entupimento fixada, continuou-se a abri-las por cerca de 30 minutos a cada ciclo, evitando, assim, o ressecamento e desprendimento dos precipitados, com posterior arraste dessas no momento das leituras, e iniciou-se o tratamento, o que correspondeu ao Ensaio 2. O limite de redução de vazão de 25% foi atingido apenas por alguns modelos de gotejadores utilizados nos ensaios.

Para o cálculo da porcentagem de entupimento, as leituras de vazão foram feitas com medidor magnético e, após esse procedimento, fez-se um ensaio, obtendo-se uma equação de calibração com os dados do medidor magnético de vazão para posterior ajuste dos dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, tem-se a porcentagem de variação de vazão dos gotejadores novos, e após 360 horas de irrigação, para os oito diferentes modelos de gotejadores nos quatro *índices de saturação de Langelier*.

De uma maneira geral, os quatro índices apresentaram comportamentos diferentes em relação à variação de vazão.

Observam-se variações de vazão após 360 horas de funcionamento do sistema. Segundo a classificação adotada por Solomon (1979), podem-se enquadrar os gotejadores estudados como tendo uniformidade média a inaceitável.

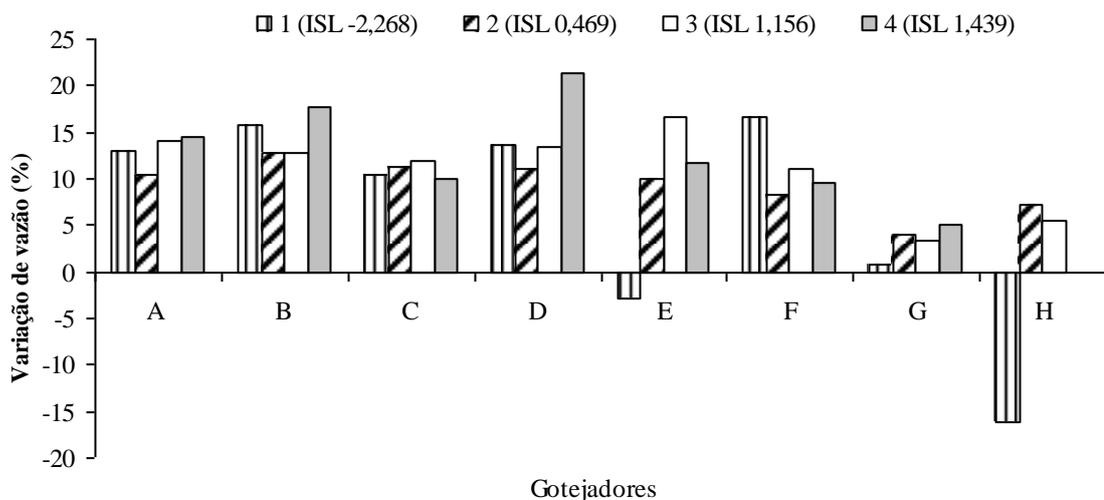


Figura 2. Porcentagem de variação de vazão dos oito modelos de gotejadores convencionais nos diferentes *índices de saturação de Langelier*.

Testezlaf & Campioni (1993) encontraram CVf médio de 2,8% para o tubogotejador Queen Gil, com emissores tipo labirinto, espaçados 0,30m, indicando boa qualidade de fabricação. Para o mesmo tubogotejador, Schmidt (1995) encontrou CVf médio de 3,11%. O CVf encontrado para esse gotejador variou de 23,13 a 50,86%, considerado de marginal a inaceitável segundo ABNT (1986), o que pode ter sido ocasionado pelo menor espaçamento dos emissores (0,10m) influenciado no acúmulo de carbonatos (Tabela 1).

Quando se comparou a vazão inicial e após 360 h de irrigação, obteve-se diminuição da vazão nos gotejadores A, B, C, D, F e G com reduções de 13,0; 16,1; 12,0; 16,0; 16,7 e 4,3%, respectivamente, com aumentos para os modelos H com -14,3 e nenhuma alteração para o modelo E.

Quanto à uniformidade de distribuição (UD 360h), quase todos os modelos se apresentaram acima de 90%, com exceção do modelo H que apresentou a UD de 61,9%. Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 horas de irrigação, houve uma variação de -0,8; -0,7; 0,3; -3,6; 2,1; 0,7; 0,7 e 33,9% para os modelos de gotejadores A, B, C, D, E, F, G e H, respectivamente. A variação do coeficiente de variação para os modelos citados anteriormente foram de 35,3; 31,3; -18,2; 31,7; -20,4; -15,4; -5,7 e 762,7%, respectivamente. Assim, enquanto havia um aumento da porcentagem do CVf variando de -5,7 a -762,7%, os modelos A, B e D apresentaram uma diminuição do CVf (Tabela 1).

Tabela 1. Vazão unitária média inicial ($L h^{-1}$), vazão unitária média após 360 h ($L h^{-1}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores, após 360 h de irrigação com água de ISL - 2,268 do Bloco 1

| Codificação dos gotejadores | Vazão unitária média inicial ($L h^{-1}$) | Vazão unitária média 360h ($L h^{-1}$) | CVf (%) | CV_{360} (%) | UD_{novo} (%) | UD_{360h} (%) |
|-----------------------------|---|--|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| A | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 1,1 | 98,0 | 98,8 |
| B | 3,1 | 2,6 | 3,2 | 2,2 | 96,7 | 97,4 |
| C | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,6 | 97,7 | 97,4 |
| D | 2,5 | 2,1 | 6,0 | 4,1 | 92,5 | 95,8 |
| E | 1,7 | 1,7 | 4,9 | 5,9 | 95,0 | 93,0 |
| F | 1,8 | 1,5 | 5,2 | 6,0 | 94,5 | 93,8 |
| G | 2,3 | 2,2 | 5,3 | 5,6 | 94,2 | 93,5 |
| H | 0,7 | 0,8 | 5,9 | 50,9 | 93,7 | 61,9 |

Analisando a Tabela 2 e comparando a vazão inicial e após 360 horas de irrigação, tem-se uma diminuição da vazão nos gotejadores A, B, C, D, E, F e G com reduções de 9,1; 10,0; 12,0; 13,0; 11,8; 11,8; 4,3 e 7,14%, respectivamente. O modelo H não sofreu redução de vazão, porém houve uma piora em sua uniformidade de distribuição após as 360h de funcionamento do sistema.

Quanto à uniformidade de distribuição (UD_{360h}), quase todos os modelos se apresentaram acima de 90%, com exceções dos modelos E e H. Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 horas de irrigação, obtiveram-se variações de -0,3; -1,7; 0,5; 0,7; 6,4; 2,4; -0,8 e 6,4% para os modelos de gotejadores A, B, C, D, E, F, G e H, respectivamente.

A variação do coeficiente de variação para os modelos citados anteriormente, com exceção do modelo A que não teve seu coeficiente de variação de vazão alterado, foram de 45,5; -19,0; -14,3;-163,3; -113,2; 8,6 e -824,0%, respectivamente. O modelo H teve novamente o pior resultado do CV após 360 h. Os modelos B e G, de uma forma geral, quando comparamos todos os modelos utilizados nos ensaios, apresentaram um melhor resultado de CV 360h.

Tabela 2. Vazão unitária média inicial ($L h^{-1}$), vazão unitária média após 360 h ($L h^{-1}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL 0,469 do Bloco 2

| Codificação dos gotejadores | Vazão unitária média inicial ($L h^{-1}$) | Vazão unitária média 360h ($L h^{-1}$) | CVf (%) | CV_{360} (%) | UD_{novo} (%) | UD_{360h} (%) |
|-----------------------------|---|--|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| A | 2,2 | 2,0 | 1,2 | 1,2 | 98,5 | 98,8 |
| B | 3,0 | 2,7 | 4,4 | 2,4 | 95,5 | 97,1 |
| C | 2,5 | 2,2 | 2,1 | 2,5 | 97,7 | 97,2 |
| D | 2,3 | 2,0 | 4,2 | 4,8 | 95,0 | 94,3 |
| E | 1,7 | 1,5 | 4,9 | 12,9 | 95,0 | 88,9 |
| F | 1,7 | 1,5 | 3,8 | 8,1 | 97,0 | 94,7 |
| G | 2,3 | 2,2 | 3,5 | 3,2 | 96,1 | 96,9 |
| H | 0,5 | 0,5 | 2,5 | 23,1 | 90,1 | 84,3 |

Com relação à Tabela 3, comparando a vazão inicial e após 360 h de irrigação, nota-se que todos os modelos apresentaram diminuição de vazão.

Tabela 3. Vazão unitária média inicial ($L h^{-1}$), vazão unitária média após 360 h ($L h^{-1}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL 1,156 do Bloco 3

| Codificação dos gotejadores | Vazão unitária média inicial ($L h^{-1}$) | Vazão unitária média 360h ($L h^{-1}$) | CVf (%) | CV_{360} (%) | UD_{novo} (%) | UD_{360h} (%) |
|-----------------------------|---|--|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| A | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 98,0 | 98,3 |
| B | 3,0 | 2,6 | 6,7 | 2,6 | 93,7 | 96,8 |
| C | 2,4 | 2,1 | 3,1 | 1,9 | 96,5 | 98,1 |
| D | 2,4 | 2,0 | 5,7 | 2,3 | 93,5 | 97,4 |
| E | 1,7 | 1,5 | 2,7 | 6,0 | 97,2 | 93,1 |
| F | 1,7 | 1,5 | 3,1 | 6,9 | 97,0 | 93,0 |
| G | 2,3 | 2,2 | 3,6 | 8,3 | 95,4 | 91,1 |
| H | 0,5 | 0,5 | 4,7 | 44,0 | 93,8 | 59,0 |

Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 h de irrigação, observaram-se variações de -0,3; -3,3; -1,7; -4,2; 4,2; 4,1; 4,5; 37,1% para os modelos de gotejadores A, B, C, D, E, F, G e H, respectivamente. Já nos modelos A, B, C e D, houve uma melhora na uniformidade de distribuição com o passar das horas de irrigação.

A variação dos coeficientes de variação de vazão para os modelos A, B, C, D, E, F, G e H foram de 12,5; 61,2; 38,7; 59,6; -122,2; -122,6; -130,6 e -836,2%, respectivamente. Os modelos E, F, G e H tiveram seus coeficientes aumentados após 360 h de irrigação.

As porcentagens de variação de vazão inicial e após 360 horas de irrigação para os gotejadores A, B, C, D, E, F e G foram de 13,6; 13,3; 12,5; 16,7; 11,8; 11,8 e 4,3%, respectivamente. Nota-se que o modelo H não sofreu influência nesse tratamento, talvez pelo fato de o mesmo ser uma fita gotejadora e não possuir sistemas de compensação, uma vez que esse mecanismo também é um local de acúmulo de partículas, o que no nosso caso em questão são os carbonatos (Tabela 4).

Tabela 4. Vazão unitária média inicial ($L h^{-1}$), vazão unitária média após 360 h ($L h^{-1}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL 1,439 do Bloco 4

| Codificação dos gotejadores | Vazão unitária média inicial ($L h^{-1}$) | Vazão unitária média 360h ($L h^{-1}$) | CVf (%) | CV_{360} (%) | UD_{novo} (%) | UD_{360h} (%) |
|-----------------------------|---|--|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| A | 2,2 | 1,9 | 0,6 | 2,7 | 99,2 | 97,3 |
| B | 3,2 | 2,6 | 4,3 | 4,1 | 94,4 | 96,1 |
| C | 2,5 | 2,2 | 4,7 | 2,3 | 96,9 | 98,1 |
| D | 2,3 | 1,8 | 4,1 | 41,7 | 94,8 | 65,7 |
| E | 1,7 | 1,5 | 3,7 | 8,0 | 96,5 | 93,6 |
| F | 1,7 | 1,5 | 5,1 | 4,3 | 94,9 | 96,0 |
| G | 2,4 | 2,2 | 4,5 | 4,9 | 94,1 | 94,3 |
| H | 0,5 | 0,5 | 4,2 | 23,1 | 96,0 | 84,3 |

Quanto à uniformidade de distribuição (UD_{360h}), quase todos os modelos apresentaram UD_{360h} acima de 90%, com exceção dos modelos D e H com 65,67 e 84,31%. Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 horas de irrigação, notaram-se variações de 1,9; -1,8; -1,2; 30,7; 3,0; -1,2; -0,2 e 12,2% para os modelos de gotejadores A, B, C, D, E, F, G e H, respectivamente. Os coeficientes de variação para os modelos citados anteriormente foram de -350,0; 4,7; 51,1; -917,1; -116,2; 15,7; -8,9; -450,0%, respectivamente.

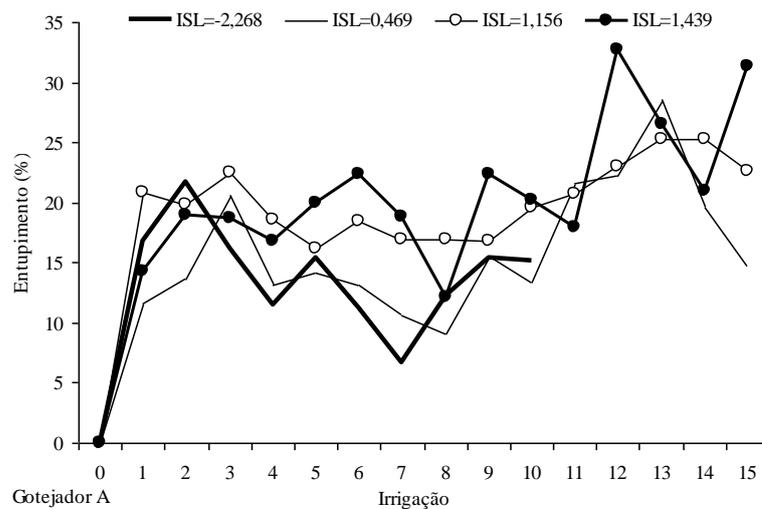
O modelo D foi o mais prejudicado com ISL de 1,439, pois com as horas de funcionamento o seu CV tornou-se excessivamente alto e desuniforme (Tabela 4). O modelo B mostrou discreta diminuição da porcentagem de variação entre o CVf novo e após 360 horas de irrigação com 4,7%, o que pode ter ocorrido devido ao mesmo possuir um design que promove maior turbilhonamento da água dentro dele.

De maneira geral, o uso da água com diferentes ISL produziu o entupimento dos gotejadores utilizados, mas a porcentagem de entupimento foi muito variável (Figuras 3 a 5).

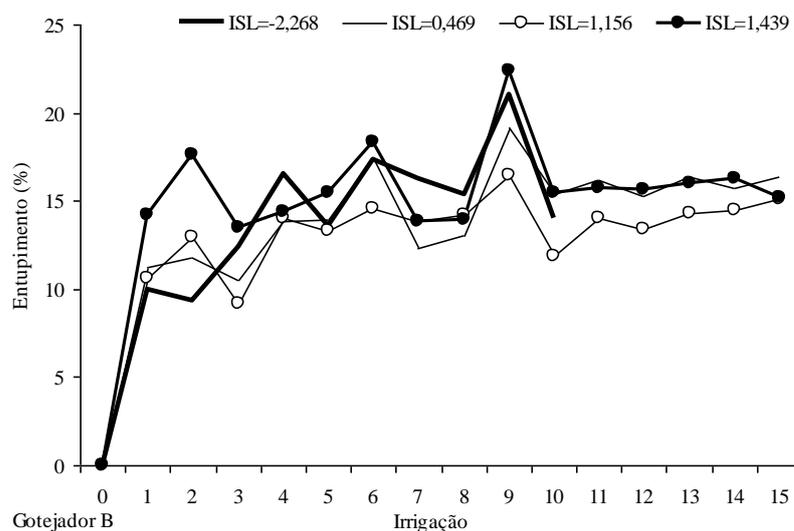
Com exceção do modelo H, houve tendência de aumento do entupimento a partir do momento em que se aumentava também o ISL, tendo em vista que com os ISL crescentes, crescia também a quantidade de carbonatos na água e, conseqüentemente, maior deposição. Notou-se que o gotejador mais sensível aos diferentes índices foi o modelo A, que apresentou as maiores porcentagens de entupimento. Já para o modelo C, notou-se maior variação de entupimento, com o ISL 0,469, ao final da 15ª irrigação apresentando entupimento mais elevado (17,70%), seguido do ISL 1,439 e do ISL 1,156. Ainda com relação aos modelos A e

B, no modelo A, observou-se tendência de aumento do entupimento com o passar das horas de irrigação, porém o gotejador B apresentou estabilização do entupimento variando de 11,87 a 15,27% nos ISL 1,156 e 0,469, respectivamente, após a 9ª irrigação, o que pode ser devido à arquitetura desse modelo de gotejador que permite deposição dos carbonatos uniformemente (Figura 3).

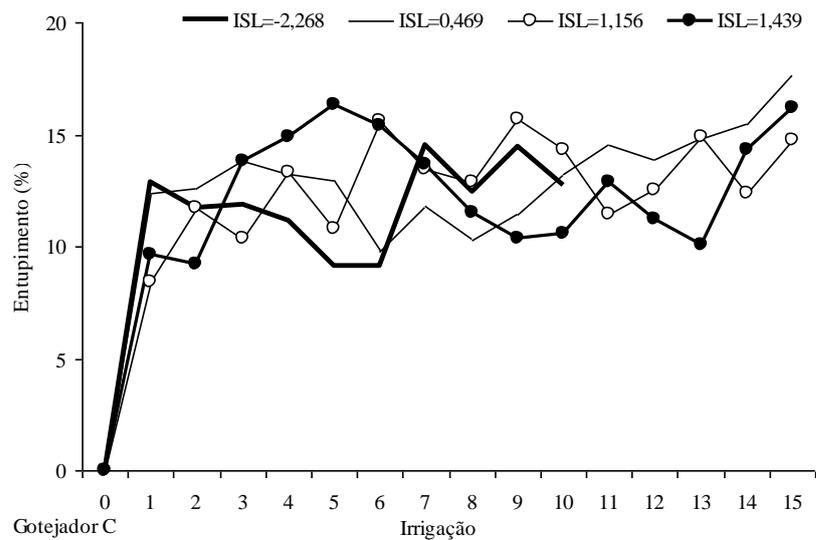
Para os gotejadores D e E, de maneira geral, houve aumento gradativo do entupimento, parecendo haver um limite de saturação, ou seja, a partir de uma determinada irrigação, não mais houve alteração em sua vazão, sendo que o modelo D atingiu a mais alta porcentagem de entupimento quando comparados aos modelos E e F. O modelo D, ao final da 15ª irrigação, apresentou maior entupimento no ISL 0,469, com 22,86% de entupimento.



A



B

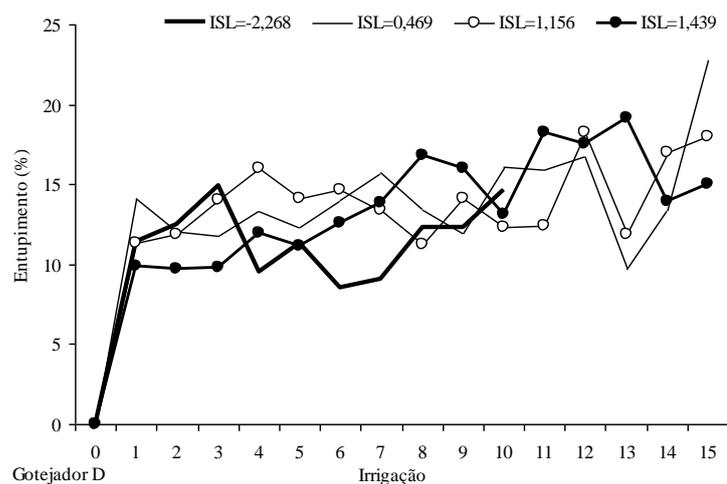


C

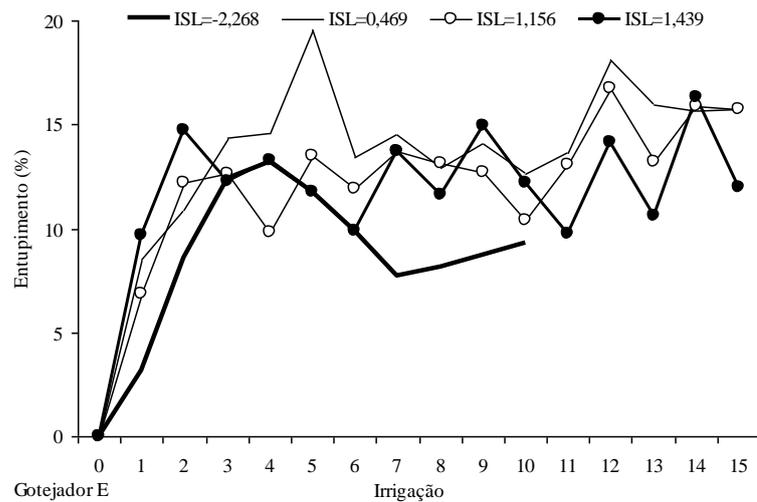
Figura 3. Comportamento dos modelos A, B e C de gotejadores convencionais após aplicação de água com diferentes *índices de saturação de Langelier*.

O modelo E, o ISL 0,469 foi o que mostrou ao longo das irrigações maior entupimento com média de 13,41%, contra 11,97% (ISL 1,156), 8,44% (ISL -2,268) e 11,68% (ISL 1,439).

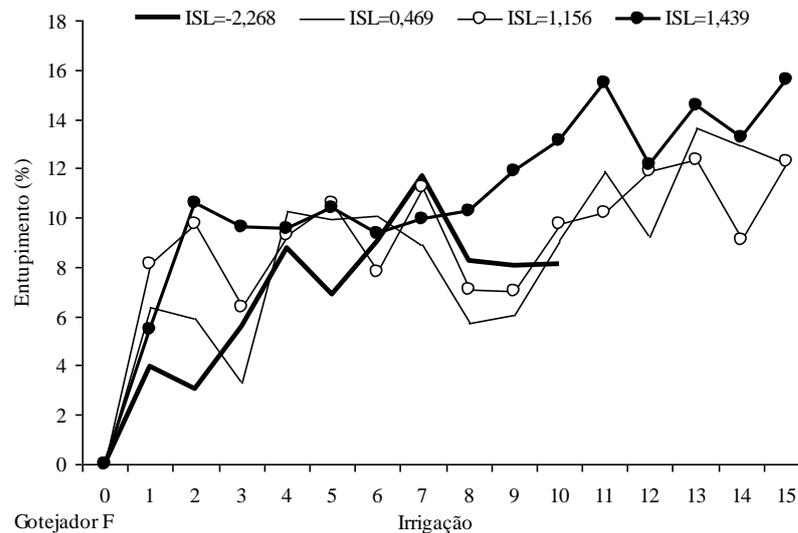
Com relação ao modelo F, observou-se a tendência que era esperada, uma vez que o maior índice de Langelier recebia mais carbonatos para composição de suas águas, onde o maior ISL seria o que apresentaria maior porcentagem de entupimento com médias de 6,67; 8,47; 8,93 e 10,70% para os ISL -2,268; 0,469; 1,156 e 1,439, respectivamente (Figura 4).



D



E

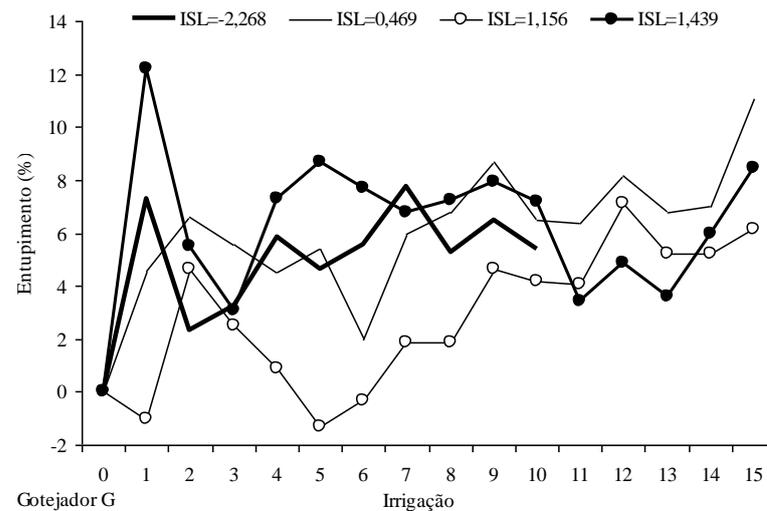


F

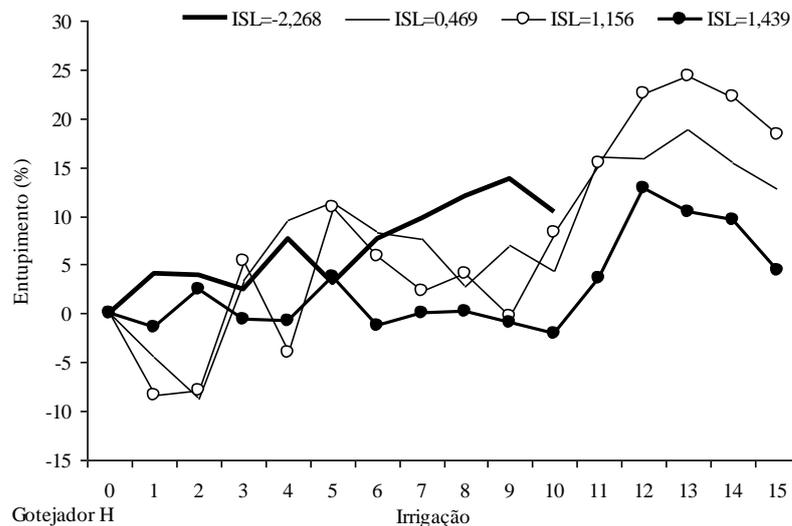
Figura 4. Comportamento dos modelos D, E e F de gotejadores convencionais após aplicação de água com diferentes índices de saturação de Langelier.

Ainda com relação a esse emissor, o mesmo, em seu design, possui ranhuras para possibilitar um fluxo turbulento na água, e por serem muito próximas pode ter facilitado o acúmulo de carbonatos nessas ranhuras com as sucessivas irrigações (Figura 4).

Para os modelos G e H (Figura 5), observou-se aumento do entupimento, mas em alguns momentos, houve também aumento da vazão nos gotejadores, que poderia ser devido ao maior acúmulo de carbonatos no orifício de saída de água desses gotejadores, havendo aumento do diâmetro desses emissores, no momento de saída dos carbonatos junto com a água.



G



H

Figura 5. Comportamento dos modelos G e H de gotejadores convencionais após aplicação de água com diferentes *índices de saturação de Langelier*.

Para o gotejador G, houve menor entupimento no ISL 1,156 com entupimento médio nas 15 irrigações de 2,86% seguido dos ISL 0,469; -2,268 e 1,439 com médias de 6,01; 4,89 e 6,24%. Já o modelo H apresentou menor porcentagem de entupimento no ISL 1,439, pois nesse ISL observou-se aumento de vazão nos gotejadores. A maior porcentagem de entupimento foi registrada no ISL 1,156 com 24,38%.

De uma maneira geral, esperava-se que com os ISL crescentes haveria tendência de entupimento crescente, mas não foi o observado. Especula-se que nos ISL mais elevados houve maior acúmulo de carbonatos na malha de filtragem, causando o total fechamento da mesma e posterior paralisação do funcionamento do sistema. Isto foi constatado como se pode observar na Figura 6.



Figura 6. Filtro utilizado na primeira fase do ensaio com total obstrução por carbonatos (formação de “cake”).

6 CONCLUSÕES

A precipitação química ocorreu aleatoriamente, modificando a vazão dos gotejadores, devido à ocorrência de obstruções parciais nos mesmos. A obstrução dos gotejadores, decorrente do tempo de funcionamento e da arquitetura diferenciada dos emissores, contribuiu para o aumento do coeficiente de variação. Há diferenças marcantes entre modelos de gotejadores quanto ao seu desempenho sob diferentes ISL, tanto na susceptibilidade ao entupimento quanto na variação do coeficiente de fabricação. Adequações na arquitetura, tais como: comprimento do percurso da água na parte interna do emissor, área de filtragem, localização do orifício de entrada de água no emissor em relação à seção transversal e longitudinal da mangueira, além de posicionamento do emissor na mangueira (montagem na parte superior ou inferior do tubo) etc., ou no processo de fabricação dos gotejadores avaliados podem minimizar tanto a obstrução como os efeitos ocasionados por ela. O índice de saturação de Langelier não deve ser usado como único parâmetro para prever a obstrução das tubulações. Outros fatores devem ser analisados tais como, a temperatura e a arquitetura dos gotejadores.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Emissores para sistemas de irrigação localizada: avaliação das características operacionais. Rio de Janeiro, 1986. 7 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

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

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. *Irrigação e Tecnologia Moderna*, Porto Alegre, n. 54, p. 43-58, 2002.

DIAS, N. S.; OLIVEIRA, M. V. A. M.; COELHO, R. D. **Resistência de diferentes tipos de tubogotejadores ao entupimento por precipitação química de cálcio.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. CONBEA, 32, 2003, Goiânia. XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: Goiânia: Abid, 2003. CD-ROM.

LANGELIER, W. F. The analytical control of anticorrosion water treatment. **Journal American water works Association**, Denver, v. 28, p. 1500-1521, 1936.

HILLS, J. D.; NAWAR, F. M.; WALLER, P. M. Effects of chemical clogging on drip-tape irrigation uniformity. **American Society of Agriculture Engineering**. St. Joseph: ASAE. v. 32, n. 4. p. 1202-1206, 1989.

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

MEDEIROS, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE.** 1992. 173 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management.** Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986. 383 p.

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

PITTS, D. J.; HAMAN, D. Z.; SMAJSTRLA, A. G. **Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems.** Florida: University of Florida, Florida Cooperative Extension Service, 1990. 12 p. (Bulletin, 258).

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

RAVINA, I. et al. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, New York, v. 13, p. 129-139, 1992.

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

RESENDE, R. S. **Intrusão radicular e efeito de vácuo em gotejadores enterrados (irrigação subsuperficial).** 2003. 125 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SCHMIDT, M. V. V. **Características hidráulicas do tubogotejador “Queen Gil”**. 1995. 43 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

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

TESTEZLAF, R.; CAMPIONI, E. C. Comportamento hidráulico do tubogotejador “Queen Gil”. **Engenharia Agrícola**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 29-38, 1993.