

Parâmetros para o Manejo de Irrigação por Aspersão em Tomateiro para Processamento na Região do Cerrado



Fotos: Waldir A. Marouelli

ISSN 1677-2229
Novembro, 2009

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Hortaliças
Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 49

**Parâmetros para o Manejo de
Irrigação por Aspersão em
Tomateiro para Processamento
na Região do Cerrado**

Waldir Aparecido Marouelli
Henoque Ribeiro da Silva

Embrapa Hortaliças
Brasília, DF
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Hortaliças

Br 060 km 09

Caixa Postal 218

Brasília – DF

CEP 70351-970

Fone: + 55–61-3385.9115

Fax: + 55-61-3556.5744

Home page www.cnph.embrapa.br

E-mail: sac@cnph.embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Hortaliças

Presidente: Warley Marcos Nascimento

Editor técnico: Mirtes Freitas Lima

Membros: Jadir Borges Pinheiro

Miguel Michereff Filho

Milza Moreira Lana

Ronessa Bartolomeu de Souza

Normalização bibliográfica: Rosane Mendes Parmagnani

Editoração eletrônica: Rafael Miranda Lobo

Foto da capa:

1ª edição

1ª impressão (2009): 2.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em Parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9,610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Hortaliças**

Marouelli, Waldir Aparecido

Parâmetros para o manejo de irrigação por aspersão em tomateiro para processamento na Região do Cerrado / Waldir Aparecido Marouelli e Henoque Ribeiro da Silva – Brasília : Embrapa Hortaliças, 2009.

28 p. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Hortaliças , ISSN 1677-2229 ; 49)

1. Tomate industrial – Irrigação por aspersão. 2. Irrigação por aspersão – Manejo. I. Silva, Henoque Ribeiro da. II. Título. III. Série.

CDD 635.642

© Embrapa, 2009

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	14
Conclusões	23
Agradecimentos	23
Referências Bibliográficas	24

Parâmetros para o Manejo de Irrigação por Aspersão em Tomateiro para Processamento na Região do Cerrado

Waldir A. Marouelli¹
Henoque R. da Silva²

Resumo

Três experimentos foram conduzidos na Embrapa Hortaliças, Gama, DF, visando estabelecer parâmetros para a racionalização da irrigação por aspersão em tomateiro para processamento, na Região do Cerrado. No primeiro experimento avaliaram as tensões de água no solo de 30, 120 e 480 kPa nos estádios vegetativo, de frutificação e de maturação. No segundo foram avaliados quatorze épocas de paralisação das irrigações, espaçadas a cada sete dias, entre o florescimento e a colheita. No terceiro ensaio foram ajustados coeficientes médios de cultura ($K_{C\text{médio}}$), pelo método do balanço de água no solo, em sistemas de plantio convencional (SPC) e de plantio direto (SPD). As maiores produtividades e os maiores teores de sólidos solúveis, com menor uso de água, foram obtidas para a tensão-limite de 480 kPa durante os estádios vegetativo e de maturação, tensões-limite de 30 e 40 kPa durante o estádio de frutificação e paralisando as irrigações aos 20 e 34 dias antes da colheita, respectivamente. Os valores de $K_{C\text{médio}}$ ajustados para os estádios inicial, vegetativo, frutificação e maturação

¹ Eng. Agríc., Ph. D., Embrapa Hortaliças, Bolsista PQ-CNPq. E-mail: waldir@cnph.embrapa.br

² Eng. Agr., Ph. D., Embrapa Hortaliças. E-mail: henoque@cnph.embrapa.br

foram, respectivamente: 0,65; 0,57; 1,01; e 0,64 para o SPC, e 0,40; 0,44; 0,99; e 0,65 para o SPD.

Sprinkler Irrigation Scheduling Parameters for Processing Tomatoes in the Savanna Region of Central Brazil

Abstract

Three experiments were carried out at Embrapa Vegetables, Brazil, aiming to establish the major sprinkle irrigation parameters for processing tomato under typical Savanna biome of Brazil. Experiment I: soil water tensions of 30, 120, and 480 kPa were evaluated along the vegetative, fruiting, and maturation plant growth stages. Experiment II: fourteen irrigation cut-off times were tested, 7 days apart, from blossoming to harvest. Experiment III: it was carried out for single crop coefficients ($K_{C_{single}}$) adjustment under conventional tillage (CT) and no-tillage (NT) systems. Maximum fruit and total soluble solids yields, with reduced water -use, were reached at 480 kPa water-tension threshold during both vegetative and maturation stages, at 30 and 40 kPa water-tension thresholds during fruiting stage, and at irrigation cut-off times at 20 and 34 days before harvesting, respectively. The values of $K_{C_{single}}$ for the CT system were 0.65 during initial stage, 0.57 during vegetative, 1.01 during fruiting, and 0.64 during maturation, and for the NT system were 0.40, 0.44, 0.99, and 0.65, respectively.

Index terms: *Solanum lycopersicum, crop coefficient, water deficit, final irrigation timing.*

Introdução

O tomate para processamento é a hortaliça de maior importância econômica na Região do Cerrado. Segundo estimativas das indústrias de processamento, a área cultivada em 2007 no estado de Goiás foi de 12,4 mil hectares, o que representou 75% da área nacional. A produção de frutos no estado atingiu 991 mil toneladas, 76% da produção brasileira. Da área total, em torno de 93% é irrigada por aspersão, sendo pivô central o sistema mais utilizado na região.

Mesmo sendo uma prática agrícola incorporada ao sistema produtivo do tomateiro, a irrigação no Brasil é ainda realizada de forma empírica e inadequada. O manejo impróprio, principalmente quando irrigações em excesso são realizadas, resulta em menor eficiência do uso de água pelas plantas, reduz a produtividade e o teor de sólidos solúveis totais de frutos, além de acarretar maior incidência de doenças fúngicas e bacterianas (MAROUELLI; SILVA, 2000).

Para que a irrigação seja manejada de forma apropriada, evitando deficiência ou excesso de água no solo, é necessário conhecer os efeitos da água nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas. Um parâmetro que permite estabelecer o momento correto da irrigação, bem como estimar a quantidade de água a ser aplicada a cada irrigação, é a tensão-limite de água no solo, que pode variar com o estágio de desenvolvimento das plantas (MAROUELLI et al., 1996).

Estudos demonstram que o estabelecimento de uma estratégia de manejo de água visando maximizar a produtividade acarreta, geralmente, redução do teor de sólidos solúveis totais (MAROUELLI; SILVA, 1993; LÓPEZ et al., 2001). Esta correlação negativa se acentua quanto mais próximo da colheita irrigações em abundância são realizadas.

Apesar da necessidade crescente de água durante o estágio vegetativo, níveis elevados de umidade no solo antes do florescimento podem

proporcionar crescimento excessivo das plantas sem nenhum incremento na produtividade ou até mesmo causar redução, pois podem favorecer maior incidência de doenças da parte aérea (BONET et al., 1981). Durante a frutificação, estágio mais crítico do tomateiro à deficiência de água no solo, irrigações realizadas de forma inadequada comprometem o rendimento e a qualidade de frutos (PRIETO, 1997).

De acordo com Cahn et al. (2002), em certa medida, o déficit de água no solo durante o estágio de maturação do tomateiro pode ser benéfico, pois aumenta o teor de sólidos solúveis totais dos frutos. Para obter melhor qualidade dos frutos, a quantidade de água aplicada a partir do início da maturação dos frutos deve ser reduzida e a data da última irrigação ser antecipada. Além disso, o manejo adequado de irrigação minimiza a ocorrência de frutos podres devido à menor incidência de doenças (MAROUELLI; SILVA, 2000).

Estudos de paralisação das irrigações em tomateiro para processamento vêm sendo realizados há vários anos (MARTIN et al., 1966), mas ainda continua objeto de pesquisa em diferentes países (LOWENGART-AYCICEGI et al., 1999; LÓPEZ et al., 2001; CAHN et al., 2002) devido à influência que sofre de diferentes variáveis, tais como capacidade de retenção de água pelo solo, sistema de irrigação, cultivar, taxa de evapotranspiração e tipo de colheita (LÓPEZ et al., 2001).

Para determinação da evapotranspiração do tomateiro para processamento nas condições de Cerrado do Brasil Central, Marouelli et al. (1996) propuseram coeficientes médios de cultura de 0,45, 0,65, 0,80 e 0,60 para os estádios inicial, vegetativo, de frutificação e de maturação, respectivamente. Todavia, tais coeficientes foram ajustados para um sistema de produção baseado no uso de cultivares de polinização aberta, semeadura direta no campo e duas colheitas manuais, ou seja, totalmente distinto do sistema atual de produção que utiliza cultivares híbridas, transplante de mudas e uma única colheita.

Apesar do tomateiro para processamento no Brasil ser cultivado, principalmente, utilizando sistemas de plantio convencional (SPC), o sistema de plantio direto (SPD) na palhada vem sendo adotado por alguns produtores diante dos benefícios que oferece, tais como conservação de água e solo. A maior conservação de água no solo em SPD se deve notadamente à palhada mantida sobre a superfície do solo, que atua na primeira etapa do processo de evaporação de água do solo, reduzindo a taxa de evaporação devido à maior reflexão da radiação solar incidente (STONE; MOREIRA, 2000) e, conseqüentemente, reduzindo a evapotranspiração e coeficientes de cultura (Kc).

O objetivo do presente estudo foi estabelecer parâmetros para o manejo da água de irrigação por aspersão em tomateiro para processamento, nas condições edafoclimáticas da Região do Cerrado do Brasil Central.

Material e Métodos

Três experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Hortaliças, Gama, DF, durante a estação seca (maio-setembro) entre os anos de 2000 e 2004. O clima da região, segundo classificação de Köppen (PEEL et al., 2007), é do tipo Cwa, ou seja, temperado úmido com inverno seco e verão quente. O solo é do tipo Latossolo Vermelho distrófico, fase cerrado e textura argilosa (SISTEMA, 2006). A característica de retenção de água do solo, no perfil até 40 cm e intervalo entre 5 e 1.500 kPa, foi representada pela equação ajustada $\theta(\psi_m) = 23,5 + 14,8/[1 + (0,056 \times \psi_m)^{1,722}]^{0,421}$ (GENUCHTEN, 1980), onde θ representa o teor volumétrico de água no solo (%) e ψ_m a tensão matricial no solo (kPa).

O experimento I teve por objetivo avaliar tensões de água no solo nos diferentes estádios de desenvolvimento do tomateiro. Os tratamentos, no total de vinte e sete, dispostos em esquema fatorial 3 x 3 x 3, resultaram da combinação dos fatores tensão de água no solo no

estádio vegetativo, tensão no estágio de frutificação e tensão no estágio de maturação, sendo que os níveis de tensão avaliados para cada fator foram 30, 120 e 480 kPa. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com duas repetições e confundimento de dois graus de liberdade da interação tripla.

A duração do estágio vegetativo foi do estabelecimento inicial das mudas até o início da frutificação (11^o ao 40^o dia após o transplante); do estágio de frutificação até o início da maturação (41^o ao 94^o dia), quando cerca de 50% das plantas apresentavam pelo menos um fruto maduro; e do estágio de maturação até 70% de frutos maduros (95^o ao 115^o dia), quando as irrigações foram paralisadas.

A avaliação da tensão de água do solo foi realizada por sensores instalados a 50% da profundidade efetiva do sistema radicular das plantas, ou seja, a 10 cm de profundidade até o início da frutificação e a 20 cm deste estágio até a colheita. Tensiômetros foram usados para determinação da tensão matricial nos tratamentos de 30 kPa, enquanto blocos de resistência elétrica, calibrados individualmente, foram utilizados nos tratamentos de 120 e 480 kPa.

O experimento II teve por finalidade a avaliação de diferentes épocas de paralisação das irrigações sobre a produtividade e sobre o teor de sólidos solúveis totais dos frutos. Os tratamentos, representados por quatorze épocas de paralisação das irrigações entre o início do florescimento (31 dias após o transplante de mudas, com 45% de plantas florescidas) e a colheita (123 dias após o transplante), foram espaçados por sete dias. O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com quatro repetições.

O transplante das mudas dos híbridos H9498 e AP533, respectivamente nos experimentos I e II, obedeceu ao espaçamento de 30 cm x 120 cm, sendo que as unidades experimentais colhidas em ambos os ensaios foram de 220 cm x 420 cm.

O preparo do solo nos experimentos I e II consistiu de uma aração, duas gradagens e sulcamento para incorporação do adubo e transplante.

As irrigações em ambos os ensaios foram realizadas por microaspersão, com emissores espaçados de 200 cm x 200 cm, com taxa de aplicação de água de 17 mm h⁻¹. Durante o estágio inicial de estabelecimento de mudas, as irrigações foram realizadas com frequência de 1 a 3 dias (MAROUELLI et al., 2001). O manejo da água nos demais estágios do tomateiro no segundo experimento foi realizado com base nos resultados obtidos no primeiro ensaio.

As colheitas foram realizadas quando pelo menos 95% dos frutos atingiram a plena maturação. Avaliou-se a produtividade de frutos comercializáveis, a taxa de frutos podres, o teor de sólidos solúveis totais e a produtividade de sólidos solúveis totais. Para a produtividade comercializável foram considerados apenas frutos maduros sem defeitos (queimado, brocado, podres etc.), independente do tamanho. O teor de sólidos solúveis totais foi avaliado a partir de amostra composta por 15 frutos comercializáveis e a taxa de frutos podres foi determinada com base em massa. A produtividade de sólidos solúveis (PSS) foi determinada pelo produto entre a produtividade de frutos comercializáveis e o teor de sólidos solúveis totais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Para as variáveis afetadas significativamente pelos tratamentos, funções de resposta do tipo polinomial e log-normal foram ajustadas aos dados por meio de análise de regressão linear.

O experimento III foi conduzido visando realizar ajustes nos coeficientes médios de cultura ($K_{C\text{médio}}$) recomendados por Marouelli e Silva (2000), para dois sistemas de plantio: SPC e SPD. O $K_{C\text{médio}}$ representou a média temporal dos efeitos conjugados da transpiração da cultura e da evaporação durante cada estágio de desenvolvimento do tomateiro,

incluindo os efeitos gerais de umedecimento do solo pela irrigação ou pela precipitação (ALLEN et al., 1998).

As avaliações de evapotranspiração da cultura (ET_c) no SPC e SPD foram realizadas em três estações de controle localizadas dentro de uma área de plantio contínuo de 0,25 hectare para cada sistema de plantio. Foi utilizado o híbrido Heinz 9992 e as mudas foram transplantadas no espaçamento de 30 cm x 120 cm.

O preparo do solo no SPC consistiu de uma aração, duas gradagens e sulcamento para incorporação dos fertilizantes e transplante. No SPD, as mudas foram transplantadas em sulcos com 5 cm de largura e 8 cm de profundidade, onde foram incorporados os fertilizantes. A palhada de sorgo forrageiro (10 t ha^{-1} de matéria seca) no SPD possibilitou uma cobertura da superfície do solo entre 90% e 100%.

Utilizou-se sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com aspersores espaçados de 12 m x 12 m e taxa de aplicação de água de 18 mm h^{-1} . As irrigações foram realizadas com turno de rega de 1 a 3 dias durante o estágio inicial de estabelecimento das mudas (MAROUELLI et al., 2001), quando a tensão de água no solo atingiu valores entre 100 e 200 kPa durante os estádios vegetativo e de maturação, e em torno de 40 kPa durante o estágio de frutificação, conforme resultados obtidos no experimento I. As regas foram paralisadas 12 dias antes da colheita de frutos.

A lâmina de água aplicada em cada irrigação foi determinada a partir da equação ajustada de retenção de água do solo, buscando elevar a umidade do perfil de solo, correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, até a capacidade de campo (8 kPa).

Os valores de $K_{c\text{médio}}$ durante cada estágio de desenvolvimento do tomateiro foram calculados pela relação entre a ET_c e a evapotranspiração de referência (ET_o) total no período. Os estádios do tomateiro foram divididos da seguinte forma: inicial (até o 10º dia após

o transplante); vegetativo (11^o ao 40^o dia); frutificação (41^o ao 94^o dia); e maturação (95^o ao 122^o dia).

A ETc foi estimada utilizando-se o método do perfil instantâneo para a camada de solo até 60 cm de profundidade, determinando-se os componentes do balanço hídrico do solo (LIBARDI, 2005). Uma vez que a precipitação total durante o estudo foi reduzida (17 mm) e a intensidade de aplicação de água de irrigação foi menor que a velocidade de infiltração básica do solo, os componentes do fluxo horizontal foram desconsiderados no balanço hídrico. A lâmina de água aplicada em cada irrigação foi medida em quatro mini-pluviômetros instalados em cada estação de controle da ETc.

As medições de umidade volumétrica no perfil do solo foram feitas utilizando-se sonda de nêutrons (Hidroprobe 503). Em cada uma das três estações de controle foi instalado um tubo de acesso de 50 mm de diâmetro, em alumínio. As contagens de nêutrons termalizados, a cada 10 cm até a profundidade de 60 cm, foram feitas diariamente nas primeiras horas da manhã devido à melhor redistribuição da umidade durante a noite.

A ETo foi determinada pelo método do tanque classe A (ALLEN et al., 1998) a partir de dados climáticos coletados em uma estação meteorológica situada a 500 m da área experimental.

A colheita foi realizada com 95% de frutos maduros, tendo sido avaliados a produtividade comercializável e o teor de sólidos solúveis de frutos em quatro subáreas de 28,8 m² dentro da área destinada a cada sistema de plantio.

Resultados e Discussão

Experimento I: Avaliação de tensões de água no solo ao longo dos estádios vegetativo, frutificação e maturação do tomateiro.

Durante o período de condução do experimento ocorreram precipitações que totalizaram 29 mm, o que, provavelmente, não teve efeito significativo sobre os resultados. Pela análise de variância realizada, não foi verificada interação significativa ($p > 0,05$) entre os fatores estudados para nenhuma das variáveis avaliadas, o que permitiu que cada fator fosse analisado de forma independente.

A produtividade de frutos comercializáveis apresentou resposta linear com a tensão de água no solo durante o estágio de frutificação (Figura 1), não tendo sido afetada significativamente ($p > 0,05$) por tensões entre 30 e 480 kPa durante os estádios vegetativo e de maturação. Pela equação de regressão ajustada, verifica-se uma redução da produtividade de frutos da ordem de 5% quando as irrigações, durante o estágio de frutificação, foram realizadas considerando a tensão-limite de 45 kPa e de 10% quando a tensão-limite de reposição de água no solo foi de 70 kPa.

O teor de sólidos solúveis totais dos frutos não foi afetado por tensões de água no solo entre 30 e 480 kPa durante os estádios vegetativo e de frutificação, mas aumentou linearmente quanto menor foi tensão de água durante o estágio de maturação (Figura 1). Os resultados obtidos estão de acordo com Marouelli et al. (2003). Estes autores não verificaram variações significativas no teor de sólidos solúveis de frutos de tomateiro irrigados por gotejamento e submetidos a diferentes regimes hídricos durante os estádios vegetativo e de frutificação. Também, Lowengart-Aycicege et al. (1999) relatam que incrementos no teor de sólidos solúveis podem ser facilmente alcançados submetendo as plantas a níveis crescentes de deficiência hídrica durante o estágio de maturação.

A PSS, que não foi influenciada pelas tensões de água no solo aplicadas durante o estágio vegetativo, apresentou resposta quadrática com as tensões avaliadas durante o estágio de frutificação, tendo sido maximizada para a tensão-limite de 40 kPa, e resposta linear positiva durante o estágio de maturação (Figura 2). O efeito não significativo do

regime de irrigação sobre a PSS durante o estágio vegetativo deveu-se ao fato de a tensão de água no solo não ter afetado a produtividade e o teor de sólidos solúveis totais de frutos durante esse estágio. Já o efeito quadrático da tensão sobre a PSS durante o estágio de frutificação deveu-se à produtividade ter sido reduzida com o aumento da tensão e o teor de sólidos solúveis ter aumentado.

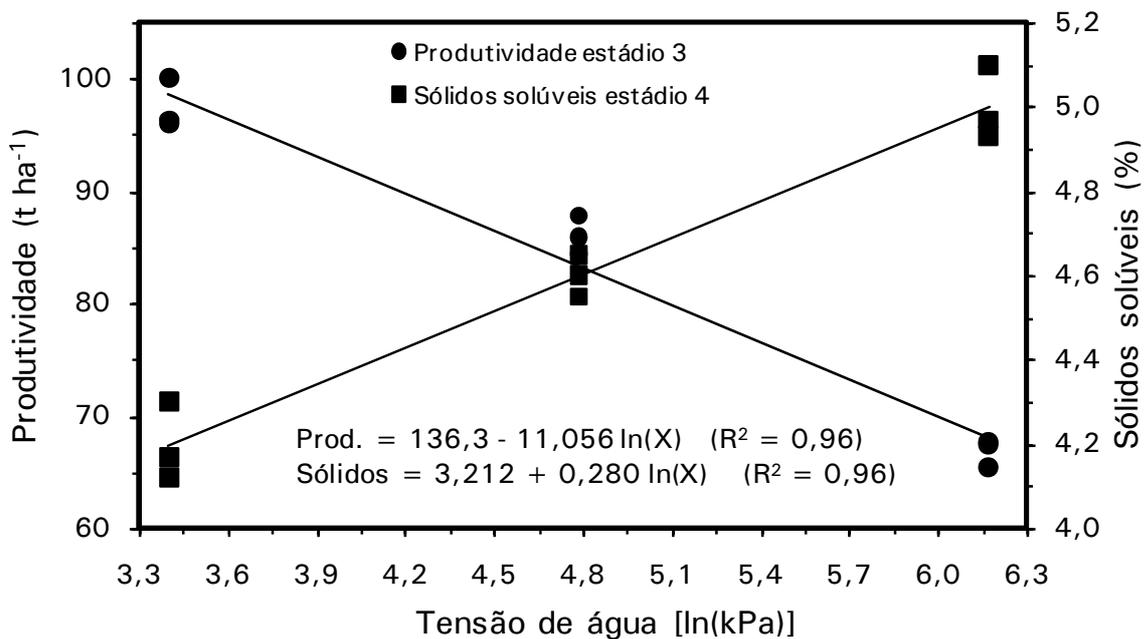


Fig. 1. Produtividade de frutos e teor de sólidos solúveis totais durante os estádios de frutificação (3) e maturação (4) do tomateiro conforme a tensão de água no solo. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF.

Experimento II: Avaliação de diferentes épocas de paralisação das irrigações em tomateiro.

Durante o período em que o experimento foi conduzido ocorreram precipitações que totalizaram 55 mm, dos quais 37 mm ocorreram antes do início dos tratamentos. Dessa forma, estas precipitações provavelmente não tiveram efeito significativo sobre os resultados. Todas as variáveis de produção e de qualidade avaliadas foram afetadas significativamente ($p < 0,01$) pelas épocas de paralisação das irrigações.

A produtividade de frutos comercializáveis apresentou resposta log-normal com a época de paralisação das irrigações (Figura 3). Pela equação de regressão ajustada, maior produtividade (82 t ha^{-1}) foi obtida quando a última irrigação foi realizada aos 68 dias da floração (21 dias antes da colheita), quando as plantas apresentavam cerca de 10% dos frutos totalmente maduros (Tabela 1). Para o intervalo de confiança de 95%, maior produtividade de frutos pode ser obtida com a interrupção das irrigações entre 58 dias (30% das plantas com pelo menos um fruto maduro) e 77 dias (38% de frutos completamente maduros) após o florescimento, de 14 a 30 dias antes da colheita (Tabela 1). Para o caso de cultivares de polinização aberta, com sistema de semeadura direta e duas colheitas, Marouelli e Silva (1993) observaram que a máxima produtividade de frutos ocorreu quando as irrigações foram suspensas com 50% dos frutos maduros.

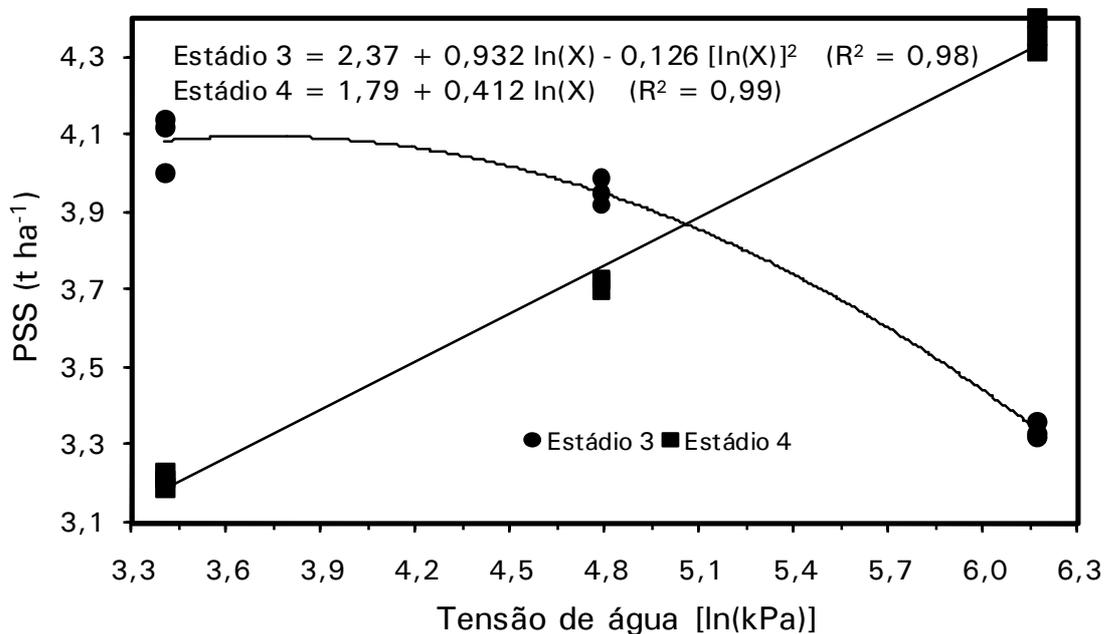


Fig. 2. Produção de sólidos solúveis totais (PSS) durante os estádios de frutificação (3) e maturação (4) do tomateiro conforme a tensão de água no solo. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF.

Tabela 1. Caracterização do desenvolvimento do tomateiro por ocasião das diferentes épocas de paralisação das irrigações avaliadas. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF.

Tratamento (dias após a floração*)	Caracterização
0	5% de plantas florescidas
7	33% de plantas com pelo menos um fruto
14	52% de plantas com pelo menos um fruto
21	37% de plantas com pelo menos um fruto médio**
28	56% de plantas com pelo menos um fruto médio**
35	73% de plantas com pelo menos um fruto médio**
42	3% de plantas com pelo menos um fruto maduro
49	10% de plantas com pelo menos um fruto maduro
56	27% de plantas com pelo menos um fruto maduro
63	52% de plantas com pelo menos um fruto maduro
70	11% de frutos maduros
77	38% de frutos maduros
84	71% de frutos maduros
91	95% de frutos maduros

* 31 dias após o transplante de mudas.

** Frutos verdes com diâmetro entre 2,0 e 2,5 cm.

A ocorrência de frutos podres aumentou linearmente à taxa de 0,19% ao dia quanto mais tarde foram suspensas as irrigações (Figura 3). Tal incremento deveu-se, provavelmente, à maior incidência de doenças fúngicas e bacterianas, favorecidas pelo molhamento da folhagem com a irrigação por aspersão e dos frutos maduros em contato com o solo (SILVA et al., 2001).

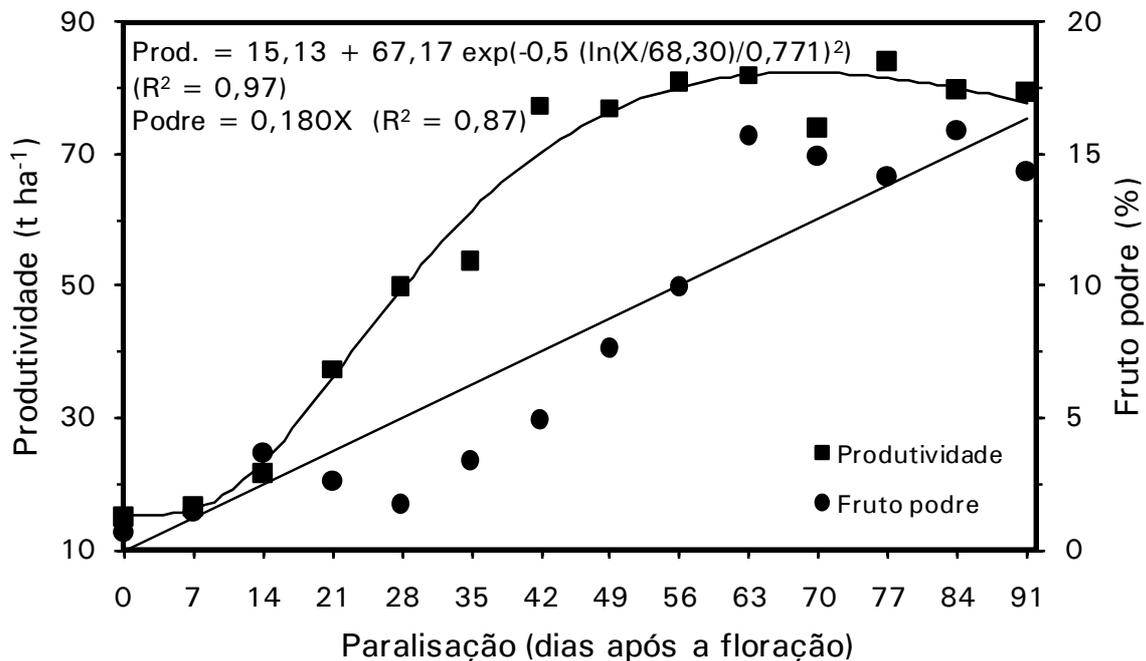


Fig. 3. Produtividade de frutos e percentagem de frutos podres conforme a época de paralisação das irrigações. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF.

Houve redução do teor de sólidos solúveis totais a uma taxa de $0,34^{\circ}$ Brix para cada período de 10 dias de antecipação da data da última irrigação (Figura 4). O teor de sólidos solúveis nos diferentes tratamentos variou entre $4,6$ a $7,3^{\circ}$ Brix. Estes resultados estão de acordo com Cahn et al. (2002) e comprovam que para a obtenção frutos de tomate de boa qualidade para o processamento é fundamental que as irrigações sejam paralisadas no momento correto, além de o manejo de água no solo durante os estádios de frutificação e maturação seja realizado de forma adequada.

A PSS foi maximizada quando a paralisação das irrigações ocorreu aos 53 dias após o início dos tratamentos (Figura 4), quando aproximadamente 20% das plantas apresentavam pelo menos um fruto maduro (34 dias antes da colheita), correspondendo a 15 dias antes da data que maximizou a produtividade. Para o intervalo de confiança de 95%, a máxima PSS pode ser obtida pela suspensão das irrigações entre o 48° e 57° dia após o florescimento (31 a 38 dias antes da

colheita), quando 10% a 30% das plantas apresentaram pelo menos um fruto maduro (Tabela 1).

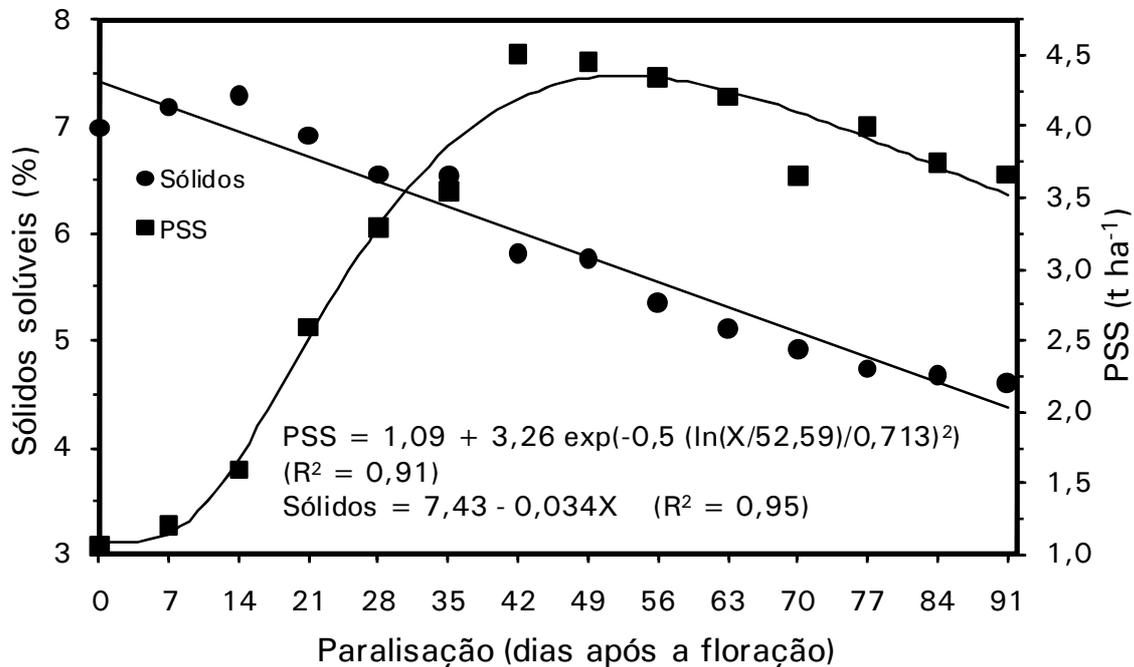


Fig. 4. Teor de sólidos solúveis totais e produção de sólidos solúveis totais (PSS) conforme a época de paralisação das irrigações. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF.

Tanto os produtores, quanto as indústrias de processamento de tomate estão interessados em maximizar o retorno econômico de seus produtos. Porém, enquanto o objetivo principal dos produtores é aumentar a produtividade de frutos, aquele das indústrias é maximizar a produção de polpa. Além disso, o alto teor de sólidos solúveis totais reduz custos de transporte e de consumo de energia durante o processamento de frutos (CAHN et al., 2002).

Experimento III: Ajuste dos coeficientes médios de cultura para tomateiro em SPC e SPD.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de ET_o , ET_c e $K_{Cméd}$ determinados durante os quatro estádios de desenvolvimento do tomateiro e durante o ciclo total da cultura para o SPC e SPD.

A ET_o média durante os diferentes estádios do tomateiro variou entre 4,4 a 5,6 mm dia⁻¹. Para o SPC a ET_c variou entre 2,5 a 5,4 mm dia⁻¹;

e a ETc acumulada ao longo do ciclo do tomateiro totalizou 504 mm. Para o SPD a ETc variou entre 2,2 a 5,3 mm dia⁻¹ e a ETc acumulada totalizou 469 mm (Tabela 2). A maior ETc foi verificada durante o estágio de frutificação, devido ao maior dossel vegetativo das plantas e ao menor déficit de água no solo (até 40 kPa) a que as plantas foram submetidas. Por outro lado, a menor ETc foi verificada durante o estágio vegetativo, devido ao menor dossel das plantas e à maior tensão de água no solo (até 200 kPa).

Tabela 2. Duração, totais acumulados de evapotranspiração de referência (ETo) e de evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficientes médios de cultura (K_{Cmédio}) durante os diferentes estádios do tomateiro cultivado em sistemas de plantio convencional (SPC) e direto (SPD). Embrapa Hortaliças, Brasília-DF.

Estádio	Duração (dias)	ETo (mm)	SPC		SPD	
			ETc (mm)	K _{Cmédio}	ETc (mm)	K _{Cmédio}
Inicial	10	54,6	35,5	0,65	21,8	0,40
Vegetativo	30	133,1	75,9	0,57	58,6	0,44
Frutificação	54	290,1	293,0	1,01	287,2	0,99
Maturação	28	155,7	99,6	0,64	101,2	0,65
Total	122	633,5	504,0	0,80	468,8	0,72

A evapotranspiração total no SPD, durante o ciclo do tomateiro, foi 9,3% menor que no SPC, que se deve à menor perda de água por evaporação proporcionada pela palhada sobre o solo. A redução média na evapotranspiração no SPD foi da ordem de 27,8% durante os estádios inicial e vegetativo. Já durante os estádios de frutificação e de maturação a evapotranspiração acumulada nos dois sistemas de plantio foi praticamente igual. Segundo Derpsch et al. (1991) e Stone e Moreira (2000), a maior economia de água no SPD durante os estádios iniciais deveu-se à pequena fração de cobertura do solo pelas plantas e ao fato de a evaporação representar a maior parte da evapotranspiração. A partir da segunda metade do ciclo do tomateiro,

quando as plantas praticamente cobrem toda a superfície do solo, a transpiração passa a ser predominante e a economia de água no presente estudo não foi significativa.

Os valores de $K_{c\text{médio}}$ ajustados para SPC foram de 0,65, 0,57, 1,01 e 0,64 para os estádios inicial, vegetativo, de frutificação e de maturação, respectivamente (Tabela 2). Os valores ajustados são, com exceção do estágio vegetativo, maiores que aqueles apresentados por Marouelli et al. (1996), o que pode ser devido à maior cobertura do solo pelas plantas no atual sistema de cultivo de tomateiro. Para tomateiro em SPD foram ajustados $K_{c\text{médio}}$ de 0,40, 0,44, 0,99 e 0,65 para os estádios inicial, vegetativo, de frutificação e de maturação, respectivamente (Tabela 2).

Deve-se considerar que nas médias temporais ajustadas de $K_{c\text{médio}}$ está contido o coeficiente de déficit de umidade do solo " K_s " (ALLEN et al., 1998). Para as condições de manejo de irrigação adotadas, as plantas não foram submetidas a condições de déficit hídrico durante os estádios inicial e de frutificação ($K_s = 1$), diferentemente do ocorrido nos estádios vegetativo e de maturação ($K_s < 1$).

Muito embora o valor de K_c não tenha sido determinado durante os três primeiros dias após o transplante, quando as irrigações são, geralmente, realizadas diariamente, Allen et al. (1998) recomendam adotar K_c entre 1,00 e 1,10 para o SPC. Já para efeito de ajuste da curva de K_c , conforme Allen et al. (1998), considerar o valor mínimo de 0,30 ao final do estágio de maturação para o SPC e SPD.

A produtividade média de frutos comercializáveis foi de 98 t ha⁻¹ e o teor de sólidos solúveis totais de 5,2° Brix para o SPC e de 103 t ha⁻¹ e de 4,7° Brix para o SPD. As produtividades obtidas foram, respectivamente, 23% e 29% acima da média do estado de Goiás, maior produtor do país, e o teor de sólidos solúveis está dentro da faixa considerada adequada pela indústria de processamento (GIORDANO et al., 2000).

Conclusões

A máxima produtividade de frutos, associada à menor demanda de irrigação, foi obtida quando as irrigações foram realizadas para a tensão-limite de água no solo de 480 kPa durante os estádios vegetativo e de maturação, tensão-limite de 30 kPa durante o estágio de frutificação, e paralisadas entre 15 e 25 dias antes da colheita, quando a cultura apresentava entre 3% e 20% de frutos maduros.

A máxima produtividade de sólidos solúveis totais, associada à menor demanda de água para irrigação, foi obtida quando as irrigações foram realizadas para a tensão-limite de água no solo de 480 kPa durante os estádios vegetativo e de maturação, tensão-limite de 40 kPa durante o estágio de frutificação, e paralisadas entre 30 e 37 dias antes da colheita, com 10% a 30% das plantas com pelo menos um fruto maduro.

Os valores de $K_{c\text{méd}}o$ para tomateiro em SPC foram: 0,65 para o estágio inicial; 0,57 para o vegetativo; 1,01 para o de frutificação; e 0,64 para o de maturação. Para SPD foram: 0,40 para o estágio inicial; 0,44 para o vegetativo; 0,99 para o de frutificação; e 0,65 para o de maturação.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro parcial na realização do trabalho, à Rain Bird do Brasil Ltda., pela doação de parte do sistema de irrigação, e à Unilever BestFoods do Brasil Ltda., pelo fornecimento das mudas.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p.

BONET, C.; SOTOLONGO, B.; CORCHADO, E. I. Respuesta del cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum*) al agua en las distintas fases de su desarrollo. **Ciencia y Técnica en la Agricultura Riego y Drenaje**, La Habana, v. 4, n. 1, p. 5-17, 1981.

CAHN, M.; HANSON, B.; HARTZ, T.; HERRERO, E. Optimizing fruit quality & yield grown under drip irrigation. **The California Tomato Grower**, California, v. 45, n. 2, p. 7-9, 2002.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U.; KRAUSE, R.; BLANKEN, J. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1991. 272 p. (Sonderpublikation der GTZ, 245).

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, p. 288–291, 1980.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C.; BARBOSA, V. Colheita. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Ed.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília, DF: Embrapa, 2000. p. 128-135.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. (Acadêmica, 61)

LÓPEZ, J.; BALLESTEROS, R.; RUIZ, R.; CIRUELOS, A. Influence on tomato yield and brix of an irrigation cut-off fifteen days before the predicted harvest date in southwestern Spain. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 542, p. 117-125, 2001.

LOWENGART-AYCICEGI, A.; MANOR, H.; KRIEGER, R.; GERA, G. Effects of irrigation scheduling on drip-irrigated processing tomatoes. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 487, p. 513-518, 1999.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Adequação da época de paralisação das irrigações em tomate industrial no Brasil Central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 11, n. 2, p. 118-121, 1993.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Ed.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília, DF: Embrapa, 2000. p. 60-71.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Resposta do tomateiro para processamento a tensões de água no solo, sob irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 1-8. 2003.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2001. 111 p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: EMBRAPA-CNPQ, 1996. 72 p.

MARTIN, P. E.; LINGLE, J. C.; HAGAN, R. M.; FLOCKER, W. J. Irrigation of tomatoes in a single harvest program. **California Agriculture**, California, v. 20, n. 6, p. 12-14, 1966.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PRIETO, M. H. Deficit irrigation treatments in processing tomato under surface irrigation In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE PROCESSING TOMATO, 1., 1996, Recife. **Proceedings...** Alexandria: ASHS: IPA, 1997. p. 48-53.

SILVA, W. L. C.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; FONTES, R. R.; LOBO JÚNIOR, M. Weeds and plant diseases in crop rotation systems for processing tomatoes under center pivot in Central Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 542, p. 297-302, 2001.

SISTEMA brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 835-841, 2000.



Hortaliças