

SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO DE MICROTUBOS GOTEJADORES SOB FERTIRRIGAÇÃO

CERES DUARTE GUEDES CABRAL DE ALMEIDA¹; SONIVAGNO DE SOUSA SILVA²; JOÃO AUDIFAX CÉZAR DE ALBUQUERQUE FILHO³ e ÊNIO FARIAS DE FRANÇA e SILVA³

¹ Professora Doutora, Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas (CODAI), Universidade Federal Rural de Pernambuco, São Lourenço da Mata, PE, ceres@codai.ufrpe.br

² Mestrando, Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

³ Professor Doutor, Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

1 RESUMO

O desempenho da fertirrigação com microtubos gotejadores está associado à qualidade da água, a seleção da fonte de nutrientes, e a vários problemas de obstrução. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a susceptibilidade ao entupimento de microtubos com quatro diâmetros internos: 0,6; 0,7; 0,8 e 1,0 mm, sob diferentes manejos de fertirrigação, simulando o cultivo do meloeiro. Foram feitas avaliações do coeficiente de variação de vazão (CVq), da uniformidade de distribuição (UD), e do grau de entupimento (GE) em todos os 25 emissores de cada linha lateral. O experimento foi conduzido em bancadas de ensaio no Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao longo de doze épocas de avaliação até o 225º dia, em esquema fatorial 4x3 sendo, quatro níveis de diâmetros de microtubos e três níveis de manejos sucessivos de fertirrigação e, nas subparcelas, as épocas de avaliação do sistema, correspondentes às quatro fases da cultura sequenciadas para cada tipo de manejo, no delineamento inteiramente aleatorizado com três repetições, totalizando 36 parcelas experimentais. O teste de esfericidade de Mauchly indicou análise multivariada para uniformidade de distribuição e o grau de entupimento, e análise em parcelas subdivididas para o coeficiente de variação de vazão. Na sequência de diâmetros de microtubos: 0,7; 0,6; 1,0 e 0,8mm, os resultados obtidos apontaram queda na susceptibilidade ao entupimento, e na variabilidade das estimativas da uniformidade de distribuição e coeficiente de variação de vazão, e houve correlação mais elevada entre os dados observados dessas variáveis.

Palavras-chave: uniformidade de distribuição, grau de entupimento, variação da vazão, *Cucumis melo* L.

ALMEIDA, C. D. G. C. de; SILVA, S. de S.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C. de; FRANÇA E SILVA, E. F. de.

SUSCEPTIBILITY TO CLOGGING OF MICROTUBES UNDER FERTIGATION

2 ABSTRACT

Performance of fertigation using micro tube drippers is associated to water quality, selection of nutrient source and many blockage problems. This study aimed at evaluating micro tube

clogging susceptibility with four internal diameters: , simulating melon cultivation. Coefficient of variation of discharge (CVq), distribution uniformity (DU) and degree of clogging (DC) were measured in all emitters. The experiment was held on a test bench at the Department of Rural Technology at Federal Rural University of Pernambuco, Brazil. Evaluation was performed 12 times until the 225th day using a 4x3 factorial design with 4 levels of micro tube diameters and 3 levels of successive fertigation management. Evaluation time of the system was assigned to subplots, corresponding to four distinct growth stages for each type of management. A completely randomized design was used with three replications amounting to 36 experimental plots. Mauchly sphericity test indicated multivariate analysis for distribution uniformity and degree of clogging, and split plot analysis for coefficient of variation of discharge. According to the sequence of micro tube diameters, 0.6, 0.7, 0.8 and 1.0 mm, the results showed decreased susceptibility to clogging, variability of estimates of distribution uniformity and coefficient of variation of discharge. Moreover, higher correlation among these variables was observed.

Keywords: uniformity of distribution, degree of clogging , flow variation, *Cucumis melo* L.

3 INTRODUÇÃO

A busca por sistemas de irrigação mais eficientes torna-se constante na agricultura irrigada, pois há tendência de aumento no custo da energia elétrica e de redução da disponibilidade hídrica (Macedo et al., 2010). Por essa razão, é essencial o desenvolvimento ou adaptação de tecnologias que possibilitem a minimização de custos atrelados à utilização dos recursos naturais de forma sustentável.

O microtubo pode ser uma alternativa para algumas situações, uma vez que se caracterizam pela fácil instalação e baixo custo, quando comparados aos outros tipos de emissores (Souza & Botrel, 2004), além de funcionar com baixa pressão. Este emissor consiste em um segmento de tubo de pequenos diâmetros internos, normalmente variam entre 0,5 a 1,5 mm, o qual é inserido diretamente na linha lateral, liberando pequenas quantidades de água para a zona radicular da planta (Bhatnagar & Srivastava, 2003; Souza et al., 2006). A vazão do gotejador é função da pressão disponível na linha lateral, do diâmetro e do comprimento do microtubo. Atenção especial deve ser dispensada à determinação do diâmetro interno do microtubo, pois qualquer variação no diâmetro afetará a vazão. Conseqüentemente, haverá erros na determinação do comprimento do microtubo para uma determinada pressão de entrada do gotejador (Almeida & Botrel, 2010).

As características hidráulicas do sistema de irrigação com microtubos constituem-se em definir a relação entre vazão e pressão na entrada do emissor; a perda de carga localizada, em sua inserção no tubo e o regime de escoamento. Para que a vazão do microtubo seja estimada com precisão é necessário que se utilize uma equação que correlacione vazão, comprimento, pressão na entrada do microtubo e diâmetro (Souza et al., 2006). Nesse sentido, Souza & Botrel (2004) propuseram uma equação que discrimina a perda de carga localizada na parede do tubo e a energia de velocidade, a qual é mais eficiente quando comparada com outros modelos.

O Brasil apresenta grande potencial para o desenvolvimento desta tecnologia, mas é necessário estudar suas restrições, técnicas, operacionais e econômicas. Sabe-se que emissores de longo percurso trabalham em regime de escoamento laminar e, portanto, apresentam os

inconvenientes de sensibilidade às variações de temperatura e do risco de entupimento (Souza, 2005).

A susceptibilidade ao entupimento de um emissor pode ser determinada pela avaliação hidráulica através de alguns parâmetros, entre eles a uniformidade de distribuição (UD), o grau de entupimento (GE) e o coeficiente de variação de vazão (CVq). Estes índices podem refletir o desempenho dos sistemas de irrigação em campo (Brauer et al., 2011; Ribeiro et al., 2008).

Especialmente na irrigação localizada por gotejamento, a qualidade da água deve ser conhecida e monitorada, pois este sistema pode apresentar vários problemas de obstrução nos emissores e tubulações (Ishaq & Ibrahim, 1995; Medeiros et al., 2008). Tal problema limita a utilização de microtubos, já que o uso intensivo pode gerar redução da uniformidade de aplicação de água, especialmente devido o regime de escoamento da água (Medeiros et al., 2008). Mesmo com essa dificuldade, sua utilização vem crescendo especialmente em países pobres da Ásia e África (Mackay, 2003).

Diversos trabalhos de pesquisa têm abordado a relação da fertirrigação com o entupimento de gotejadores (Medeiros et al., 2008; Barros et al., 2009; Ribeiro et al., 2010; Deus et al., 2011) associando a seleção da fonte de nutrientes com a obstrução química ou desobstrução dos emissores. O parâmetro que rege as reações químicas é o pH da solução, pois influencia a precipitação nas tubulações, interferindo na eficiência de aplicação de água e fertilizantes, especialmente quando se usa carbonatos e ácidos na fertirrigação. Além disso, em virtude das possíveis reações físicas, químicas e físico-químicas que podem ocorrer na mistura de fertilizantes, deve-se considerar a compatibilidade entre as fontes de fertilizantes utilizadas. Misturas compatíveis são aquelas em que não ocorre nenhuma reação na mistura dos fertilizantes que possa promover alterações nas suas características e por consequência formem precipitados (Mélo et al., 2008).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar a susceptibilidade ao entupimento de emissores tipo microtubos gotejadores, com diferentes diâmetros internos, sob diferentes manejos sucessivos de fertirrigação ao longo do tempo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida, no período de setembro de 2010 a junho de 2011, no Departamento de Tecnologia Rural - DTR da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, município de Recife – PE, Brasil, cujas coordenadas geográficas no sistema SAD 69 (South American Datum) são 8°01'05" de latitude sul e 34°56'48" de longitude oeste, altitude de 6,5m.

Os emissores utilizados foram microtubos de polietileno, do tipo espaguete, fabricado pela Plasnova Louveira Indústria e Comércio Ltda, com quatro diâmetros internos, 0,6; 0,7; 0,8 e 1,0 mm.

Inicialmente foi determinado hidrodinamicamente o diâmetro interno, conforme metodologia indicada por Almeida & Botrel (2010). Esta determinação consistiu em deixar a água fluir por gravidade, via microtubo com 3 m de comprimento, do reservatório superior para o inferior, de peso conhecido, destinado à coleta, durante três minutos, e pesado posteriormente. O volume de água foi computado utilizando o valor obtido do peso coletado, com cinco repetições para cada diâmetro. A diferença de nível entre os reservatórios foi de 2 m de altura. Os dados obtidos nesta determinação foram aplicados na equação proposta por Almeida & Botrel (2010), Eq. (1).

$$D = \left(\frac{0,0826264 Q^2 + 4,153269 \nu L Q}{z_1} \right)^{0,25} \quad (1)$$

Em que:

D = Diâmetro interno do microtubo, m;

Q = Vazão, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

ν = Viscosidade cinemática da água, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$;

L = Comprimento do microtubo, m;

z_1 = diferença de nível entre reservatórios, m.

O dimensionamento do comprimento do microtubo foi realizado com base no cálculo da perda de carga no tubo mais a energia de velocidade e a perda de carga localizada, de acordo com a Eq. (2) sugerida por Souza (2005).

$$H = \left(\frac{64 \cdot \nu \cdot L}{\pi \cdot 2 \cdot g} \left(\frac{L \cdot Q}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2 \cdot 2 \cdot g} \left(\frac{Q^2}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2 \cdot 2 \cdot g} \left(\frac{K \cdot Q^2}{d^4} \right) \right) \times 10 \quad (2)$$

Em que:

H = Carga piezométrica na entrada do microtubo, kPa;

Q = Vazão do microtubo, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

g = Aceleração da gravidade, m s^{-2} ;

K = Coeficiente de perda de carga localizada (adimensional);

d = Diâmetro interno do microtubo, m.

Para representar as repetições, os ensaios foram conduzidos em três bancadas de madeira idênticas, com as seguintes dimensões: 5,2 m de comprimento por 1,2 m de largura e altura de 1,0 m, onde foram instaladas quatro linhas laterais de polietileno com diâmetro de 13,6 mm, espaçadas em 25 cm entre si (Figura 1). A parcela experimental era constituída da combinação de cada linha lateral com cada tipo de manejo, onde se instalou aleatoriamente 25 emissores de mesmo diâmetro interno (0,6, 0,7, 0,8 e 1,0 mm, respectivamente), espaçados entre si, em 20 cm. A inserção dos microtubos nas linhas laterais foi padronizada em 5 mm, para uniformizar a perda de carga localizada, bem como para adotar os valores de K (coeficiente de perda de carga localizada) propostos por Souza (2005), o qual utilizou esta mesma forma de inserção (Tabela 1). Para cálculo do comprimento dos microtubos utilizou-se a Eq. (2), na qual foi aplicado o diâmetro médio calculado segundo a Eq. (1). Em cada bancada havia ainda, canaletas de drenagem da água e solução, as quais foram instaladas ao lado de cada linha lateral, confeccionadas a partir de tubos de 100 mm de diâmetro cortados ao meio.

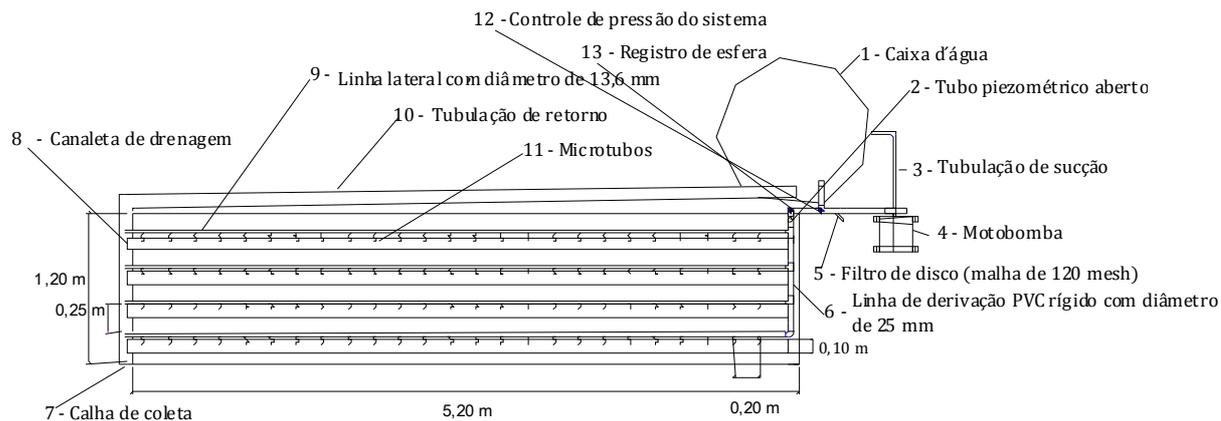


Figura 1. Vista superior da bancada de ensaios.

Tabela 1. Valores do coeficiente de perda de carga localizada ocorrida na inserção do microtubo na linha lateral (K)

Diâmetro do microtubo (mm)	K
1,0	8,52
0,8	10,68
0,7	9,21
0,6	9,85

Fonte: Souza (2005)

A alimentação do sistema em cada bancada era composta por um conjunto motobomba elétrica, marca Schneider®, com potência de 550W, com um temporizador para operacionalização. Para medir a pressão de entrada na linha lateral, instalou-se um tubo piezométrico aberto em mangueira flexível de polietileno transparente graduada. Um filtro de disco de 120 mesh foi instalado após a bomba para a retenção de partículas de diâmetro superior a 22 μ M (Figura 2). Para armazenamento e abastecimento da água e solução nutritiva utilizou-se um reservatório de fibra de vidro com capacidade para 500 L. Na extremidade final de cada bancada foi instalada uma calha para coleta das águas provenientes das quatro canaletas de drenagem, garantindo a recirculação da água no sistema (Figura 2).



Figura 2. Componentes e funcionamento de uma bancada de ensaios.

Diariamente a temperatura, o pH e a condutividade elétrica (CE) da água foram medidas em diferentes horários (9, 11, 13 e 15h), bem como o ajuste e manutenção da pressão no sistema em 10 kPa.

Três manejos de fertirrigação foram aplicados no sistema de irrigação, sucessivamente, simulando o tempo necessário de cultivo em três ciclos vegetativos da cultura do melão. No primeiro manejo de fertirrigação foi utilizada apenas a água proveniente do sistema de abastecimento do DTR/UFRPE, oriunda de um poço, sem adição de fertilizantes. A caracterização físico-química da água foi realizada no Laboratório de Análise de Água, Plantas e Rações do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (Tabela 2).

Tabela 2. Composição química da água utilizada no primeiro manejo

Parâmetros	Unidade
Cl ⁻	11,0 mg L ⁻¹
SO ₄ ²⁻	4,67 mg L ⁻¹
P	0,0 mg L ⁻¹
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃)	0,0 mg L ⁻¹
Na ⁺	2,53 mg L ⁻¹
K ⁺	1,17 mg L ⁻¹
Ca ²⁺	0,80 mg L ⁻¹
Mg ²⁺	1,94 mg L ⁻¹
Ferro total (Fe ²⁺)	0,068 mg L ⁻¹
Cu	0,0 mg L ⁻¹
Mn	0,0 mg L ⁻¹
Zn	0,0 mg L ⁻¹
Cor aparente	0,0 uH ²
Turbidez	1,37 uT
Sedimento em suspensão	38 mg L ⁻¹
CE	74,24 uS cm ⁻¹ a 25°C
pH	5,5
CO ₂	0,0 mg L ⁻¹
Dureza total (CaCO ₃)	10 mg L ⁻¹

O segundo manejo de fertirrigação foi realizado com base na recomendação de adubação para meloeiro proposta pela EMBRAPA (2003) e o terceiro manejo de fertirrigação foi efetuado segundo a recomendação de Dantas (2010). Antes de iniciar um novo manejo, todo o sistema era lavado com água limpa, inclusive o filtro e o reservatório. Neste trabalho, cada ciclo da cultura do melão foi dividido em quatro fases, com duração de 21, 20, 20 e 14 dias, respectivamente, com o consumo hídrico de 300 mm/ciclo. As fontes de nutrientes utilizadas foram selecionadas em função da compatibilidade entre si. Optou-se por utilizar fertilizantes nitrogenados, potássicos e ácidos, devido, na sua grande maioria, serem relativamente livres de limitações para fins de fertirrigação. Os fertilizantes selecionados foram uréia (45% de N), cloreto de potássio (60% de K₂O), ácido fosfórico (45,44% H₃PO₄), nitrato de cálcio (15% N e 34% Ca), sulfato de magnésio (10% de Mg e 13% de S) e cloreto de magnésio (11,8% de Mg). As quantidades de fertilizantes utilizadas em cada fase vegetativa da cultura no manejo de fertirrigação 2 e 3 estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Composição química nutricional da solução para cada fase dos manejos de fertirrigação 2 e 3

Fertilizantes	Manejo 2			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
	g m ⁻³			
Uréia	108,00	420,00	800,00	144,00
Nitrato de cálcio	44,10	42,60	54,70	24,00
Cloreto de potássio	34,00	260,00	578,00	158,00
Cloreto de magnésio	82,00	104,00	194,00	94,00
Ácido fosfórico	73,40	69,30	92,00	48,60
Sulfato de magnésio	64,50	84,00	103,00	24,70

Fertilizantes	Manejo 3			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
	g m ⁻³			
Uréia	499,50	499,50	508,70	59,76
Nitrato de cálcio	134,28	134,28	312,31	-
Cloreto de potássio	104,27	104,27	185,77	47,31
Cloreto de magnésio	54,85	54,85	328,19	-
Ácido fosfórico	411,35	411,35	245,19	-

As avaliações hidráulicas do sistema de irrigação foram realizadas ao final do período de tempo equivalente a cada fase vegetativa. Desse modo, foi possível identificar entupimento dos microtubos sob fertirrigação por precipitados minerais e carbonatos.

Diariamente o sistema funcionou 18 h com intervalo de 6 h de repouso. A vazão de projeto estabelecida para cada emissor foi de 0,6 L h⁻¹, totalizando 10,8 L dia⁻¹emissor⁻¹. Com base neste valor foi necessário 383,3 h para suprir o ciclo vegetativo da cultura, totalizando 21 dias e sete horas de operação do sistema, que correspondeu à 75 dias de cultivo em campo. Para execução dos três manejos sucessivos de fertirrigação foram necessárias 1150 h, correspondendo à 64 dias de funcionamento do sistema.

A vazão foi mensurada em todos os emissores pelo método gravimétrico, utilizando-se uma balança semianalítica. A água foi coletada durante aproximadamente 7 min em recipientes, com capacidade de 150 mL, previamente pesados e identificados com três repetições.

Durante cada bateria de coleta de água realizou-se a medição da temperatura da água e da pressão de alimentação do sistema. Quando necessário, a pressão era ajustada visando mantê-la sempre em 10 kPa. Com os resultados obtidos nessa avaliação era calculada a vazão e o desempenho hidráulico de cada emissor (Eqs. de 3 a 7).

$$q = \frac{P}{1000 t} 60 \quad (3)$$

Em que:

q = Vazão do gotejador, $L h^{-1}$

P = Massa da água coletada, g

t = Tempo de coleta, min

$$\bar{q} \text{ novo} = \frac{q \text{ linha}}{N} \quad (4)$$

Em que:

$\bar{q} \text{ novo}$ = Vazão média do gotejador novo, $L h^{-1}$

$q \text{ linha}$ = Vazão da linha gotejadora, $L h^{-1}$

N = Número de emissores na linha.

$$CVq = \frac{s}{q_m} 100 \quad (5)$$

Em que:

CVq = Coeficiente de variação de vazão, %

s = Desvio padrão da vazão dos gotejadores, $L h^{-1}$

q_m = Vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$

A interpretação do coeficiente de variação de fabricação foi baseada no critério de classificação proposto por Solomon (1979) e para a uniformidade de distribuição, a classificação sugerida por Bralts (1986).

$$UD = \frac{q_{25\%}}{q_m} 100 \quad (6)$$

Em que:

UD = Uniformidade de distribuição, %

$q_{25\% \text{ usado}}$ = Média de $\frac{1}{4}$ dos menores valores de vazão dos emissores, $L h^{-1}$

$$GE = \left[1 - \frac{q_{\text{atual}}}{q_{\text{novo}}} \right] 100 \quad (7)$$

Em que:

GE = Grau de entupimento, %

Para avaliar a susceptibilidade dos microtubos ao entupimento, conduziu-se o experimento no delineamento inteiramente aleatorizado, com três repetições. Para análise estatística das variáveis estudadas, aplicou-se o Teste de Esfericidade de Mauchly (Mauchly, 1940) que definiu como adequada a análise multivariada com medidas repetidas com o tempo.

Para o caso em que a hipótese de esfericidade não era violada, os tratamentos foram distribuídos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas o fatorial 4 x 3 sendo, quatro níveis de diâmetros de microtubos e três níveis de manejos e, nas subparcelas, as épocas de avaliação do sistema, correspondentes às quatro fases da cultura sequenciadas para cada tipo de manejo. O Manejo 1 foi submetido durante o período correspondente a um ciclo da cultura do melão (75 dias) e o sistema de irrigação era avaliado aos 21, 41, 61, 75 dias. Iniciando a simulação de um novo ciclo vegetativo do meloeiro, utilizou-se o Manejo 2 (submetido do 75° ao 150° dia, sendo o sistema de irrigação avaliado aos 96, 116, 136, 150 dias). O último manejo de fertirrigação, Manejo 3, era aplicado por mais um ciclo da cultura e as avaliações ocorreram aos 171, 191, 211 e 225 dias.

Inicialmente foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e a homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett. Os dados foram analisados no sistema computacional Statistica 10 (Statsoft, 2011) e interpretados por meio das significâncias das análises de variância e regressão, considerando-se o nível de probabilidade de até 5% pelo teste F. Para estabelecer o modelo representativo do fenômeno estudado utilizou-se o teste “t” de Student para testar os coeficientes de regressão e se adotou o nível de probabilidade de até 5% e os coeficientes de determinação (R^2).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios encontrados na determinação hidrodinâmica do diâmetro interno real dos microtubos são apresentados na Tabela 4, os quais foram utilizados na Eq. 2 para calcular o comprimento dos microtubos instalados nas bancadas de ensaio. Como a perda de carga ao longo da linha lateral era muito pequena ($< 0,014$ kPa) e cada bancada montada em nível, todos os 25 microtubos, de cada linha, tiveram o mesmo comprimento. Para uma mesma vazão de projeto ($0,6 \text{ L h}^{-1}$), o comprimento dos microtubos varia em função do diâmetro interno, ou seja, quanto maior o diâmetro, maior deve ser o comprimento para dissipar a perda de carga ao longo do microtubo e manter vazão constante em todos os emissores da linha lateral (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios e erro padrão médios do diâmetro interno e comprimento dos microtubos

Diâmetro nominal* (mm)	Diâmetro real (mm)	Comprimentos calculados (cm)
0,6	$0,728 \pm 0,02$	$36,5 \pm 0,36$
0,7	$0,819 \pm 0,02$	$60,9 \pm 0,50$
0,8	$0,944 \pm 0,06$	$110 \pm 2,67$
1,0	$1,139 \pm 0,01$	$237 \pm 0,54$

* Valores fornecidos pelo fabricante, via catálogo do produto.

Souza (2005) encontrou valores de diâmetro interno próximos aos verificados nesta pesquisa (0,713; 0,722; 0,835 e 1,063 mm, respectivamente para 0,6; 0,7; 0,8 e 1,0 mm), validando o método hidrodinâmico. Almeida & Botrel, (2010) sugerem que a determinação hidrodinâmica deve ser tomada por referência no dimensionamento de projetos de irrigação com microtubos. Esta afirmação foi confirmada neste trabalho, visto que os valores médios de vazão dos emissores foram: $0,7 \text{ L h}^{-1}$ nas linhas laterais com microtubos de 0,6 e 0,7 mm e de,

0,6 L h⁻¹ nas linhas onde estavam instalados emissores com 0,8 e 1,0 mm de diâmetro, os quais são muito próximos ao valor da vazão projetada.

O teste de esfericidade de Mauchly foi realizado para testar a propriedade de simetria composta, que implica na condição de que a variável aleatória seja igualmente correlacionada e tenha variâncias iguais, considerando os sucessivos manejos de fertirrigação nas quatro fases da cultura do melão. O teste foi aplicado para as variáveis estudadas e os resultados foram os que seguem na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados obtidos do teste de esfericidade de Mauchly para as variáveis coeficiente de variação de vazão (CVq), uniformidade de distribuição (UD) e grau de entupimento (GE)

Variável	Critério de Mauchly	Qui-Quadrado (χ^2)	Pr > χ^2
CVq	0,658	9,502	0,090638 ^{n.s.}
UD	0,255	31,035	0,000009
GE	0,320	25,871	0,000095

n.s. não significativo até 5% (aceita-se a hipótese de esfericidade)

Conforme a mesma tabela, o teste de esfericidade de Mauchly indicou o uso de análise de variância multivariada para medidas repetidas, para as variáveis UD e GE, em nível de significância de 1% ($p < 0,01$), e análise de variância de medidas repetidas em esquema de parcela subdividida para a variável CVq.

Os testes multivariados de medidas repetidas para as variáveis UD e GE, mostrou diferença significativa, ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$) para os vetores de médias de tratamentos, de acordo com os testes de Hotelling-Lawley, Pillai, Wilks e Roy, para a interação tempo x manejo x diâmetro. Para a variável CVq a análise de variância de medidas repetidas também mostrou diferença significativa em nível de 1% para a mesma interação.

O desdobramento da interação tempo x manejo x diâmetro, quando se fixa o diâmetro de microtubo, possibilitou estudar a influência significativa da variação dos manejos sucessivos de fertirrigação, ao longo das épocas de avaliação do sistema, na variação das variáveis respostas UD, CVq e GE. Desta forma, os dados médios observados dessas variáveis e as respectivas curvas de ajustes estão apresentados na Figura 3.

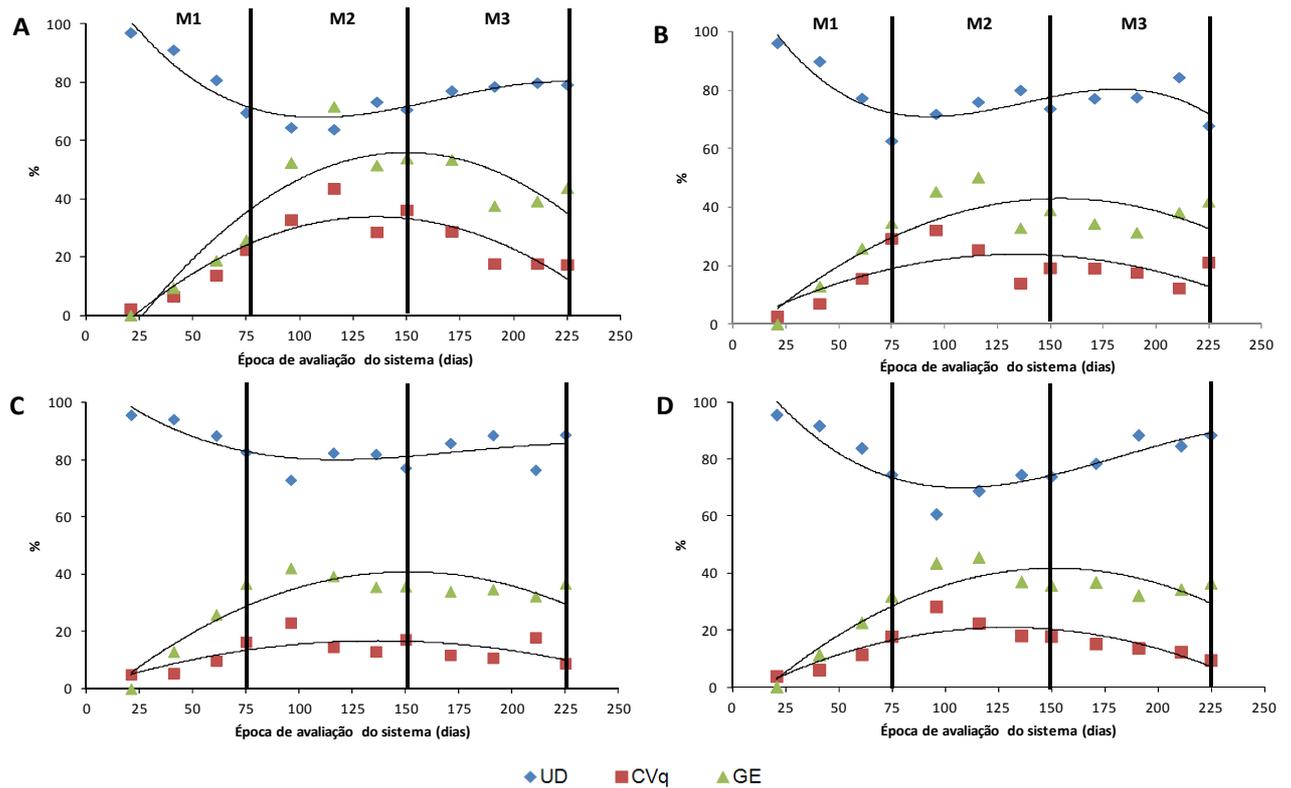


Figura 3. Uniformidade de Distribuição (UD), coeficiente de variação de vazão (CVq) e grau de entupimento (GE), em função dos manejos de fertirrigação sendo M1: sem fertilizantes; M2: EMBRAPA (2003) e M3: Dantas (2010), ao longo das épocas de avaliação do sistema (dias), estimados nos níveis de diâmetros de microtubos 0,6 mm (A), 0,7 mm (B), 0,8 mm (C) e 1,0 mm (D).

As equações de regressão que ajustaram os dados médios observados das variáveis estudadas, apresentados na Figura 3, são as que seguem na Tabela 6. Os modelos polinomiais foram escolhidos para estimar os dados observados, com base na significância dos parâmetros de regressão de maior grau e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e para representar o fenômeno estudado (Tabela 6).

Tabela 6. Equações de regressão ajustadas para uniformidade de distribuição (UD, %), coeficiente de variação de vazão (CVq, %) e o grau de entupimento (GE, %), em função dos manejos de fertirrigação, ao longo das épocas de avaliação do sistema (T, em dias), medido nos níveis de diâmetros de microtubos (D, mm) e os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Variáveis	Equações de Regressão Ajustadas	R^2
UD	$UD(0,6) = -2 \times 10^{-05} * T^3 + 0,0083^{**} T^2 - 1,2157^{**} T + 123,07$	0,8881
	$UD(0,7) = -3 \times 10^{-05} * T^3 + 0,0108^{**} T^2 - 1,3325^{**} T + 122,17$	0,7013
	$UD(0,8) = 0,0011 * T^2 - 0,3219 * T + 102,32$	0,5264
	$UD(1,0) = 0,0023^{**} T^2 - 0,5780^{**} T + 107,05$	0,7354
CVq	$CVq(0,6) = -0,0027^{**} T^2 + 0,7225^{**} T - 15,213$	0,8119
	$CVq(0,7) = 2 \times 10^{-05} * T^3 - 0,0095 * T^2 + 1,2135^{**} T - 22,502$	0,7034
	$CVq(0,8) = -0,0009 * T^2 + 0,2391 * T + 0,2318$	0,4718
	$CVq(1,0) = -0,0015^{**} T^2 + 0,3903^{**} T - 4,3767$	0,7380
GE	$GE(0,6) = -0,0037^{**} T^2 + 1,1044^{**} T - 26,825$	0,8162
	$GE(0,7) = 3 \times 10^{-05} * T^3 - 0,0127^{**} T^2 + 1,7482^{**} T - 35,369$	0,8981
	$GE(0,8) = 2 \times 10^{-05} * T^3 - 0,0107^{**} T^2 + 1,5250^{**} T - 29,714$	0,9656
	$GE(1,0) = 2 \times 10^{-05} * T^3 - 0,0095^{**} T^2 + 1,4420^{**} T - 29,783$	0,9342

*, ** Significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Os menores diâmetros de microtubos, 0,6 e 0,7 mm, proporcionaram queda na uniformidade de distribuição ao longo dos três manejos aplicados, atingindo os mínimos estimados pelos modelos aos 225 dias de avaliação do sistema, correspondentes a 41,91 e 27,38%, respectivamente (Figura 3).

Por outro lado, os maiores diâmetros de microtubos 0,8 e 1,0 mm proporcionaram queda na uniformidade de distribuição até o segundo manejo, atingindo os mínimos estimados pelos modelos aos 146 e 126 dias correspondentes a 78,77 e 70,73%, respectivamente. Posteriormente, houve elevação até o final do terceiro manejo (Figura 3).

Os parâmetros CVq e GE apresentaram tendências similares entre si em todos os microtubos estudados, o que era esperado em função da interrelação direta entre eles.

É provável que a influência significativa na variação dos parâmetros estudados, além das fontes de variação consideradas e representada pelos modelos, seja adicionalmente corroborada por variáveis não controladas, e por fatores observados durante a condução dos ensaios. Um deles foi a presença de ferro na água de irrigação observada visualmente (Figura 4), apesar da análise química da água não ter diagnosticado restrições para o uso da água em irrigação, com teor de ferro igual à 0,068 mg L⁻¹.



Figura 4. Indícios visuais da precipitação do ferro na água de irrigação.

Ribeiro et al. (2005) afirmam que teores de ferro entre a faixa 0,2 e 1,5 mg L⁻¹, pode causar risco de entupimento, provavelmente os resultados encontrados neste trabalho estão relacionados à precipitação do ferro interferindo nos baixos valores de UD. Hernandez et al. (2001) relatam que após a oxidação de Fe²⁺ para Fe³⁺, o ferro fica retido nas paredes do tubo ocasionando o aumento nas perdas de cargas e comprometendo o sistema de irrigação. Mélo et al. (2008) afirmam que o entupimento de origem química em emissores se relaciona principalmente à passagem de determinados elementos químicos da forma natural, em que se encontram solúveis na água, para um novo estado de oxidação/redução, de menor solubilidade, com formação de precipitados. O ferro, enxofre e manganês são os principais elementos químicos incluídos nesse processo. Portanto, a UD neste trabalho pode ter sofrido influência do ferro em sua forma reduzida Fe³⁺, o que ocasionou o baixo desempenho hidráulico dos emissores, mesmo sem uso de fertilizantes.

Nas quatro fases dos manejos dois e três, a UD, da linha lateral onde estavam instalados os emissores 0,6 mm, foi classificada como ruim a regular, segundo Merriam & Keller (1978). Provavelmente, este baixo desempenho hidráulico pode ter ocorrido pela adição de fertilizantes, causando a precipitações de elementos químicos, aliado à ação do elemento Fe²⁺ em sua forma reduzida Fe³⁺ presente na água, ou ainda, pelo intensivo uso dos emissores (777 h). Airoidi (2007) relata que após 500 h de funcionamento, todos os tratamentos apresentaram quedas substanciais de UD, especialmente para as parcelas irrigadas com água residuária, corroborando esse ensaio conduzido sob fertirrigação.

No entanto, observa-se que a metodologia usada na caracterização do desempenho hidráulico de cada emissor, ao longo das épocas de avaliação do sistema, revela uma boa correlação entre os dados observados da uniformidade de distribuição (UD) com os dados do coeficiente de variação de vazão (CVq) (Figura 5). Esta observação é justificada pela correlação elevada dessas variáveis, que apresentou equação de ajuste linear negativo com elevado coeficiente de determinação (R²), na faixa de 0,79 a 0,96 para os emissores estudados, a 5% de probabilidade pelo teste F, concordando com Ribeiro et al. (2008). Os autores encontraram o mesmo grau de relacionamento e correlação elevada para as mesmas variáveis estudadas, e constataram que à medida que o tratamento de desobstrução se torna

mais eficiente ocorre melhora na uniformidade de distribuição de água e diminuição no coeficiente de variação de vazão (CV) dos gotejadores em todos os setores avaliados.

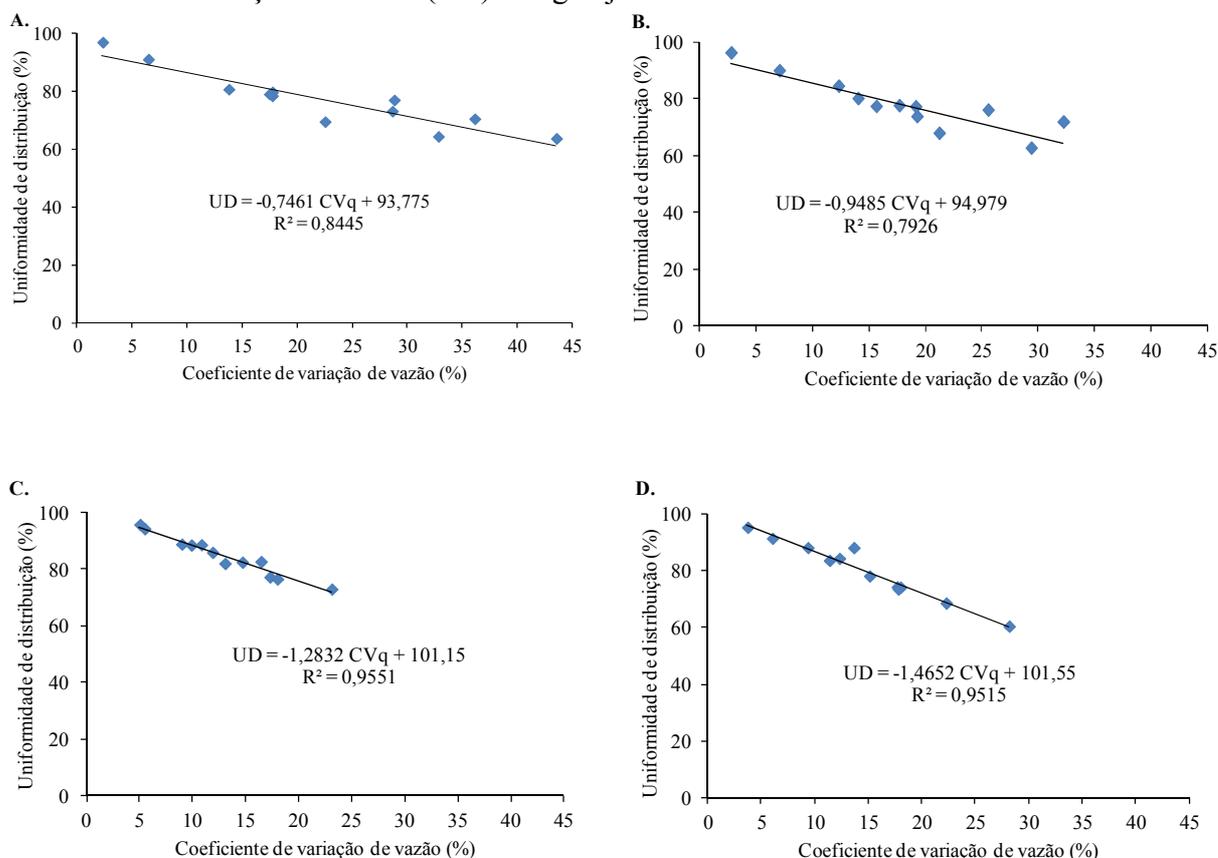


Figura 5. Correlação dos dados observados entre a uniformidade de distribuição (UD) e o coeficiente de variação de vazão (CVq), ao longo das doze épocas de avaliação do sistema, para os diâmetros de microtubos 0,6 mm (A), 0,7 mm (B), 0,8 mm (C) e 1,0 mm (D).

6 CONCLUSÕES

Na sequência de diâmetros de microtubos: 0,7; 0,6; 1,0 e 0,8 mm, os resultados obtidos apontaram queda na susceptibilidade ao entupimento e na variabilidade das estimativas da uniformidade de distribuição e coeficiente de variação de vazão.

Os menores diâmetros de microtubos, 0,6 e 0,7 mm proporcionaram os menores valores de uniformidade de distribuição, comportamento oposto ao constado nos microtubos de diâmetros: 0,8 e 1,0 mm.

Houve correlação mais elevada entre os dados observados de uniformidade de distribuição e coeficiente de variação de vazão, sob diferentes manejos sucessivos de fertirrigação, ao longo das épocas de avaliação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AIROLDI, R. P. S. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação com água residuária**. 2007. 139 f. Tese (Doutorado em

Irrigação e Drenagem)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

ALMEIDA, C. D. G. C.; BOTREL, T. A. Determinação do diâmetro de microtubos em irrigação localizada. **Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 413-417, 2010.

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

BHATNAGAR, P. R.; SRIVASTAVA, R. C. Gravity-fed drip irrigation system for hilly terraces of the northwest Himalayas. **Irrigation Science**, Berlin, v. 21, n. 4, p. 151-157, Jan. 2003.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D. A. **Trickle of irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9).

BRAUER, R. L.; CRUZ, R. L.; VILLAS BÔAS, R. L.; PLETSCHE, T. A. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em gotejadores em função do teor de ferro. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 21-30, 2011.

DANTAS, D. C., **Função de produção do meloeiro em resposta à fertirrigação nitrogenada e potássica na microrregião de Mossoró**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2010.

DEUS, A. C. F.; COSTA, C. D. O.; FORATTO, L. C.; FERNANDES, D. M.; CARRIBEIRO, L. S. Alfaca americana fertirrigada com diferentes doses de ácido fosfórico e hidróxido de potássio. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 125-133, 2011.

EMBRAPA. **Melão produção: aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. 144p. (Frutas do Brasil, 33).

HERNANDEZ, F. B. T.; SILVA, C. R.; SASSAKI, N.; BRAGA, R. S. Qualidade de água em um sistema irrigado no noroeste paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz de Iguaçu. **Anais...** Foz de Iguaçu: UNIOESTE, 2001. 1 CD-ROM.

ISHAQ, A. M.; IBRAHIM, M. A. The design of trickle irrigation systems with microtubes as emitters. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MICROIRRIGATION, 5., 1995, Orlando. **Proceedings...** Orlando: ASAE, 1995. p. 708-716.

MACEDO, A. B. M.; GOMES FILHO, R. R.; LIMA, S. C. R. V.; VALNIR JUNIOR, M.; CAVALCANTE JÚNIOR, J. A. H.; ARAÚJO, H. F. Desempenho hidráulico de um sistema de irrigação por microaspersão utilizando dois tipos de emissores. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 2, p. 82-86, 2010.

- MACKAY, H. **Low cost micro irrigation technologies for the poor**. New Delhi: Department for Infrastructure and Urban Development, 2003. 37 p. (Affordable MicroIrrigation Technology Final Report). Disponível em: <<http://www.itcltd.com/docs/amit%20final%20report.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2010.
- MAUCHLY, J. W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. **Annals of Mathematical Statistics**, Minesota, v. 11, n. 2, p. 204-209, 1940.
- MEDEIROS, P. R. F.; COELHO, R. D.; BARROS, A. C.; MÉLO, R. F. Dinâmica do entupimento de gotejadores em função da aplicação de carbonato de potássio. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 288-297, 2008.
- MÉLO, R. F.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de gotejadores convencionais por precipitados químicos de carbonato de cálcio e magnésio, com quatro índices de saturação de langelier. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 525-539, 2008.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- RIBEIRO, P. A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 279-287, 2010
- RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 295-301, 2005.
- RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; COLETTI, C. Chemical treatment to unclogg dripper irrigation systems due to biological problems. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n. 1, p. 1-9, 2008.
- SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1979.
- SOUZA, R. O. R. M.; PEREZ, G. F. E.; BOTREL, T. A. Irrigação localizada por gravidade com microtubos. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 266-279, 2006.
- SOUZA, R. O. R. M. **Modelagem, desenvolvimento de software para dimensionamento, e avaliação de sistema de irrigação por gotejamento com microtubos**. 2005. 100 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- SOUZA, R. O. R. M.; BOTREL, T. A. Modelagem para o dimensionamento de microtubos em irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 16-22, 2004.

STATSOFT Inc. Statistica: data analysis software system. Version 10. [S.l.]: StatSoft, 2011. Disponível em: <www.statsoft.com>. Acesso em: 10 fev. 2012.