

DESENVOLVIMENTO DO TOMATEIRO CULTIVADO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE MANEJO HÍDRICO

DEVELOPMENT OF TOMATOES GROWN UNDER DIFFERENT WATER MANAGEMENT CONDITIONS

DESARROLLO DE TOMATES CULTIVADOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE GESTIÓN DEL AGUA

Renan Orben Bossoni¹
Kailane Fialho Schmoeller²
Gustavo Soares Wenneck³
Roberto Rezende⁴

Resumo: O estudo teve como objetivo analisar o impacto do manejo hídrico no desenvolvimento do tomateiro. Para tanto, o experimento foi conduzido em ambiente protegido (casa de vegetação) no noroeste do Paraná, sendo adotado delineamento inteiramente casualizado, com dois níveis de reposição hídrica (60 e 100% da evapotranspiração da cultura-ETc) e oito repetições. Foram analisados os pigmentos foliares, altura, conteúdo relativo de água, temperatura foliar e acúmulo de massa dos componentes. O cultivo do tomateiro com déficit hídrico (60% da ETc) apresenta redução no desenvolvimento (16,51%), acúmulo de massa (18,89 a 27,30%) e rendimento (24,25%) das plantas em relação ao cultivo sem déficit (100% da ETc).

Palavras-chave: Agricultura irrigada. Déficit hídrico. Irrigação localizada. *Solanum lycopersicum*.

Abstract: The study aimed to analyze the impact of water management on tomato development. The experiment was carried out in a protected environment (vegetation house) in northwest Paraná, using a completely randomized design, with two levels of water replacement (60 and 100% of the evapotranspiration of the culture-ETc) and eight replications. Leaf pigments, height, relative water content, leaf temperature and mass accumulation of components were analyzed. The cultivation of tomato plants with water deficit (60% of ETc) presents a reduction in the development (16.51%), mass accumulation (18.89 to 27.30%) and yield (24.25%) of the plants in relation to the cultivation without deficit (100% of ETc).

Keywords: Irrigated agriculture. Water deficit. Localized irrigation. *Solanum lycopersicum*.

¹ Graduando do curso de agronomia. Departamento de Agronomia. Universidade Estadual de Maringá. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2762-4207>. E-mail: r3nanbosson1@gmail.com.

² Graduanda do curso de agronomia. Departamento de Agronomia. Universidade Estadual de Maringá. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4050-685X>. E-mail: ra123516@uem.br.

³ Mestre. Doutorando em agronomia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Estadual de Maringá. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4151-2358>. E-mail: gustavowenneck@gmail.com.

⁴ Doutor. Docente. Departamento de Agronomia. Universidade Estadual de Maringá. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6213-1845>. E-mail: rrezende@uem.br.

Resumen: El estudio tuvo como objetivo analizar el impacto de la gestión del agua en el desarrollo del tomate. El experimento fue realizado en un ambiente protegido (casa de vegetación) en el noroeste de Paraná, utilizando un diseño completamente al azar, con dos niveles de reposición de agua (60 y 100% de la evapotranspiración del cultivo-ETc) y ocho repeticiones. Se analizaron los pigmentos de las hojas, la altura, el contenido relativo de agua, la temperatura de las hojas y la acumulación masiva de componentes. El cultivo de plantas de tomate con déficit hídrico (60% de ETc) presenta una reducción en el desarrollo (16,51%), acumulación de masa (18,89 a 27,30%) y rendimiento (24,25%) de las plantas en relación al cultivo sin déficit (100% de ETc).

Palabras-clave: Agricultura de regadío. Déficit del agua. Riego localizado. *Solanum lycopersicum*.

Submetido 17/05/2023

Aceito 17/10/2023

Publicado 07/11/2023

Introdução

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*), com centro de origem na América do Sul, apresenta relevância em área de produção e potencial econômico, sendo cultivado em diversas regiões do mundo (BRANDÃO FILHO et al., 2018). Nesse sentido, a espécie hortícola pode ser conduzida em campo ou em casa de vegetação, sendo empregadas, para isso, diversas tecnologias para obtenção de um elevado potencial produtivo (CHAND et al., 2021). Desse modo, o desenvolvimento morfológico e o rendimento da cultura estão relacionados aos fatores genéticos, às condições edafoclimáticas do local de cultivo e ao manejo adotado para condução da cultura, especialmente, no manejo hídrico (TAIZ et al., 2017; FULLANA-PERICÀS et al., 2019; COUTINHO et al., 2020; PAIXÃO et al., 2020; VILLA E VILA et al., 2022).

Nesse contexto, é imperativo salientar que o cultivo das plantas, em especial, o tomateiro – na ausência de outros fatores – pode apresentar limitação produtiva associada ao manejo da água, seja pela insuficiência em quantidade, intensidade, uniformidade e periodicidade observada em cultivos de sequeiro, ou pela ausência de adoção de técnicas adequadas para o manejo em cultivo irrigado (MOURELLI, 2008; ANDREAN et al., 2022; PARKASH; SINGH, 2020; WENNECK et al., 2021).

O manejo da água na agricultura envolve questões relacionadas ao volume, à forma e ao período para reposição, ou seja, fatores que estão associados à disponibilidade dos recursos, à tecnologia adotada, às características do solo e da espécie de interesse (SANTOS et al., 2018a). Além disso, ao considerar a importância desse recurso para preservação da vida, há questões ambientais, econômicas, sociais, políticas e o conflito de uso a serem analisadas na gestão hídrica.

Por conseguinte, é possível evidenciar que a condição de déficit hídrico controlado durante o cultivo ocasiona alterações bioquímicas, fisiológicas, morfológicas e de rendimento da planta, como verificado na cultura do tomate e do orégano (TAIZ et al., 2017; NEMESKÉRI et al., 2019; NOURI et al., 2019; DU et al., 2020; WENNECK et al., 2023). Entretanto, ele pode ser adotada devido às limitações na disponibilidade de água, além da análise sistêmica na eficiência de utilização do recurso no sistema de produção agrícola (KANNAN; ANANDHI, 2020; CHAND et al., 2021; SOARES WENNECK et al., 2021).

Desse modo, para a adoção da técnica de imposição de déficit hídrico controlado, torna-se necessário o desenvolvimento constante de estudos relacionados à determinação da demanda

das culturas, aos métodos de redução do estresse hídrico e à análise dos diversos fatores envolvidos na produção (TERASSI et al., 2021; LU et al., 2019; SELEIMAN et al., 2021; WENNECK et al., 2023). Com efeito, ao se considerar o impacto do manejo hídrico nas plantas, principalmente, relacionado à presença de déficit hídrico durante o desenvolvimento vegetal, há a necessidade do desenvolvimento de estudos para elevar a eficiência produtiva e a utilização dos recursos.

Portanto, o presente estudo teve como objetivo analisar o impacto do manejo hídrico no crescimento da parte aérea, raízes e frutos, bem como, ao que se refere aos atributos fisiológicos, como teores de clorofila, carotenoides e índice SPAD em folhas do tomateiro. Para tanto, o manejo hídrico adotado atuou com diferentes níveis de reposição de água, resultando em cultivos com e sem déficit hídrico durante o ciclo, para que, assim, fosse possível aferir a influência desse fator sobre características fisiológicas, morfológicas e de rendimento da cultura. Sendo assim, com o fito de atingir o objetivo proposto, a presente pesquisa possui caráter quantitativo, aplicada, conduzida a campo e com objetivo explicativo ao demonstrar o impacto do fator analisado (manejo hídrico) sobre o desenvolvimento da cultura do tomate.

Material e métodos

A pesquisa apresenta abordagem quantitativa, analisando diferentes níveis de reposição hídrica e apresenta natureza aplicada, cujos resultados são de relevância ao setor produtivo. Quanto à sua condução, ela foi realizada de acordo com o manejo adotado por produtores rurais e fundamentada nas recomendações técnicas para a cultura. Ademais, os objetivos são de característica explicativa e abordam os efeitos do manejo hídrico sobre o desenvolvimento do tomateiro. Para tanto, o procedimento experimental de pesquisa a campo foi o método adotado.

O estudo foi desenvolvido no Centro Técnico de Irrigação (CTI), que pertence à Universidade Estadual de Maringá (UEM), localizado no município de Maringá-PR (23°25' Sul, 51°57' Oeste e 542 m de altitude). O clima na região é caracterizado como Cfa (Clima subtropical, com verão quente), com temperatura média entre 22,1 a 22°C, precipitação entre 1400 a 1600 mm ano⁻¹, radiação solar entre 14,5 a 15 MJ m⁻² dia⁻¹ e evapotranspiração entre 1000 a 1100 mm ano⁻¹ (NITSCHKE et al., 2019).

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (casa de vegetação), apresentado 25 m de comprimento, 7 m de largura, 3,5 m de pé direito, cobertura em arco com filme de

polietileno transparente (150 μm) e laterais protegidas com telado branco de nylon. Durante a condução do experimento, a temperatura no interior do ambiente protegido (casa de vegetação) apresentou variação de 17 a 31°C, enquanto a umidade relativa apresentou variação de 45 a 98%. Foi adotado delineamento inteiramente casualizado, com dois níveis de reposição hídrica (60 e 100% da evapotranspiração da cultura-ETc) e oito repetições.

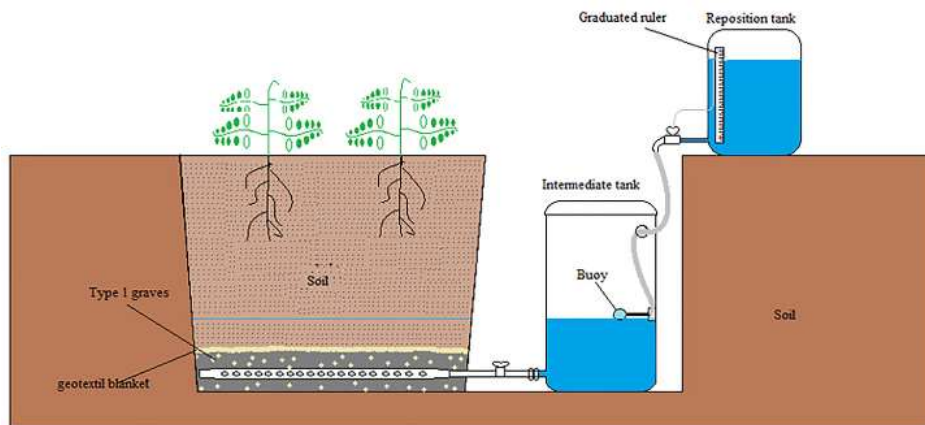
Para implantação da cultura, foram utilizadas mudas comerciais de tomate, híbrido Grazianni-AF 22834 (Sakata Seeds®), sendo transplantadas em canteiros (3 x 0,5 x 0,5 m) previamente adubados com 150 kg ha⁻¹ N (ureia), 130 kg ha⁻¹ P (superfosfato simples), 150 kg ha⁻¹ K (cloreto de potássio) e 4 kg ha⁻¹ B (ácido bórico), conforme análise química do solo e recomendação para cultura (PAULETTI & MOTTA, 2019). As plantas foram espaçadas em 0,75 m no canteiro, e os canteiros espaçados lateralmente em 1 m. Cada canteiro (unidade experimental) apresentava quatro plantas, sendo duas laterais de bordadura e duas centrais referentes à área útil.

O solo na área experimental é caracterizado como NITOSSOLO VERMELHO distroférrico, conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018b), e apresenta textura argilosa (72% de argila) e densidade de 1,1 Mg m⁻³. Como características químicas, o solo da área experimental apresentava, na camada de 0 a 0,2 m de profundidade, pH (CaCl₂) igual à 6,30, matéria orgânica igual à 1,99%, carbono orgânico igual à 11,53 g dm⁻³, cálcio (Ca) igual à 7,62 cmolc dm⁻³, magnésio (Mg) igual à 1,80 cmolc dm⁻³, potássio (K) igual à 0,46 cmolc dm⁻³, fósforo (P) igual à 84,01 mg dm⁻³, enxofre (S) igual à 21,63 mg dm⁻³, boro (B) igual à 0,70 mg dm⁻³, cobre (Cu) igual à 15,24 mg dm⁻³, ferro (Fe) igual à 55,86 mg dm⁻³, manganês (Mn) igual à 127,98 mg dm⁻³, zinco (Zn) igual à 9,06 mg dm⁻³, saturação de bases (V%) de 80,13, saturação de alumínio (m%) de 0%, capacidade de troca de cátions (CTC) de 12,33 cmolc dm⁻³, CTC efetiva de 9,88 cmolc dm⁻³ e acidez potencial (H + Al) de 2,45 cmolc dm⁻³.

Para determinação da taxa de evapotranspiração da cultura (ETc), foram utilizados três lisímetros de lençol freático de nível constante (Figura 1), instalados no interior do ambiente protegido, conforme metodologia descrita por Andrean et al. (2022). Os lisímetros de lençol freático de nível constante permitem a determinação da taxa de evapotranspiração real de acordo com as condições climáticas locais e com o desenvolvimento das plantas, apresentando

eficiência na obtenção de dados semelhante aos lisímetros de pesagem, ao realizar a leitura em períodos de até 24 horas (VELLAME et al., 2012).

Figura 1- Ilustração do lisímetro de lençol freático de nível constante.



Fonte: Andrean et al. (2022).

A reposição hídrica foi realizada com sistema de irrigação localizada, utilizando gotejadores autocompensantes (4 L h^{-1}), espaçados em 0,25 m, sendo uma linha por canteiro. O sistema de irrigação apresentava coeficiente de uniformidade de 95%. Desse modo, para definir o momento da irrigação foi realizado o monitoramento da tensão matricial do solo, sendo utilizado conjunto de tensiômetros instalados a 5 e 15 cm de profundidade nos canteiros. As leituras da tensão de água no solo foram realizadas diariamente no período da manhã (7 horas), sendo o limite crítico para irrigação de 30 kPa, conforme recomendações para cultura do tomateiro irrigado com sistema localizado (MAROUELLI, 2008).

Conforme Marouelli (2008), o solo sob tensão entre 0 e 10 kPa apresenta-se próximo à saturação; entre 10 e 20 kPa, apresenta excelente condição de aeração e umidade excedente; entre 20 e 40 kPa, apresenta excelente condição de aeração e umidade; entre 40 e 70 kPa, apresenta boa aeração e limitação de umidade; e acima de 70 kPa, há baixa disponibilidade de água e limitação na utilização do tensiômetro. Assim, o momento de irrigação foi definido considerando a tensão de água no solo na condição sem déficit hídrico (100% da ET_c), sendo realizada a reposição simultânea nas duas condições de reposição de acordo com o respectivo volume de água ao tratamento.

As plantas foram conduzidas com duas hastes, com crescimento direcionado com auxílio de tutores verticais com 2 m de altura. Foram realizadas avaliações de altura, clorofila (direta e indireta), conteúdo de relativo de água e temperatura foliar aos 30, 45, 60 e 75 dias após o transplântio. Para avaliação da altura, utilizou-se a trena, sendo essa determinada a partir da superfície do canteiro até o ápice da planta, sendo expressa em cm. A determinação da temperatura foliar foi realizada por meio de um termômetro digital portátil, sendo aferido às 8 horas da manhã, em folhas totalmente expandidas do terço superior.

Para determinação dos pigmentos foliares, foi utilizado o equipamento SPAD-502 (Minota®) para determinação indireta e a extração com acetona pura para determinação direta. Para extração com acetona pura, foi adotada a metodologia proposta por Lichtenthaler (1987), de coleta de segmentos de tecido foliar fresco em folhas totalmente expandidas do terço superior. Para tanto, elas foram cortadas em segmentos (150 mg), sendo posteriormente mantidas imersas em acetona pura em baixa temperatura e protegidas da luz, em câmara de demanda bioquímica de oxigênio. Posteriormente, foi determinada a concentração de clorofila a, clorofila b, clorofila total (clorofila a + clorofila b) e carotenoides, utilizando espectrometria UV-VIS (modelo AJX-6100PC) com leitura da absorvância da solução em 470, 644,8 e 661,6 nm.

Para determinação dos pigmentos foliares pelo método indireto, foi utilizado o equipamento SPAD-502, com as leituras em folhas totalmente expandidas do terço superior das plantas. As determinações foram realizadas no período da manhã (7 às 9 horas), sendo o valor da leitura apresentado de forma instantânea no equipamento e expresso em índice SPAD.

O conteúdo relativo de água (CRA) foi determinado de acordo com a variação da massa fresca, túrgida e seca de amostras de tecido foliar, conforme descrito por Ghuidotti et al. (2023), utilizando a equação 1. Para determinação da massa dos segmentos foliares, foi utilizada balança analítica. Para determinação da massa fresca, foram utilizados segmentos de tecido foliar coletados a campo; para determinação da massa túrgida, o segmento foi mantido submerso em água destilada durante 24 horas. Para determinação da massa da matéria seca do segmento foliar, a amostra foi submetida à secagem em estufa de circulação forçada de ar (65°C) até atingir massa constante.

$$CRA = \left(\frac{(MF - MS)}{(MT - MS)} \right) \times 100 \text{ (equação 1)}$$

Em que,

CRA = conteúdo relativo de água (%).

MF = massa fresca do tecido foliar (g).

MT = massa túrgida do tecido foliar (g).

MS = massa seca do tecido foliar (g).

Durante o ciclo, foi determinado o acúmulo de massa seca dos frutos colhidos, sendo considerados frutos com padrão comercial, aqueles que apresentavam coloração vermelha e ausência de defeitos. A colheita ocorreu dos 60 a 105 dias após o transplântio, sendo o rendimento expresso pela massa obtida durante o ciclo. Aos 105 dias após o transplântio, foi determinado o acúmulo de massa da matéria seca nos componentes da planta (raiz, caule e folha) e área foliar das plantas. Para determinação da massa da matéria seca, os componentes vegetais foram submetidos a secagem em estufa de circulação forçada de ar (65°C) até atingir massa constante, sendo a massa determinada em balança analítica. Para determinação da área foliar, foi utilizado o equipamento LI 3100 (LI-COR®), sendo expresso em milímetros quadrados (mm²).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste Tukey, com 5% de significância, sendo utilizado o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019). Para análise da correlação linear, foi utilizado software Microsoft Excel®, com a ferramenta dados.

Resultados e discussão

O índice SPAD não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) em função do manejo hídrico adotado (Tabela 1). Entretanto, foram verificadas diferenças significativas para os pigmentos foliares. Nesse viés, foi possível comparar o estudo desenvolvido por Coutinho et al. (2020), no qual obteve diferença no índice SPAD e não houve diferença para pigmentos foliares em função do manejo de adubação. Já o estudo de Nemeskéri et al. (2019) demonstrou que, na cultura do tomate, houve diferenças para o índice SPAD em função do manejo da irrigação, principalmente, sob condição de déficit. Dessa forma, o conteúdo de pigmentos foliares pode apresentar variação em função do ambiente de cultivo e do manejo adotado.

Tabela 1 Índice SPAD e pigmentos no tecido foliar.

Tempo (DAT)	Reposição hídrica (% ETc)	Índice SPAD	Clorofila	Clorofila	Clorofila	Carotenoides
			<i>a</i>	<i>b</i>	total	
			(µg g ⁻¹)			
30	60	49,7 a	18,6 a	32,0 a	50,7 a	9,0 a
	100	48,5 a	19,1 a	26,3 b	45,5 b	8,5 a
45	60	54,3 a	18,5 a	33,3 a	51,9 a	9,2 a
	100	56,4 a	18,6 a	32,7 a	51,3 a	8,7 a
60	60	50,5 a	18,0 a	49,4 a	67,4 a	8,1 a
	100	53,3 a	15,5 b	36,5 b	52,0 b	7,4 b
75	60	51,8 a	18,6 a	33,2 a	51,8 a	9,3 a
	100	49,9 a	18,7 a	33,4 a	52,1 a	8,2 b
Média		51,8	18,2	34,6	52,8	8,6
Coeficiente de variação (%)		5,1	6,2	19,1	11,9	7,3

*Letras diferentes, em cada período de avaliação, indicam diferença significativa entre o manejo hídrico adotado, pelo teste Tukey com 5% de significância.

Fonte: Autores (2023).

Embora os teores de clorofila a, b e total tenham apresentado variação no tempo, os teores de carotenoides foram inferiores para o nível de reposição hídrica de 100% da evapotranspiração da cultura aos 60 e 75 dias após o transplante, o que indicou um efeito acumulativo na condição de estresse no período final do ciclo para condição de cultivo sob estresse vegetal (Tabela 1).

Nesse caminho, conforme discutido por Wenneck et al. (2021), o índice SPAD tende a apresentar correlação com conteúdo de pigmentos foliares, sendo o índice SPAD adotado em diversos estudos para estimativa do teor dos pigmentos, devido à metodologia da análise. Ainda, há estudos específicos sobre a relação do índice SPAD com o teor dos pigmentos em diversas culturas, como na resposta do tomate à adubação nitrogenada e na relação teor de clorofila e índice SPAD no quiabo (PAIXÃO et al., 2020; VILLA E VILA et al., 2022). Sob esse aspecto, é importante verificar que a análise dos pigmentos foliares por método direto (extração e

quantificação dos pigmentos) ou método indireto (SPAD) permite a análise de fatores produtivos sobre as respostas e características das plantas, sendo uma potencial ferramenta de gestão e manejo de aspectos nutricionais e fisiológicos.

No estudo, a correlação linear das variáveis associadas aos pigmentos foliares (Tabela 2) demonstram baixa correlação do índice SPAD (método indireto) com teor dos pigmentos extraídos com acetona (método direto). Dessa forma, não é possível a comparação dos métodos e a estimação dos parâmetros conforme realizado em couve-flor por Wenneck et al. (2021) e em quiabo por Villa e Vila et al. (2022).

Tabela 2 - Correlação do índice SPAD e pigmentos no tecido foliar.

	Índice SPAD	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	Carotenoides
Índice SPAD	1,00	-	-	-	-
Clorofila a	-0,27	1,00	-	-	-
Clorofila b	0,05	-0,38	1,00	-	-
Clorofila total	0,29	-0,22	0,99	1,00	-
Carotenoides	0,07	0,74	-0,37	-0,26	1,00

Fonte: Autores (2023).

A clorofila total apresentou alta correlação (0,99) com a clorofila b (Tabela 2), devido à relação de tendência e de concentrações determinadas (Tabela 1). Nesse sentido, conforme estudo desenvolvido por Wenneck et al. (2021), é a clorofila b e total tem relação com as condições do ambiente de cultivo.

A adoção de déficit hídrico controlado em cultivo irrigado tem como objetivo elevar a eficiência da utilização do recurso, entretanto, pode apresentar consequências sobre o desenvolvimento das plantas, sobre o rendimento e a qualidade dos produtos (CHAND et al., 2021; WENNECK et al., 2021). Em estudo desenvolvido por Terassi et al. (2021), analisando a imposição de déficit hídrico controlado na cultura do brócolis (*Brassica oleracea var. italica*), em ambiente protegido na região noroeste do Paraná, foi verificado que além do nível de reposição hídrico adotado, a época de imposição do déficit influenciava no rendimento da cultura, sendo esse um fator relevante a ser considerado no manejo da água na agricultura.

Em relação ao desenvolvimento das plantas de tomate no estudo, a imposição de déficit hídrico (60% da ETc) ocasionou a redução significativa no crescimento das plantas durante todo período avaliado (30, 45, 60 e 75 dias após o transplântio). Quanto ao conteúdo relativo de água (CRA), foi verificada redução significativa aos 30 e 45 dias após o transplântio das mudas. A temperatura foliar avaliada nos períodos de avaliação não apresentou variação significativa ($p>0,05$), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Altura das plantas, conteúdo relativo de água (CRA) e temperatura foliar.

Tempo (Dias após o transplântio)	Reposição hídrica (% ETc)	Altura (cm)	CRA (%)	Temperatura foliar (°C)
30	60	57,5 b	61,32 b	22,8 a
	100	59,0 a	69,22 a	22,3 a
45	60	92,3 b	59,22 b	24,2 a
	100	106,0 a	66,33 a	23,4 a
60	60	138,0 b	58,74 a	23,9 a
	100	144,0 a	57,78 a	24,7 a
75	60	146,1 b	57,79 a	25,0 a
	100	175,0 a	54,72 a	24,9 a
Média		114,7	60,6	23,9
Coeficiente de variação (%)		37,5	8,0	4,2

*Letras diferentes, em cada período de avaliação, há uma diferença significativa entre o manejo hídrico adotado, pelo teste Tukey com 5% de significância.

Fonte: Autores (2023).

A diferença entre o conteúdo relativo de água (CRA) no início (30 e 45 dias após o transplântio) e no fim do ciclo (60 e 75 dias após o transplântio), pode estar relacionada às adaptações da planta para as condições de cultivo, principalmente, em condição de estresse hídrico (60% da ETc). Ou seja, as plantas ao serem submetidas à condição de déficit hídrico, apresentam rápida sinalização bioquímica, morfológica e fisiológica para expressão de mecanismos para a preservação do potencial hídrico, o que ocasiona a compensação parcial no

acúmulo de massa e no rendimento da planta (TAIZ et al., 2017). Ainda, deve-se considerar que o conteúdo relativo de água (CRA) reflete condições de disponibilidade de água no solo, taxa de transpiração da cultura, diferenças de potenciais do ambiente de produção e mecanismos de preservação do potencial hídrico da planta.

A temperatura das folhas apresenta variação em função das condições ambientais e da atividade fisiológica, principalmente, no que está relacionado ao processo de fotossíntese e à assimilação de carbono (TAIZ et al., 2017). Os resultados obtidos no presente estudo (Tabela 3) não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) em função dos níveis de reposição hídrica adotados e nos períodos analisados. Todavia, deve-se considerar que os resultados podem ter apresentado influência em função da metodologia adotada, especialmente, em relação ao período padronizado para a avaliação (8 horas da manhã), que coincide com o período de atividade fisiológica baixa, em relação a outros períodos do dia.

Além do desenvolvimento vegetal, relacionado ao crescimento das plantas (Tabela 3), foi verificado a redução no acúmulo de massa da matéria seca e da área foliar (Tabela 4) das plantas cultivadas com déficit hídrico (60% da ETc). A redução nos índices de desenvolvimento e o rendimento associado ao manejo da água estão relacionados à função do componente nos processos fisiológicos, na absorção de nutrientes e nas respostas das plantas às condições hídricas desfavoráveis, o que impacta diretamente no desenvolvimento morfológico (PARKASH; SINGH, 2020; CHAND et al., 2021; SELEIMAN et al., 2021).

Tabela 4 - Acúmulo de massa da matéria seca em componentes morfológicos, área foliar e número de cachos em tomateiro cultivado com diferentes lâminas de irrigação.

Reposição hídrica (% ETc)	Raiz	Caule	Folha	Fruto	Área foliar (mm ²)	Número de cachos
	(g planta ⁻¹)					
60	7,3 b	70,7 b	166,7 b	558,9 b	10549,5 b	17,0 a
100	9,0 a	88,7 a	229,3 a	737,1 a	13926,8 a	18,0 a
Média	8,2	79,7	198,0	648,0	12238,1	17,5
Coefficiente de variação (%)	12,3	16,0	19,6	13,2	16,2	4,3

*Letras diferentes, em cada período de avaliação, há uma diferença significativa entre o manejo hídrico adotado, pelo teste Tukey com 5% de significância.

Fonte: Autores (2023).

O déficit hídrico de 40% da ETc (reposição de 60% da ETc) durante todo o período de cultivo do tomateiro ocasionou a redução no acúmulo de massa da matéria seca de 18,89% na raiz, 20,29% no caule, 27,30% nas folhas e 24,25% no fruto. Em relação à área foliar, foi obtida redução de 24,25%. Embora a redução no acúmulo de massa tenha sido verificada em todos componentes morfológicos da planta (raiz, caule, folha e fruto), deve-se analisar a relevância da redução no acúmulo de massa dos frutos ao considerar que a variável impacta de forma significativa no retorno econômico, sendo o principal componente comercial da cultura (Tabela 4).

O desenvolvimento do sistema radicular é um indicador das características do solo, sendo relevante pela função de absorção de água e nutrientes desempenhada pelo órgão vegetal (TAIZ et al., 2017). Com menor desenvolvimento do sistema radicular, há uma menor área de exploração pelas raízes, o que limita a utilização de recursos. Assim, embora as variações das características do solo não tenham sido analisadas no presente estudo, é evidente que sob condições físicas-hídricas desfavoráveis, como a compactação do solo, há um efeito potencial sobre o déficit hídrico no tomateiro, com consequências sobre o desenvolvimento vegetal e rendimento da cultura (AHMAD; LI, 2021).

O desenvolvimento de diferentes órgãos vegetais apresenta relação de tendência, ao considerar os mecanismos envolvidos em respostas ao ambiente de cultivo. Essa relação pode ser analisada através da correlação linear das variáveis apresentada na Tabela 5. Na relação entre o nível de reposição hídrica e os componentes morfológicos na cultura do tomateiro, é verificada correlação positiva para todos os parâmetros comparados, sendo baixa a correlação da reposição hídrica apenas com o número de cachos por planta (0,07), cujo resultado está relacionado ao efeito não significativo dos fatores apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Correlação linear da reposição hídrica e dos componentes do tomateiro.

	Reposição hídrica	Massa seca da raiz	Massa seca do caule	Massa seca das folhas	Área foliar	Massa seca dos frutos	Número de cachos
Reposição hídrica	1,00	-	-	-	-	-	-
Massa seca da raiz	0,72	1,00	-	-	-	-	-

Massa seca do caule	0,46	0,87	1,00	-	-	-	-
Massa seca das folhas	0,40	0,72	0,70	1,00	-	-	-
Área foliar	0,54	0,42	0,30	0,76	1,00	-	-
Massa seca dos frutos	1,00	0,72	0,46	0,40	0,54	1,00	-
Número de cachos	0,07	0,60	0,71	0,54	0,07	0,05	1,00

Fonte: Autores (2023).

Conforme os resultados do estudo, o manejo hídrico apresenta influência significativa ($p < 0,05$) no desenvolvimento e no acúmulo de massa dos componentes morfológicos (Tabela 4 e Tabela 5). Entretanto, além das variáveis analisadas no presente estudo, deve-se considerar que algumas regiões podem apresentar limitações na disponibilidade de água, em quantidade e qualidade, sendo a imposição do déficit hídrico no cultivo uma alternativa para produção (SANTOS et al., 2018a; TERASSI et al., 2021). Dessa forma, estudos em diversas culturas e regiões produtoras visando analisar o reflexo no manejo hídrico sobre a produção são relevantes para o contexto agrícola.

Portanto, ao considerar a eficiência de utilização da água na produção do tomateiro no presente estudo, pela relação do rendimento de frutos em função do volume de água utilizado durante o cultivo, é verificado o acúmulo de massa da matéria seca de 9,1 e 7,2 g L⁻¹, respectivamente a reposição de 60 e 100% da ETc. Esses resultados indicam que embora o rendimento por planta seja inferior (Tabela 4), em condição de cultivo do tomateiro com déficit hídrico (60% da ETc), há maior eficiência de conversão e utilização dos recursos.

Desse modo, considerando a necessidade de reduzir a demanda de água e elevar sua eficiência de utilização (KANNAN; ANANDHI, 2020), pesquisas vêm sendo desenvolvidas para reduzir o impacto do déficit hídrico no rendimento das plantas de interesse agrônomo, como o tomate, com resultados promissores ao considerar o manejo de déficit em diferentes estádios de desenvolvimento da planta (CUI et al., 2020, TERASSI et al., 2021). Logo, analisar fatores do ambiente de produção, identificar parâmetros associados ao estresse vegetal e utilizar esses conhecimentos no manejo produtivo das plantas podem ser fatores substanciais para assegurar um bom resultado dentro desse processo (LU et al., 2019; NOURI et al., 2019; DU et al., 2020; PARKASH; SINGH, 2020, SELEIMAN et al., 2021).

Sob essa premissa, entre as práticas para análise do impacto de condições de estresse sobre o desenvolvimento e rendimento das plantas, destaca-se a identificação de genótipos mais adaptados e tolerantes a condições adversas. Fullana-Pericàs et al. (2019) avaliaram variedade crioulas de tomate e obtiveram materiais com melhor rendimento e frutos com qualidades superiores às variedades modernas, em condição de cultivo com déficit hídrico. Com isso, esse estudo demonstrou a necessidade de avaliação da resposta da cultura ao manejo hídrico como fator relevante a ser considerado nos programas de melhoramento da cultura.

Por conseguinte, para a imposição de déficit hídrico controlado na agricultura irrigada, deve-se considerar também o método de determinação adequada da evapotranspiração real da cultura, questões econômicas e as características do produto. Nesse sentido, em estudo desenvolvido por Andreato et al. (2022), na determinação de demanda diária (ET_c) e dos coeficientes de cultivo (k_c) do meloeiro (*Cucumis melo*), em cultivo protegido na região noroeste do Paraná, foram obtidos valores de coeficiente de cultivo (k_c) diferentes dos valores preconizados pela FAO. Além disso, foi determinada a demanda da cultura do melão para as condições reais do ambiente de produção, impactando no volume de água utilizada na irrigação.

Em relação às questões econômicas, o estudo desenvolvido por Soares Wenneck et al. (2021), na cultura da couve-flor (*Brassica oleracea var. botrytis*) em ambiente protegido, foi verificado que o nível de reposição hídrica impacta diretamente no custo de produção e no potencial de rendimento, com consequente alteração no retorno econômico do cultivo.

Em relação ao impacto do manejo da irrigação, sobretudo ao relacionado ao nível de reposição hídrica adotado, a pesquisa com a cultura do orégano (*Origanum vulgare*) Wenneck et al. (2023), obteve alteração significativa no teor e na composição de óleo extraído nas folhas, indicando que o manejo da água influencia nas características químicas do produto.

Sendo assim, a partir dos resultados obtidos no presente estudo, foi verificado que o desenvolvimento do tomateiro é responsivo ao manejo da água, sendo obtida a redução nos parâmetros morfológicos e de rendimento em função da imposição de déficit hídrico (60% da ET_c). Para novos estudos a serem desenvolvidos, torna-se relevante a análise de diferentes níveis de reposição hídrica e a utilização de práticas que visem a redução do estresse vegetal em hortaliças, especialmente, na cultura do tomate.

Considerações finais

O cultivo do tomateiro com déficit hídrico (60% da ETc) apresenta redução no desenvolvimento (16,51%), acúmulo de massa (18,89 a 27,30%) e rendimento (24,25%) das plantas em relação ao cultivo sem déficit (100% da ETc).

Assim, a redução no desenvolvimento e no rendimento da cultura, em função do manejo hídrico, afeta diretamente no retorno econômico potencial da cultura, uma vez que houve a redução de 24,25% na massa dos frutos, sendo esse o principal componente comercial da cultura.

O manejo hídrico abrange respostas em diferentes níveis analisados, fisiológicos, morfológicos e de rendimento, em que se verifica que não há relação direta entre o nível de reposição hídrica adotada e a redução nos parâmetros analisados. Dessa forma, é relevante a condução de novos estudos, a fim de analisar a resposta no desenvolvimento do tomateiro em função de diferentes níveis de reposição hídrica.

Conforme os dados de correlação apresentados, a tendência de acúmulo de massa ocorre de forma semelhante entre os diferentes componentes morfológicos da planta (raiz, caule, folhas e frutos) indicando a adaptação da planta ao ambiente de produção.

Sendo assim, na adoção do manejo hídrico a campo, deve-se considerar além das respostas de rendimento da cultura do tomateiro, questões relacionadas à disponibilidade hídrica, em termos de quantidade e qualidade, e demais recursos envolvidos no sistema de produção. Por fim, o manejo hídrico tem relação com a característica final do produto, sendo essa uma variável relevante a ser considerada.

Agradecimentos

À Fundação Araucária e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento das bolsas de iniciação científica; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo financiamento da bolsa de doutorado do coorientador; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da bolsa de produtividade do orientador; e à Universidade Estadual de Maringá, pela estrutura e suporte.

Referências

- AHMAD, H.; LI, J. Impact of water deficit on the development and senescence of tomato roots grown under various soil textures of Shaanxi, China. **BMC Plant Biology**, v.21, e241, 2021.
- ANDREAN, A.F.B.A.; REZENDE, R.; WENNECK, G.S.; VILA, V.V.E.; TERASSI, D.S. Water requirements and fruit development rate of Cantaloupe melons cultivated in summer-autumn. **Comunicata Scientiae**, v.13, e3879, 2022.
- BRANDÃO FILHO, J.U.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018.
- CHAND, J. B.; HEWA, G.; HASSANLI, A.; MYERS, B. Deficit Irrigation on Tomato Production in a Greenhouse Environment: A Review. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.147, n.2, 04020041, 2021.
- COUTINHO, P. W. R.; ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; LANA, M. C.; INAGAKI, A. M.; BRITO, T. S.; ALVES, T. N. Photosynthetic efficiency of tomato plants submitted to calcium silicate application. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.7, n.4, p.49–58, 2020.
- CUI, J.; SHAO, G.; LU, J.; KEABETSWE, L.; HOOGENBOOM, G. Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. **Scientia Agricola**, v.77, n.2, e20180390, 2020.
- DU, Y.D.; ZHANG, Q.; CUI, B.J.; SUN, J.; WANG, Z.; MA, L.H.; NIU, W. Q. Aerated irrigation improves tomato yield and nitrogen use efficiency while reducing nitrogen application rate. **Agricultural Water Management**, v.235, e106152, 2020.
- FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019.
- FULLANA-PERICÀS, M.; CONESA, M. À.; DOUTHE, C.; AOU-OUAD, H. E.; RIBAS-CARBÓ, M.; GALMÉS, J. Tomato landraces as a source to minimize yield losses and improve fruit quality under water deficit conditions. **Agricultural Water Management**, v.223, e105722, 2019.
- GHUIDOTTI, G. C.; WENNECK, G. S.; SAATH, R.; ARAÚJO, L. L. de; PEREIRA, G. L.; SÁ, N. de O.; ZIGLIOLI, A. W.; BERTOLO, R. P. Use of organic waste and bokashi-type fermented compost in the development of cauliflower seedlings. **Comunicata Scientiae**, v.14, e3900, 2023.
- KANNAN, N.; ANANDHI, A. Water Management for Sustainable Food Production. **Water**, v.12, n.3, e778, 2020.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v.148, p.350-382, 1987.
- LU, J.; SHAO, G.; CUI, J.; WANG, X.; KEABETSWE, L. Yield, fruit quality and water use efficiency of tomato for processing under regulated deficit irrigation: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v.222, p.301-312, 2019.

MOURELLI, W.A. **Tensiômetros para o Controle de Irrigação em Hortaliças**. Circular Técnica 57. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008.

NEMESKÉRI, E.; NEMÉNYI, A.; BŐCS, A.; PÉK, Z.; HEYLES, L. Physiological Factors and their Relationship with the Productivity of Processing Tomato under Different Water Supplies. **Water**, v.11, n.3, e586, 2019.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NOURI, H.; STOKVIS, B.; GALINDO, A.; BLATCHFORD, M.; HOEKSTRA, A.Y. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation. **Science of The Total Environment**, v.653, p.241-252, 2019.

PAIXÃO, C. F. C. da; VIDAL, V. M.; GOMES, L. F.; LIRA, L. C. de; SOARES, J. A. B.; MORAES, G. S.; FERNANDES, L. O.; BATISTA, M. C.; CUNHA, F. N.; SANTOS, L. N. S. dos; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. Plant growth and quality of sweet grape tomato fruits under the effects of nitrogen doses and water replenishment. **Research, Society and Development**, v.9, n.7, e917974784, 2020.

PARKASH, V.; SINGH, S. A Review on Potential Plant-Based Water Stress Indicators for Vegetable Crops. **Sustainability**, v.12, n.10, e3945, 2020.

PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. 2.ed. Curitiba: SBCS-NEPAR, 2019.

SANTOS, G. O.; VANZELA, L. S.; FARIA, R. T. **Manejo da Água na Agricultura Irrigada**. Boletim Técnico. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2018. 40p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.Á.; ARAÚJO-FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. rev. e exp. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SELEIMAN, M.F.; AL-SUHAIBANI, N.; ALI, N.; AKMAL, M.; ALOTAIBI, M.; REFAY, Y.; DINDAROGLU, T.; ABDUL-WAJID, H. H.; BATTAGLIA, M. L. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. **Plants**, v.10, n.2, e259, 2021.

SOARES WENNECK, G.; SAATH, R.; REZENDE, R.; ANDREAN, A. F. B. A.; SANTI, D. C.; TERASSI, D. de S. Análise econômica da utilização de silício no cultivo de couve-flor em ambiente protegido na região noroeste do Paraná. **IRRIGA**, v.1, n.2, p.335-343, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TERASSI, D. S.; REZENDE, R.; WENNECK, G. S.; MENEZES, C. S. L.; ANDREAN, A. F. B. A.; VILA, V. V.; SILVA, L. H. M. Broccoli Production with Regulated Deficit Irrigation at Different Phenological Stages. **Journal of Agricultural Science**, v. 13, e. 71, 2021.

VELLAME, L.M.; COELHO FILHO, M.A.; COELHO, E.F.; FRAGA JÚNIOR, E.F. Lisímetro de pesagem e de lençol freático de nível constante para uso em ambiente protegido. **Revista Caatinga**, v.25, n.1, p.153-159, 2012.

VILLA E VILA, V.; SOARES WENNECK, G.; SOUZA TERASSI, D.; REZENDE, R.; SAATH, R. Índice SPAD como estimativa indireta do conteúdo de clorofila em plantas de quiabo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 9, e6787, 2022.

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; REZENDE, R.; SILVA, L. H. M. SPAD index and leaf pigments in cauliflower in different water conditions and silicon fertilization. **Engenharia na Agricultura**, v. 29, p.204-210, 2021.

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; REZENDE, R.; TERASSI, D. S.; MORO, A. L. The management of water replacement in oregano cultivation changes the content and composition of the oil extracted from the leaves. **Scientia Horticulturae**, v.309, e111627, 2023.