

Efeito da profundidade de colocação do tubo de rega gota-a-gota na uniformidade de rega e na eficiência do uso da água em tomate de indústria

Effect of drip line depth on irrigation uniformity and water use efficiency in processing tomato

R. M. A. Machado¹ & M.R.G. Oliveira¹

RESUMO

A influência da profundidade da colocação dos gotejadores na uniformidade de rega e na eficiência do uso da água foi avaliada, durante dois anos, num ensaio em “split-plot”, com quatro repetições, sendo o tratamento principal a profundidade de colocação do tubo de rega: à superfície do solo (P0), a 20 cm (PI) e a 40 cm (PII) e o secundário a cultivar: Brigade e H3044. Nos dois anos, o débito médio dos gotejadores foi semelhante nos diferentes tratamentos. Os coeficientes de uniformidade (CU) e de variação (CV) e a uniformidade de distribuição (UD), determinados após a colheita da cultura, não foram afectados pela profundidade de colocação do tubo, tendo variado respectivamente, entre 96,5 e 98,2%, 1,91 e 4,15% e 94,5 e 97,4%. A rega gota-a-gota subsuperficial, comparativamente com a superficial, contribuiu para o aumento da eficiência do uso da água (Produção comercial/ET_a) em 14%, fundamentalmente devido a uma diminuição da ET_a, na fase inicial da cultura.

ABSTRACT

The influence of drip line depth on irrigation uniformity and water use efficiency in processing tomato was evaluated in a two years field trial in split-plot with three drip irrigation depths: surface (P0), subsurface at 20 cm (PI) and 40 cm (PII) and two processing tomato cv, Brigade and H3044. The mean emitter flow rate, in both years, was similar for the different treatments of drip line depth. The coefficients of uniformity (CU) and variation (CV) and the uniformity of distribution (UD), determined after the crop harvest, were not affected by drip irrigation depths, having varied respectively, between 96.5 and 98.2%, 1.91 and 4.15% and 94.5 and 97.4%. Compared with surface irrigation subsurface drip irrigation contributes to an increase of water use efficiency by 14%, mainly in result of a decrease in ET_a during the first stages of crop growth.

INTRODUÇÃO

Nas zonas mediterrânicas a maximização da utilização da água e a preservação

¹ Dep. Fitotecnia e Instituto de Ciências Agrárias Mediterrâneas (ICAM), Universidade de Évora Apartado 94, 7002-554 Évora; e-mail: rmam@uevora.pt

da sua qualidade assume extrema importância, por ser um recurso escasso e cada vez mais caro. Para o efeito, é essencial a utilização de métodos de rega que distribuam a água uniformemente e com elevada eficiência do uso da água (Pereira *et al.*, 2002). A capacidade do sistema de rega para distribuir uniformemente a água e os adubos é fundamental para preservar a qualidade da água de rega e para evitar heterogeneidade no crescimento e desenvolvimento das plantas.

A redução da evaporação da superfície do solo é um dos meios para aumentar a eficiência do uso da água de rega e a eficiência do uso da água, definidas por Howell (1994) respectivamente como: a produção comercial por unidade de água aplicada incluindo a chuva e a produção de matéria seca ou produção comercial por unidade de água evapotranspirada. A rega gota-a-gota enterrada reduz as perdas de água por evaporação a partir da superfície do solo, maximizando assim as vantagens da gota-a-gota, especialmente em termos de conservação da água, visto a evaporação da superfície do solo ser negligenciável, não existirem perdas por escoamento superficial e as perdas por percolação serem controláveis (Phene *et al.*, 1992a).

Este trabalho teve como objectivo estudar a influência da profundidade de colocação do tubo de rega gota-a-gota na uniformidade de rega e na eficiência do uso da água em tomate de indústria.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho decorreu durante dois anos, na Estação Experimental António Teixeira, em Coruche, num Regossolo. As características do solo e os dados meteorológicos, respeitantes ao período de

ensaio, são apresentados no quadro 1 e 2 respectivamente.

QUADRO 1 - Características físicas e químicas do solo

	Profundidade (cm)		
	0-40	41-74	75-100
Areia (%)	92,70	95,20	96,00
Limo (%)	1,70	2,00	1,60
Argila (%)	5,70	2,80	2,40
Densidade aparente	1,51	1,60	1,64
Materia orgânica (%)	1,09	0,44	0,32
pH (H ₂ O)	5,70	6,20	6,20
N (µg g ⁻¹)	3,45	2,05	2,18
P (µg g ⁻¹)	36,96	73,04	43,12
K (µg g ⁻¹)	69,72	68,06	80,84
Ca ²⁺ (meq/100g)	0,30	0,12	0,11
Mg ²⁺ (meq/100g)	0,18	0,15	0,09

O ensaio foi delineado segundo o método dos talhões subdivididos ("split - plot"), com quatro repetições, sendo o tratamento principal a profundidade de colocação do tubo de rega: à superfície do solo (P0); a 20 cm (PI) e a 40 cm (PII) de profundidade. O tratamento secundário foi a cultivar: Brigade e H3044. No total, o ensaio teve 24 pequenos talhões, cada um com 7 linhas simples de cultura, de 10 m de comprimento e 1,5 m de largura, a que corresponde uma aérea de 105 m².

A rede de laterais foi instalada após uma lavoura profunda (40 a 50 cm), com charrua de aivecas, seguida de duas passagens com a grade de discos, à profundidade de 15 a 20 cm. A rede de laterais era constituída por gotejadores RAM (Netafim Inc., Israel) espaçados de 40 cm com um débito de 2,3 l/h. As plantas da cv. Brigade e H3044 foram plantadas com cerca de 40 dias, com uma densidade de 33333 plantas/ha (1,5 x 0,2 m). Para que as condições de vencimento da crise de transplantação fossem iguais a seguir à transplantação aplicou-se uma rega por aspersão. A rega gota-a-gota

iniciou-se 9 a 10 dias depois da transplantação e a partir daí foi diária.

QUADRO 2 - Precipitação mensal e temperatura do ar durante o ensaio

Mês	Precip. (mm)	Temp. (°C)	
		Máx.	Min.
1º ano			
Maio	81,0	22,7	11,7
Junho	36,4	24,4	13,3
Julho	18,9	29,7	15,7
Agosto	0	25,7	14,9
2º ano			
Maio	95,6	23,5	11,4
Junho	25,6	27,2	13,3
Julho	0	31,4	15,0
Agosto	0	33,0	15,6

O volume de água aplicado diariamente foi igual a ET_c do dia anterior menos a precipitação desse dia. Quando a precipitação foi superior à ET_c não se regou e o volume em excesso foi subtraído na ET_c do (s) dia (s) seguinte (s). A ET_c foi calculada multiplicando o coeficiente cultural (K_c) pela evapotranspiração de referência (ET_0) determinada através da equação de Penman-Montheith.

Os valores utilizados para o coeficiente cultural corresponderam ao valor médio dos K_c estabelecidos pela FAO (Doorembos & Kassam, 1986) para os diferentes estádios culturais: 0,75 desde a plantação ao primeiro fruto vingado, 1,15 desde o primeiro fruto vingado até ao completo desenvolvimento da primeira inflorescência e 0,88 desde o período anterior até 75% de frutos vermelhos + alaranjados. O total de água aplicada à cultura foi 476 mm no primeiro ano e 523,4 mm no segundo. Para uma melhor caracterização do manejo de rega e das condições hídricas do solo ao longo do ciclo da cultura indicam-se na figura 1 os valores diários

de ET_c , de precipitação, de rega e valores acumulados da ET_c diária.

Os adubos foram aplicados (Quadro 3) antes da plantação, numa faixa localizada a 15 cm de profundidade, sob a linha de cultura e através de fertirrega, começando esta na terceira semana após a transplantação. Três vezes por semana, em dias alternados, aplicou-se $Ca(NO_3)_2$, KNO_3 e H_3PO_4 , na água de rega, de acordo as taxas de absorção obtidas por Phene *et al.* (1987). A concentração da solução-mãe e a taxa de injeção foram calculadas de modo a que condutividade da água de rega (Ec_w) fosse inferior ou igual a $2,5 \text{ m S cm}^{-1}$.

QUADRO 3 - Fertilização (kg ha^{-1})

	1º ano	2º ano
	Adubação Localizada	
N	30,0	33,3
P	22,0	20,4
K	172,6	141,9
Ca	95,9	95,8
Mg	6,2	6,2
S	38,4	33,12
Fertirrega		
N	102,0	91,3
P	31,7	26,0
K	216,1	191,7
Ca	35,1	36,9

Ao longo do ensaio controlaram-se as condições hídricas do solo, na camada superficial (0 a 5 cm), sob a linha de cultura, através de uma sonda "TDR" ("time-domain-reflectometry"). As medições efetuaram-se em todas as parcelas elementares, uma vez por semana, com início às 7 da manhã. Em cada parcela realizaram-se três medições casualizadas.

Para medir o volume de água perdido por percolação, nos dois anos de ensaio, construíram-se pequenos lisímetros volumétricos (Machado, 2002), localizados na linha de

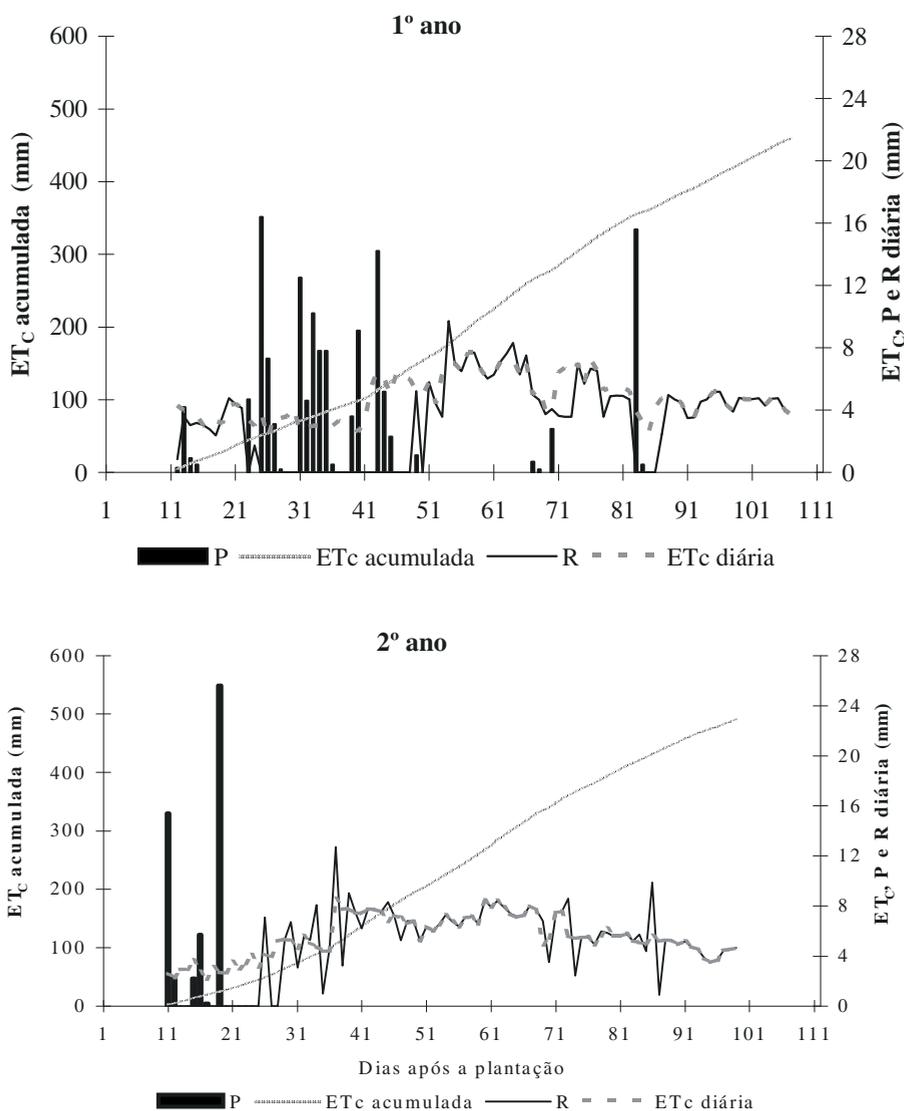


Figura 1 – Valores diários de ET_c , de precipitação (P), de rega (R) e valores acumulados da ET_c diária, ao longo do ciclo da cultura, desde o início da rega gota-a-gota

bordadura de três parcelas elementares, para os três tratamentos de profundidade de colocação do tubo estudados e apenas para a cultivar H3044.

O tratamento dos dados foi feito através da análise de variância (ANOVA) e de testes de separação de médias. O programa estatístico utilizado foi o MSTAT-C.

Para verificar se a profundidade de colocação do tubo de rega gota-a-gota influenciava a uniformidade de rega determinaram-se, após a colheita, vários parâmetros de uniformidade: coeficiente de uniformidade de Christiansen (CU), coeficiente de variação (CV), variação do débito dos gotejadores "emitter flow rate variation" (q_{var}) (Camp *et al.*, 1997) e uniformidade de distribuição (UD) (Kruse, 1978). Estes parâmetros podem ser utilizados para analisar a gota-a-gota superficial e subsuperficial (Phene *et al.*, 1992b, Yue *et al.*, 1993, Camp *et al.*, 1997 e Camp, 1998). O método da amostragem utilizado foi o dos dezoito gotejadores (Bralts & Kesner, 1983; ASAE, 1989), embora no total se tenham usado vinte gotejadores, mais dois do que o método preconiza. Em cada tratamento principal, das quatro repetições seleccionaram-se casualmente 5 gotejadores. No caso da rega subsuperficial usou-se a metodologia descrita por Phene *et al.* (1992b), que consiste em seleccionar casualmente uma dada superfície do solo, junto à linha de cultura e escavar até encontrar um gotejador, retirando-se toda a terra à sua volta e por baixo. O débito de cada gotejador foi medido, três vezes, durante cinco minutos, à pressão de trabalho. Para o cálculo dos parâmetros de uniformidade utilizaram-se as seguintes fórmulas:

$$CU = 100 \left[1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{\bar{q}} \right], \quad (1)$$

$$CV = \frac{s}{\bar{q}}, \quad (2)$$

$$q_{var} = \frac{q_{máx} - q_{mín}}{q_{máx}}, \quad (3)$$

$$UD = 100 \frac{q_{tp}}{\bar{q}}, \quad (4)$$

- $q_{máx}$ - Débito máximo dos gotejadores,
- $q_{mín}$ - Débito mínimo dos gotejadores,
- s - Desvio padrão do débito dos gotejadores,
- \bar{q} - Média do débito dos gotejadores,
- n - Número de gotejadores,
- q_{tp} - Média dos quatro débitos mais baixos medidos.

RESULTADOS

Uniformidade de rega

Pela análise do quadro 4 verifica-se que o débito médio dos gotejadores, em ambos os anos, foi semelhante nos diferentes tratamentos e idêntico ao débito indicado pelo fabricante (2,3 l/h).

No primeiro ano, o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CU), o coeficiente de variação (CV) e a uniformidade de distribuição (UD) em P0, PI e PII apresentaram valores próximos e apenas a variação do débito dos gotejadores (q_{var}) foi maior em PI do que nos outros tratamentos (Quadro 4). Como não se observou intrusão de raízes é provável que algum gotejador tivesse sido afectado durante o processo de enterramento. O CV apresentou valores baixos, entre 1,9 e 2,65. Os valores do CU foram superiores a 98% e os da UE estiveram compreendidos entre 97 e 97,4%.

No segundo ano, os valores do CU, do CV e da UD, nas diferentes modalidades de colocação dos gotejadores, também apresentaram valores idênticos. Comparativamente com o ano anterior, observaram-se valores mais elevados de q_{var} e de CV. Os

valores de CU e UD foram ligeiramente mais baixos (Quadro 4).

QUADRO 4 - Débito médio dos gotejadores amostrados, q_{var} , CV, CU e UD

	Tratamentos		
	P0	PI	PII
	1ºano		
q (l/h)	2,34	2,35	2,34
q_{var} (%)	5,00	9,52	5,00
CV (%)	1,91	2,65	2,11
CU (%)	98,46	98,41	98,22
UD (%)	97,40	97,00	97,40
	2ºano		
q (l/h)	2,30	2,36	2,32
q_{var} (%)	10,00	16,00	10,00
CV (%)	3,08	4,05	4,15
CU (%)	97,35	97,20	96,50
UD (%)	95,60	94,10	94,50

Tendo em consideração que em cada ano de ensaio os valores dos parâmetros de uniformidade foram quase idênticos, pode-se concluir que a profundidade de colocação do tubo de rega não afectou a distribuição de água e de nutrientes à cultura.

Condições hídricas do solo

Nos dois anos de ensaio, a interacção profundidade de colocação do tubo de rega x cultivar e a cultivar, não afectaram significativamente a humidade à superfície do solo (0-5 cm). Esta, com excepção dos períodos em que ocorreu precipitação, foi sempre menor nos tratamentos de rega enterrada (Figura 2b), como seria de esperar.

No primeiro ano de ensaio, a humidade em P0, PI e PII, nas datas de amostragem próximas da ocorrência de precipitação (Figura 1), entre os 27 e os 51 DAP (Dias após a plantação) e aos 87 DAP, foi semelhante nos diferentes tratamentos (Figura 2a). No período restante, a humidade do solo foi menor nos tratamentos de rega sub-

superficial, tendo PII apresentado sempre valores mais baixos do que PI.

No segundo ano, as diferenças foram mais nítidas, tendo o teor de água na camada de 0 a 5 cm sido significativamente maior em P0 do que em PI e PII, com excepção das amostragens realizadas a 20 e a 84 DAP (Figura 2b). Nestas datas, a precipitação ocorrida após a plantação, entre os dias 11 e 20 e a rega abaixo da ET_c , por volta dos 84 DAP (Figura 1), contribuíram para alterar a tendência registada ao longo do período experimental. Entre PI e PII não existiram diferenças significativas e, a partir da quarta data de amostragem, o teor de água à superfície foi próximo ou igual a zero (Figura 2b).

As perdas de água por percolação, nas modalidades de rega com a técnica cultural utilizada, ocorreram apenas na fase inicial da cultura. No primeiro ano, os níveis de água perdida por percolação, nas modalidades de colocação dos gotejadores, com a cultivar H3044 foram muito próximos (Figura 3 e Quadro 4), tendo ocorrido no período em que a precipitação foi elevada, entre os 25 e 45 DAP e, como tal, não se regou. A partir dos 46 DAP não existiram perdas de água por percolação. Quanto às perdas de água por escorrimento superficial, podem-se considerar nulas. Para além do solo ser arenoso e não apresentar declive, a rega foi diária e, como tal, os volumes de água aplicados foram pequenos. Assim, pode-se deduzir que nas diferentes modalidades de colocação dos gotejadores com a cultivar H3044 a ET_a terá sido idêntica. Phene *et al.* (1989, 1992a) com tomate e Howell *et al.* (1997) com milho, em ensaios onde compararam rega gota-a-gota superficial com subsuperficial também observaram o mesmo comportamento.

A água perdida por percolação no segundo ano foi superior à registada no ano anterior e diferente nos vários tratamentos, tendo

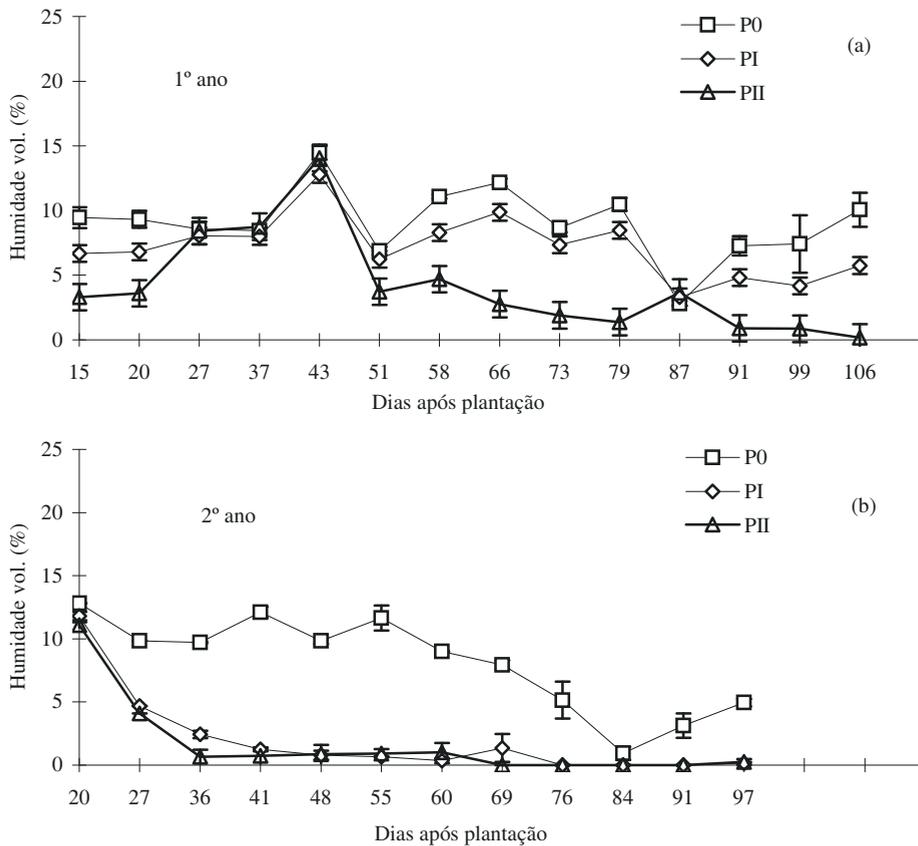


Figura 2– Evolução da humidade volúmica do solo (%), na linha de cultura (0 - 5 cm de profundidade). Os traços verticais representam o erro padrão da média

sido mais elevada nos de rega enterrada, nomeadamente em PI (40,7 mm) (Quadro 5 e Figura 3), que assim tiveram uma menor ET_a . A maior evaporação em P0 no início da cultura, em que a cobertura foliar é menor, terá contribuído para a menor percolação observada neste tratamento. No ano anterior, no mesmo período, não se regou devido à precipitação, levando a que a ET_a tivesse sido semelhante. É importante realçar que a ET_a depende de vários factores nomeadamente da área molhada pela rega ou precipitação, do grau de cobertura do

canopeu ao longo do ciclo da cultura e da influência da chuva e/ou da rega no crescimento e na actividade radical (Camp, 1998).

No segundo ano de ensaio do presente estudo, apesar das perdas por percolação, no início da cultura, terem sido superiores nas modalidades de rega subsuperficial, nestas a produção não foi afectada, tendo mesmo sido ligeiramente superior, o que se explica pelo facto de, neste período do ciclo, a quantidade de água aplicada ter pouca influência na produção (Doorembos & Kassam, 1986).

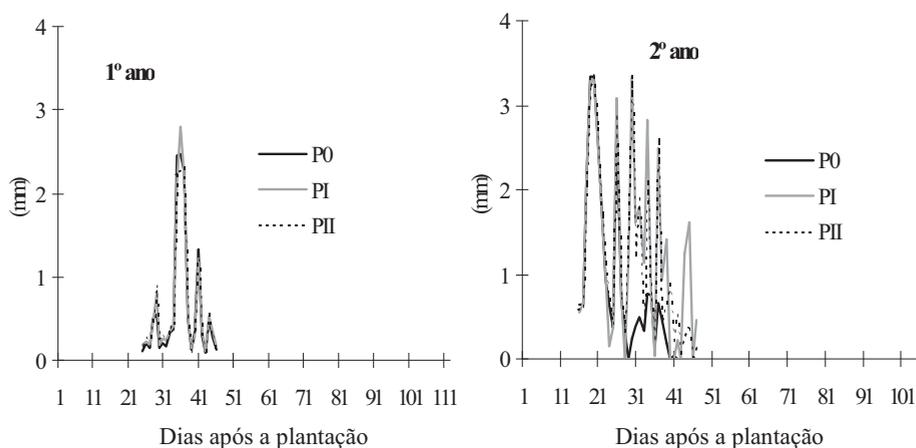


Figura 3 – Valores diários de água perdida por percolação nas diferentes modalidades de colocação dos gotejadores (cultivar H3044)

Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água, definida como a produção comercial por unidade de água evapotranspirada (Quadro 5), foi maior nas modalidades de rega enterrada, mas devido a causas distintas. No primeiro ano, devido a um aumento da produção tendo as modalidades de rega enterrada registado valores de eficiência do uso da água da ordem dos $230 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, significativamente superiores ao obtido com a rega superficial, da ordem dos $189 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, ou seja, por mm de água utilizada na cultivar H3044 produziram-se em média mais 41 kg ha^{-1} de frutos vermelhos + alaranjados. No segundo ano, devido a uma diminuição da ET_a , a produção comercial por unidade de água evapotranspirada, nos tratamentos de rega enterrada, atingiu os 265 e $257 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente em PI e PII, tendo também sido superiores à obtida com a rega superficial, da ordem dos $229 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Quadro 5). Neste ano, com a rega enterrada, por mm de água eva-

potranspirada produziram-se em média mais 32 kg/ha de frutos vermelhos + alaranjados do que com a rega superficial. A diminuição da ET_a , causada por uma menor evaporação na fase inicial da cultura, em anos em que não se verifica precipitação, neste período, leva a que produção comercial por unidade de água evapotranspirada seja mais elevada nos tratamentos de rega subsuperficial do que na superficial. O potencial da rega gota-a-gota subsuperficial para aumentar a eficiência do uso da água também foi verificado por Ayars *et al.* (1999) em tomate e outras culturas em linha.

No primeiro ano de ensaio, a eficiência do uso da água de rega, expressa como a produção comercial por unidade de água aplicada, nas modalidades de rega enterrada, atingiu valores (cerca de $223,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) também superiores aos obtidos com a rega superficial ($184 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) mas significativamente, apenas em PI (Quadro 5). A cultivar e a interacção entre os tratamentos não afectaram a produção por unidade de água aplicada. No segundo ano, os

QUADRO 5 - Produção comercial, Produção Comercial/ET_a e Produção Comercial/Água aplicada

Factores	Prod. Comercial (1)		ET _a (2)		Prod. Comercial/Eta		Prod. Comercial/Água aplicada	
	(t ha ⁻¹)				(t ha ⁻¹ mm ⁻¹)		(t ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	1º ano	2ºano	1º ano	2ºano	1º ano	2ºano	1º ano	2ºano
Prof. (P)								
P0	87,59 b	114,16	462,5	498,4	0,189 b	0,229 b	0,184 b	0,218
PI	107,50 a	128,10	461,8	482,3	0,233 a	0,265 a	0,226 a	0,245
PII	105,00 a	124,80	462,0	484,8	0,227 a	0,257 a	0,221 ab	0,239
Cult. (C)								
‘Brigade’	95,83	114,93b					0,201	0,220 b
‘H3044’	104,23	129,76a					0,219	0,248 a
F (P)	5,17*	2,30NS			5,78 *	6,70**	5,39 *	2,30NS
F (C)	3,78NS	10,62**			-	-	2,81 NS	10,62***
F (P*C)	2,14NS	3,15NS			-	-	1,90 NS	4,97**

Em cada coluna as médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente *, **, *** significância a P<0,05, 0,01 e 0,001 respectivamente (LSD); (1) - Frutos vermelhos+ alaranjados, a área de colheita por parcela elementar foi de 12 m² (Machado *et al.*, 2003); (2) - A ET_a mediu-se apenas em talhões com a cultivar H3044, assim a análise de variância fez-se comparando os valores dos três tratamentos

resultados não apresentaram a mesma tendência. A produção comercial por unidade de água aplicada foi afectada significativamente pela interacção entre os tratamentos, tendo cv. H3044, nas modalidades de rega enterrada, apresentado valores mais elevados, cerca de 265 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

CONCLUSÕES

A profundidade de colocação dos gotejadores, com a técnica cultural utilizada, ou seja, rega gota-a-gota diária, aplicação de parte do azoto, fósforo e potássio na água de rega de acordo com as necessidades da cultura e com o tipo de gotejadores usado “RAM”, não afectou a uniformidade de rega. A colocação subsuperficial (a 20 e 40 cm) dos gotejadores mantém a superfície do solo seca. A rega subsuperficial em relação à superficial, pode aumentar a eficiência do uso da água em 14% devido a uma diminuição da ET_a na fase inicial da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE. 1989. Field evaluation of micro-irrigation system. ASAE Ep.459, ASAE Standards
- Ayars, J. E. Phene, C. J. Hutmacher, R. B. Davis, R. R. Schoneman, R. A. Vail, S. S. & Mead, R. M. 1999. Sub-surface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agric. Water Manage.*, **42**:1-27.
- Bralts, V. F. & Kesner, C. D. 1983. Drip irrigation field uniformity estimation, *Transactions of the ASAE*, **26**:1369-1374.
- Camp, C. R. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Transactions of the ASAE*, **41**(5):1353-1367.
- Camp, C. R. Sadler, E. J. & Busscher, W. J. 1997. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. *Transactions of the ASAE*, **40** (4):1013-1020.

- Doorrenbos, J. & Kassam, A. H. 1986. Yield response to water. FAO, *Irrigation and Drainage Paper*, 33, Rome
- Howell, T. 1994. Irrigation engineering, evapotranspiration. In C.J. Arntzen & E.M. Ritter (eds) *Encyclopedia of Agricultural Science*, vol. 2, pp. 591-600.
- Howell, T. A. Schneider, A. D. & Evett, S. R. 1997. Subsurface and surface microirrigation of corn – Southern High Plains. *Transactions of the ASAE*, **40(3)**:635 – 641.
- Kruse, E. G. 1978. Describing irrigation efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain.*, **104**:35-41.
- Machado, R.M.A. 2002. *Estudos Sobre a Influência da Rega-Gota-a-Gota Subsuperficial na Dinâmica de Enraizamento, no Rendimento Físico e na Qualidade da Matéria-Prima do Tomate de Indústria*. Tese de doutoramento, Universidade de Évora, Évora.
- Machado, R.M.A. Oliveira, M.R.G. & Portas, C.A.M. 2003. Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation. *Plant and Soil*, **255 (1)**:333-341
- Pereira, L. S. Oweis, T. & Zairi A. 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Management*, **57**:175-206.
- Phene, C. J. Davis, K. R. Hutmacher, R. B. & McCormick, R. L. 1987. Advantages of subsurface irrigation for processing tomatoes. *Acta Horticulturae*, **200**:101-113.
- Phene, C. J. Hutmacher, R. B. Ayars, J. E. Davis, K. R. Mead, R. M. & Schoneman, R. A. 1992a. Maximizing water use efficiency with subsurface drip irrigation. *International Summer Meeting*, pp. 1-20, Charlotte.
- Phene, C. J. McCormick, R. L. Davis, K. R. Pierro, J. & Meek, D. W. 1989. A lysimeter feedback system for precise evapotranspiration measurement and irrigation control. *Transactions of ASAE*, **32(2)**:477-484.
- Phene, C. J. Yue, R. Wu, I. P. Ayars, J. E. Schoneman, R. A. & Meso, B. 1992b. Distribution uniformity of subsurface drip irrigation systems, pp.1-14 International Winter Meeting, Nashville.
- Yue, R. Phene, C. J. Dake, F. Ayars, J. E. Schoneman, R. A. Wu, I. P. & Kong, L. 1993. Field uniformity of subsurface drip irrigation. In G.S. Jorgensen & K.N. Norum (eds) *Subsurface Drip Irrigation - Theory, Practices and Application*, pp. 181-182. Visalia, California.