

## Dimensões de bulbo molhado em sistema de irrigação por gotejamento

Fernando Lucas Valério dos Santos<sup>1</sup>, Josué Gomes Delmond<sup>2</sup>, Vitor Marques Vidal<sup>2</sup>, Fernando Nobre Cunha<sup>2\*</sup>, Marconi Batista Teixeira<sup>2</sup>, Frederico Antonio Loureiro Soares<sup>2</sup>, Flávio Henrique Ferreira Gomes<sup>1</sup>, Reinaldo Adriano Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Goiás, Santa Helena de Goiás – GO. Email: fernandinlucas@msn.com; flaviohenriquefg@hotmail.com; ferestexp@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana km 01, CEP: 75901-970, Rio Verde, GO. Email: josuedg@gmail.com; vmarquesvidal@gmail.com; fernandonobrecunha@hotmail.com; marconibt@gmail.com; fredalsoares@hotmail.com

\* Autor correspondente

**Resumo:** O estudo de bulbo molhado é recomendado como parte do manejo de água e dimensionamento em sistema de irrigação localizada. A pesquisa teve o objetivo avaliar a formação do bulbo molhado, em solo de textura média, sob irrigação por gotejamento superficial, na condição inicial de solo seco. Para tal, utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento, modelo tal drip, com diâmetro nominal 17 mm, pressão máxima de trabalho de 9 mca, com vazão indicada de 1,7 L h<sup>-1</sup>, espaçados em 30 cm, abastecidos por depósito de água. Para regular a pressão foram utilizados 2 manômetros de glicerina e bomba de 1/2 cv. O experimento foi instalado no esquema de parcela subdividida, em que, a parcela constituiu as quatro pressões de serviço (2, 4, 6 e 8 mca), e as subparcelas, quatro tempo de irrigação (0,5; 1; 1,5 e 2 horas). O delineamento foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. As variáveis analisadas foram diâmetro superficial, diâmetro máximo, profundidade máxima e vazão, no método da trincheira. O tempo de aplicação e a pressão de serviço tem efeito sobre a vazão média, diâmetro médio e diâmetro superficial.

**Palavras-chave:** distribuição de água, tempo de aplicação, variação de pressão.

## Wet bulb dimensions in drip irrigation system

**Abstract:** The study on wet bulb is recommended as part of the water management and dimensioning in localized irrigation system. The research had the objective to evaluate the formation of wet bulb in a medium-textured soil under superficial drip irrigation, in the initial condition of dry soil. To this end, we used a drip irrigation system, TalDrip model, with nominal diameter of 17 mm, maximum working pressure of 9 mwc, with indicated flow rate of 1.7 L h<sup>-1</sup>, drippers spaced by 30 cm, supplied by a water tank. To control the pressure, 2 glycerin manometers and a 1/2 hp pump were used. The experiment was conducted in a split-plot design, in which the plot consisted of four operating pressures (2, 4, 6 and 8 mwc) and the subplots, of four irrigation times (0.5; 1; 1.5 and 2 hours). A randomized block design (RBD) was used, with four replicates. The analyzed variables were superficial diameter, maximum diameter, maximum depth and flow rate, in the trench method. The time of application and the operating pressure have effect on the mean flow rate, mean diameter and superficial diameter.

**Keywords:** water distribution, duration of application, pressure variations.

## Introdução

Devido à expansão da área cultivada para regiões onde há má distribuição das chuvas, surge a necessidade de adoção de técnicas de irrigação e conseqüentemente de tecnologias na irrigação, a fim de contribuir com o uso eficiente de água na produção vegetal.

Tratando-se da irrigação localizada, o sistema de irrigação por gotejamento, tem sua área úmida formada pelo emissor, podendo ser definida como bulbo molhado, e em alguns casos, essa área tende a formar uma circunferência, mas quando os gotejadores são próximos, forma-se uma faixa molhada (Bernardo et al., 2006).

O bulbo molhado formado no solo é afetado pela umidade inicial do solo, pela vazão do emissor, pela frequência e duração da irrigação, pelo movimento capilar da água e pela capacidade de retenção de água pelo solo (Levien et al., 2010; Evan et al., 2007).

Diversas são as formas de medir o bulbo molhado formado pelo gotejador, e o método da trincheira, possibilita a medição de forma econômica por não necessitar de equipamentos de custo elevado, porém, exige bastante mão de obra. Para verificar de frente, o molhamento no perfil do solo, o método da trincheira mostra-se adequado por sua simplicidade e fácil execução no gotejamento superficial e subsuperficial (Battam et al., 2003).

Segundo Maia & Levien (2010), informações adquiridas sobre a geometria do bulbo, são de grande importância para o dimensionamento e manejo da irrigação, principalmente na estimativa do volume de solo molhado, tempo de aplicação de água e vazão do emissor. Souza (2002) ressalta ainda que, as dimensões do bulbo molhado dependem, sobretudo, da estrutura e textura do solo, frequência de aplicação e umidade inicial do solo.

Keller & Bliesner (1990), afirmaram que, intervalos menores de irrigação em quantidades menores, produzem pequena área molhada, limitando as partes mais inferiores do sistema radicular de absorver água, e por outro lado, aplicações em excesso, em intervalos de irrigação mais longos, promovem o aumento da profundidade de penetração de água abaixo da zona do sistema radicular, água esta que será perdida por

percolação e conseqüentemente carregando nutrientes que estariam prontos para absorção das plantas, acarretando em baixas produtividades.

Tendo como um dos objetivos na irrigação, boa uniformidade de aplicação, esta se torna, ferramenta essencial, quando se quer aferir o dimensionamento do bulbo molhado. Por exemplo, quando há sobreposição dos bulbos, a umidade do solo na camada 0 a 20 cm de profundidade têm maior coeficiente de uniformidade e, sem sobreposição, a maior uniformidade de irrigação ocorre entre 20 e 40 cm de profundidade (Souza, 2002).

Neste contexto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a formação do bulbo molhado, em solo de textura média, sob irrigação por gotejamento superficial, na condição inicial de solo seco.

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Santa Helena de Goiás - GO, localizado a uma altitude de 562 m. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo vermelho eutroférico, fase cerrado, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013) (Tabela 1).

O experimento foi instalado no esquema de parcela subdividida, em que a parcela constituiu em quatro pressões de serviço (PS) 2, 4, 6 e 8 mca, e as subparcelas em quatro tempos de aplicação (TI) estabelecidos 0,5; 1; 1,5 e 2 h. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições.

Toda área foi dividida em quatro blocos experimentais, onde foram fixadas as quatro PS e dentro de cada parcela, variando os quatro tratamentos de TI. Para cada combinação de pressão e tempo de aplicação foram avaliados quatro bulbos, totalizando 64 unidades experimentais. As variáveis analisadas foram diâmetro superficial (DS), diâmetro máximo (DM), profundidade máxima (PM) e a vazão média do emissor ( $Q_{med}$ ).

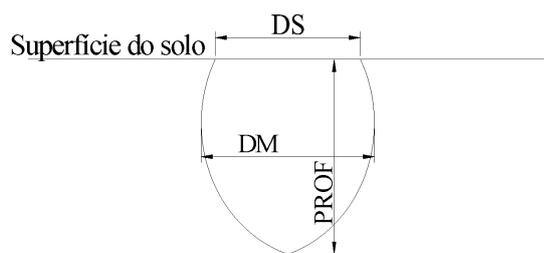
Para determinação do DS foi realizada a leitura imediatamente depois de cessada a aplicação e respeitando os tratamentos específicos de cada unidade experimental. Foi utilizada uma fita métrica, onde fora aferido o diâmetro do bulbo molhado na superfície do solo, sem nenhum revolvimento, conforme a Figura 1.

Na determinação do DM utilizou-se o método da trincheira proposto por Battam et al. (2003), onde,

**Tabela 1.** Caracterização química do solo da área experimental

Profundidade m	pH -	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al			S	CTC	V %
						cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
0,0-0,2	6,0	7,0	50,4	4,2	0,7	0	7,1	0,41	12,2	42,3	
0,2-0,4	6,2	2,6	29,0	2,9	0,8	0	4,9	0,32	8,7	40,5	

\*pH em água. P e K - extrator de Mehlich<sup>-1</sup>. V - Saturação de bases.



**Figura 1.** Posição das variáveis no bulbo molhado

após cessada a aplicação e respeitando os tratamentos específicos de cada unidade experimental, foi realizado a abertura de uma trincheira, com uso de enxadão, do comprimento maior que o diâmetro do bulbo molhado e cortando a região mediana do bulbo, sempre realizando o corte da região seca para dentro do bulbo molhado evitando distorções na leitura.

Durante a abertura da trincheira era realizada a leitura do diâmetro a cada corte, até a verificação do início da redução do diâmetro, e dessa forma foi atribuído o maior valor de leitura realizada para o DM.

Para a avaliação da formação de distribuição de água no bulbo até a PM, foi utilizada uma cavadeira. Logo, após a identificação do DM foi feito a retirada do solo úmido no centro do bulbo até a identificação de solo seco, momento em que era realizada a leitura da distância entre a superfície e o fundo do buraco, esse valor fora atribuído a PM.

Para determinação das dimensões do bulbo molhado formado pelo emissor, foi utilizado um sistema de irrigação por gotejamento com tubo gotejador taldrup, com diâmetro nominal de 17 mm, pressão máxima de trabalho de 9 mca, com vazão indicada de 1,7 L h<sup>-1</sup>, espaçados em 30 cm, abastecidos por um reservatório de 1000 L. O sistema de irrigação foi pressurizado por uma bomba centrífuga de 0,5 cv.

Para a medição da pressão de serviço à entrada da linha de emissores foi utilizado um manômetro de bourdon digital com faixa de leitura de 0 - 4 Kgf cm<sup>-2</sup>, permitindo que a cada medição de vazão a pressão fosse checada e, se necessário, ajustada àquela preestabelecida.

A  $Q_{med}$  foi determinada durante a realização do experimento nos emissores não ensaiados. Foi aberto covas abaixo dos emissores, evitando elevações bruscas na fita gotejadora que podem provocar regiões de estrangulamento e perda de carga, alterando assim a uniformidade de aplicação.

O procedimento para leitura individual da vazão dos gotejadores consistiu da pressurização do sistema, posicionamento de recipientes (1 L) sob os respectivos gotejadores com uma defasagem de 5 segundos, retirada sequencial dos recipientes após 5 minutos com defasagem de 5 segundos e medição do volume coletado.

Para maior exatidão, foi utilizado o método gravimétrico para a determinação do volume coletado de cada emissor, expressando os valores de vazão em L h<sup>-1</sup>, utilizando uma balança de precisão certificada.

Posteriormente, foram tabulados os dados e feitos os cálculos da vazão, vazão relativa, coeficiente de uniformidade de distribuição de água e coeficiente de variação de vazão utilizando as equações enumeradas de 1 a 4.

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

$$Q_r = \frac{Q_{x,y}}{Q_i} \quad (2)$$

$$CUD = 100 \left( \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

$$CV = 100 \left( \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (4)$$

em que:

$Q_r$  - vazão relativa, %;

$Q_{x,y}$  - vazão de um emissor x num dia y de irrigação, L h<sup>-1</sup> e

$Q_i$  - vazão desse emissor no primeiro dia de irrigação, L h<sup>-1</sup>;

$P$  - peso da água coletada, g;

$t$  - tempo de coleta, min;

$q$  - vazão do gotejador, L h<sup>-1</sup>;

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

CV - Coeficiente de variação de vazão, em %;

$\bar{X}$  - vazão média dos gotejadores, em L h<sup>-1</sup>;

$X_{25\%}$  - média de 25% do total de gotejadores, com as menores vazões, em L h<sup>-1</sup>;

$s$  - desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h<sup>-1</sup>.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e os fatores que apresentaram diferença significativa foram analisados no ajuste da regressão que melhor explicou o comportamento dos dados com auxílio do software SISVAR, (Ferreira, 2000).

## Resultados e Discussão

A pressão de serviço, tempo de aplicação e a interação pressão de serviço versus tempo de aplicação

foi significativa ao nível de 5% de probabilidade para a vazão relativa, o coeficiente de uniformidade de distribuição e o coeficiente de variação de vazão (Tabela 2).

A vazão relativa em função do tempo de aplicação e pressão de serviço adequaram-se ao comportamento linear, com  $R^2$  superior a 63%. A vazão relativa diminuiu 0,44, 0,90, 0,59 e 0,64% para cada incremento de 0,5 h para a pressão de 2, 4, 6 e 8 mca respectivamente (Figura 2).

A vazão relativa na pressão de 4 mca quando comparado com as demais pressões, em relação ao tempo de aplicação inicial (0,5 h), tem uma diferença média de 1%, de modo que essa diferença reduz conforme é aumentando a pressão, tornando-se praticamente equivalente no tempo de aplicação final (2 h).

Resende (2003) utilizando os modelos DP e RM verificou uma maior uniformidade de vazão ao longo do tempo, com tendência à redução de vazão no caso do primeiro (mínimo  $Q_r$  de 85%) e leve aumento para o segundo (máximo  $Q_r$  de 111%).

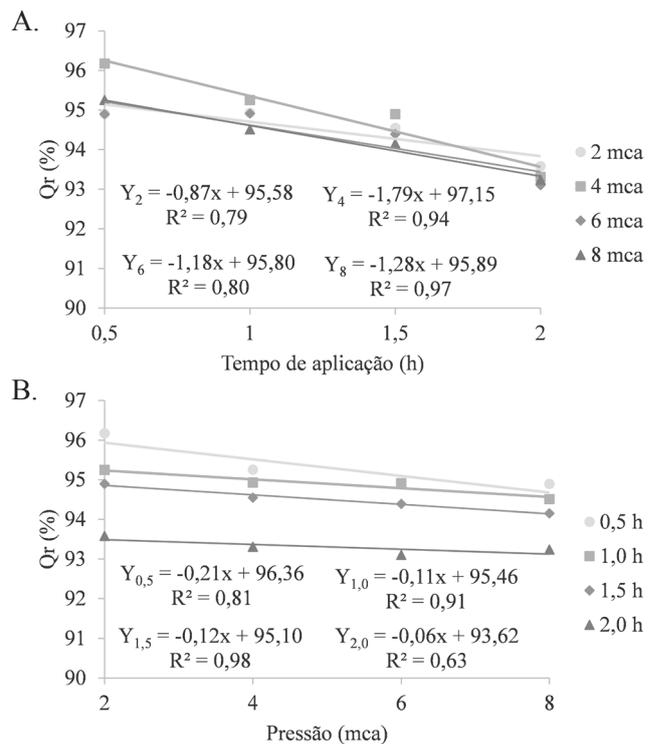
A vazão relativa diminuiu 0,42, 0,22, 0,24 e 0,12% para cada incremento de 2 mca para o tempo de avaliação de 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 h respectivamente. Os menores valores de vazão relativa foram observados no tempo de aplicação de 2 h, entorno de 93%, não havendo alteração da vazão relativa praticamente com o aumento da pressão de serviço.

Carvalho et al. (2014) verificaram que o melhor desempenho foi alcançado pelos modelos 3, 8 (convencionais) e 22 (autocompensante) que praticamente mantiveram seus valores de vazão relativa em 100% durante todo o funcionamento e o pior foi demonstrado pelos emissores dos modelos 1 (convencional), 19 e 26 (autocompensantes) que ao final do ensaio apresentaram reduções de 43, 42 e 34%.

**Tabela 2.** Quadro da análise de variância (ANAVA) das variáveis: vazão relativa ( $Q_r$ ), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de variação de vazão (CV) do sistema de irrigação

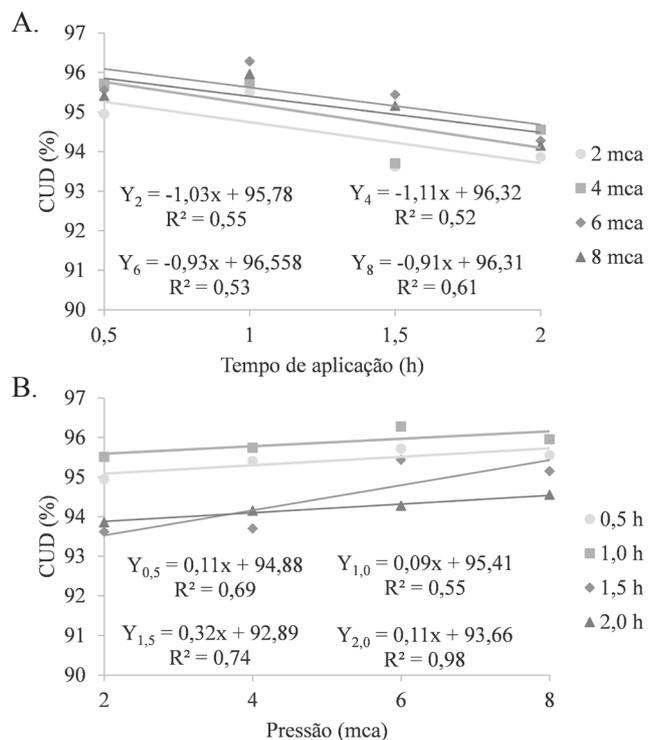
FV	GL	Quadrado médio		
		$Q_r$	CUD	CV
Bloco	3	0,932	1,232	1,105
PS	3	66,4*	55,1*	70,17*
Resíduo (a)	9	1,33	1,57	1,25
TI	3	13,06*	22,12*	15,57*
PS*TI	9	5,84*	10,33*	13,16*
Resíduo (b)	36	1,99	3,31	3,91
CV 1 (%)		3,8	4,2	3,1
CV 2 (%)		5,7	4,6	2,4

\* Valores significativos pelo teste de F a 5% de probabilidade; <sup>NS</sup> - Não Significativo. PS - Pressão de serviço; TI - Tempo de aplicação.



**Figura 2.** Vazão relativa em função do tempo de aplicação e da pressão de serviço

Na Figura 3, tem-se o comportamento do modelo de tubo gotejador quanto ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) em função do tempo de aplicação, onde observa-se uma tendência de decréscimo linear



**Figura 3.** Coeficiente de uniformidade de distribuição em função do tempo de aplicação e da pressão de serviço

( $R^2 > 51\%$ ) no CUD. O CUD diminui 0,52, 0,55, 0,47 e 0,46% para cada incremento de 0,5 h para a pressão de 2, 4, 6 e 8 mca respectivamente. O CUD quando comparado às pressões de serviço de 2 e 8 mca indicou uma diferença de 0,6%, no tempo de aplicação (TI) de 0,5 h, à medida que o tempo de aplicação foi aumentando, essa diferença pouco variou, ficando está sempre abaixo de 0,8%.

O CUD em função da pressão de serviço tendeu a aumentar, apresentando incrementos de 0,22, 0,18, 0,64 e 0,22% para cada acréscimo de 2 mca na pressão, para o tempo de aplicação de 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 h respectivamente. Cunha et al. (2013a) trabalhando com dois modelos de tubo gotejador em condição superficial e subsuperficial verificaram que os modelos em ambos os casos, o sentido da pressão (crescente e decrescente) tem influência sobre a uniformidade de aplicação, podendo ser este efeito de até 8%.

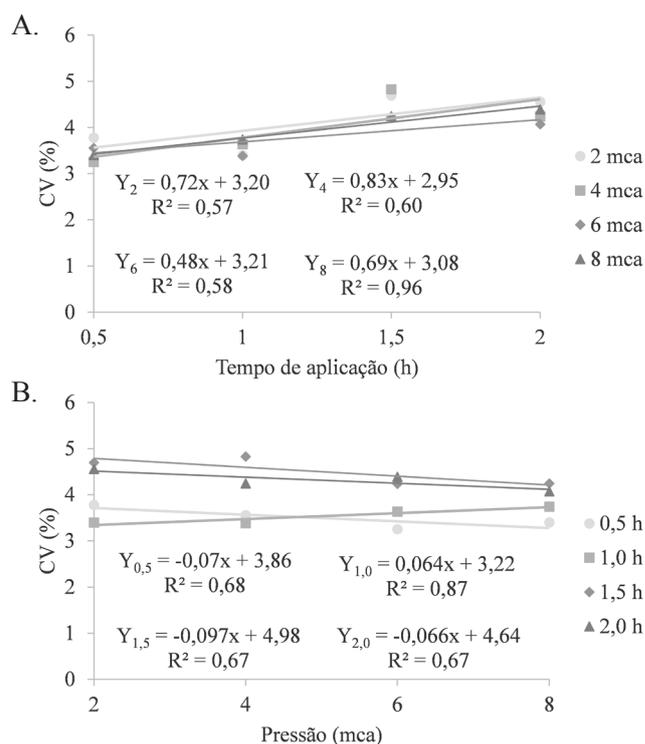
A uniformidade de distribuição de água em função do tempo de aplicação e da pressão, de maneira geral para o modelo de tubo gotejador apresentou valores acima de 92% para o CUD, valores estes classificados como excelentes de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001).

Para uma adequada uniformidade de aplicação de água, normalmente emprega-se no dimensionamento uma variação de vazão e pressão de 10 e 20%, respectivamente, os quais proporcionam um coeficiente de uniformidade distribuição aproximados a 98% e 95% (WU, 1997; TALENS, 2002).

O coeficiente de variação (CV) nas pressões de serviço de 2, 4, 6 e 8 mca ficaram abaixo de 5% em função do tempo de aplicação; indicando um aumento máximo no CV de 0,42% para cada incremento de 0,5 h, o qual ocorreu na pressão de 4 mca. Os modelos de maneira geral apresentaram coeficientes de variação crescente conforme o tempo de funcionamento, os quais mostram valores de CV inferiores a 10% (Cunha et al., 2013b).

O CV em função da pressão tendeu a aumentar apenas no tempo de aplicação de 1,0 h, sendo este incremento com a pressão da ordem de 0,13%, já para os demais tempos de aplicação o CV diminui com o aumento da pressão, sendo estas reduções de 0,14, 0,2 e 0,13%, para cada incremento de 2 mca na pressão, para os tempos de aplicação de 0,5, 1,5 e 2 h, respectivamente (Figura 4). Segundo a classificação proposta por Solomon (1979), os valores de coeficiente de variação de vazão medidos, enquadram-se como médios.

Observa-se que, para as variáveis DS, DM e  $Q_{med}$  a interação dos tratamentos (PS x TI) apresentou diferença significativa, o que significa que pelo menos



**Figura 4.** Coeficiente de variação em função do tempo de aplicação e da pressão de serviço

um nível de PS interfere em pelo menos um nível do TI, entretanto, a PM não apresentou diferença significativa na interação. Todas as variáveis avaliadas para TI foram significativas quando analisadas separadamente. Nenhuma variável apresentou significância quando analisado o efeito da variação da PS de forma isolada (Tabela 3).

Com o aumento da PS e TI, o bulbo molhado assumiu aumento significativo nos tratamentos e durante o processo de aplicação, a infiltração aconteceu de forma superficial (horizontal) aumentando os valores de DS (Figura 5), esse

**Tabela 3.** Quadro da análise de variância (ANAVA) das variáveis: diâmetro superficial (DS), diâmetro máximo (DM), profundidade máxima (PM) e a vazão média do emissor ( $Q_{med}$ ) do sistema de irrigação, com relação a pressão de serviço (PS) e tempo de aplicação (TI)

FV	GL	Quadrado médio			
		DS	DM	PM	$Q_{med}$
Bloco	3	5,41	3,77	20,72	0,00008
PS	3	69,4 <sup>NS</sup>	84,93 <sup>NS</sup>	56,01 <sup>NS</sup>	2,38 <sup>NS</sup>
Resíduo (a)	9	2,8	2,3	3,4	1,59
TI	3	125,08*	90,27*	74,43*	0,004*
PS*TI	9	20,23*	8,53*	23,13 <sup>NS</sup>	0,003*
Resíduo (b)	36	3,17	1,33	4,1	0,0002
CV 1 (%)		27,88	25,94	20,53	12,92
CV 2 (%)		4,17	1,18	10,04	0,005

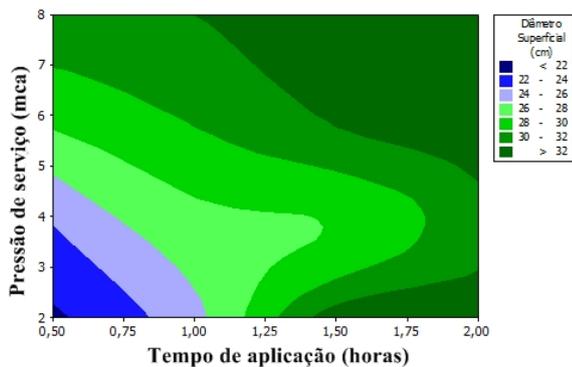
\* Valores significativos pelo teste de F a 5% de probabilidade; <sup>NS</sup> - Não Significativo.

comportamento é explicado devido ao tipo de solo, o qual é classificado como argiloso. Thornburn (2003) afirma que o formato do bulbo molhado é mais arredondado na medida em que o solo é mais argiloso.

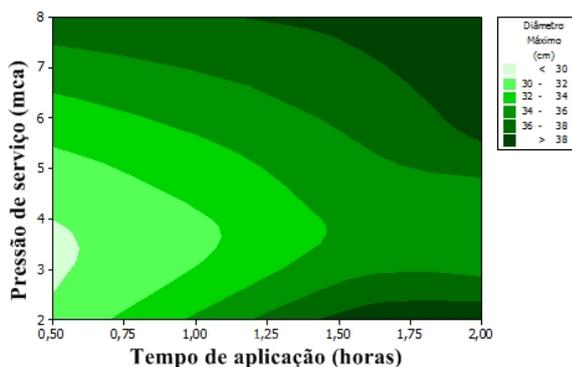
Estudos realizados pela EMBRAPA (2010) corroboram com os resultados encontrados no trabalho, para solos de textura argilosa, quando comparados superficialmente à irrigação localizada por gotejamento, proporcionando um bulbo molhado maior que nos solos de textura arenosa.

O comportamento do DM variou em função da pressão de serviço e tempo de aplicação, verificou maior evolução do bulbo molhado no interior do solo quando se elevou os fatores pressão de serviço e tempo de aplicação (Figura 6). A distribuição de umidade no perfil, após os tratamentos, apresentou uma expansão maior no DM em relação ao DS analisado anteriormente.

Os bulbos molhados analisados ao longo do trabalho apresentam características semelhantes ao descrito por Zur (1996), formas arredondadas e elípticas. Os resultados também concordam com Ould et al. (2001) que descrevem um incremento no diâmetro máximo horizontal do bulbo molhado, em ensaios de campo, com o aumento do volume de água.



**Figura 5.** Comportamento do diâmetro superficial em função da variação do tempo de aplicação e da pressão de serviço em sistema de irrigação por gotejamento



**Figura 6.** Comportamento do DM, em função do TI e PS no sistema de irrigação por gotejamento estudado

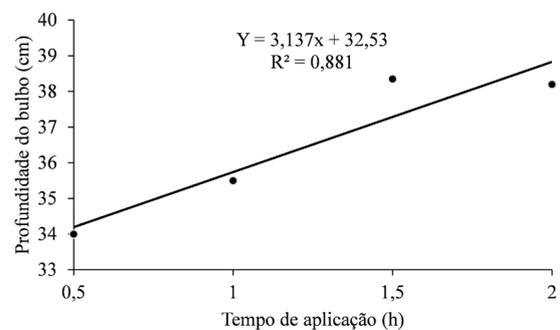
Com o aumento do TI ocorreu incremento no valor da profundidade. Devido o solo ser classificado como argiloso, a PM atingida no interior do bulbo na faixa de tempo estudada foi de 38,81 cm a um tempo de aplicação de 2 h.

Em estudo realizado por Zur (1996) o bulbo molhado deve atingir até o limite da profundidade efetiva das raízes, e este molhamento mais profundo que o sistema radicular representaria perda de água. Segundo os dados da análise de regressão, verificou-se que os dados ajustaram a equação, com 88,1% de ajuste aos dados da linha de tendência (Figura 7).

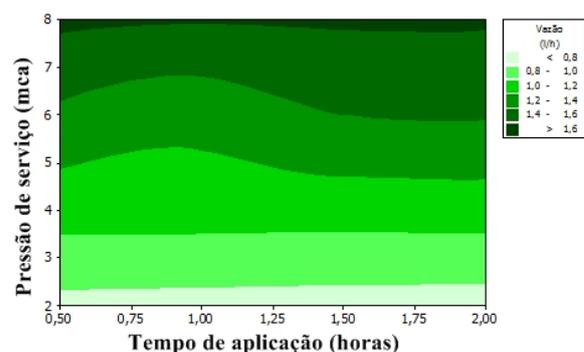
O aumento na profundidade do bulbo é justificado pelo acréscimo do volume de água com a elevação no tempo de aplicação, o volume que não representou elevação efetiva nos DS e DM contribui com o aumento do bulbo em profundidade após ser atingida a capacidade de campo na região de irradiação do bulbo (Figura 7).

A  $Q_{med}$  varia em função da PS e TI, a vazão máxima encontrada foi de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  a uma pressão de serviço de 8 mca. Os valores se encontram dentro do esperado, corroborando com as indicações do fabricante no qual informa que a uma pressão de serviço de 8 mca, a vazão fornecida é de aproximadamente  $1,51 \text{ L h}^{-1}$  estando dentro da faixa tolerada (Figura 8).

O aumento da pressão em todos os intervalos de tempo eleva significativamente a vazão dos gotejadores,



**Figura 7.** Comportamento da profundidade em função do tempo de aplicação de água



**Figura 8.** Comportamento da  $Q_{med}$ , em função do TI e PS em sistema de irrigação por gotejamento

comportamento resultante, pelo fato dos gotejadores não apresentarem dispositivo autocompensante para a variação de pressão, portanto, aplicando um volume maior em um mesmo intervalo de tempo.

### Conclusões

A vazão relativa e o coeficiente de uniformidade de aplicação do tubo gotejador em função do tempo de aplicação e da pressão de serviço ficaram acima de 93 e 94%, e o coeficiente de variação de vazão ficou abaixo de 5%.

O tempo de aplicação e a pressão de serviço tem efeito sobre a vazão média, diâmetro médio e diâmetro superficial.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao IFGoiano - Campus Rio Verde e a UEG, Santa Helena de Goiás pelo apoio financeiro e estrutural.

### Literatura Citada

- Battam, M. A.; Sutton, B.G.; Boughton, D.G. Soil pits as a simple aid for subsurface drip irrigation systems. *Irrigation Science*, New York, v.22, p.135-141, 2003.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- Carvalho, L. C. C. de; Coelho, R. D.; Teixeira, M. B.; Cunha, F. N.; Silva, N. F. da. Comportamento de gotejadores submetidos aplicação de ferro solúvel, sólidos em suspensão e fitoplâncton. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, CE, INOVAGRI v.8, n.6, p.538 - 547, 2014.
- Cunha, F. N.; Oliveira, R. C. de; Silva, N. F. da; Moura, L. M. de F.; Teixeira, M. B.; Gomes Filho, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, CE, INOVAGRI, v.7, n.4, p.248 - 257, 2013b.
- Cunha, F. N.; Silva, N. F. da; Oliveira, R. C. de; Teixeira, M. B.; Carvalho, J. J. de; Gomes Filho, R. R. Caracterização hidráulica de gotejadores em condição superficial e subsuperficial. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, CE, INOVAGRI, v.7, n.5, p.317 - 329, 2013a.
- Embrapa. Cultivo da Videira. Semiárido: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2010.
- Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 2013. 306p.
- Evan, R. G.; Wu, I.; Smajstrala, A. G. Microirrigation systems. In: Hoffman, G. J.; Evans, R.G.; Jensen, M. E.; Martin, D. L.; Elliott, R. L. Design and operation of farm irrigation systems. 2 ed. ASABE, St. Joseph, p.632-683, 2007.
- Ferreira, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: 45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos. 2000. 258p.
- Keller, J.; Bliesner, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avi Book, 1990; 652p.
- Levien, S. L. A.; Silva C. A. da; Maia, C. E.; Medeiros, J. F. de. Estimativa de largura e profundidade de bulbo molhado em solos de textura média sob irrigação por gotejamento superficial. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11; 2010.
- Maia, C. E.; Levien, S. L. A. Estimativa de dimensões de bulbo molhado em irrigação por gotejamento superficial aplicando modelo de superfície de resposta. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.6, p.1302-1308, 2010.
- Mantovani, E. C. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.
- Ould M. E., A.V.; Daghari, H.; Maalej, M. Analysis of several discharge rate-spacing-duration combinations in drip irrigation system. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.52, p.33-52, 2001.
- Resende, R. S. Intrusão radicular e efeito de vácuo em gotejamento enterrado na irrigação de cana-de-açúcar. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - São Paulo -Brasil 2003.
- Solomon, K.H. Manufacturing variation of trickle irrigation systems. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.22, n.5, p. 1034-1038, 1043, 1979.
- Souza, C. F. A utilização da reflectometria no domínio do tempo (TDR) na modelagem do bulbo molhado no solo irrigado por gotejamento. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 2002. 115p. Tese de Doutorado.
- Talens, J. A. M. Riego localizado y fertirrigacion. Madrid: Mundi-Prensa, 2002. 533p.
- Thornburn, P. J.; Cook, F. J.; Bristow, K. L. Soil dependent wetting from trickle emitters: Implications for system design and management. *Irrigation Science*, New York, v.22, n.3, p.121 - 127, 2003.
- Wu, I. P. An assessment of hydraulic design of micro-irrigation systems. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.32, n.3, p.275-284, 1997.
- Zur B. Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation. *Irrigation Science*, Heidelberg, 16, p.101 - 105, 1996.