

## MONITORAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE UMA SOLUÇÃO NO SOLO VIA FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

**BRUNO DE LIMA SANTORO<sup>1</sup>; LUCAS MASSAYUKI SATO<sup>1</sup>; JOÃO PAULO BERTOZI BRUNHARA<sup>2</sup>; JOSÉ GEANINI PERES<sup>3</sup> E CLAUDINEI FONSECA SOUZA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mestre em Agricultura e Ambiente, PPGAA/UFSCar, Rod. Anhanguera Km 174, Araras – SP, blsantoro@hotmail.com, the\_luk@hotmail.com

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Centro de Ciências Agrárias, CCA/UFSCar, Araras – SP, bertozibrunhara@hotmail.com

<sup>3</sup>Professor Doutor, Depto. de Recursos Naturais e Proteção Ambiental – DRNPA/CCA/UFSCar – jogepe@cca.ufscar.br, cfsouza@cca.ufscar.br

### 1 RESUMO

A irrigação por gotejamento tem sido crescentemente utilizada, principalmente pela sua maior eficiência na aplicação da água. O objetivo deste trabalho foi monitorar a distribuição da solução no solo em função de duas taxas de aplicação via fertirrigação, e caracterizar o desenvolvimento radicular da planta de pimentão e a produção de frutos. A partir das leituras das sondas de TDR foi possível estimar a umidade e a concentração da solução do solo. Assim, a distribuição da solução no solo foi monitorada e contabilizada em camadas de 0,2 m. A avaliação do sistema radicular mostrou que o tratamento de 4 L h<sup>-1</sup> apresentou uma área de 69,31 cm<sup>2</sup> enquanto o tratamento de 2 L h<sup>-1</sup> apresentou uma área de 45,21 cm<sup>2</sup>. A produtividade observada foi de 17 e 24 t ha<sup>-1</sup> para 2 e 4 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso reforça os resultados vistos na distribuição de nutrientes e desenvolvimento do sistema radicular. Conclui-se que para o tratamento com vazão de 2 L h<sup>-1</sup> houve uma tendência de perda de nutrientes por lixiviação, potencializando possíveis contaminações do lençol freático. O gotejador com vazão de 4 L h<sup>-1</sup> proporcionou distribuição de água e nutrientes no perfil do solo, o que favoreceu o desenvolvimento da cultura.

**Palavras-chave:** TDR; Irrigação; Umidade do solo; Condutividade elétrica.

**SANTORO, B.L.; SATO, L.M.; BRUNHARA, J.P.B.; PERES, J.G.; SOUZA, C.F.**

### MONITORING OF A SOLUTION DISTRIBUTION THROUGH DRIP FERTIGATION

### 2 ABSTRACT

Drip irrigation has been increasingly used, mainly because of its greater efficiency in water application. The objective of this experiment was to monitor the distribution of soil solution as a function of different application rates through fertigation to characterize root development and fruit yield of the pepper plant. The readings of TDR probes allowed estimates of water content

and soil solution concentration. Thus, the distribution of soil solution was monitored and recorded in layers of 0.2m. The evaluation of the root system showed that the treatments  $4 \text{ L h}^{-1}$  and  $2 \text{ L h}^{-1}$  showed areas of  $69.31 \text{ cm}^2$  and  $45.21 \text{ cm}^2$ , respectively. Productivity was 17 and  $24 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively for  $2 \text{ L h}^{-1}$  and  $4 \text{ L h}^{-1}$ , which corroborates the results obtained for nutrient distribution, leaves counting and root system development of pepper plant. Therefore, for the treatment with a flow rate of  $2 \text{ L h}^{-1}$  a trend towards nutrient loss by leaching was observed, which increases potential contamination of the groundwater. The dripper with flow rate of  $4 \text{ L h}^{-1}$  supplied water and nutrients to the soil profile, which favored crop development.

**Keywords:** TDR, irrigation, soil moisture, electrical conductivity.

### 3 INTRODUÇÃO

Uma prática bastante utilizada para suprir a demanda de água pelas culturas é a irrigação, que possibilita a incorporação de áreas previamente consideradas impróprias para o cultivo, pela ocorrência de déficits hídricos. Além de proporcionar o aumento da produtividade, pode contribuir para melhoria da qualidade e se constituir também em fator estabilizador da produção. IBGE (2007) mostra que o método de irrigação por aspersão é o mais utilizado no Brasil, com cerca de 2,4 milhões de hectares (53 %), principalmente para irrigação por aspersão convencional, enquanto a irrigação por superfície prevalece nas regiões Norte e Sul (30%). A irrigação localizada representa a menor área, com 328 mil hectares em fase de crescimento, especialmente nas regiões Nordeste e Sudeste. A utilização da irrigação localizada com enfoque na redução do uso da água no setor agrícola e, em especial na agricultura irrigada, tem sido recomendada pelos Comitês de Bacia Hidrográfica no país.

Dentre os vários sistemas, a irrigação por gotejamento tem sido crescentemente utilizada, principalmente pela sua maior eficiência no uso da água. A água é aplicada ao solo em pequenas quantidades, porém com alta frequência, diretamente sobre a região radicular, mantendo a umidade do solo, nessa região, próximo à capacidade de campo. A estimativa adequada da forma e dimensões do bulbo molhado é de fundamental importância para a determinação do número de emissores por planta e da sua localização em relação à planta ou fileira de plantas (Souza & Matsura, 2004). A superestimativa da porcentagem de solo molhado reduz a eficiência do sistema onerando-o desde o superdimensionamento da estrutura hidráulica ao desperdício de água, energia e fertilizantes; enquanto que a subestimativa poderá acarretar riscos de estresse à cultura e promover a má distribuição do sistema radicular.

Testes em campo são sugeridos para gerar informações capazes de auxiliar na estimativa do dimensionamento do sistema de irrigação por gotejamento. Geralmente, testes de campo não são realizados devido ao tempo necessário, trabalho árduo, recursos e cuidados experimentais envolvidos, além de ser necessária a abertura de trincheiras (Souza et al., 2009). Assim, a prática se adianta à investigação científica e com isso surgem os problemas. Infelizmente, este fato tem implicado em prejuízos de produtividade e desestímulo ao uso da técnica do gotejamento por parte de alguns agricultores.

Segundo (BORGES et al., 2002) os sistemas de irrigação têm sido utilizados não somente para a aplicação de água, mas também de produtos químicos dissolvidos. Esta prática é conhecida como quimigação, mas quando fertilizantes são injetados na água que flui no sistema de

irrigação, tem-se a fertirrigação. A fertirrigação tem sido uma ótima alternativa à aplicação convencional de nutrientes sobre a superfície do solo, pois quando o fertilizante é dissolvido na água fica prontamente disponível, podendo ser absorvido assim que entra em contato com o sistema radicular das plantas.

ZANINI (1987) e VILLAS BÔAS et al. (2003) salientam a necessidade de realizar pesquisas sobre vários aspectos relacionados à fertirrigação, como forma de possibilitar a adoção correta da mesma, uma vez que o emprego eficiente dessa técnica deve levar em consideração aspectos relativos à planta, ao solo e ao sistema de irrigação. A interação entre sistema de irrigação e fertilizantes solubilizados deve ser estudada, visando a garantir uniformidade de distribuição de água e nutrientes.

Apesar do uso difundido da fertirrigação via irrigação por gotejamento, informações sobre o movimento simultâneo da água e dos sólidos dissolvidos são escassos (CLOTHIER & SAUER, 1988, SOUZA & FOLEGATTI, 2010). O monitoramento da fertirrigação deve ser feito para avaliar o manejo em si, com base nos impactos causados no solo que possam influenciar o desenvolvimento das plantas, que deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes observando a concentração da solução injetada, concentração da solução final na saída dos emissores, uniformidade de distribuição ao longo da área e distribuição dos nutrientes no perfil do solo (SOUZA & COELHO, 2001).

Para medidas precisas de umidade do solo e condutividade elétrica em laboratório e em campo existe uma tendência de utilização da técnica de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo), onde se recomenda o levantamento de uma curva de calibração para cada tipo de solo, um inconveniente normalmente aceitável comparado com as vantagens que apresenta em relação a outras técnicas. Assim, o objetivo deste trabalho foi monitorar a distribuição da solução no solo em função de duas taxas de aplicação via fertirrigação, e caracterizar o desenvolvimento radicular e a produção de frutos de pimentão.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento consistiu em contabilizar a absorção de nutriente pela planta de pimentão (*Capsicum annum*, L) em um ciclo de cultivo de 120 dias, conduzido na estação de inverno e primavera, entre os meses julho e novembro de 2009. O ensaio foi realizado em uma casa de vegetação do tipo arco-simples de dimensões 6,40x20m e altura de três metros (Figura 1), instalado em uma área experimental do Departamento de Ciências Agrárias, da Universidade de Taubaté, localizada no município de Taubaté, Estado de São Paulo, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 23°01'55,25'' Sul; longitude 43°30'39,74'' Oeste e elevação de 571 metros.



**Figura 1.** Casa de vegetação experimental.

O solo do local do estudo é um Latossolo Vermelho Amarelo, segundo a Classificação Brasileira de Solos (EMBRAPA, 1999). As características físicas e químicas do solo foram determinadas no Laboratório de Análise de Solos da UNITAU, segundo recomendações de EMBRAPA (1997) e estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características físicas e químicas do solo na camada de 0-0,60 m.

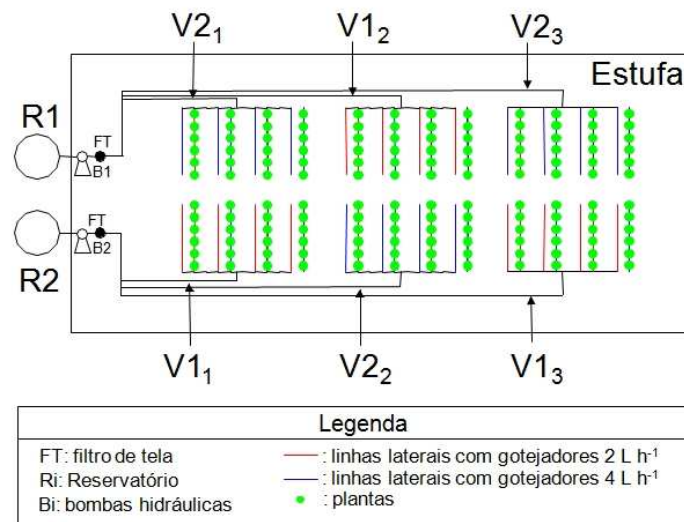
Físicas										
Profundidade	CC	PMP	p	Ds	Dp	VIB	Areia	Silte	Argila	
	$m^3 m^{-3}$			$g cm^{-3}$		$mm h^{-1}$	(%)			
00 - 20	0,28	0,21	0,51	1,30	2,70	13,20	59	13	28	
20 - 40	0,28	0,21	0,50	1,35	2,70	9,40	57	13	30	
40 - 60	0,28	0,20	0,49	1,39	2,70	9,50	58	13	29	
Químicas										
Profundidade	pH	P	MO	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	$CaCl_2$	$mg dm^{-3}$	(%)	$nmol dm^{-3}$						
00 - 20	5,00	12	7	23	1,40	23	12	36,40	59,40	61
20 - 40	4,30	2	6	34	0,70	7	4	11,70	45,70	26
40 - 60	4,50	3	5	22	1,30	10	7	18,30	40,30	45

CC = Capacidade de Campo; PMP = Ponto de Murcha Permanente; p = Porosidade; Ds = Densidade de solo; Dp = Densidade de Partícula; VIB = Velocidade de Infiltração Básica; pH = Potencial de Hidrogênio; P = Fósforo; MO = Matéria Orgânica; H+ Al = Acidez Potencial; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de Troca Catiônica; V = Saturação de Bases

Após a análise do solo, foi realizada a adubação de fundação segundo a recomendação IAC (1998) para a cultura do pimentão, onde se aplicou  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

Para o provimento de água e nutrientes via fertirrigação para as plantas de pimentão foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento, dividido em dois setores independentes, e cada um deles possuindo três unidades. O controle de cada unidade se dava por um painel de comando. Verifica-se pela Figura 2 que as unidades  $\text{V}2_1$ ,  $\text{V}1_2$  e  $\text{V}2_3$  receberam água e nutrientes preparados no reservatório R1, e que  $\text{V}1_1$ ,  $\text{V}2_2$  e  $\text{V}1_3$  receberam os mesmos suprimentos preparados no reservatório R2, ambos com capacidade para 500 litros. Verifica-se ainda que, nas unidades de irrigação V2 foram compostos por gotejadores de  $4 \text{ L h}^{-1}$  e, em V1, gotejadores de  $2 \text{ L h}^{-1}$ , em suas linhas laterais.

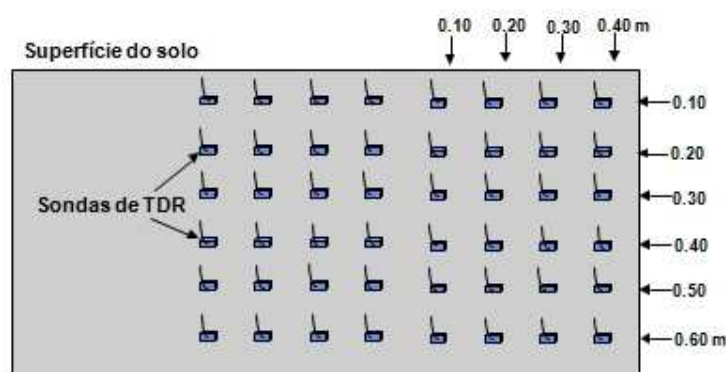
As linhas laterais, em cada unidade, estavam espaçadas 1,0 m entre si, e possuíam 2,4 m de comprimento. Em cada linha lateral foram acoplados 6 emissores distando 0,40 m, totalizando 24 gotejadores por unidade.



**Figura 2.** Esquema do sistema de irrigação por gotejamento.

O sistema de irrigação por gotejamento possuía ainda, para cada setor, bomba hidráulica centrífuga, hidrômetros para monitoramento de vazão, reguladores de pressão de 10,5 mca e filtro de tela 120 mesh para a remoção de impurezas.

Nas unidades experimentais  $\text{V}1_2$ ,  $\text{V}2_3$ ,  $\text{V}2_2$  e  $\text{V}1_3$  foram montadas estações de monitoramento, utilizando-se sondas de TDR, para a estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo durante todo o ciclo da cultura. A Figura 3 mostra a disposição das sondas de TDR no perfil do solo. Os sensores espaçados 0,1m entre si formaram um arranjo de 48 sondas. Para cada unidade, monitorou-se uma linha lateral, preservando as linhas de borda.



**Figura 3.** Distribuição das sondas de TDR no perfil do solo.

Os canteiros foram construídos manualmente em cada unidade experimental, e em seguida foram transplantadas as mudas de pimentão, da variedade “Magda”, frutos de forma retangular, com espessura de polpa de 6 a 8mm e cor verde entre 100 e 120 dias. Para cada unidade foram transplantadas 24 mudas, sendo que cada gotejador foi responsável por suprir a demanda hídrica e de nutrientes de cada planta.

Para que se pudesse caracterizar a distribuição de nutrientes no solo via fertirrigação por gotejamento, a irrigação foi manejada da seguinte forma: primeiramente era realizada uma leitura em cada estação de monitoramento, onde se obtinham os valores pontuais de umidade e condutividade elétrica do solo em cada sonda de TDR e assim podia-se caracterizar o perfil do solo naquele momento.

A irrigação era feita sempre que os valores médios de umidade do solo fossem inferiores a 30% da capacidade de campo. Com os valores médios de umidade do solo na camada onde se encontrava a zona radicular efetiva da planta de pimentão, calculava-se o volume de água a ser aplicado. Após a irrigação era feita uma nova leitura em cada estação, coletando novos valores de umidade e condutividade elétrica do solo.

A fertirrigação foi realizada segundo recomendações do IAC (1998), onde a adubação mineral de cobertura foi parcelada em cinco vezes com a aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Durante o ensaio foram feitos três testes de vazão dos gotejadores para se obter a uniformidade de distribuição de água de irrigação. Também foram monitoradas as temperaturas e umidade relativa do ar durante todo o ciclo da cultura, através de um termo-higrógrafo. A casa de vegetação possuía cortinas móveis que permaneceram suspensas durante todo o experimento. Semanalmente era realizado o controle fitossanitário de pragas e doenças, pulverizando as plantas preventivamente com produtos registrados para a cultura do pimentão, além de tratamentos culturais e capinas manuais no interior da casa de vegetação, feita semanalmente. Durante o período da segunda colheita foram escolhidas plantas aleatórias para a contagem de folhas, análise química foliar e análise de raízes. O ensaio finalizou-se com 120 dias, com um total de 100 leituras para cada estação de monitoramento.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Uniformidade de distribuição da irrigação

Durante o ciclo de cultivo do pimentão foram realizados três ensaios de vazão com o objetivo de determinar a uniformidade de distribuição dos emissores, após um tempo de funcionamento do sistema de seis minutos. Os ensaios foram realizados para os dois tipos de gotejadores, separadamente para cada tratamento. Com os dados coletados puderam-se obter os coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (1941) e as vazões médias para cada tipo de gotejador em cada repetição (Tabela 2), seguindo-se a metodologia adaptada por WU e GITLIN (1983) e OULD MOHAMED EL-HAFEDH et al. (2001), por meio da seguinte equação:

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{XN} \right] \quad (1)$$

Em que:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de Christiansen (%)

$X_i$  = Vazão estimada ( $L h^{-1}$ );  $X$  = Vazão média ( $L h^{-1}$ )

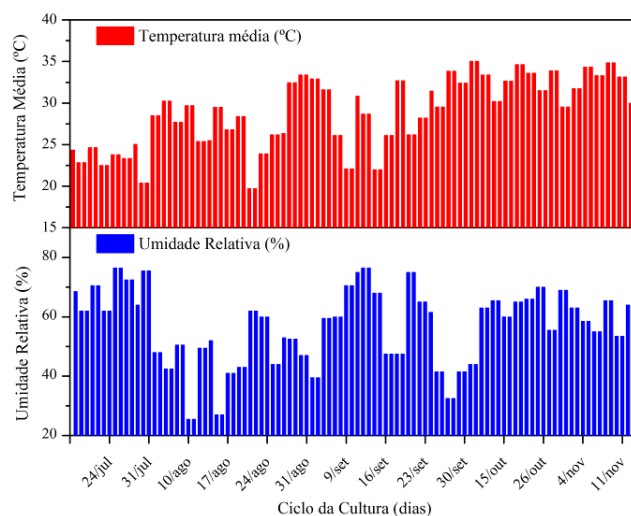
N = Número de pontos

**Tabela 2.** Resultados de vazão e uniformidade de emissão para os dois tratamentos.

Valores médios	Gotejador		Uniformidade (%)	
	2 L h <sup>-1</sup>	4 L h <sup>-1</sup>	2 L h <sup>-1</sup>	4 L h <sup>-1</sup>
1ª repetição	2,00	4,02	92,6	93,8
2ª repetição	2,02	4,08	93,7	93,3
3ª repetição	2,04	4,03	95,0	95,2

### Monitoramento da Temperatura e Umidade do Ar no Interior da Estufa

As variações de temperatura e umidade relativa do ar, observadas dentro da estufa durante a condução do experimento, são apresentadas na Figura 4.



**Figura 4.** Temperatura média e umidade relativa no interior da estufa.

### Distribuição da Solução no Solo

A técnica da TDR é um método indireto para a estimativa da umidade volumétrica e condutividade elétrica do solo. ALMEIDA et al. (2007) propôs uma equação de calibração para o mesmo solo e local do estudo, para a conversão da constante dielétrica aparente ( $K_a$ ) em umidade volumétrica, sendo a seguinte equação:

$$\theta = 9E^{-05} Ka^3 - 0,0038Ka^2 + 0,0577Ka - 0,0484 \quad (2)$$

Em que:

$\theta$  = Umidade volumétrica do solo, ( $m^3 m^{-3}$ )

$K_a$  = Constante dielétrica aparente

Para encontrar a relação entre  $CE_{TDR}$  e  $CE_s$  utilizou-se a equação descrita abaixo por SOUZA et al. (2006), onde a concentração da solução do solo deve ser estimada como função da umidade volumétrica do solo, o que possibilita a relação entre a condutividade elétrica medida e a condutividade elétrica da solução do solo.

$$CE_s = \frac{CE_{TDR} - 0,04}{(2,608\theta - 0,165)\theta} \quad (3)$$

Em que:

$CE_s$  = Condutividade elétrica do solo, ( $dS m^{-1}$ )

$CE_{TDR}$  = Condutividade elétrica medida aparente, ( $dS m^{-1}$ )

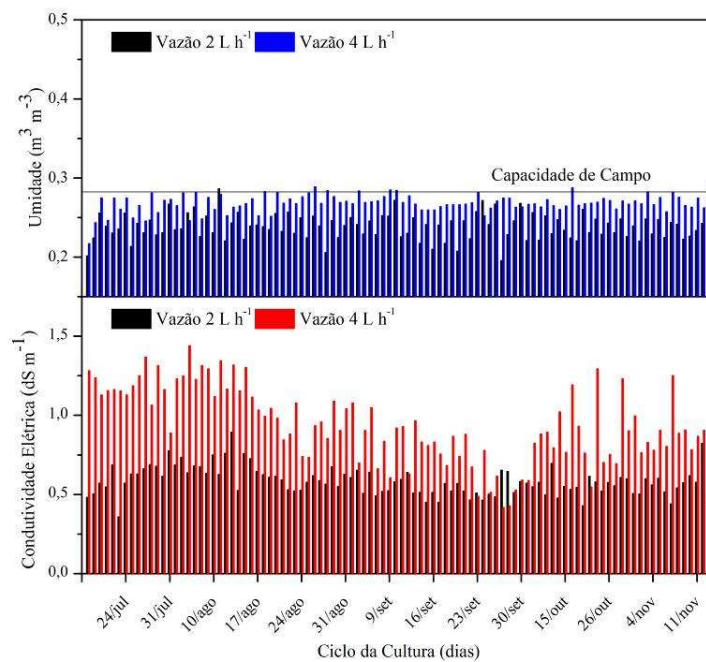
$\theta$  = Umidade volumétrica do solo, ( $m^3 m^{-3}$ )

A partir das leituras pontuais das sondas de TDR foi possível estimar a umidade e a concentração da solução do solo. Assim, a distribuição da solução no solo foi monitorada e contabilizada em camadas de 0,2 m. Para facilitar a discussão dos resultados, nomeou-se camada

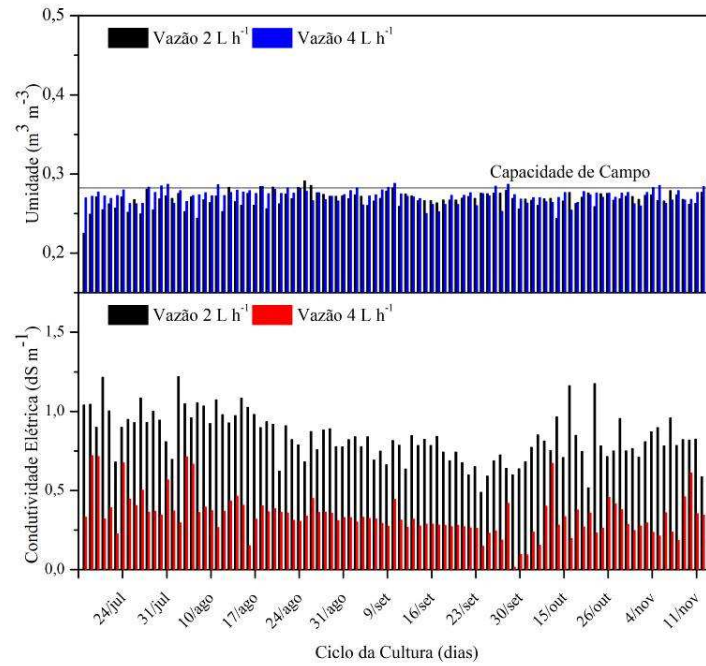


I a profundidade correspondente a 0-0,2 m, camada II a profundidade correspondente a 0,2-0,4 m, camada III a profundidade correspondente a 0,4-0,6 m.

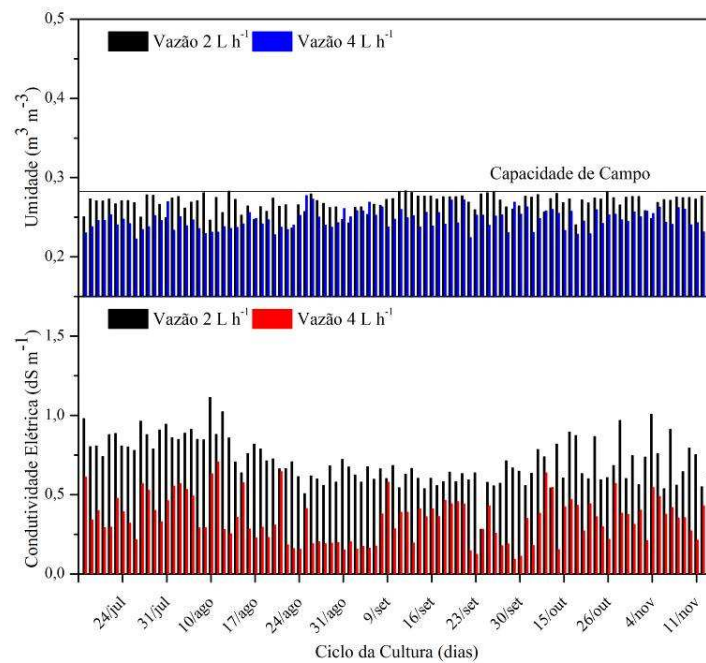
Os valores de umidade volumétrica e condutividade elétrica do solo na camada I, II e III medida durante o ciclo da cultura estão apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente, para os tratamentos de  $2 \text{ L h}^{-1}$  e  $4 \text{ L h}^{-1}$ .



**Figura 5.** Umidade volumétrica e condutividade elétrica do solo à profundidade de 0 – 0,2 m para as vazões de  $2 \text{ L h}^{-1}$  e  $4 \text{ L h}^{-1}$ .



**Figura 6.** Umidade volumétrica e condutividade elétrica do solo à profundidade de 0,2 – 0,4 m para as vazões de 2 L h<sup>-1</sup> e 4 L h<sup>-1</sup>.



**Figura 7.** Umidade volumétrica e condutividade elétrica do solo à profundidade de 0,4 – 0,6 m para as vazões de 2 L h<sup>-1</sup> e 4 L h<sup>-1</sup>.

A umidade volumétrica e condutividade elétrica do solo para o tratamento com vazão de 4 L h<sup>-1</sup> mostraram maiores em relação ao tratamento com vazão de 2 L h<sup>-1</sup> na camada I. Na camada II os valores de condutividade elétrica se mostraram superiores no tratamento com vazão de 2 L h<sup>-1</sup> indicando existir uma lixiviação de nutrientes, já os valores de umidade para ambos os tratamentos nesta camada são aproximados.

Na camada III, os valores de umidade volumétrica para o tratamento de 2 L h<sup>-1</sup> são superiores os valores do tratamento de 4 L h<sup>-1</sup>, observando que há uma tendência da vazão de 2 L h<sup>-1</sup> atingir uma maior profundidade. Houve também uma superioridade nos valores de condutividade elétrica para o tratamento de 2 L h<sup>-1</sup>.

Em um experimento para a caracterização da distribuição da água no solo para a irrigação por gotejamento, no mesmo local de estudo, Lopes et al. (2010) observaram uma maior evolução vertical em relação a horizontal do bulbo molhado para a vazão de um gotejador de 2 L h<sup>-1</sup>, atingindo 0,40m de profundidade. Observaram ainda que a aplicação do dobro da vazão proporciona maiores dimensões do bulbo molhado na horizontal juntamente com uma diminuição no sentido vertical.

Notou-se que para o tratamento com vazão de 2 L h<sup>-1</sup> houve uma tendência de perda de nutrientes por lixiviação. Esta constatação reforça a importância de se conhecer a distribuição da solução no solo, através de diferentes combinações de vazões de gotejadores.

É importante conhecer o conteúdo de nutrientes das plantas, principalmente da parte colhida, para poder avaliar a remoção de nutrientes da área de cultivo. Para a cultura do pimentão foram apresentadas na Tabela 3 as faixas de teores adequados de macro nutrientes em folhas de pimentão.

**Tabela 3.** Faixa de teores adequados de macronutrientes para pimentão.

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
g kg <sup>-1</sup>					
30 - 60	3 - 7	40 - 60	10 - 35	3 - 12	-

Fonte: Boletim IAC 100

Para comparação entre os diferentes ensaios realizaram amostragens das folhas seguindo as recomendações do Boletim IAC 100. Foram colhidas folhas recém-desenvolvidas, do florescimento à metade do ciclo, totalizando 25 folhas/tratamento. Os resultados da análise foliar realizada no Laboratório de Análises de Solos e Plantas do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Análise foliar para os tratamentos, 2 e 4 L h<sup>-1</sup>.

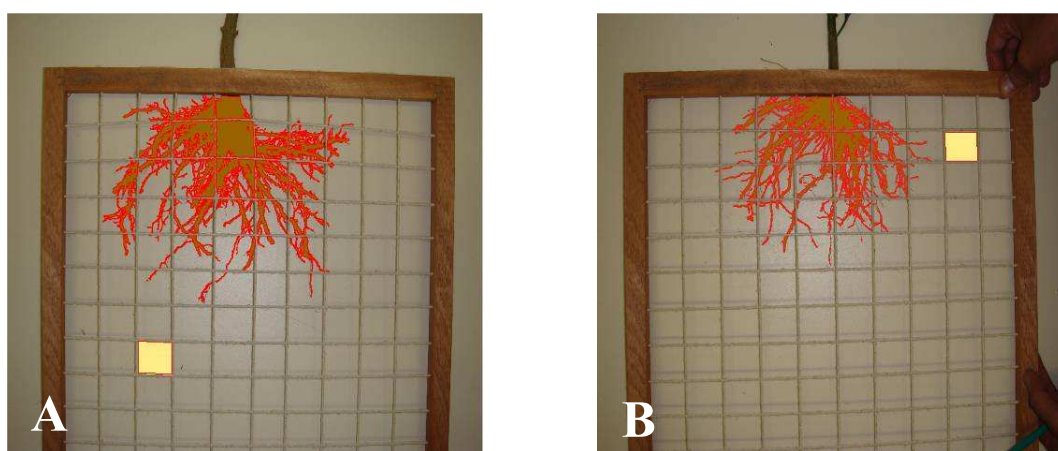
	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
g kg <sup>-1</sup>						
<b>2 L h<sup>-1</sup></b>	48,3	2,5	50,2	16,5	6,2	3,4
<b>4 L h<sup>-1</sup></b>	45,5	2,3	50,7	16,3	6,3	3,4

Os resultados da análise foliar estão dentro da faixa de teores adequados de macronutrientes para ambos os tratamentos, 2 e 4 L h<sup>-1</sup>. Analisando a Tabela 4, nota-se que não

há diferença entre os diferentes tratamentos, entretanto, a contagem de folhas durante o experimento mostrou que o tratamento de  $4 \text{ L h}^{-1}$  possui em média 50 folhas por planta a mais que o de  $2 \text{ L h}^{-1}$ .

O rendimento de uma cultura está baseado fundamentalmente na conversão da radiação solar interceptada pelas folhas, em matéria seca, a qual é transformada em produção (Andriolo, 1999).

A Figura 8 apresenta imagens digitais obtidas a partir do sistema radicular de uma planta coletada aleatoriamente para cada tratamento no final do ciclo do cultivo do pimentão. A avaliação da distribuição do sistema radicular foi feita por meio do programa Spring, versão 5.1.2.



**Figura 8.** Imagem digital do sistema radicular para o tratamento de  $4 \text{ L h}^{-1}$  (A) e  $2 \text{ L h}^{-1}$  (B).

A avaliação do sistema radicular mostrou que o tratamento de  $4 \text{ L h}^{-1}$  apresentou uma área de  $69,31 \text{ cm}^2$  enquanto o tratamento de  $2 \text{ L h}^{-1}$  apresentou uma área de  $45,21 \text{ cm}^2$ . O tratamento de  $4 \text{ L h}^{-1}$  disponibilizou um maior volume de água e nutrientes na camada I, profundidade onde se encontrava o sistema radicular efetivo, corroborando com o maior desenvolvimento das plantas do tratamento. Segundo Doorenbos & Kassam (1994), a profundidade das raízes pode chegar a até 1 m, porém, em condições irrigadas, elas concentram-se principalmente na camada superior do solo de 0,3 m de profundidade.

A produtividade observada foi de 17 e  $24 \text{ t ha}^{-1}$  para 2 e  $4 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente. Aplicando-se o Teste de Tukey, conforme Tabela 5, verificou-se que estes resultados diferem estatisticamente entre si, e reforça as observações dos resultados da distribuição de nutrientes, contagem de folhas e desenvolvimento do sistema radicular da planta de pimentão. Zanini et al. (1995) ao estudarem os efeitos da frequência de aplicação de nitrogênio e potássio via fertirrigação no pimentão, variedade Magda, verificaram redução no tempo de florescimento, aumento na produtividade ( $12,7$  a  $24,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) e maior qualidade dos frutos na fertirrigação em comparação com a adubação convencional.

**Tabela 5.** Teste de Tukey a 5% para a produtividade encontrada.

Tratamentos	Médias
4L h <sup>-1</sup>	0,27 a
2L h <sup>-1</sup>	0,19 b

Os resultados de distribuição da solução do solo permitiram encontrar critérios para o manejo da irrigação e fertirrigação. Para este tipo de solo, o gotejador de 4 L h<sup>-1</sup> mostrou-se mais eficiente, distribuindo água e nutrientes no perfil do solo onde se encontrava um maior volume de raízes, gerando assim uma maior produtividade, além de uma diminuição do tempo de operação do sistema de irrigação. Em suma os resultados podem auxiliar a prática da fertirrigação reduzindo gastos com desperdício de fertilizantes e aumentando a relação custo/benefício desta atividade.

## 6 CONCLUSÕES

Verificou-se que para o tratamento com vazão de 2 L h<sup>-1</sup> houve uma tendência de perda de nutrientes por percolação, potencializando possíveis contaminações do lençol freático.

O gotejador com vazão de 4 L h<sup>-1</sup> proporcionou distribuição de água e nutrientes no perfil do solo, o que favoreceu o desenvolvimento da cultura.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, B.P.; CAVALCA, M.; SOUZA, C.F. **Calibração da Técnica da TDR para a estimativa da umidade do solo.** In: XII Mostra de Iniciação Científica, 2007, Taubaté. Anais: Universidade de Taubaté, ENIC, 2007. [CD ROM].

ANDRIOLO, J. L. *Fisiologia das culturas protegidas.* Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.

BORGES, A.L.; SILVA, D.J. **Fertilizantes para Fertirrigação.** In: BORGES, A.L.; COELHO, E.F.; TRINDADE, A.V. (ed.). *Fertirrigação em fruteiras tropicais.* Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura/Embrapa, cap. 2, p.15-27, 2002.

CHRISTIANSEN, J.E. **The uniformity of application of water by sprinkler systems.** *Agricultural Engineering, St. Joseph*, v.22, p.89-92, 1941.

CLOTHIER, B.E.; SAUER, T.J. **Nitrogen transport during drip fertigation with urea.** *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.52, p.345-349, 1988.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Trad. De H.R. Gheyi; A.A. Sousa; F.A.V. Damasceno; J.F. Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO, Estudos de irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**, 2<sup>a</sup> edição. Embrapa-CNPS, Rio de Janeiro, p.27-36, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário – 2006**. Rio de Janeiro, 2007. 145p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. Boletim Técnico n° 100, 1998.

LOPES, L.N.; SOUZA, C.F.; SANTORO, B.L. **Utilização da TDR para monitoramento da solução de nitrato de potássio em Latossolo Vermelho-Amarelo**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 30, n. 5, Oct. 2010.

MARCUSSI, F.F.N. **Uso da fertirrigação e teores de macronutrientes em planta de pimentão**. Engenharia Agrícola, v.25, n.3, p.642-650, 2005.

OULD MOHAMED EL-HAFEDH, A.V.; DAGHARI, H.; MAALEJ, M. **Analysis of several discharge spacing-duration combinations in drip irrigation system**. Agricultural Water Management, Amsterdam, v.52, p.33-52, 2001.

SOUZA, V.F.; COELHO, E.F. **Manejo de fertirrigação em fruteiras**. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C.; RESENDE, R.S. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**, Guaíba: Agropecuária, 2001, p.289-317.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.7-15, 2004.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V.; MATSURA, E.E.; OR, D. **Calibração da reflectometria no domínio do tempo (TDR) para a estimativa da concentração da solução no solo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.1, p.282-291, 2006.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V.; OR, D. Distribution and storage characterization of soil solution for drip irrigation. **Irrigation Science**, New York, v.27, n.4, p.277-288, 2009.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V. **Spatial and temporal characterization of water and solute distribution patterns**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v.67, n.1, p.9-15, 2010.

VILLAS BÔAS, R.L.; OLIVEIRA, M.V.M.; MOTA, P.R.A; BETTINI, M.O. **Fertirrigação no Brasil, técnica inovadora nos cultivos irrigados**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1., 2003, João Pessoa 2003. Anais... João Pessoa: UFPB/CCA, 2003. 1 CDROM.

WU, I.P.; GITLIN, H.M. **Drip irrigation application efficiency and schedules**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.26, p.92-99, 1983.

ZANINI, J.R. **Hidráulica da fertirrigação por gotejamento utilizando o tanque de derivação de fluxo e bomba injetora**. 1987. 103 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

ZANINI, J. R.; SOUZA, E. C. A. de; PAVANI, L. C.; PANCARIO, A. P. **Efeitos da frequência de aplicação da fertirrigação nitrogenada e potássica via irrigação por gotejamento na cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L. cv. Magda)**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 24, 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: CONBEA/SBEA, 1995. CD Rom