

IMPACTOS DO NÍVEL DE IRRIGAÇÃO E DA COBERTURA DO SOLO NA CULTURA DO TOMATEIRO

RAFAEL CAMPAGNOL¹; CAMILA ABRAHÃO²; SIMONE DA COSTA MELLO¹; VICTORIA ROSSMARY SANTACRUZ OVIEDO³; KEIGO MINAMI¹

¹Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil, e-mail: rcampagnol@usp.br, scmello@usp.br, kminami@usp.br

²Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, FCA/UNESP, Fazenda Lageado, Rua José Barbosa de Barros, n. 1780, 18610-307, Botucatu, São Paulo, Brasil, e-mail: ca_abrahamo@yahoo.com.br

³Dirección de Investigación Agrícola/Ministério da Agricultura. Ruta II, km 10, San Lorenzo, Paraguai, e-mail: vrossmary@hotmail.com

1 RESUMO

A água é um bem cada vez mais escasso e que também exerce grande influência na produtividade e na qualidade do tomateiro, tornando seu manejo um fator preponderante para a obtenção de maiores rentabilidades aliada a sustentabilidade. Avaliou-se nesse trabalho os efeitos de lâminas de irrigação (60%, 80%, 100%, 120% e 140% da ETc) e da cobertura do solo com filme plástico de polietileno preto sobre a produtividade, qualidade dos frutos e eficiência do uso da água (EUA) na cultura do tomateiro em campo, durante o período chuvoso, na região de Piracicaba (SP). O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas distribuídas aleatoriamente no esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. As lâminas de irrigação não influenciaram a produtividade total, produtividade comercial, massa média dos frutos e número de frutos por planta. A cobertura do solo com plástico preto aumentou a produtividade total e comercial de frutos, mas reduziu o teor de sólidos solúveis. A eficiência do uso da água aumentou com a redução da lâmina de irrigação, sendo esse aumento mais pronunciado com o uso da cobertura de solo.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, lâmina de água, déficit hídrico, podridão apical, mulching.

**CAMPAGNOL, R; ABRAHÃO, C; MELLO, S. C.; OVIEDO, V. R. S.; MINAMI, K.
IMPACTS OF IRRIGATION LEVELS AND SOIL COVER ON TOMATO
CROP**

2 ABSTRACT

Water is an asset increasingly scarce and it has also a great influence on yield and quality of tomato crop, making its management a major factor to achieve higher profitability coupled with sustainability. The study aimed at evaluating the effects of irrigation depths (60%, 80%, 100%, 120% and 140% of ETc) and black polyethylene plastic as soil covering on yield, fruit quality and water use efficiency (WUE) in field tomato crop during the rainy season in Piracicaba, SP, Brazil. The experimental design was split plots randomly distributed into 2 x 5 factorial arrangement with four replications. No influence was observed of irrigation

depths on total and marketable yield, mean weight and number of fruits per plant. The use of black polyethylene plastic as soil covering increased total and marketable yield, but decreased the content of fruit soluble solids. An increase of water use efficiency was observed by reducing water levels, and it was more pronounced when soil cover had been used.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, water level, water deficit, blossom-end rot, mulching.

3 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada ocupa em torno de 6,5% (318 milhões de hectares) da área total cultivada no planeta (FAOSTAT, 2011) e contribui com aproximadamente 44% da produção total de alimentos (PIRES et al., 2008). No Brasil, a superfície total equipada para irrigação em 2011 foi estimada em 5,4 milhões de hectares, equivalentes a apenas 1,96% da área total agricultável (FAOSTAT, 2011). Segundo BRASIL (2004), ainda que se constate uma pequena porcentagem de área irrigada no país, em comparação com o total, cultivos irrigados são responsáveis por, aproximadamente, 16% da safra de alimentos e por 35% do valor de produção. Para o setor hortícola, o uso da irrigação é ainda mais relevante, sendo as áreas irrigadas responsáveis por 87,8% do valor total da produção de 60 hortaliças em 2006 (IBGE, 2006).

No entanto, nos últimos anos, as taxas de incremento populacional superiores as taxas de crescimento da produção agrícola mundial vêm causando certa inquietude com relação à segurança alimentar. A água utilizada na produção agrícola em 2000 equivaleu a um consumo médio de $9.436 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que deverá ser reduzido ao longo dos anos com a incorporação de tecnologias e processos mais eficientes de gestão do uso da água, sendo estimada para 2025 uma queda para $8.100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Entretanto, em 2025, estima-se que três bilhões de pessoas serão afetadas pela escassez de recursos hídricos, cuja disponibilidade será inferior a $1.700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (CHRISTOFIDIS, 2002).

Segundo Christofidis (2003), estima-se que a superfície irrigada possa aumentar, de forma sustentável, em apenas 200 milhões de hectares. O Brasil detém 13% dessa capacidade mundial de incorporação.

O tomate tem uma das maiores áreas cultivadas dentre as hortaliças no mundo e no Brasil (FAOSTAT, 2013), portanto, o uso racional da água de irrigação e a aplicação de técnicas de cultivos poderiam contribuir de forma significativa para economizar esse recurso.

Diminuir o volume da água aplicada é útil não só para redução dos custos de produção, mas também para preservar o seu consumo e minimizar a lixiviação de nutrientes e pesticidas para as águas subterrâneas (PULUPOL et al., 1996). A quantidade de água a ser aplicada nas culturas deve visar não somente o aumento da produtividade, mas a maximização da receita líquida e a redução dos impactos ambientais (BERNARDO et al., 2006). Assim, as produtividades estimadas devem ser obtidas pelas aplicações de lâminas de irrigação economicamente ótimas (RAO et al., 1988), ou seja, objetivando maior eficiência do uso da água pelas plantas.

A eficiência do uso da água é a relação entre a quantidade de produção agrícola obtida por área e o volume de água utilizada para durante o cultivo para obtê-la. Para alcançar o seu máximo deve-se, então, reduzir a quantidade de água aplicada sem diminuir significativamente a produtividade ou aumentar a produção por área utilizando a mesma quantidade de água de irrigação. Diversos autores têm relacionado a irrigação em déficit, ou

seja, abaixo da evapotranspiração da cultura, com o aumento da eficiência do uso da água pela cultura do tomateiro (WANG et al., 2007; SHRIVASTAVA et al., 1994; MAHAJAN & SINGH, 2006). Contudo, a redução da lâmina de irrigação nem sempre eleva a eficiência do uso da água pelas plantas. Níveis muito baixos de água no solo podem reduzir drasticamente a produtividade e, conseqüentemente, a eficiência do uso de água pelas plantas, como observado por Singh et al. (2009), onde a maior eficiência do uso da água e produtividade de tomates não foi obtida pela menor lâmina de irrigação estudada.

As condições inadequadas de umidade do solo podem reduzir, além da produtividade, a qualidade dos frutos (ALVARENGA, 2000; MAROUELLI & SILVA, 2000). O desbalanço hídrico pode elevar o número de frutos com podridão apical e a porcentagem de frutos rachados (ALVARENGA, 2000). Pode também favorecer a ocorrência de diversas doenças causadas por fungos e bactérias, a desuniformidade da maturação dos frutos e redução do teor de sólidos solúveis (MAROUELLI & SILVA, 2000).

A manutenção da umidade também pode ser obtida através de técnicas de cultivo como a cobertura do solo com filme de polietileno. Esta técnica destaca-se por reduzir a perda de água por evaporação, mantendo a umidade do solo mais elevada, principalmente próxima à superfície do solo, forçando as raízes a se concentrarem na camada mais fértil do perfil (SAMPAIO & ARAÚJO, 2001). Além disso, com o teor de umidade constante e temperatura mais elevada do solo, há maior atividade microbiana e maior mineralização do nitrogênio orgânico do solo, aumentando a disponibilidade deste nutriente para as plantas (SAMPAIO et al., 1999).

A produção de tomate no período chuvoso (primavera-verão) é uma atividade desafiadora e arriscada devido a alta umidade e temperatura elevada, no ar e no solo, o que aumenta os problemas fitossanitários e, conseqüentemente, a maior exigência em pulverizações e tratos culturais, elevando o custo de produção e desestimulando os produtores (FILGUEIRA, 2008). Em razão da maior dificuldade no cultivo e à menor oferta de frutos, a cotação do tomate nesse período tende a ser mais elevada. Com isso, técnicas ou práticas que possam aumentar a produção, facilitar o cultivo ou reduzir o custo de produção são muito importantes para obter-se maiores rendimentos econômicos nessa atividade.

Baseado no exposto, o objetivo desse trabalho foi verificar, sob condição de campo, o efeito de diferentes lâminas de irrigação e da cobertura do solo com filme de polietileno preto sobre a produtividade, a qualidade e a eficiência do uso da água pelo tomateiro cultivado na região de Piracicaba (SP).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, Piracicaba (SP), situada a 22°42’30” de latitude Sul, 47°38’00” de longitude Oeste e altitude de 546 m. Segundo a classificação climática proposta por Köppen, o clima é do tipo Cwa, ou seja, subtropical úmido com três meses mais secos (junho, julho e agosto), chuvas de verão, seca no inverno, temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C.

O cultivo foi realizado entre os dias 21 de setembro e 05 de dezembro. As médias das temperaturas máximas, médias e mínimas e a precipitação total durante esse período, registrado pelo posto meteorológico (USP/ESALQ), foram de 28,7°C, 21,3°C, 14,9°C e 382,5 mm, respectivamente. A distribuição das chuvas foi de 5,15% em julho, a partir do dia 21,

2,46% em agosto, 15,76% em setembro, 19,58% em outubro, 51,06% em novembro e 5,99% em dezembro, até o dia 5.

O solo da área experimental é um NITOSSOLO VERMELHO eutroférico típico, horizonte A moderado, textura argilosa (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2004). A análise química foi realizada no Laboratório de Fertilidade de Solo do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP e apresentou as seguintes características na profundidade de 0 a 20 cm: matéria orgânica (dicromato de potássio) = 31 mg dm⁻³; P (resina) = 312 mg dm⁻³; K (resina) = 15,6 mmolc dm⁻³; Ca (resina) = 89 mmolc dm⁻³; Mg (resina) = 36 mmolc dm⁻³; pH (CaCl₂) = 6,1; S = 90 mg dm⁻³; CTC = 160,6 mmolc dm⁻³; V% = 88; B (água quente) = 0,84 mg dm⁻³.

Os tratamentos foram compostos por cinco lâminas de irrigação (60, 80, 100, 120 e 140% da lâmina requerida pela cultura) e pelo uso ou não de cobertura do solo com filme de polietileno preto. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas distribuídas aleatoriamente no esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. A cobertura do solo (C) foi considerada como parcela e as lâminas de irrigação (L) subparcelas. Cada subparcela foi composta por 10 plantas. Nas áreas sem a cobertura de solo foram realizadas capinas manuais para o controle das plantas daninhas.

Os canteiros tinham 0,70 m de largura e 50 m de comprimento. Os sulcos entre os canteiros foram abertos a 50 cm de profundidade para colocação de um filme de polietileno preto de 150 µm.

O tomate utilizado foi o híbrido San Vito, que possui hábito de crescimento indeterminado e resistência a várias doenças, como pinta-bacteriana (*Pseudomonas syringae* pv. tomato), mancha-de-estenfilio (*Stemphylium solani* e *S. lycopersici*), murcha-de-fusário (*Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* raças 1 & 2) e murcha-de-verticílio (*Verticillium dahliae* raça 1). Apresenta também resistência às principais espécies de nematóide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) e a algumas populações do pulgão das solanáceas (*Macrosiphum euphorbiae*) (EMBRAPA, 2014).

As mudas de tomate foram produzidas por empresa especializada em bandejas poliestireno expandido de 200 células e transplantadas para o campo 30 dias após a semeadura (DAS), no espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,50 m entre plantas, o que corresponde a 2 plantas m⁻².

As plantas foram conduzidas no sistema vertical com duas hastes, tutoradas por fitilhos de plásticos amarrados em arames horizontais posicionados a 2,1 m do solo sobre a linha plantio.

O sistema de irrigação por gotejamento foi composto por microtubos com diâmetro externo e interno de 2,5 e 1,0 mm, respectivamente, inseridos em tubos de polietileno a cada 0,50 m. Para cada planta havia um ponto de gotejo com vazão média de 2 L h⁻¹.

O cálculo da lâmina de irrigação requerida pela cultura foi realizado com base na evapotranspiração do tanque Classe A, localizado próximo à área de cultivo e instalado sobre estrado de madeira nivelado sobre solo nú (MAROUELLI et al., 1996). Para isso, foram realizadas medidas diárias da evaporação da água no tanque. A evapotranspiração da cultura (ETc) foi estimada pela seguinte equação:

$$ETc = Kp \times Kc \times Ev \quad (1)$$

Onde: ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹), Kp = coeficiente do tanque, adimensional; Kc = coeficiente da cultura; Ev = evaporação do tanque (mm dia⁻¹)

Para obter a lâmina de irrigação, a partir da porcentagem da ETc, foi usada a equação:

$$\text{Lam} = \text{ETc} \times \text{L} / 100 \quad (2)$$

Sendo que: Lam = Lâmina de irrigação a ser aplicada em cada tratamento (mm); ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹); L = Porcentagem da lâmina de irrigação de acordo com cada tratamento (60, 80, 100, 120 ou 140%).

Dessa forma, as quantidades de água aplicadas em cada lâmina de irrigação, excluindo-se as precipitações, foram: 255,7; 341,2; 426,3; 511,5 e 596,8 mm para os tratamentos correspondentes a 60, 80, 100, 120 e 140% da lâmina requerida pela cultura, respectivamente.

Os valores de coeficiente da cultura (Kc) foram utilizados de acordo com o estágio fenológico do tomateiro, adaptados de Allen et al. (1998) e Marouelli et al. (1996). Os valores foram: Estádio I - Do transplante até 10% do desenvolvimento vegetativo (0,70); Estádio II – Desde o final da fase I até 70 a 80% do desenvolvimento vegetativo (início do florescimento) (0,6); Estádio III – Desde o final da fase II até o início da maturação (0,7); Estádio IV – Desde o final da fase III até o final da colheita (0,90). O valor do coeficiente do tanque classe A (Kp) variou para cada período de irrigação em função da velocidade do vento e da umidade relativa do ar de 0,65 a 0,85 (MAROUELLI et al., 1996).

As quantidades aplicadas de fertilizantes foram iguais para todos os tratamentos e calculadas com base no volume de água predeterminado para a lâmina de irrigação requerida pela cultura (100%) (Tabela 1). Todos os nutrientes foram fornecidos diariamente às plantas através de solução nutritiva adaptada de Benoit (1987). Para a fase 1 (do transplante ao 7º dia após o transplante – DAT), fase 2 (do 7º DAT até o início da maturação da primeira penca) e fase 3 (do início da maturação da primeira penca até o final do ciclo), as quantidades de fertilizantes utilizadas para a confecção da solução nutritiva foram, respectivamente, 170, 420 e 500 mg L⁻¹ de nitrato de cálcio, 300, 240 e 300 mg L⁻¹ de nitrato de potássio, 470, 0 e 0 mg L⁻¹ de fosfato monoamônico, 0, 50 e 100 mg L⁻¹ de fosfato monopotássico, 0, 145 e 500 mg L⁻¹ de sulfato de potássio, 170, 300 e 300 mg L⁻¹ de sulfato de magnésio, 0, 30 e 30 mg L⁻¹ de ácido bórico, 5, 20 e 20 mg L⁻¹ de fertilizante composto por micronutrientes (2% B; 0,8% Cu-EDTA; 5,6% Fe-EDTA; 0,32% Mo; 3,2% Mn-EDTA; 2,0% Zn-EDTA).

Os parâmetros avaliados foram: produtividade total (kg planta⁻¹), produtividade comercial (kg planta⁻¹), número de frutos por planta, massa média dos frutos (g), eficiência do uso da água - EUA (kg ha⁻¹ mm), teor de sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável, porcentagem de frutos com podridão apical e teor de cálcio nos frutos.

Os frutos foram colhidos, contados e pesados para determinação da produtividade total por planta, número de frutos por planta e massa média dos frutos. A produtividade comercial (kg planta⁻¹) foi calculada pela diferença entre a produtividade de frutos total e a produtividade de frutos com sintomas de podridão apical por planta.

A eficiência do uso da água de irrigação foi calculada através da relação entre a produtividade total do tomateiro (kg ha⁻¹) e a lâmina total de água aplicada (mm), correspondente ao somatório das lâminas diárias. A equação que representa essa relação é:

$$\text{EUA irrigação} = \text{Y/W} \quad (3)$$

Onde: EUA irrigação = Eficiência do uso da água de irrigação (kg ha⁻¹ mm), Y = Produtividade total (kg ha⁻¹), W = Lâmina de água aplicada via irrigação, de acordo com cada tratamento (mm).

A eficiência do uso da água total, por sua vez, foi calculada através da relação entre a produtividade total do tomateiro (kg ha^{-1}) e a lâmina total de água aplicada mais o volume precipitado durante o ciclo (mm). A equação que representa essa relação é:

$$\text{EUA total} = Y/Z \quad (4)$$

Onde: EUA total = Eficiência do uso da água total ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}$), Y = Produtividade total (kg ha^{-1}), Z = Lâmina total de água aplicada de acordo com cada tratamento, mais o volume precipitado (mm).

A porcentagem de podridão apical foi determinada através da contagem dos frutos colhidos de cada parcela que apresentaram essa anomalia. O teor de sólidos solúveis e a acidez titulável foram determinados em amostras compostas pelas polpas de oito frutos colhidos no estágio maduro, triturados e coados. Para a acidez titulável, foram usados 10 g da polpa que foram diluídas em 90 mL de água destilada. A titulação foi feita com hidróxido de sódio 0,1 N até que a solução atingisse pH 8,1, usando a metodologia de Carvalho (1990). O teor de sólidos solúveis foi determinado através da leitura direta em refratômetro digital (Atago PR-32 α).

Para o teor de cálcio nos frutos, foi retirada uma amostra por parcela, composta por cinco frutos do segundo cacho de cinco plantas. Os frutos foram lavados, cortados e secados em estufa a 65°C, com circulação forçada de ar até peso constante. Posteriormente, também foram moídos em moinho tipo Wiley. As análises foram realizadas no Laboratório de Tecidos Vegetais do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância, sendo que as médias do fator cobertura do solo foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) e para o fator lâminas de irrigação foi realizada a análise de regressão polinomial.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As lâminas de irrigação não influenciaram a produtividade total, produtividade comercial, massa média dos frutos e número de frutos por planta, cujos valores foram 4,75 kg planta^{-1} , 4,31 kg planta^{-1} , 106,90 g e 44,77, respectivamente. Esses resultados podem ter sido afetados pelas precipitações ocorridas ao longo do cultivo (382,5 mm), principalmente no final do ciclo, que representaram 57,19% do total no período de 1 de novembro a 5 de dezembro (35 dias). Em função desse fato, houve pouca aplicação de água via fertirrigação nesse período, o que prejudicou a manutenção das diferenças entre as lâminas de irrigação. As quantidades de água aplicadas via irrigação foram de 255,7; 341,2; 426,3; 511,5 e 596,8 mm, para as lâminas de irrigação de 60, 80, 100, 120 e 140% da ETc, respectivamente. Acrescentando as precipitações ocorridas durante o cultivo, os valores totais de água elevam-se para 638,2; 723,7; 808,8; 894,0 e 979,3 mm, o que reduziu a diferença entre as lâminas de 20% para aproximadamente 10%.

Cararo & Duarte (2002) aplicaram porcentagens de lâminas de irrigação semelhantes em tomate “Débora-Plus” cultivado em ambiente protegido (40, 60, 80, 100, 120 e 140% da evapotranspiração da cultura) e também não constatarem diferenças significativas entre os níveis de irrigação estudados sobre a produtividade do tomateiro, mesmo na ausência de precipitação. Por outro lado, Macedo & Alvarenga (2005), verificaram que o aumento da lâmina de irrigação elevou linearmente a produtividade de frutos sadios e totais de tomate

híbrido F1 Bônus cultivado em ambiente protegido. Incrementos produtivos em resposta ao aumento da lâmina de irrigação também foram obtidos por Yrisarry et al. (1993).

A cobertura do solo com plástico preto aumentou a produtividade total e comercial de frutos em 11,75 e 13,51%, respectivamente (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Castellane et al. (1993), onde o uso de cobertura plástica sobre solo, na região de Jaboticabal (SP), também elevou a produção do tomateiro. Bogiani et al., (2008), contudo, verificou que a cobertura do solo, tanto com plástico branco quanto preto, não afetou massa média dos frutos, número médio de frutos por área e a produtividade média de tomate “Duradoro”.

De acordo com a literatura, a cobertura do solo pode reduzir a amplitude térmica do solo e a lixiviação de nutrientes, aumentando dessa forma a sua disponibilidade para as plantas, manter o nível de umidade na camada mais superficial e fértil do solo e possibilitar maior controle de plantas daninhas (SAMPAIO & ARAÚJO, 2001).

Tabela 1. Produtividade total, produtividade comercial, massa média dos frutos, número de frutos por planta e eficiência do uso da água em função da cobertura de solo com plástico preto, Piracicaba (SP), USP/ESALQ, 2006.

Cobertura do solo	Produtividade total (kg planta ⁻¹)	Produtividade comercial (kg planta ⁻¹)	Massa média dos frutos (g)	Número de frutos por planta	Eficiência do uso da água de irrigação (kg ha ⁻¹ mm)
Sem plástico	4,52 b	4,30 b	105,45 a	42,87 a	238,94 b
Com plástico	5,05 a	4,78 a	108,36 a	46,66 a	262,27 a
C.V.%	14,16	14,61	6,52	12,86	12,45

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% (p>0,05).

No presente experimento a cobertura do solo com filme de polietileno preto reduziu 68% a incidência de plantas daninhas comparado às áreas sem cobertura. Resultado semelhante foi observado por Shrivastava et al. (1994), onde o uso de filme plástico sobre os canteiros reduziu em 76% o desenvolvimento de plantas invasoras.

Nas áreas sem cobertura de solo a ocorrência de plantas daninhas, principalmente de tiririca (*Cyperus* sp.) e trevo (*Oxalis* sp.), pode ter afetado os tratamentos sem cobertura, reduzindo a produtividade de frutos e, conseqüentemente, a eficiência do uso da água. Segundo Ronchi et al., (2010), as plantas daninhas competem com as plantas cultivadas por água, luz e nutrientes, podendo reduzir sua produtividade. Interferência das plantas daninhas sobre o tomateiro e os benefícios trazidos pela cobertura do solo para a produtividade também foram observados por Raina et al. (1999), Talavera & Padilla (2000) e Singh et al. (2009). Para Sampaio et al. (1999) e Bogiani et al. (2008), entretanto, em experimentos realizados com tomate do grupo Santa Clara em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico e com o híbrido Duradouro em um solo Argisolo Vermelho, respectivamente, o uso da cobertura do solo com plástico preto não influenciou a produtividade da cultura.

Apesar de contribuir para o aumento da produtividade total e comercial de frutos, a cobertura do solo não influenciou a massa média dos frutos (Tabela 1), como observado por Elkner & Kaniszewski (1995). Raina et al. (1999), entretanto, verificaram que essa prática, por reduzir a evaporação da água do solo e, assim, manter a umidade da camada superficial do solo, contribuiu para o aumento da massa média dos frutos, principalmente sob os menores níveis de irrigação.

A redução da lâmina de irrigação (Figura 1a) elevou linearmente a eficiência do uso da água de irrigação, atingindo os valores máximos na lâmina de 60%, com e sem o uso da cobertura de solo, de 393,44 e 388,35 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente. Isso representa um aumento de 48,07 e 46,88% na eficiência do uso da água aplicada para as áreas com e sem cobertura do solo, respectivamente, em relação à lâmina ideal (100% da ETc). Considerando, além da água aplicada via irrigação, a água precipitada durante o cultivo, a lâmina de 60% elevou a eficiência do uso da água total em 28,97% e 26,86% para as áreas com e sem cobertura do solo, respectivamente, em comparação à lâmina ideal (100% da ETc). Esses resultados mostram que, mesmo considerando as precipitações ocorridas durante o cultivo, a irrigação com déficit proporcionou as maiores eficiências do uso da água para o cultivo de tomate.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Wang et al. (2007), onde a redução do volume de irrigação elevou a eficiência do uso da água e não influenciou a produtividade de tomate. Shrivastava et al. (1994) observaram que a redução da lâmina de água elevou tanto a eficiência do uso da água como a produtividade do tomateiro, com maior impacto nas áreas com cobertura de solo. Mahajan & Singh (2006) verificaram que a aplicação de 50% da lâmina usualmente recomendada no cultivo de tomate em casa-de-vegetação resultou em 48,1% de economia de água, além de elevar a produtividade em 51,7%. Singh et al. (2009), por sua vez, estudaram o efeito de três lâminas de irrigação por gotejamento (60, 80 e 100% da ETc) e da cobertura do solo com plástico preto e verificaram que a maior eficiência do uso da água e produtividade de tomates foram obtidos pela lâmina de 80%.

No presente experimento, a cobertura de solo com plástico preto também apresentou efeitos positivos sobre a eficiência do uso da água (Tabela 1), cujo aumento foi de 9,7% no seu valor em relação ao solo descoberto. Esse resultado condiz com os obtidos para produtividade total e comercial de frutos, uma vez que essas características também se elevaram com o uso da cobertura sobre o solo. Singh et al. (2009), em experimento avaliando níveis de irrigação e o uso de filme de polietileno preto como mulching, obtiveram as máximas eficiências do uso da água nas áreas com cobertura de solo.

A porcentagem de frutos com podridão apical aumentou a partir de 85,9% da lâmina requerida pela cultura (Figura 1), corroborando com os resultados obtidos por DeKocK et al. (1982) e Mohamed et al. (1989), que também verificaram maior incidência de podridão apical com o aumento da disponibilidade de água para as plantas. De forma contrária à podridão apical, o teor de Ca nos frutos reduziu com o aumento da irrigação a partir de 92,5% da lâmina requerida pela cultura, indicando que o aumento da lâmina de irrigação pode afetar o acúmulo de Ca pelos frutos e a incidência de podridão apical (Figura 1b). Cabe ressaltar que no período da frutificação houve precipitação elevada (335,2 mm), o que, associada às maiores lâminas de irrigação, pode ter influenciado a disponibilidade, a absorção e a translocação de Ca pelas plantas. Segundo Fontes (2003), a deficiência de Ca é afetada por vários fatores, dentre eles o desbalanço de água no solo. Para Taylor et al. (2004), a podridão apical é um distúrbio relacionado a deficiência de Ca nos frutos e que é agravado pela alta precipitação e baixa demanda transpiratória, o que reduz a quantidade de cálcio aplicado via fertirrigação e, conseqüentemente, diminui a absorção de cálcio pelas plantas.

No presente experimento, a quantidade de cálcio aplicada foi igual para todos os tratamentos, independente da lâmina de irrigação utilizada. Isso provavelmente resultou em maior diluição desse nutriente nas maiores lâminas de irrigação, resultando em menor translocação de cálcio para os frutos de tomate e, conseqüentemente, maior incidência de podridão apical.

A cobertura do solo não influenciou a ocorrência de podridão apical e o teor de cálcio nos frutos (Tabela 2). A manutenção da umidade ideal do solo auxilia na absorção de cálcio pelas raízes (OLLE & BENDER, 2009). Como esse distúrbio está relacionado à deficiência de cálcio na planta, a manutenção da umidade do solo é importante tanto para permitir sua movimentação por fluxo de massa, quanto para possibilitar seu transporte via xilema até os frutos (FREITAS & MITCHAM, 2012). Contudo, a alta umidade do solo, devido às precipitações ocorridas no período de maior demanda de cálcio pelas plantas, provavelmente impediu a variação de umidade no solo entre os tratamentos com e sem cobertura plástica, justificando a ausência de resultados divergentes para essas características.

Figura 1. a) Eficiência do uso da água de irrigação nas áreas sem e com cobertura de solo com plástico preto em função das lâminas de irrigação; b) Porcentagem de frutos com podridão apical e teor de cálcio nos frutos em função das lâminas de irrigação, em cultivo em campo. Piracicaba (SP), USP/ESALQ, 2006.

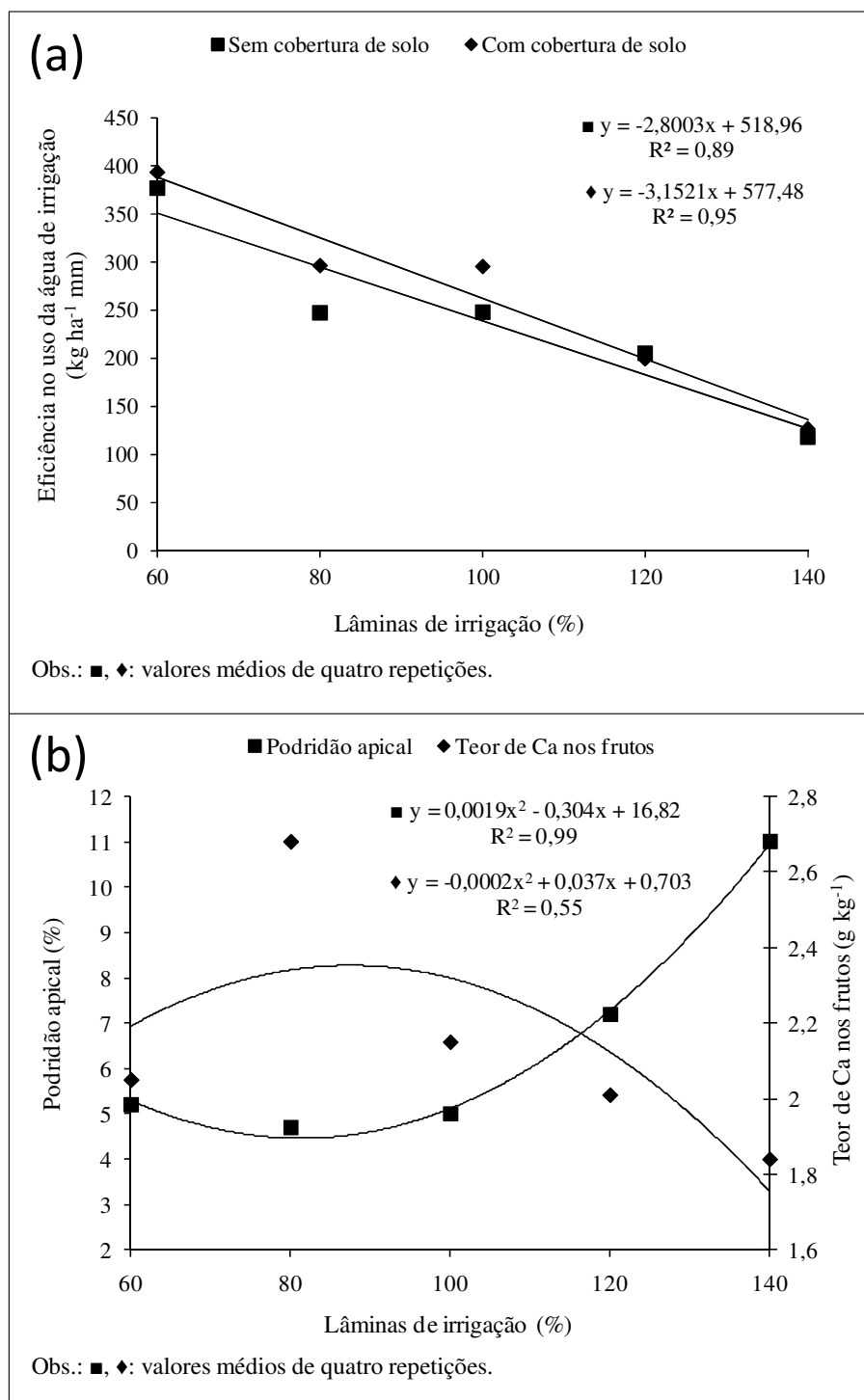


Tabela 2. Podridão apical, teor de cálcio nos frutos, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e pH da polpa dos frutos em função da cobertura de solo com plástico preto, Piracicaba (SP), USP/ESALQ, 2006.

Cobertura do solo	Podridão Apical (%)	Teor de Ca nos frutos (g kg ⁻¹)	Sólidos Solúveis (°Brix)	Acidez Titulável (% de ác. cítrico)	pH
Sem plástico	7,10 a	2,08 a	4,47 a	0,23 a	4,41 a

Com plástico	5,57 a	2,20 a	4,21 b	0,26 a	4,37 a
C.V.%	14,20	14,34	11,73	21,30	10,05

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% ($p > 0,05$).

As lâminas de irrigação não influenciaram o teor de sólidos solúveis, a acidez titulável e o pH dos frutos de tomate, cujos valores médios encontrados foram de 4,34 °Brix, 0,25% e 4,39, respectivamente. Segundo Macêdo & Alvarenga (2005), o aumento da lâmina de irrigação até 100% da necessidade de água pelo tomateiro elevou o teor de sólidos solúveis, sem alterar a acidez titulável e o pH dos frutos. Para Raina et al. (1999), o aumento das lâminas de irrigação não influenciou o teor de sólidos solúveis dos frutos, mas reduziu a acidez titulável, independente da cobertura do solo. Mahajan & Singh (2006), por sua vez, constataram que a aplicação de 50% do volume de água requerido pela cultura do tomate resultou em aumento no teor de sólidos solúveis e no pH do fruto.

O uso do filme de polietileno preto reduziu o teor de sólidos solúveis, porém não alterou a acidez titulável e o pH da polpa dos frutos (Tabela 3). Segundo (TAIZ & ZEIGER, 2004) o aumento do nível de umidade do solo resulta em maior fluxo de água na planta, provocando maior diluição na concentração de sólidos solúveis no floema, que é a principal via responsável pelo fornecimento de assimilados para os frutos. Contudo, como comentado anteriormente, as precipitações ocorridas durante o cultivo reduziram a diferença de umidade no solo entre os tratamentos com e sem cobertura plástica. A diferença ocorrida para o teor de sólidos solúveis entre os tratamentos com e sem cobertura plástica, apesar de significativa, foi de apenas 6% (0,26 °Brix), sendo esse valor pouco perceptível ao paladar. Elkner & Kaniszewski (1995), por sua vez, não encontraram alterações na composição química dos frutos de tomate com o uso do plástico preto, em áreas irrigadas e não irrigadas.

6 CONCLUSÕES

O volume de água aplicado via irrigação não influenciou a produtividade total, a produtividade comercial, a massa média dos frutos e o número de frutos por planta.

A redução da lâmina de irrigação elevou linearmente a eficiência do uso da água aplicada via irrigação e diminuiu a incidência de podridão apical até a lâmina de 80%. A aplicação de 60% do volume recomendado de água elevou em 47,4% a eficiência do uso da água aplicada via irrigação e em 27,9% a eficiência do uso da água total disponível às plantas em comparação à lâmina padrão (100% ETc), demonstrando que a irrigação em déficit pode reduzir a quantidade de água aplicada à cultura sem comprometer a sua produtividade.

A cobertura do solo com plástico preto favoreceu a produtividade total e comercial de frutos, não alterou a porcentagem de frutos com podridão apical e o teor de cálcio nos frutos e aumentou a eficiência do uso da água.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328 p.

ALVARENGA, M. A. R. **Cultura do tomateiro**. Lavras: UFLA, 2000. 91 p.

BENOIT, F. H. High-technology glasshouse vegetable growing in Belgium. **Soiless Culture**, Amsterdam, v. 3, p. 21-29, 1987.

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

BOGIANI, J. C. et al. Poda apical, densidade de plantas e cobertura do solo na produtividade do tomateiro em cultivo protegido. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 145-151, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Superintendência de Conservação de Água e Solo. **Agricultura irrigada e o uso racional da água**. Brasília, DF, 2004. 30 p.

CARARO, D. C.; DUARTE, S. N. Injeção de CO₂ e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 432-437, 2002.

CARVALHO, C. R. L. et al. **Análises químicas de alimentos**. Campinas: ITAL, 1990. 121 p. Manual Técnico.

CASTELLANE, P. D. et al. Mulching com filme de polietileno negro e doses de N em cobertura de tomateiro 'Rio Grande' visando mercado 'in natura'. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 67, 1993.

CHRISTOFIDIS, D. Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental. **Revista Bahia Analise & Dados**, Salvador, v. 1, p. 371-382, 2003.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica e a produtividade de alimentos. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, v. 54, p. 46-55, 2002.

DEKOCK, P. C. et al. The effect of water stress and form of nitrogen on the incidence of blossom-end rot in tomatoes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 33, p. 509-515, 1982.

ELKNER, K.; KANIZEWSKI, S. Effect of drip irrigation and mulching on quality of tomato fruits. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 379, p. 175-180, 1995

EMBRAPA. Produtos, cultivares: tomate San Vito. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/produtos/cultivares/tomate_sanvito.htm>. Acesso em: 18 mar. 2014.

FAOSTAT. Agri-Environmental Indicators, Land, Total area equipped for irrigation, 2011. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acessado em: 14 de outubro de 2014.

FAOSTAT. Production, Crop, Area harvested, 2013. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acessado em: 14 de outubro de 2014.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2008. 421p.

- FONTES, P. C. R. Podridão apical do tomate, queima dos bordos das folhas em alface e depressão amarga dos frutos em maçã: deficiência de Ca? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 144, 2003.
- FREITAS, S. T.; MITCHAM, E. J. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. **Horticultural Reviews**, New York, v. 40, p. 107-146, 2012.
- IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Censo agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp>>. Acesso em: 03 de abril de 2012.
- MACÊDO, L. S.; ALVARENGA, M. A. R. Efeitos de lâminas de água e fertirrigação potássica sobre o crescimento, produtividade e qualidade do tomate em ambiente protegido. **Ciência & Agrotecnológica**, Lavras, v. 29, p. 296-304, 2005.
- MAHAJAN, G.; SINGH, K. G. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 84, p. 202-206, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201 p.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. **Tomate para processamento industrial**. Brasília, DF: Embrapa, 2000. p. 60-71.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1996. 72 p.
- MOHAMED, A. A.; HANNA, K. R.; OMAR, K. A. Effect of soil water regime and calcium level on growth, yield and blossom-end rot incidence of tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Mesopotamia Journal of Agriculture**, Bagda, v. 21, p. 65-78, 1989.
- OLLE, M.; BENDER, I. Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: a review. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v. 84, p. 577-584, 2009.
- PIRES, R. C. M. et al. Agricultura irrigada. **Tecnologia & Inovação Agropecuária**, Campinas, p. 98-111, 2008. Disponível em: <http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/t%26ia/T&IAv1n1/Revista_Apta_Artigo_Agricoltura.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2012.
- PULUPOL, L. U.; BEHBOUDIA, M. H.; FISHER, K. J. Growth, yield and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. **HortScience**, Alexandria, v. 31, p. 926-929, 1996.
- RAINA, J. N.; THAKUR, B. C.; VERMA, M. L. Effect of drip irrigation and polyethylene mulch on yield, quality and water-use efficiency of tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 69, p. 430-433, 1999.
- RAO, N. H.; SARMA, P. B. S.; CHANDER, S. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 13, p. 25-32, 1988.

RONCHI, C. P. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do tomateiro. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, p. 215-228, 2010.

SAMPAIO, R. A.; ARAÚJO, W. F. Importância da cobertura plástica do solo sobre o cultivo de hortaliças. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 22, p. 1-12, 2001.

SAMPAIO, R. A.; FONTES, P. C. R.; SEDIYAMA, C. S. Resposta do tomateiro à fertirrigação potássica e cobertura plástica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 34, p. 21-30, 1999.

SHRIVASTAVA, P. K. et al. Effect of drip irrigation and mulching on tomato yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 25, p. 179-184, 1994.

SINGH, R. et al. Drip irrigation and black polyethylene mulch influence on growth, yield and water-use efficiency of tomato. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 4, p. 1427-1430, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TALAVERA, M. E.; PADILLA, J. R. Evaluación de coberturas orgánicas y plásticas para el combate de malezas en tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller). **Agronomía Mesoamericana**, Alajuela, v. 11, p. 101-107, 2000.

TAYLOR, M. D.; LOCASCIO, S. J.; ALLIGOOD, M. R. Blossom-end rot incidence of tomato as affected by irrigation quantity, calcium source e reduced potassium. **Hortscience**, Alexandria, v. 39, p. 1110-1115, 2004.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Departamento de Solos e Nutrição de Plantas. **Mapa de solos da ESALQ**: memorial descritivo. Piracicaba, 2004. 96 p.

WANG, D.; KANG, Y.; WAN, S. Effect of soil matric potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 87, p. 180-186, 2007.

YRISARRY, J. J. B.; LOSADA, M. H. P.; RINCÓN, A. R. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen applications. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 355, p. 149-156, 1993.