

JAILSON DE OLIVEIRA

**MASSA DE MATÉRIA SECA, ACÚMULO DE NUTRIENTES E TEOR DE
CARBONO ORGÂNICO EM TOMATEIRO IRRIGADO A CADA SETE DIAS E
CULTIVADO COM DOSES DE PROLINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Herminia Emilia Prieto Martinez

Coorientadores: Derly José Henriques da Silva
Paulo Roberto Cecon

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

O48m
2024

Oliveira, Jailson de, 1997-

Massa de matéria seca, acúmulo de nutrientes e teor de carbono orgânico em tomateiro irrigado a cada sete dias e cultivado com doses de prolina / Jailson de Oliveira. – Viçosa, MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (90 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Hermínia Emília Prieto Martinez.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Agronomia, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.165>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Tomate. 2. Fitotecnia. 3. Solutos. 4. Carbono orgânico.
I. Martinez, Hermínia Emília Prieto, 1956-. II. Universidade Federal de Viçosa. Agronomia. Mestrado em Fitotecnia.
III. Título.

CDD 22. ed. 635.642


JAILSON DE OLIVEIRA

**MASSA DE MATÉRIA SECA, ACÚMULO DE NUTRIENTES E TEOR DE
CARBONO ORGÂNICO EM TOMATEIRO IRRIGADO A CADA SETE DIAS E
CULTIVADO COM DOSES DE PROLINA**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **JAILSON DE OLIVEIRA**
Data: 15/04/2024 11:03:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jailson de Oliveira
Autor

Documento assinado digitalmente
 **HERMINIA EMILIA PRIETO MARTINEZ**
Data: 15/04/2024 10:56:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Herminia Emilia Prieto Martinez
Orientadora

*A Deus, aos meus pais,
Maria Betânia Lima
e José de Oliveira.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela força, saúde e sabedoria.

Aos meus pais, Maria Betânia Lima e José de Oliveira, por todo apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Ao Departamento de Agronomia, pela disponibilidade de estrutura, equipamentos e reagentes para realização da pesquisa.

À minha orientadora, professora Herminia Emilia Prieto Martinez, pela atenção, apoio, confiança, competência e pelo grande exemplo de profissionalismo.

Ao técnico do Laboratório de Análise de Tecidos Vegetais, Itamar Duarte, pelos ensinamentos, atenção e disposição durante a realização das análises.

Aos meus coorientadores, professores Derly José Henriques da Silva e Paulo Roberto Cecon pelas valiosas sugestões e por todo apoio disponibilizado durante o período de pesquisa.

Aos colegas Brunno Rocha, Deise Pimentel, Denisson Nascimento, Mayane Barbosa e Rolando Corella por toda ajuda na execução da pesquisa e pelo companheirismo durante o período de mestrado.

Meus agradecimentos a todos que, de forma direta ou indiretamente, participaram e contribuíram com o êxito deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

OLIVEIRA, Jailson de, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024. **Massa de matéria seca, acúmulo de nutrientes e teor de carbono orgânico em tomateiro irrigado a cada sete dias e cultivado com doses de prolina.** Orientadora: Herminia Emilia Prieto Martinez. Coorientadores: Derly José Henriques da Silva e Paulo Roberto Cecon.

A cultura do tomateiro é bastante exigente quanto às condições de cultivo, principalmente, quanto às necessidades hídricas. A limitação hídrica pode contribuir para a ocorrência de deficiência nutricional, afetando o crescimento, a produção e a qualidade dos frutos. A produção e acúmulo de substâncias osmoticamente ativas, como por exemplo a prolina, pode melhorar as respostas das plantas ao estresse hídrico. Assim, este trabalho foi dividido em três capítulos objetivando avaliar a produção e partição de matéria seca, acúmulo de nutrientes e teor de carbono pelo tomateiro irrigado a cada sete dias e cultivado com doses de prolina. No capítulo 1, utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e em fatorial triplo (2 doses de prolina (100 e 150 mg L^{-1}), 3 momentos de aplicação (1, 3 e 6 dias após a irrigação) e 5 épocas de avaliação (40, 60, 80 100 e 120 dias após o transplante)). Foi considerado um tratamento adicional, a testemunha sem aplicação de prolina. Realizou-se a avaliação da produção e partição de massa de matéria seca pelo tomateiro. A análise dos dados obtidos revelou que houve diferença estatística significativa entre as doses de prolina e os momentos de aplicação de prolina, entretanto não deferiu da testemunha. Durante o ciclo do tomateiro, a prolina pulverizada nas doses de 100 e 150 mg L^{-1} aos três e seis dias após a irrigação altera a alocação de matéria seca, mas não influencia na obtenção de massa de matéria seca. No capítulo 2, foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e em fatorial duplo (2 doses de prolina (100 e 150 mg L^{-1}) e 3 momentos de aplicação (1, 3 e 6 dias após a irrigação)), mais um tratamento adicional, sendo este a testemunha sem aplicação de prolina. Avaliou-se a produção e partição de massa de matéria seca e de teor de carbono orgânico pelas plantas nas fases de frutificação e final de ciclo. A análise estatística revelou que houve diferença significativa para ambas as características avaliadas. A prolina pulverizada na dose de 100 mg L^{-1} incrementa a massa de matéria seca e o teor de carbono orgânico do tomateiro quando aplicada aos 1 ou 6 dias após a irrigação, nos períodos estudados. No capítulo 3, realizou-se a avaliação do acúmulo de massa de matéria seca e de nutrientes pelo tomateiro durante o ciclo da cultura. A ordem decrescente de acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na planta inteira foi $\text{K} < \text{Ca} < \text{P} < \text{Mg}$ e $\text{Mn} < \text{Cu} < \text{Fe} < \text{Zn}$, respectivamente.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L; Nutrição mineral; Osmólitos Compatíveis; Limitação hídrica

ABSTRACT

OLIVEIRA, Jailson de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2024. **Dry matter mass, nutrient accumulation and organic carbon content in tomato plants irrigated every seven days and cultivated with doses of proline.** Adviser: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-advisers: Derly José Henriques da Silva and Paulo Roberto Cecon.

Tomato cultivation is quite demanding in terms of growing conditions, especially in terms of water needs. Water limitation can contribute to the occurrence of nutritional deficiency, affecting fruit growth, production and quality. The production and accumulation of osmotically active substances, such as proline, can improve plant responses to water stress. Thus, this work was divided into three chapters aiming to evaluate the production and partition of dry matter, accumulation of nutrients and carbon content by tomato plants irrigated every seven days and cultivated with doses of proline. In chapter 1, a randomized block design was used, with four replications and in a triple factorial (2 doses of proline (100 and 150 mg L⁻¹), 3 times of application (1, 3 and 6 days after irrigation) and 5 evaluation times (40, 60, 80, 100 and 120 days after transplantation). An additional treatment was considered, the control without application of proline. The production and partition of dry matter mass by the tomato plant was evaluated. Analysis of the data obtained revealed that there was a significant statistical difference between the proline doses and the times of proline application, however this did not differ from the control. During the tomato cycle, proline sprayed at doses of 100 and 150 mg L⁻¹ on three and six days after irrigation changes the allocation of dry matter, but does not influence the obtainment of dry matter mass. In chapter 2, a randomized block design was used, with four replications and in a double factorial (2 doses of proline (100 and 150 mg L⁻¹) and 3 times of application (1, 3 and 6 days after irrigation)), plus an additional treatment, this being the control without application of proline. The production and partition of dry matter mass and organic carbon content by plants in the fruiting and end-of-cycle phases was evaluated. Statistical analysis revealed that there was a significant difference for both characteristics evaluated. Proline sprayed at a dose of 100 mg L⁻¹ increases the dry matter mass and organic carbon content of the tomato plant when applied one or six days after irrigation, in the periods studied. In chapter 3, the accumulation of dry matter and nutrients by tomato plants during the crop cycle was evaluated. The decreasing order of macronutrient and micronutrient accumulation in the whole plant was K<Ca<P<Mg and Mn<Cu<Fe<Zn, respectively.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L; Mineral nutrition; Compatible Osmolytes; Water limitation

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	Objetivo geral	14
2.2.	Objetivos específicos.....	15
	REFERÊNCIAS	15

CAPÍTULO 1 - EFEITO DA PROLINA NA PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA EM TOMATEIRO CULTIVADO NA REGIÃO DE VIÇOSA/MG E IRRIGADO A CADA SETE DIAS

1.	INTRODUÇÃO	19
2.	MATERIAL E MÉTODOS	20
2.1.	Local de condução.....	20
2.2.	Produção de mudas.....	21
2.3.	Preparo da área e do solo.....	21
2.4.	Delineamento experimental e tratamentos	23
2.5.	Tratos culturais e manejo da irrigação	23
2.6.	Preparo das amostras	24
2.7.	Características avaliadas.....	25
2.7.1.	Produção de massa de matéria seca.....	25
2.7.2.	Partição de massa de matéria seca.....	25
2.7.3.	Produtividade estimada em cada época de avaliação	25
2.8.	Análise estatística	25
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1.	Produção de massa de matéria seca.....	26
3.2.	Partição de massa de matéria seca e produtividade estimada	32
4.	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	37

CAPÍTULO 2 - EFEITO DA PROLINA NA PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA E NO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO EM TOMATEIRO NAS FASES DE FRUTIFICAÇÃO E FINAL DE CICLO

1.	INTRODUÇÃO.....	42
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.1.	Local de condução.....	43
2.2.	Produção de mudas.....	44
2.3.	Preparo da área e do solo.....	44
2.4.	Delineamento experimental e tratamentos	46
2.5.	Tratos culturais e manejo da irrigação	46
2.6.	Preparo das amostras	47
2.7.	Características avaliadas.....	47
2.7.1.	Produção de massa de matéria seca.....	48
2.7.2.	Partição de massa de matéria seca.....	48
2.7.3.	Teor de carbono orgânico.....	48
2.7.4.	Produtividade estimada em cada época de avaliação.....	48
2.8.	Análise estatística	48
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
3.1.	Produção de massa de matéria seca.....	49
3.2.	Partição de massa de matéria seca.....	55
3.3.	Teor de carbono orgânico e produtividade estimada.....	58
4.	CONCLUSÕES.....	64
	REFERÊNCIAS.....	64

CAPÍTULO 3 - ACÚMULO DE MASSA DE MATÉRIA SECA E DE NUTRIENTES PELO TOMATEIRO IRRIGADO A CADA SETE DIAS E CULTIVADO NA ZONA DA MATA MINEIRA

1.	INTRODUÇÃO.....	71
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	72
2.1.	Local de condução.....	72
2.2.	Produção de mudas.....	73
2.3.	Preparo da área e do solo.....	73

2.4.	Delineamento experimental e tratamentos	74
2.5.	Tratos culturais e manejo da irrigação	75
2.6.	Preparo das amostras	75
2.7.	Determinação dos teores de nutrientes.....	76
2.8.	Características avaliadas.....	76
2.9.	Análise estatística	76
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
3.1.	Acúmulo de massa matéria seca.....	77
3.2.	Acúmulo de nutrientes.....	78
4.	CONCLUSÕES.....	84
	REFERÊNCIAS.....	84

1. INTRODUÇÃO GERAL

No contexto mundial, está cada vez mais frequente a discussão quanto a necessidade do aumento da produção de alimentos para atender a demanda crescente da população. De acordo com a ONU (2019), em 2030 a população mundial deverá atingir 8,5 bilhões de habitantes e, em 2050, chegar a 9,7 bilhões (FAO, 2022). Esse aumento populacional demandará uma maior oferta de alimentos em quantidade e qualidade.

Neste cenário em que o potencial da produção alimentícia preocupa e arregimenta discussões, o adequado cultivo das culturas pode contribuir para amenizar a situação. Neste contexto, as culturas hortícolas são grande opção, proporcionando vantagens à saúde do consumidor, além de geração de renda aos pequenos e médios produtores. As espécies hortícolas são importantes fontes de vitaminas, minerais e outros compostos bioativos (Canella et al., 2018).

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais de hortaliças, registrando produção de mais de 33 milhões de toneladas (CNA, 2021). Entre as hortícolas, o tomate é a segunda hortaliça mais comercializada por ser um dos mais produzidos e consumidos, registrando produção de 3,8 milhões de toneladas e 54,5 mil ha de área colhida (IBGE, 2022; Silva et al., 2021).

A cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) pertence à família das solanáceas e a sua produção possui importância social e econômica para diversos produtores, principalmente, da agricultura familiar. Os frutos podem ser consumidos *in-natura* ou processados, e contém altos teores de compostos fenólicos, vitaminas C e E, licopeno e carotenóides (Silva et al., 2021; Dou et al., 2023), o que faz com que sejam bastante procurados pelos consumidores que buscam alimentação saudável.

No entanto, para que a produção de alimentos possa atender toda a demanda de consumidores, é necessário que os campos de cultivo possuam condições necessárias para o cultivo agrícola. Contudo, já é realidade a limitação na agricultura por fatores abióticos, como a deficiência de água. A limitação hídrica é um dos maiores obstáculos da produção agrícola na atualidade. Estima-se que nos próximos anos, cerca de 85% das terras emergidas no planeta estejam sujeitas à seca (Celik et al., 2017; Bacalão; Fundola, 2014).

Dentre as principais características do tomateiro, sua sensibilidade à deficiência hídrica merece destaque. O estresse pela limitação de água é o principal fator restritivo do crescimento

e do rendimento da cultura, sendo responsável por alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (Mukherjee et al., 2023; Weng et al., 2023; Pelleg, 2011).

Na planta, o estresse por déficit hídrico provoca a desidratação celular e redução do potencial hídrico, que causa fechamento estomático, inibição da capacidade fotossintética, abscisão foliar e, em casos mais graves, até a morte celular (Taiz et al., 2017). Ao inibir a capacidade fotossintética da planta, o transporte de fotoassimilados entre os órgãos vegetais também pode ser afetado e isso influencia no teor e partição de carbono (Aliche et al., 2020). Destaca-se ainda que o fechamento dos estômatos é o principal mecanismo de proteção da planta ao sofrer estresse pela seca (Hao et al., 2019).

A seca também pode provocar outros problemas na planta, como a deficiência nutricional. A limitação hídrica no tecido vegetal propicia redução na concentração da maioria dos nutrientes minerais, visto que a absorção dos nutrientes pelas raízes está diretamente ligada à absorção de água (Bista et al., 2018; Barzana; Carvajal, 2020). No metabolismo vegetal, os nutrientes minerais desempenham importantes funções e refletem no desenvolvimento e reprodução das plantas (D'oria et al., 2022).

Ao enfrentar um processo de deficiência hídrica, as plantas necessitam manter o turgor celular e estabilizar a permeabilidade da membrana, fazendo com que haja a retenção de água por ajustes osmóticos (Wang et al., 2013). Estes ajustes osmoticamente ativos foram estabelecidos como um importante mecanismo desenvolvido pelas plantas de tolerância às condições de seca, em que atua na turgescência celular e na condutância estomática (Blum, 2017), através do acúmulo de solutos.

A prolina está entre os solutos compatíveis com o ajuste osmótico (Turner et al., 2018), em que é comumente associada a situações de déficit hídrico. Este aminoácido atua como um osmólito dentro da célula vegetal, contribuindo com o equilíbrio das respostas fisiológicas da planta aos estresses, incluindo a redução de danos de estresse oxidativo, aumento da quantidade de enzimas antioxidantes e o conteúdo de água nas folhas (Barcelos, 2022; Raza et al., 2023). Devido a sua ação osmoprotetora, a concentração de prolina pode contribuir para amenizar o efeito da falta de água no organismo vegetal, permitindo que as plantas sob estresse hídrico mantenham os potenciais hídricos baixos (Kahlaoui et al., 2018).

A síntese da prolina na planta pode envolver duas vias, que são do glutamato ou da orinitina, e normalmente ocorre no citoplasma ou cloroplasto através da catalização por duas enzimas: Δ^1 -pirrolina-5-carboxliato sintetase 1 (P5CS1) e Δ^1 -pirrolina-5-carboxliato sintetase 2 (P5CS2) (Meena et al., 2019). Durante o déficit hídrico e, conseqüentemente,

estresse osmótico, a via do glutamato possui grande participação no acúmulo de prolina pela planta (Hayat et al., 2012).

Numa atualidade em que já há escassez de recursos hídricos para a atividade agrícola e que se busca a maximização da produtividade de forma sustentável, é de grande importância o desenvolvimento de pesquisas que contribuam com a produção de alimentos de qualidade, em quantidade e com redução de insumos. A produtividade do tomateiro depende muito do fornecimento adequado de água e de nutrientes (Bastos et al., 2013), precisando, além disso, de condições favoráveis para que os elementos possam ser absorvidos e transportados nas diversas partes vegetativas da planta. Neste contexto, se torna fundamental conhecer as exigências e necessidades hídricas e nutricionais da cultura (Moraes et al., 2018).

Estudos revelaram que o cultivo do tomateiro em menores frequências de irrigação pode contribuir com uma maior produtividade. Segundo Fara et al. (2019), a irrigação realizada a cada sete e nove dias proporciona maior eficiência do uso de água, maior abertura estomática e, conseqüentemente, maior eficiência fotossintética. Além disso, de acordo com os mesmos autores, os maiores intervalos de irrigação melhoram o aprofundamento das raízes e a resposta produtiva pelas plantas.

A utilização de novas técnicas de cultivo, além de novos materiais genéticos, tem elevado a importância do estudo do tomateiro. O cultivo submetido ao déficit hídrico e com a aplicação de prolina, pode resultar em novos conhecimentos para o acúmulo de massa, carbono e na eficiência nutricional e, assim, melhorar o rendimento da cultura.

Dessa forma, este trabalho foi dividido em três capítulos com o objetivo de avaliar o acúmulo de massa de matéria seca, o acúmulo de nutrientes e o teor de carbono orgânico por plantas de tomate cultivadas no período seco do ano, submetidas a doses de prolina e irrigadas a cada sete dias.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o acúmulo de massa de matéria seca, acúmulo de nutrientes e o teor de carbono orgânico pelo tomateiro cultivar Vivacy no município de Viçosa/MG, no período seco do ano (abril a agosto), submetidas a doses de prolina e irrigadas a cada sete dias.

2.2. Objetivos específicos

- Verificar a influência da aplicação de prolina na produção e partição de massa de matéria seca em plantas de tomate;
- Investigar o efeito da aplicação de prolina na produção e partição de massa de matéria seca das plantas de tomate em períodos de frutificação e final de ciclo;
- Avaliar a influência da aplicação de prolina no teor de carbono orgânico em diferentes órgãos da planta;
- Avaliar o acúmulo de massa de matéria seca e de nutrientes em plantas irrigadas a cada sete dias ao longo do ciclo do tomateiro.

REFERÊNCIAS

ALICHE, E. B.; THEEUWEN, T. P. J. M.; OORTWIJN, M.; VISSER, R. G. F.; LINDEN, C. G. Carbon partitioning mechanisms in potato under drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 146, p. 211-219, 2020.

BACALÃO, M. F.; FUNDORA, L. B. Tolerância ao estresse por déficit hídrico em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). **Culturas Tropicais**, v. 35, n. 3, p. 70-88, 2014.

BARCELOS, G. F. **Efeito da utilização de prolina na tolerância ao estresse hídrico na cultura de soja**. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

BASTOS, A. R. R.; ALVARENGA, M. A. R.; CARVALHO, J. G.; PINHO, P. J. Nutrição mineral e adubação. *In*: ALVARENGA, M. A. R. (eds). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras, Brasil, 2013, p. 65-123.

BARZANA, G.; CARVAJAL, M. Genetic regulation of water and nutrient transport in water stress tolerance in roots. **Journal of Biotechnology**, v. 324, p. 134-142, 2020.

BISTA, D. R.; HECKATHORN, S. A.; JAYAWARDENA, D. M.; MISHRA, S.; BOLDT, J. K. Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and-tolerant grasses. **Plants**, n. 7, v. 28, 2018.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant, Cell and Environment**, v. 40, p. 4-10, 2017.

CANELLA, D. S.; LOUZADA, M. L. C.; CLARO, R. M.; COSTA, J. C.; BANDONI, D. H.; LEVY, R. B.; MARTINS, A. P. B. Consumption of vegetables and their relation with ultra-processed foods in Brazil. **Revista Saúde Pública**, p. 1-11, n. 52, 2018.

ÇELIK, Ö.; AYAN, A.; ATAK, C. Comparação enzimática e não enzimática de duas variedades de tomate industrial (*Solanum lycopersicum*) frente ao estresse hídrico. **Estudos Botânicos**, v. 58, p. 1-16, 2017.

CNA. **Mapa da Produção de Hortifruti no Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/imagens/HORTIFRUTI-SISTEMACNA-AGRO.jpg>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

D'ORIA, A.; COURBET, G.; BILLIOT, B.; JING, L.; PLUCHON, S.; ARKOUN, M.; MAILLARD, A.; ROUX, CP-L.; TROUVERIE, J.; ETIENNE, P.; DIQUÉLOU, S.; OURRY, A. Drought specifically downregulates mineral nutrition: Plant ionic content and associated gene expression. **Plant Direct**, v. 6, n. 8, e402, 2022.

DOU, Z.; ABDELGHANY, A. E.; ZHANG, H.; FENG, H.; ZHANG, Y.; YU, S.; ZHANG, F.; LI, Z.; FAN, J. Exogenous silicon application improves fruit yield and quality of drip-irrigated greenhouse tomato by regulating physiological characteristics and growth under combined drought and salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 321, e112352, 2023.

FAO. **Thinking about the future of food safety** – A foresight report. Roma: 158p. 2022.

FARA, S. J.; DELAZARI, F. T.; GOMES, S. R.; ARAÚJO, W. L.; SILVA, D. J. H. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 86-95, 2019.

HAO, S.; CAO, H.; WANG, H.; PAN, X. The physiological responses of tomato to water stress and re-water in different growth periods. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 143-154, 2019.

HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; WANI, A. S.; PICHTEL, J.; AHMAD, A. Role of proline under changing environments: a review. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, n. 11, p. 1456-66, 2012.

IBGE. **Produção de Tomate no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>>. Acesso em: 31 out. 2023.

KAHLAOU, B.; HACHICHA, M.; MISLE E.; FIDALGO F.; TEIXEIRA, J. Physiological and biochemical responses to the exogenous application of proline of tomato plants irrigated with saline water. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 1, p. 17-23, 2018.

MEENA, M.; DIVYANSHU, K.; KUMAR, S.; SWAPNIL, P.; ZEHRA, A.; SHUKLA, V.; YADAV, M.; UPADHYAY, R. S. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. **Heliyon**, v. 5, n.12, e02952, 2019.

MORAES, A. C.; FACTOR, T. L.; ARAÚJO, H. S.; PURQUERIO, L. F. V. Plant growth and nutrient accumulation in two tomato hybrids under tropical conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 9, p. 1419-1425, 2018.

MUKHERJEE, S.; DASH, P. K.; DAS, D.; DAS, S. Growth, Yield and water productivity of tomato as influenced by deficit irrigation water management. **Environ. Process**, v. 10, n. 10, p. 1-21, 2023.

ONU. **World Population Prospects 2019: Highlights**. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

PELLEG, Z.; APSE, M. P. Y.; BLUMWALD, E. Engineering salinity and water-stress tolerance in crop plants: getting closer to the field. **Advances in Botanical Research**, v. 57, p. 407-443, 2011.

RAZA, A.; CHARAGH, S.; ABBAS, S.; HASSAN, M. U.; SAEED, F.; HAIDER, S.; SHARIF, S.; ANAND, A.; CORPAS, F. J.; JIN, W.; VARSHNEY, R. K. Assessment of proline function in higher plants under extreme temperatures. **Plant Biology**, v. 25, n. 3, p. 379-395, 2023.

SILVA, T. V.; MELO, H. C.; CAMPOS, L. F. C.; TARAIZI, M. F. A.; CUNHA JUNIOR, L. C.; NASCIMENTO, A. R. Growth and productivity of tomato under use of biostimulant and ages of seedling transplantation. **Colloquium Agrariae**, v. 17, n. 4, p. 23-33, 2021.

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

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 13, p. 3223-3233, 2018.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013.

WENG, S.; MA, J.; TAO, W.; TAN, Y.; PAN, M.; ZHANG, Z.; HUANG, L.; ZHENG, L.; ZHAO, J. Drought stress identification of tomato plant using multi-features of hyperspectral imaging and subsample fusion. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, e1073530, 2023.

CAPÍTULO 1

EFEITO DA PROLINA NA PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA EM TOMATEIRO CULTIVADO NA REGIÃO DE VIÇOSA/MG E IRRIGADO A CADA SETE DIAS

1. INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) destaca-se por ser uma das hortaliças mais produzidas e consumidas em todo mundo, apresentando grande importância econômica e social. No ano de 2022, a produção nacional foi estimada em 3,8 milhões de toneladas (IBGE, 2022), estando o Brasil entre os dez maiores produtores mundiais de tomate (FAOSTAT, 2021).

A condução do tomateiro é conhecida pela sua dificuldade motivada pela suscetibilidade a diversos fatores bióticos e abióticos que podem elevar os custos de produção, acometer a produtividade e ocasionar prejuízos ao produtor (Kissoudis et al., 2015). Dentre os fatores abióticos, a limitação hídrica é um dos fatores que maior influência nas características dos vegetais (Alvarenga, 2013).

O tomateiro é uma cultura que possui sensibilidade ao déficit hídrico (Wamser et al., 2022). O fornecimento deficiente de água exige reações da planta que podem levar ao estresse e influenciar no crescimento e desenvolvimento da planta e na qualidade de seus frutos (Zuo et al., 2023). Com o estresse por déficit hídrico, ocorre fechamento estomático e a limitação das trocas gasosas, diminuição do crescimento celular, inibição da fotossíntese, redução da área foliar e da produção de massa de matéria seca das plantas (Shao et al., 2008; Khapte et al., 2019).

Por outro lado, em resposta ao estresse pela limitação de água, as plantas desenvolveram diferentes maneiras para manter a atividade fisiológica, como o ajuste osmótico. Este mecanismo permite que células vegetais mantenham o conteúdo de água e turgor mesmo quando há redução do potencial hídrico, por meio da síntese e acúmulo de solutos osmoticamente ativos, tais como açúcares, íons inorgânicos e aminoácidos (Simonneau et al., 2017; Lourkisti et al., 2022).

A prolina é um aminoácido conhecido pela sua participação no ajuste osmótico. O acúmulo deste soluto atua na redução do potencial osmótico, conseqüentemente, no equilíbrio hídrico, na absorção e retenção de água, na proteção e estabilização de proteínas e membranas,

além de atuar na eliminação de espécies reativas de oxigênio em plantas submetidas ao estresse hídrico (Zhang et al., 2022; Al-Yasi et al., 2020; Turner, 2018).

Neste contexto, o efeito osmoprotetor e osmorregulador da prolina pode melhorar o crescimento e produção das plantas de tomate, mesmo em ambientes com deficiência hídrica. A realização de pesquisas nesta perspectiva pode resultar em novos conhecimentos para a produção de alimentos em quantidade e qualidade em locais em que a limitação de água para irrigação é um fator desfavorável para a produção agrícola.

O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos das doses e momentos de aplicação de prolina na produção de massa de matéria seca do tomateiro cultivado no período seco do ano, com irrigação a cada sete dias, na região de Viçosa, em Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de condução

O experimento foi realizado em condições de campo no período de abril a agosto de 2022 na Unidade de Pesquisa, Ensino e Extensão (UEPE) Horta Nova, pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e localizada no distrito de São José do Triunfo, em Viçosa (Minas Gerais). A área do trabalho implantado situou-se nas coordenadas 20° 45' 48" S e 49° 26' 09" W, a uma altitude de 666 m.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa (clima subtropical de inverno seco) (Fialho et al., 2022). Os dados referentes a precipitação pluviométrica, temperaturas mínima e máxima do ar e umidade relativa estão apresentados na Figura 1, conforme dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

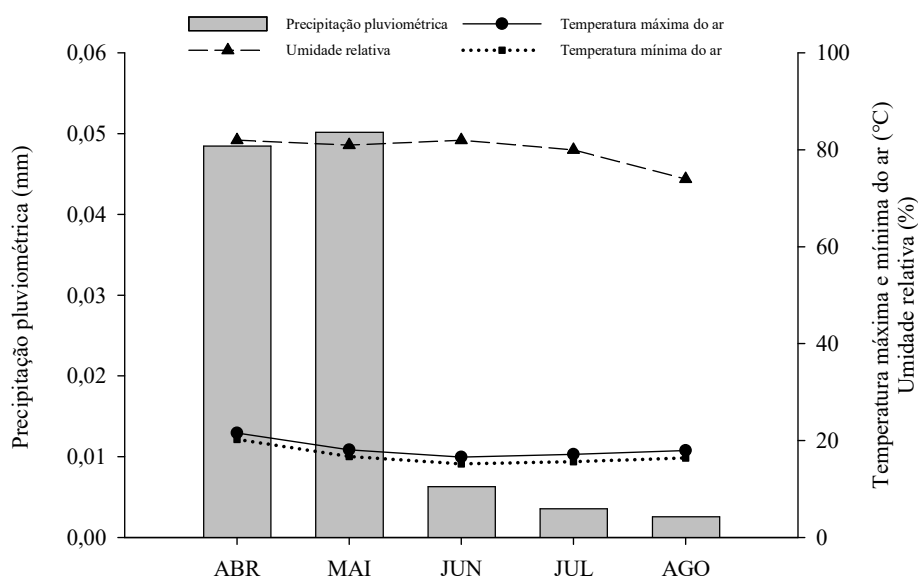


Figura 1 - Valores registrados de precipitação pluviométrica (mm), temperaturas mínima e máxima do ar (°C) e umidade relativa (%) durante a condução do experimento em Viçosa/MG. Fonte: INMET, 2022.

2.2. Produção de mudas

Utilizou-se a cultivar de tomate Vivacy (Feltrin Sementes), de hábito de crescimento indeterminado, ciclo em torno de 90 a 100 dias para início da produção, frutos grandes e de coloração vermelha e alta resistência a murcha de verticílio, murcha de fusário e vírus do mosaico do tomate (Feltrin, 2022).

As mudas de tomate foram produzidas em viveiro comercial, utilizando bandejas de polipropileno de 128 células com substrato comercial à base de fibra de coco. Na semeadura, colocou-se uma semente por célula. O transplante foi realizado quando as mudas apresentavam de 4 a 6 folhas.

2.3. Preparo da área e do solo

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (Embrapa, 2018). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm e, em seguida, realizou-se a caracterização física e química (Tabela 1), seguindo o manual de análises da Embrapa (2017).

Tabela 1 - Análise físico-química do solo na área experimental

Características	Profundidade (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Areia (%)	34	28	21	30	18
Silte (%)	18	19	19	29	24
Argila (%)	48	53	60	41	58
pH (H ₂ O)	5,8	5,4	5,6	5,8	5,8
MO (dag kg ⁻¹)	2,9	1,8	1,0	0,4	0,8
P (mg dm ³)	29,5	9,3	1,8	1,2	1,6
K (mg dm ³)	132	67	39	31	34
Na (mg dm ³)	3	3	4	3	3
Ca (cmol _c dm ³)	3,7	2,9	2,7	2,0	2,5
Mg (cmol _c dm ³)	1,1	0,78	0,77	0,64	0,71
H + Al (cmol _c dm ³)	4,2	2,9	2,9	1,3	1,6
Al (cmol _c dm ³)	0	0	0	0	0

pH em água, relação 1:2,5. P, K e Na: extrator Mehlich 1. Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹. H+AL: extrator Acetado de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0. MO (matéria orgânica): C. org. x 1,724 (Walkley-Black).

O solo foi preparado com aração, gradagem e subsolagem com hastes de 50 cm. Realizou-se gessagem com aplicação de 0,51 kg de gesso por parcela com objetivo de preparar o perfil do solo para estimular o enraizamento pelas plantas. A adubação fosfatada foi realizada utilizando Superfosfato Simples, em que se aplicou 0,076 kg por cova, totalizando 1,6 kg por parcela em superfície e 1,6 kg por parcela em sub superfície.

As demais fontes de nutrientes foram aplicadas via fertirrigação de forma escalonada durante todo o ciclo da cultura e a distribuição seguiu a recomendação de Alvarenga (2013) para o tomateiro. Os fertilizantes e a quantidade aplicada estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Fontes e quantidades dos fertilizantes aplicadas por fertirrigação durante o experimento

Fonte de nutriente	Quantidade aplicada (kg/ha)
Ureia	952,7
Cloreto de Potássio	297,7
Nitrato de Cálcio	297,7
Sulfato de Magnésio	198,4
Sulfato de Zinco	21,8
Sulfato de Manganês	19,8
Ácido Bórico	19,8

2.4. Delineamento experimental e tratamentos

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 3 x 5 + 1, com quatro repetições. Os fatores foram constituídos por 2 doses de prolina (100 e 150 mg L⁻¹), 3 momentos de aplicação (1, 3 e 6 dias após a irrigação), 5 épocas de avaliação/coletas de plantas (40, 60, 80, 100 e 120 dias após o transplante) e uma testemunha sem a aplicação de prolina.

As parcelas experimentais contaram com 4,0 m de largura e 1,2 m de comprimento, totalizando 4,8 m², com três linhas de plantas cada. Considerou-se área útil a linha central de cada parcela.

2.5. Tratos culturais e manejo da irrigação

As mudas foram transplantadas ao campo com espaçamento de 0,20 m entre plantas e 2,0 m entre linhas. As plantas foram tutoradas adotando-se o Sistema Viçosa (Almeida et al., 2015) para o cultivo do tomateiro. Semanalmente, foram realizadas desbrotas e podas, em que os brotos que se desenvolveram nas axilas das folhas e os brotos terminais das hastes foram eliminados.

Instalou-se o sistema de irrigação localizada por gotejamento, com gotejadores autocompensantes espaçados em 0,20 m, entre si, e vazão de 2,1 L/h. A avaliação de eficiência do sistema foi mensurada determinando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (Mantovani et al., 2013).

Realizou-se a irrigação a cada sete dias conforme a proposta de Fara et al. (2019). A lâmina de irrigação total aplicada foi de 126,01 mm, calculada de acordo com a metodologia de Allen et al. (1998) através da estimativa da evapotranspiração da cultura.

Para impedir a competição com as plantas de cultivo, realizou-se a limpeza da área por capinas manuais para a retirada de plantas invasoras.

As aplicações foliares de prolina foram realizadas sempre às manhãs com auxílio de pulverizador costal em três momentos (30, 60 e 80 dias após o transplantio) (Figura 2).

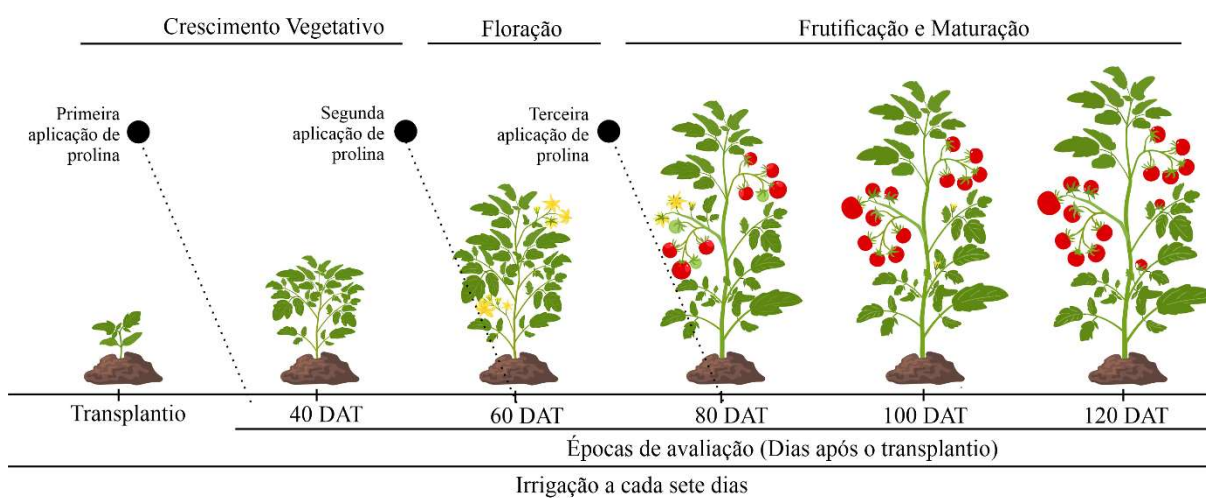


Figura 2 - Esquema das épocas de avaliação, períodos de aplicação de prolina e estágio fenológico do tomateiro. Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

2.6. Preparo das amostras

Para o preparo das amostras, plantas de tomate foram coletadas e separadas em caules, folhas e frutos e posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Análise de Tecidos Vegetais do Departamento de Agronomia da UFV. As coletas foram realizadas aos 40, 60, 80, 100 e 120 dias após o transplantio, abrangendo o ciclo de crescimento e pico de produção da cultura em estudo (Figura 2).

As partes separadas oriundas das plantas foram lavadas com água ultra pura, acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas para estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção de massa constante. Posteriormente, as partes foram pesadas e moídas com auxílio de moinho tipo Willey, equipado com peneira de 20 mesh.

2.7. Características avaliadas

2.7.1. Produção de massa de matéria seca

Foi realizada a determinação da massa de matéria seca das amostras utilizando balança de precisão (0,01 g). Para a obtenção da massa de matéria seca total, realizou-se a soma das partes das plantas.

2.7.2. Partição de massa de matéria seca

Atribuiu-se o valor de 100% para a produção total (todos os órgãos) de massa de matéria seca verificada nas plantas. A partir desse valor referencial, foram calculadas as produções percentuais de matéria seca de cada órgão da planta de acordo com a época de avaliação, conforme equação 1:

$$Partição = \frac{MS \text{ órgão}}{MS \text{ total}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

Partição: Partição de matéria seca (%);

MS órgão: Massa seca do órgão (g);

MS total: Massa seca total (g).

2.7.3. Produtividade estimada em cada época de avaliação

Para obtenção da produtividade estimada em cada época de avaliação ($t \text{ ha}^{-1}$), levou-se em consideração o produto da massa de matéria fresca de frutos colhidos em cada tratamento e época de avaliação pela população de plantas por hectare.

2.8. Análise estatística

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos ao teste de normalidade Shapiro Wilk. Posteriormente, realizou-se análise de variância e quando verificados efeitos significativos, foram realizadas comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e análise de regressão. Na análise de regressão, os modelos foram escolhidos de acordo com a significância dos coeficientes de regressão, o coeficiente de determinação e o fenômeno em estudo. Para

comparar as médias dos tratamentos com a média da testemunha, utilizou-se o teste de Dunnett, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas pelo programa RStudio® (Team, 2023) e o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2014), e os ajustes dos modelos de regressão pelo programa SigmaPlot® (Inpixon, 2022). Os dados de massa de matéria seca dos frutos e total foram transformados pela raiz quadrada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de massa de matéria seca

Interações significativas ($p < 0,05$) entre as doses de prolina, momentos de aplicação e épocas de avaliação foram verificadas para o acúmulo de massa de matéria seca de folhas e de caules. Analisando os fatores isolados, verificou-se que houve diferença significativa para doses de prolina ($p < 0,05$) e momentos de aplicação ($p < 0,01$) no acúmulo de massa de matéria seca total e de frutos (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para a massa de matéria seca de folhas (MSF), caules (MSC), frutos (MSFR) e total (MST) do tomateiro em função de doses de prolina, momentos de aplicação e épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		MSF	MSC	MSFR	MST
Bloco	3	90,0890 ^{ns}	46,3614 ^{ns}	4,8889 ^{ns}	1,8737 ^{ns}
Prolina (PL)	1	100,1013 ^{ns}	13,2335 ^{ns}	9,0144*	6,8192*
Momentos de aplicação (MA)	2	288,9555*	580,0264**	14,2755**	8,3329**
Épocas de avaliação (EA)	4	13932,91**	25154,46**	874,7532**	891,5618**
PL x MA	2	434,3145**	860,9964**	0,4802 ^{ns}	3,21227 ^{ns}
PL x EA	4	44,6274 ^{ns}	133,9164*	1,3051 ^{ns}	0,80745 ^{ns}
MA x EA	8	74,6491 ^{ns}	114,734*	3,9059*	3,21607**
PL x MA x EA	8	173,4592*	263,6619*	3,1438 ^{ns}	0,70109 ^{ns}
Testemunha x Fatorial	1	39,2063 ^{ns}	15,0215 ^{ns}	0,2013 ^{ns}	0,14763 ^{ns}
Resíduo	90	71,3689	49,6473	1,7110	1,10985
CV (%):		17,5	14,8	17,4	8,5

GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: não significativo; *, **: F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

A produção da massa de matéria seca de folhas do tomateiro foi incrementada com a dose de prolina de 100 mg L⁻¹, sobretudo, quando aplicada aos seis dias após a irrigação (Tabela 4). Em contrapartida, com a pulverização da dose de 150 mg L⁻¹, verificaram-se valores inferiores comparativamente à dose de 100 mg L⁻¹ e ao tratamento testemunha. (Tabela 4).

Quando aplicadas aos um e três dias após a irrigação, as doses de prolina não influenciaram a massa de matéria seca de folhas do tomateiro. Ao verificar o efeito da aplicação das doses de prolina dentro das épocas de avaliação, observou-se variação de acordo com a idade da planta, entretanto, apenas aos 80 dias após o transplântio foi observado incremento na massa de folhas pela prolina na dose de 100 mg L⁻¹, em que a aplicação aos seis dias após a irrigação contribuiu com maior produção de massa em relação aos demais momentos (Tabela 4).

Em estudo com três doses de prolina exógena e duas cultivares de tomate (Rio Grande e Heinz-2274), Kahlaoui et al. (2014) verificaram que a prolina pulverizada em menor dose (10 mg L⁻¹) aumentou a massa de matéria seca de folhas, caules e raiz em ambas as cultivares. No mesmo estudo, os autores observaram que a maior dose (20 mg L⁻¹), reduziu de forma significativa a massa de matéria seca de folhas da cultivar Rio Grande.

Ao passar por um possível estresse por limitação hídrica, as plantas acionam mecanismos de ajuste de modo a diminuir o potencial hídrico celular e a taxa de transpiração. O fechamento estomático e a redução do turgor celular decorrentes do estresse pela limitação hídrica têm como consequência a redução na taxa de crescimento (Flores-Saavedra et al., 2023). Com a aplicação da prolina de forma exógena, os efeitos causados pela deficiência de água podem ser mitigados significativamente, visto sua atuação na osmorregulação, estabilização de proteínas e membranas e na redução de potencial estresse oxidativo (Meena et al., 2019).

Para a massa de matéria seca de caules, observaram-se resultados semelhantes à massa de matéria seca de folhas. Verificou-se que a dose de 100 mg L⁻¹ incrementou a massa de matéria seca de caules quando aplicada aos seis dias após a irrigação, nos períodos de 40, 80, 100 e 120 dias após o transplântio. Nos demais momentos de aplicação, não houve diferença em relação à dose de 150 mg L⁻¹ (Tabela 5).

Ao verificar o efeito das doses de prolina dentro dos momentos de aplicação, verificou-se que aos 80 e 120 dias após o transplântio, a prolina na dose de 100 mg L⁻¹ aplicada aos seis dias após a irrigação, contribuiu com maior acúmulo de massa (Tabela 5).

Em trabalho com a aplicação de doses de prolina foliar na cultura do pimentão, Lima et al. (2016) relataram que a massa de matéria seca de caules foi influenciada com incremento da dose de prolina. Os mesmos autores também verificaram que, ao aumentar a dose aplicada, houve redução da produção de massa de matéria seca.

Estes resultados indicam que em dose adequada, a prolina atuou para inibir os efeitos do estresse na planta e, conseqüentemente, contribuiu com o seu crescimento. Segundo Kaur e Asthir (2015), entre os diversos papéis que a prolina desempenha no metabolismo vegetal para combater ao estresse abiótico, inclui-se a adaptação, recuperação e sinalização.

Tabela 4 - Massa de matéria seca de folhas (g/planta) de tomateiro cultivado na época seca, irrigado a cada sete dias e submetido a doses de prolina.

Momentos de aplicação (após a irrigação)	Épocas de avaliação (Dias após o transplântio)									
	40		60		80		100		120	
	Doses de prolina (mg L ⁻¹)									
	100	150	100	150	100	150	100	150	100	150
Testemunha	8,56		35,33		69,83		57,58		80,24	
1 dia	7,11 ^{aA*}	7,27 ^{aA*}	45,40 ^{aA*}	40,25 ^{aA*}	53,08 ^{aB*}	56,88 ^{aA*}	57,77 ^{aA*}	60,81 ^{aA*}	68,35 ^{aB*}	66,70 ^{aA*}
3 dias	8,38 ^{aA*}	9,03 ^{aA*}	47,52 ^{aA*}	43,93 ^{aA*}	57,41 ^{aB*}	61,31 ^{aA*}	56,47 ^{aA*}	50,27 ^{aA*}	55,06 ^{bAB*}	78,46 ^{aA*}
6 dias	9,76 ^{aA*}	7,08 ^{bA*}	46,77 ^{aA*}	43,71 ^{aA*}	75,58 ^{aA*}	57,91 ^{bA*}	64,93 ^{aA*}	57,06 ^{aA*}	81,88 ^{aA*}	67,43 ^{bA*}
CV (%)	17,5									

Médias seguidas de uma mesma letra em minúsculo entre as doses de prolina para cada momento de aplicação dentro de uma mesma época de avaliação e maiúscula entre os momentos de aplicação em cada dose de prolina, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado não significativo ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Tabela 5 - Massa de matéria seca de caules (g/planta) do tomateiro cultivado na época seca, irrigado a cada sete dias e submetido a doses de prolina.

Momentos de aplicação (após a irrigação)	Épocas de avaliação (Dias após o transplantio)									
	40		60		80		100		120	
	Doses de prolina (mg L ⁻¹)									
	100	150	100	150	100	150	100	150	100	150
Testemunha	8,53		17,83		62,53		64,54		92,94	
1 dia	6,37 ^{aA*}	6,43 ^{aA*}	22,15 ^{aA*}	17,28 ^{aA*}	67,02 ^{aA*}	55,93 ^{bA*}	63,23 ^{aB*}	69,42 ^{aA*}	85,23 ^{aB*}	85,03 ^{aA*}
3 dias	6,90 ^{aA*}	7,93 ^{aA*}	18,80 ^{aA*}	19,93 ^{aA*}	53,45 ^{aB*}	57,66 ^{aA*}	58,31 ^{aB*}	60,61 ^{aA*}	55,83 ^{bC*}	93,16 ^{aA*}
6 dias	9,01 ^{aA*}	7,07 ^{bA*}	21,63 ^{aA*}	17,66 ^{aA*}	68,78 ^{aA*}	56,21 ^{bA*}	78,53 ^{aA*}	68,51 ^{bA*}	99,18 ^{aA*}	81,62 ^{bA*}
CV (%)	14,8									

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula entre as doses de prolina para cada momento de aplicação dentro de uma mesma época de avaliação e maiúscula entre os momentos de aplicação em cada dose de prolina, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado não significativo ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Verificou-se que a dose de 100 mg L⁻¹ proporcionou massa de matéria seca de frutos e total superior em comparação com a dose de 150 mg L⁻¹ (Tabela 6). No entanto, os resultados obtidos não apresentaram diferença do tratamento testemunha, sugerindo que a aplicação de prolina não influenciou no acúmulo de massa de matéria seca pela planta.

Pesquisas realizadas com outras culturas e tipo de estresse revelaram que a prolina influenciou de forma distinta no acúmulo de massa de matéria seca total pelas plantas, como no melão (Lacerda et al. 2012) em que a aplicação da prolina exógena contribuiu com um maior acúmulo, e no milho (Freitas, 2013), em que a aplicação do aminoácido não apresentou diferença entre os tratamentos e controle.

Os resultados encontrados sugerem que o efeito da pulverização foliar com prolina pode apresentar alterações de acordo com múltiplos fatores, tais como a cultura, dose utilizada e a intensidade do estresse abiótico, conforme também relatado por Wani et al. (2017). Segundo Borgo et al. (2015), a concentração de prolina variam entre espécies, dessa maneira, também pode haver diferença na resposta da planta para contornar o estresse. Além disso, altas doses de prolina podem ser prejudiciais à planta e causar retardo no crescimento, como relatado por Nanjo et al. (2003) e Heuer (2003).

Tabela 6 - Massa de matéria seca de frutos e total de tomateiros submetidos a doses de prolina.

Dose de prolina (mg L ⁻¹)	Massa de matéria seca (g/planta)	
	frutos	total
Testemunha	87,63	188,21
100	88,10 ^{a*}	184,77 ^{a*}
150	82,16 ^{b*}	176,33 ^{b*}
CV (%)	17,4	8,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado não significativo ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Para os momentos de aplicação de prolina, observou-se que todos os tratamentos se comportaram de forma crescente, não sendo observada diferença, inicialmente. A pulverização realizada um dia após a irrigação proporcionou maior acúmulo de massa de matéria seca de frutos, com máxima de 222,80 g/planta obtida aos 120 dias após o transplântio (Figura 3A). No entanto, não houve diferença para a aplicação realizada aos seis dias após a irrigação, que forneceu máximo acúmulo de 192,15 g/planta aos 120 dias após o transplântio. Nestes

tratamentos, o período em que os frutos mais acumularam massa ocorreram, aproximadamente, de 72 aos 107 dias e de 73 aos 97 dias após o transplântio, respectivamente.

Comportamento semelhante foi verificado para a massa de matéria seca total (Figura 3B). Aos 120 dias após o transplântio, a aplicação realizada aos um e seis dias após a irrigação apresentam maiores acúmulos totais de massa de matéria seca, com máxima de 375,55 g/planta e 357,21 g/planta, de modo respectivo.

Em tese, o período com maior acúmulo de massa de matéria seca total coincidiu com o momento de maior acúmulo de massa seca de frutos, possivelmente ocasionado pelo efeito drenante que os frutos desempenham sobre as plantas (Betancourt; Pierre, 2013).

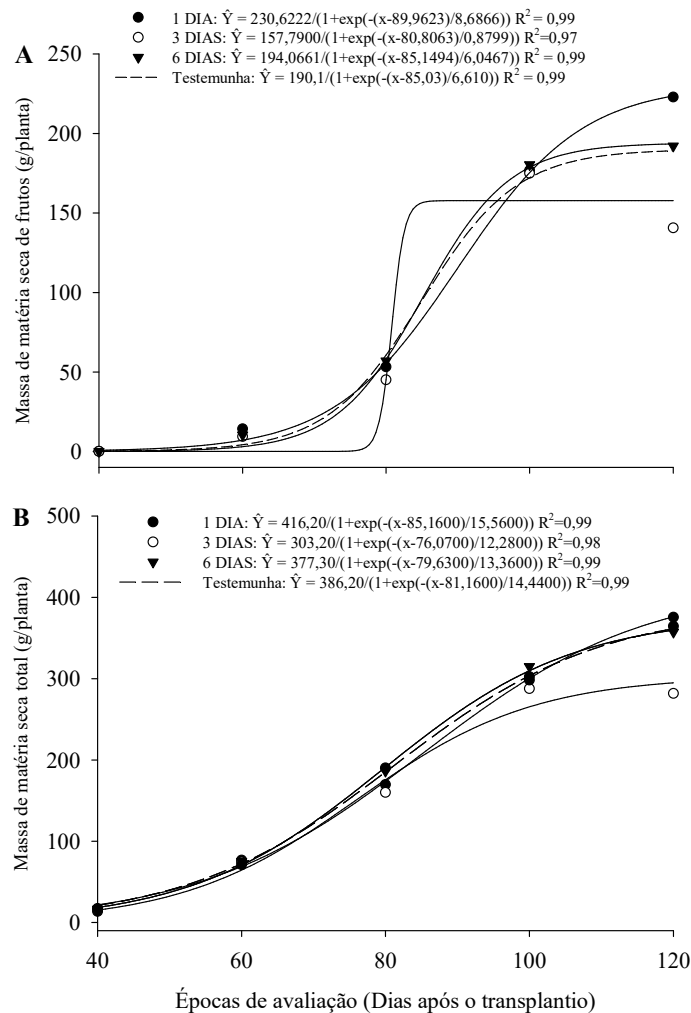


Figura 3 - Curva de acúmulo de matéria seca em função do tempo após o transplântio (dias) em frutos (A) e parte aérea (B) de tomateiros submetidos a doses de prolina em diferentes momentos após a irrigação.

3.2. Partição de massa de matéria seca e produtividade estimada

Foi verificada interação significativa ($p < 0,05$) entre doses de prolina e momentos de aplicação para a partição de matéria seca de caules. Ao analisar os efeitos isolados, verificou-se que para momentos de aplicação, houve diferença significativa ($p < 0,05$) para a partição de matéria seca de folhas e para produtividade estimada. Para épocas de avaliação, houve diferença significativa ($p < 0,01$) na produtividade estimada e partição de massa de matéria seca de folhas, caules e frutos (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para a partição de massa de matéria seca de folhas (PMSF), caules (PMSC) e frutos (PMSFR), e para produtividade estimada (PROD) do tomateiro em função de doses de prolina, momentos de aplicação e épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		PMSF	PMSC	PMFR	PROD
Bloco	3	48,6904 ^{ns}	28,5472 ^{ns}	127,1981 ^{ns}	4,3501 ^{ns}
Prolina (PL)	1	9,1080 ^{ns}	17,0178 ^{ns}	50,9212 ^{ns}	1,3571 ^{ns}
Momentos de aplicação (MA)	2	92,8339*	5,439 ^{ns}	100,1709 ^{ns}	6,3514*
Épocas de avaliação (EA)	4	7735,185**	2439,453**	14637,679**	2,6670**
PL x MA	2	10,9298 ^{ns}	78,3629*	105,3608 ^{ns}	7,9551 ^{ns}
PL x EA	4	17,9121 ^{ns}	16,1729 ^{ns}	38,7094 ^{ns}	4,9082 ^{ns}
MA x EA	8	28,4558 ^{ns}	18,829 ^{ns}	51,5336 ^{ns}	2,5532 ^{ns}
PL x MA x EA	8	25,6063 ^{ns}	28,2760 ^{ns}	85,8553 ^{ns}	7,4841 ^{ns}
Testemunha x Fatorial	1	13,4905 ^{ns}	0,2841 ^{ns}	17,6929 ^{ns}	1,7930 ^{ns}
Resíduo	90	25,1929	19,6569	70,2044	1,1702
CV (%):		13,1	14,1	27,1	34,7

GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: não significativo; *, **: F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

A partição de matéria seca alocada nas diferentes partes da planta de tomate variou em função dos tratamentos estudados e do estágio de desenvolvimento da cultura. Para as folhas, observou-se que os momentos de aplicação de prolina influenciaram na partição, em que a planta particionou mais matéria seca para folhas quando foi aplicada prolina aos três dias após a irrigação (Figura 4). Observou-se ainda que, a aplicação de prolina realizada aos seis dias após a irrigação não deferiu das aplicações aos um e três dias após a irrigação (Figura 4).

Em condições de deficiência hídrica ocorre o fechamento estomático e a diminuição da taxa fotossintética, o que pode influenciar na alocação e partição de assimilados entre os órgãos

da planta. Com isso, devido à sua atuação que mitiga efeitos de condições adversas, a aplicação de prolina exógena pode permitir que as plantas aloquem mais assimilados para órgãos essenciais, garantindo o crescimento e/ou sobrevivência da espécie.

De acordo com Souza et al. (2021), em condições limitantes, a alocação de massa na planta é afetada pela redução da capacidade fotossintética e pelo desvio de energia para a ativação e manutenção de atividade metabólica, desta forma, a prolina exógena pode atuar para a mitigação destes efeitos.

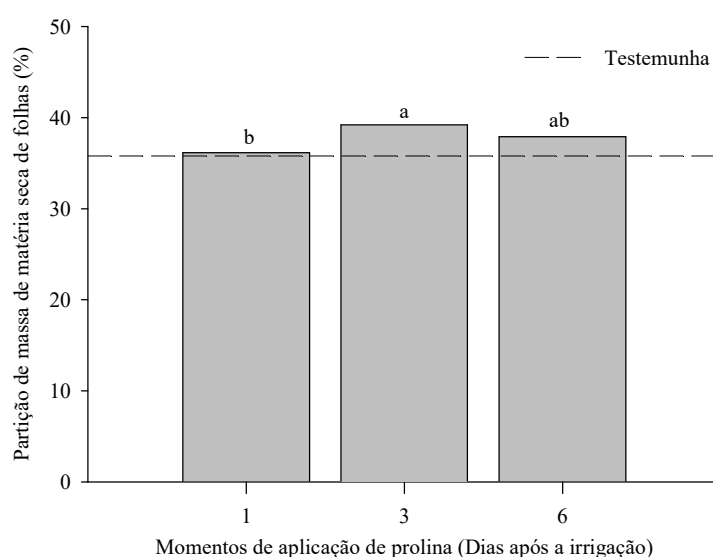


Figura 4 - Influência dos momentos de aplicação de prolina na partição de matéria seca para folhas em tomateiros cv. Vivacy. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Para a alocação de matéria seca nos caules, verificou-se que a dose de prolina exógena de 100 mg L^{-1} , aplicada aos seis dias após a irrigação, resultou em maiores percentuais, entretanto, não apresentou diferença em relação aos demais momentos de aplicação (Figura 5). Comportamento semelhante também foi observado para a dose de 150 mg L^{-1} , em que a maior partição de matéria seca para caules foi observada aos três dias após a irrigação, não apresentando diferença dos demais momentos de aplicação.

Ao verificar o efeito dos momentos de aplicação, observou-se que com a prolina pulverizada aos três dias após a irrigação na dose de 150 mg L^{-1} , houve maior partição de massa para caules, comparado com a dose de 100 mg L^{-1} . Nos demais momentos de aplicação, não houve diferença entre as doses de prolina pulverizadas (Figura 5).

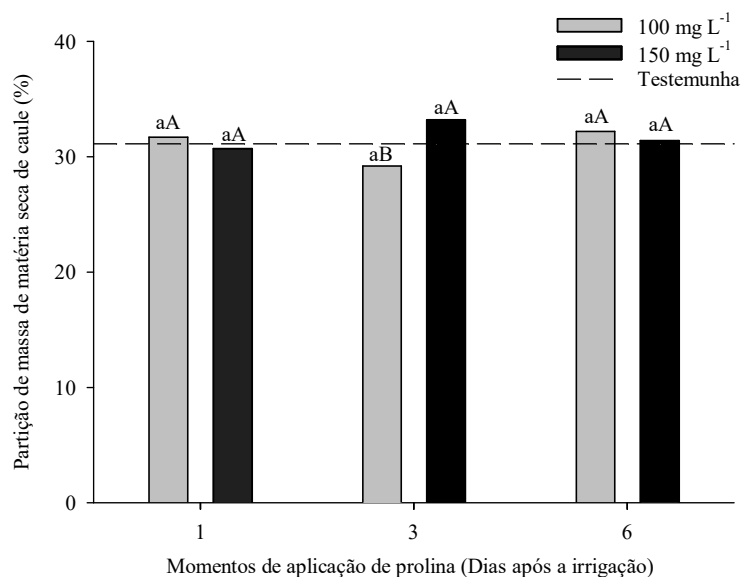


Figura 5 - Influência dos momentos de aplicação de prolina na partição de matéria seca para caules do tomateiro cv. Vivacy. Médias seguidas de letras minúsculas iguais dentro da mesma dose de prolina e maiúscula dentro do mesmo momento de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Verificando a partição de matéria seca durante o período de condução das plantas, observou-se que, inicialmente, a distribuição de matéria seca se concentrou nas folhas e nos caules do tomateiro (Figura 5), representando 52,71% e 47,29%, respectivamente (Figura 6).

De acordo com Mendes et al. (2015), a prioridade pela partição de massa depende do estágio de desenvolvimento da planta, dessa forma, é compreensível que no início do crescimento, o local prioritário de acúmulo seja nas folhas. Neste período a planta necessita formar os tecidos fotossintetizantes, o que influencia a produção de fotoassimilados e desenvolvimento dos órgãos vegetativos e reprodutivos (Taiz; Zeiger, 2017).

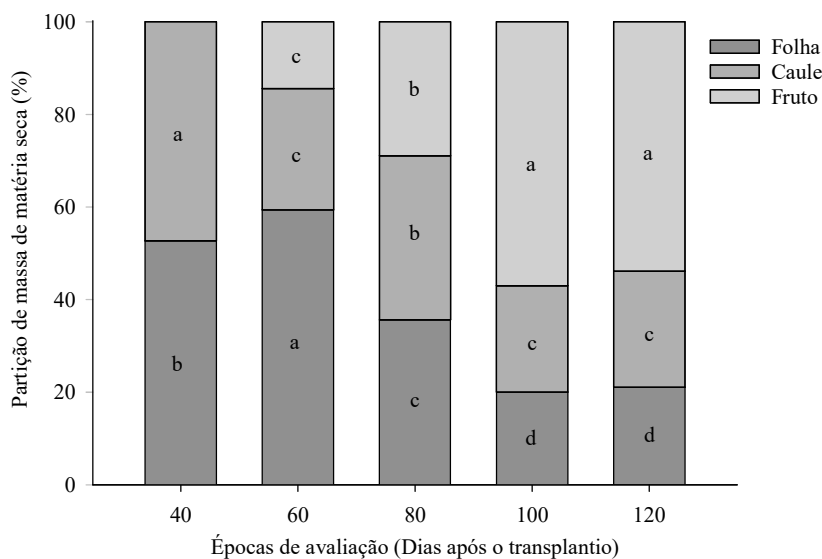


Figura 6 – Partição (%) de massa de matéria seca em tomateiro cv. Vivacy em diferentes estágios fenológicos. Médias seguidas pela mesma letra, para cada órgão da planta, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Entretanto, observou-se que quando as plantas iniciaram a fase de frutificação, os fotoassimilados começaram a ser translocados para os frutos. A partir dos 100 dias após o transplante, maior partição de matéria seca foi verificada neste órgão (Figura 6). Este comportamento é um indicativo de que houve a predominância da fase reprodutiva sobre a fase vegetativa, de modo que os frutos passaram a ser o dreno principal das plantas. De acordo com Peil et al. (2014), devido serem a parte comercial da planta, há o interesse que o acúmulo de fotoassimilados se concentre em maior proporção nos frutos.

Destaca-se ainda que pode haver momentos em que a partição de matéria seca não acompanhe o acúmulo de matéria seca na planta, visto que diferentes fatores influenciam cada característica. A partição depende da alocação dos fotoassimilados, que por sua vez pode variar em consequência das condições ambientais e das necessidades da planta, enquanto o acúmulo de massa de matéria seca é mais influenciado pela taxa de crescimento do vegetal, de acordo com a idade da planta em cultivo (Shakya; Lal, 2018).

A produtividade estimada nas épocas de avaliação foi influenciada pelos momentos de aplicação de prolina. Aos 120 dias após o transplante, a pulverização de prolina realizada aos 6 dias após a irrigação contribuiu com maior produtividade ($76,71 \text{ t ha}^{-1}$), entretanto, não apresentou diferença da aplicação realizada um dia após a irrigação e da testemunha (Tabela 8).

Tabela 8 - Produtividade estimada do tomateiro Vivacy em cada época de avaliação.

Momentos de aplicação de prolina (após a irrigação)	Produtividade Estimada (t ha ⁻¹)			
	Épocas de avaliação (Dias após o transplante)			
	60	80	100	120
Testemunha	3,43	22,41	61,93	63,07
1	4,16 ^{a*}	18,71 ^{a*}	70,50 ^{a*}	69,18 ^{ab*}
3	2,76 ^{a*}	15,24 ^{a*}	63,66 ^{a*}	50,19 ^{b*}
6	2,94 ^{a*}	19,88 ^{a*}	69,67 ^{a*}	76,71 ^{a*}

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado não significativo ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

4. CONCLUSÕES

As doses de prolina com 100 e 150 mg L⁻¹ aplicada aos três e seis dias após a irrigação, alteram a alocação de matéria seca de folhas e caules ao longo do ciclo do tomateiro, entretanto, não influenciam na obtenção de massa de matéria seca total e de produtividade no tomateiro cultivar Vivacy.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 300p. (FAO Irrig. and Drain. Paper, n. 56).

ALMEIDA, V. S.; SILVA, D. J. H.; GOMES, C. N.; ANTONIO, A. C.; MOURA, A. D.; LIMA, A. L. R. Sistema Viçosa para o cultivo de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p, 074-079, 2015.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013, 472p.

AL-YASI, H.; ATTIA, H.; ALAMER, K.; HASSAN, F.; ALI, E.; ELSHAZLY, S.; SIDDIQUE, K. H. M.; HESSINI, K. Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic

adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. **Plant Physiology and Biochemistry**, n. 150, p. 133-159, 2020.

BETANCOURT, P.; PIERRE, F. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. Var. Alba) em casas de cultivo em Quíbor, estado Lara. **Bioagro**, v. 25, p. 81-188, 2013.

BORGO, L.; MARUR, C. J.; VIEIRA, L. G. E. Effects of high proline accumulation on chloroplast and mitochondrial ultrastructure and on osmotic adjustment in tobacco plants. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 2, p. 191-199, 2015.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017, 574p.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018, 356p.

FARA, S. J.; DELAZARI, F. T.; GOMES, S. R.; ARAÚJO, W. L.; SILVA, D. J. H. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 86-95, 2019.

FAOSTAT. **Countries by commodity**: tomato. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em: 07 dez. 2023.

FELTRIN. **Tomate Vivacy**. 2022. Disponível em: <https://produtor.sementesfeltrin.com.br/tomate/tomate-vivacy?variant_id=99>. Acesso em: 10 jun. 2022.

FERREIRA, E., CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, v. 5, n. 19, p. 2952-2958, 2014.

FIALHO, E. S.; SANTOS, L. G. F. Unidades Mesoclimáticas de Viçosa-MG, na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, n. 18, p. 230-258, 2022.

FLORES-SAAVEDRA, M.; PLAZAS, M.; VILANOVA, S.; PROHENS, J.; GRAMAZIO, P. Induction of water stress in major *Solanum* crops: A review on methodologies and their

application for identifying drought tolerant materials. **Scientia Horticulturae**, v. 318, e112105, 2023.

FREITAS, P. A. F. **Aplicação foliar de prolina como meio de minorar os efeitos do estresse salino em plantas de milho**. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

HEUER, B. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. **Plant Science**, v. 165, n. 4, p. 693-699, 2003.

IBGE. **Produção de Tomate no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>>. Acesso em 31 out. 2023.

INMET. **Estações automáticas**. 2022. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A510>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

INPIXON. **SigmaPlot for Windows Version 15**. Versão: 15.0.0.13. Palo Alto, CA: Inpixon, 2022. Disponível em: <https://systatsoftware.com/sigmaplot/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

KAHLAOU, B.; HACHICHA, M.; REJEB, S.; REJEB, M. N.; HANCHI, B.; MISLE, E. Response of two tomato cultivars to field-applied proline under irrigation with saline water: Growth, chlorophyll fluorescence and nutritional aspects. **Photosynthetica**, n. 52, v. 3, p. 421-429, 2014.

KAUR, G.; ASTHIR, B. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. **Biologia Plantarum**, v. 59, n. 4, p. 609-619, 2015.

KHAPTE, P. S.; KUMAR, P. BURMAN, U. KUMAR, P. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 256-264, 2019.

KISSOUDIS, C.; CHOWDHURY, R.; VAN HEUSDEN, S.; WIEL, C.; FINKERS, R.; VISSER, R.; BAI, Y.; LINDEN, G. Resistência combinada ao estresse biótico e abiótico em tomate. **Euphytica**, v. 202, p. 317-332, 2015.

LACERDA, F. H. D.; PEREIRA, F. H. F.; NEVES, D. S.; BORGES, F. Q. C.; CAMPOS JUNIOR, J. E. Aplicação exógena de prolina na redução do estresse salino em meloeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 218-227, 2012.

LIMA, G. S.; SANTOS, J. B.; ANJOS SOARES, L. A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; PEREIRA, R. F. Irrigation with saline water and foliar application of proline in ‘All Big’ sweet pepper. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 4, 513–522, 2016.

LOURKISTI, R.; FROELICHER, Y.; MORILLON, R.; BERTI, L.; SANTINI, J. Enhanced photosynthetic capacity, osmotic adjustment and antioxidant defenses contribute to improve tolerance to moderate water deficit and recovery of Triploid Citrus genotypes. **Antioxidants**, v. 11, n. 3, p. 1-17, 2022.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G. H. S.; LANDIM, F. M. Yield and water use efficiency for two sweet potato cultivars depending on irrigation depths. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602-606, 2013.

MEENA, M.; DIVYANSHUB, K.; KUMAR, S.; SWAPNIL, P.; ZEHRA, A.; SHUKLA, V.; YADAV, M.; UPADHYAY, R.S. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. **Heliyon**, v. 5, n. 12, e02952, 2019.

MENDES, R. M. S.; LUCENA, E. M. P.; MEDEIROS, J. B. L. P. **Princípios de fisiologia vegetal**. 2. ed. – Fortaleza: EdUECE, 2015. 126 p.

NANJO, T.; FUJITA, M.; SEKI, M.; KATO, T.; TABATA, S.; SHINOZAKI, K. Toxicity of free proline revealed in an *Arabidopsis* T-DNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase. **Plant and Cell Physiology**, v. 44, n. 5, p. 541-548, 2003.

PEIL, R. M. N.; ALBUQUERQUE, NETO A. A. R.; ROMBALDI, C.V. Densidade de plantio e genótipos de tomateiro cereja em sistema fechado de cultivo em substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 234-240, 2014.

SHAKYA, R.; LAL, M. A. Photoassimilate Translocation. *In*: BHATLA, S. C.; LAL, M. A. (eds) **Plant Physiology, Development and Metabolism**, Springer, 2018, p. 228-251.

SHAO, H.; CHUD, L.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 2015-225, 2008.

SIMONNEAU, T.; LEBON, E.; COUPEL-LEDRU, A.; MARGUERIT, E.; ROSSDEUTSCH, L.; OLLAT, N. Adapting plant material to face water stress in vineyards: which physiological targets for an optimal control of plant water status? **OENO One**, v. 51, n. 2, p. 167-179, 2017.

SOUZA, L. P.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; FATIMA, R. T.; LIMA, G. S.; DINIZ, G. L. Índices fisiológicos e crescimento de porta-enxertos de Cajueiro sob estresse salino e concentrações de prolina. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 169-183, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017, 888p.

TEAM, POSIT. **RStudio**: integrated development environment for R. Versão: 2023.6.2.561. Boston, MA: Posit Software, 2023. Disponível em: <http://www.posit.co/>. Acesso em: 8 ago. 2023.

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 13, p. 3223-3233, 2018.

WAMSER, A. F.; VALMORBIDA, J.; ARGENTA, L. C.; FELTRIM, A. L.; LINS JÚNIOR, J. C.; MONTEIRO, F. P. Manejo autônomo da fertirrigação do tomate grape cultivado em substrato utilizando sensores Irrigás®. **Irriga**, v. 27, n. 3, p. 452-464, 2022.

WANI, A. S.; FARAZ, A.; FAIZAN, M.; AHMAD, A.; HAYAT, S.; TAHIR, I. Foliar Spray of Proline Enhanced the Photosynthetic Efficiency and Antioxidant System in *Brassica juncea*. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 1, p. 112-119, 2017.

ZHANG, X.; YANG, H.; DU, T. Osmotic adjustment of tomato under mild soil salinity can enhance drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 202, e 105004, 2022.

ZUO, Z.; MU, J.; LI, W.; MAO, H.; ZHANG, X.; HAN, L.; NI, J. Study on the detection of water status of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by multimodal deep learning. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, e 1094142, 2023.

CAPÍTULO 2

EFEITO DA PROLINA NA PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA E NO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO EM TOMATEIRO NAS FASES DE FRUTIFICAÇÃO E FINAL DE CICLO

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura, a produtividade de várias culturas, como as hortaliças, pode ser afetada por diversos fatores (Santos et al., 2023), entre eles, a limitação hídrica. O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) se destaca por ser a segunda hortaliça mais importante do mundo e uma das mais consumidas no Brasil. No País, os maiores produtores são os estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo (CONAB, 2016), que juntos, são responsáveis por mais da metade da produção nacional. No entanto, para alcançar um bom rendimento, a cultura é bastante exigente em água (Zhang et al., 2023).

A limitação hídrica é um dos problemas mais graves na produção de tomate, responsável por uma redução significativa da produtividade e na qualidade dos frutos (Kuo et al., 2023). Este fator estressante altera diretamente a fisiologia da planta e influencia na fotossíntese, no transporte no xilema e no floema e na indução da síntese de açúcares para o ajuste osmótico, conseqüentemente, na alocação e partição de carbono (Aliche et al., 2020).

As plantas utilizam carbono no processo de fotossíntese, acumulando-o em forma de biomassa nas raízes, folhas, caules e frutos (Abdullah et al., 2021). O teor de carbono é considerado um forte indicador de crescimento e desenvolvimento das plantas (Pastenes et al., 2014), no entanto, pode ser afetado por diversas causas. A disponibilidade de luz, água e nutrientes para a planta são os principais fatores que influenciam na aquisição de carbono e, conseqüentemente, na produção de biomassa (Irviring, 2015).

Diante dos problemas de limitação hídrica e, por conseguinte, sua influência na produção alimentícia, é essencial buscar alternativas que contribuam com o desenvolvimento e reprodução das plantas. Neste sentido, a utilização de solutos osmoticamente ativos pode favorecer o cultivo mesmo em condições de estresse hídrico.

A prolina é um aminoácido comumente utilizado para reduzir os efeitos do estresse por deficiência hídrica. Este soluto apresenta um papel significativo na tolerância das plantas, possibilitando que mantenham a turgescência, bem como, a abertura dos estômatos e as trocas gasosas (Ojewumi et al., 2023; Sarker; Oba, 2018). Além disso, a prolina atua como

antioxidante, o que permite a proteção da integridade de membranas e proteínas (Khalid et al., 2022). Dessa forma, o seu efeito pode possibilitar que as plantas mantenham a taxa de crescimento, mesmo em condições hídricas adversas.

Em uma atualidade em que o déficit hídrico já limita a produção agrícola, o estudo da influência da prolina para o crescimento e desenvolvimento do tomateiro é de grande importância para obter novos conhecimentos para a tomaticultura. A análise da produção e partição de massa de matéria seca e do carbono orgânico acumulados pela planta podem ser úteis para o estudo do comportamento da cultura em situações adversas do ambiente.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito de pulverizações com prolina na produção, partição de massa de matéria seca e teor de carbono orgânico em tomateiro cultivado no período seco do ano e irrigado a cada sete dias.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de condução

O experimento foi realizado em condições de campo no período de abril a agosto de 2022 na Unidade de Pesquisa, Ensino e Extensão (UEPE) Horta Nova, pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e localizada no distrito de São José do Triunfo, em Viçosa (Minas Gerais). A área do trabalho implantado situou-se nas coordenadas 20° 45' 48" S e 49° 26' 09" W, a uma altitude de 666 m.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa (clima subtropical de inverno seco) (Fialho et al., 2022). Os dados referentes a precipitação pluviométrica, temperaturas mínima e máxima do ar e umidade relativa estão apresentados na Figura 1, conforme dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

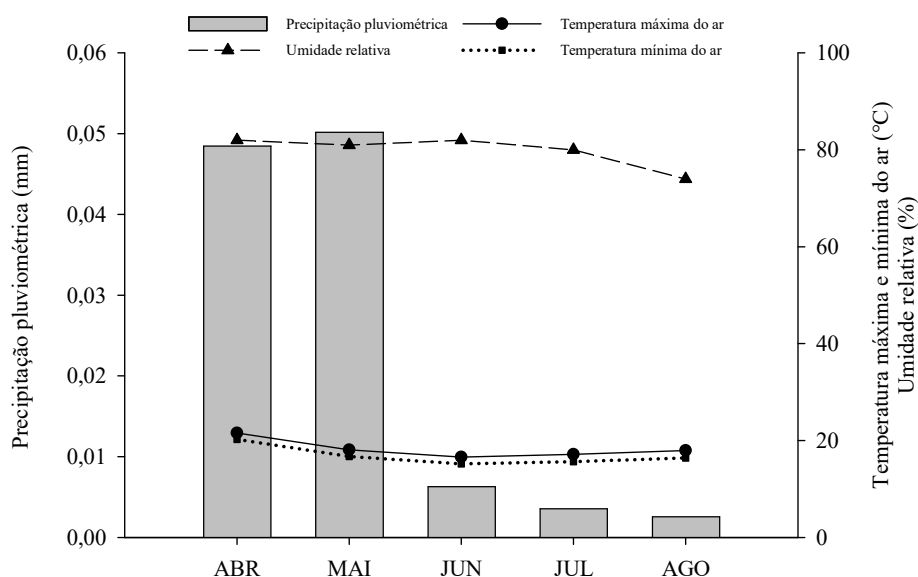


Figura 1. Valores registrados de precipitação pluviométrica (mm), temperaturas mínima e máxima do ar (°C) e umidade relativa (%) durante a condução do experimento em Viçosa/MG. Fonte: INMET, 2022.

2.2. Produção de mudas

Utilizou-se a cultivar de tomate Vivacy (Feltrin Sementes), de hábito de crescimento indeterminado, ciclo em torno de 90 a 100 dias para início da produção, frutos grandes e de coloração vermelha e alta resistência a murcha de verticílio, murcha de fusário e vírus do mosaico do tomate (Feltrin, 2022).

As mudas de tomate foram produzidas em viveiro comercial, utilizando bandejas de polipropileno de 128 células com substrato comercial à base de fibra de coco. Na semeadura, colocou-se uma semente por célula. O transplante foi realizado quando as mudas apresentavam de 4 a 6 folhas.

2.3. Preparo da área e do solo

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (Embrapa, 2018). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm e, em seguida, realizou-se a caracterização física e química (Tabela 1), seguindo o manual de análise da Embrapa (2017).

Tabela 1 - Análise físico-química do solo na área experimental

Características	Profundidade (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Areia (%)	34	28	21	30	18
Silte (%)	18	19	19	29	24
Argila (%)	48	53	60	41	58
pH (H ₂ O)	5,8	5,4	5,6	5,8	5,8
MO (dag kg ⁻¹)	2,9	1,8	1,0	0,4	0,8
P (mg dm ³)	29,5	9,3	1,8	1,2	1,6
K (mg dm ³)	132	67	39	31	34
Na (mg dm ³)	3	3	4	3	3
Ca (cmol _c dm ³)	3,7	2,9	2,7	2,0	2,5
Mg (cmol _c dm ³)	1,1	0,78	0,77	0,64	0,71
H + Al (cmol _c dm ³)	4,2	2,9	2,9	1,3	1,6
Al (cmol _c dm ³)	0	0	0	0	0

pH em água, relação 1:2,5. P, K e Na: extrator Mehlich 1. Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹. H+AL: extrator Acetado de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0. MO (matéria orgânica): C. org. x 1,724 (Walkley-Black).

O solo foi preparado com aração, gradagem e subsolagem com hastes de 50 cm. Realizou-se gessagem com aplicação de 0,51 kg de gesso por parcela com objetivo de preparar o perfil do solo para estimular o enraizamento pelas plantas. A adubação fosfatada foi realizada utilizando Superfosfato Simples, em que se aplicou 0,076 kg por cova, totalizando 1,6 kg por parcela em superfície e 1,6 kg por parcela em sub superfície.

As demais fontes de nutrientes foram aplicadas via fertirrigação de forma escalonada durante todo o ciclo da cultura e a distribuição seguiu a recomendação de Alvarenga (2013) para o tomateiro. Os fertilizantes e a quantidade aplicada estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Fontes e quantidades dos fertilizantes aplicadas por fertirrigação durante o experimento

Fonte de nutriente	Quantidade aplicada (kg/ha)
Ureia	952,7
Cloreto de Potássio	297,7
Nitrato de Cálcio	297,7
Sulfato de Magnésio	198,4
Sulfato de Zinco	21,8
Sulfato de Manganês	19,8
Ácido Bórico	19,8

2.4. Delineamento experimental e tratamentos

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 3 + 1, com quatro repetições. Os fatores foram constituídos por 2 doses de prolina (100 e 150 mg L⁻¹), 3 momentos de aplicação (1, 3 e 6 dias após a irrigação) e uma testemunha sem a aplicação de prolina.

As parcelas experimentais contaram com 4,0 m de largura e 1,2 m de comprimento, totalizando 4,8 m², com três linhas de plantas cada. Considerou-se área útil a linha central de cada parcela.

2.5. Tratos culturais e manejo da irrigação

As mudas foram transplantadas ao campo com espaçamento de 0,20 m entre plantas e 2,0 m entre linhas. As plantas foram tutoradas adotando-se o Sistema Viçosa (Almeida et al., 2015) para o cultivo do tomateiro. Semanalmente, foram realizadas desbrotas e podas, em que os brotos que se desenvolveram nas axilas das folhas e os brotos terminais das hastes foram eliminados.

Instalou-se o sistema de irrigação localizada por gotejamento, com gotejadores autocompensantes espaçados em 0,20 m, entre si, e vazão de 2,1 L/h. A avaliação de eficiência do sistema foi mensurada determinando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (Mantovani et al., 2013).

Realizou-se a irrigação a cada sete dias conforme a proposta de Fara et al. (2019). A lâmina de irrigação total aplicada foi de 126,01 mm, calculada de acordo com a metodologia de Allen et al. (1998) através da estimativa da evapotranspiração da cultura.

Para impedir a competição com as plantas de cultivo, realizou-se a limpeza da área por capinas manuais para a retirada de plantas invasoras.

As aplicações foliares de prolina foram realizadas sempre às manhãs com auxílio de pulverizador costal, em três momentos (30, 60 e 80 dias após o transplantio) (Figura 2).

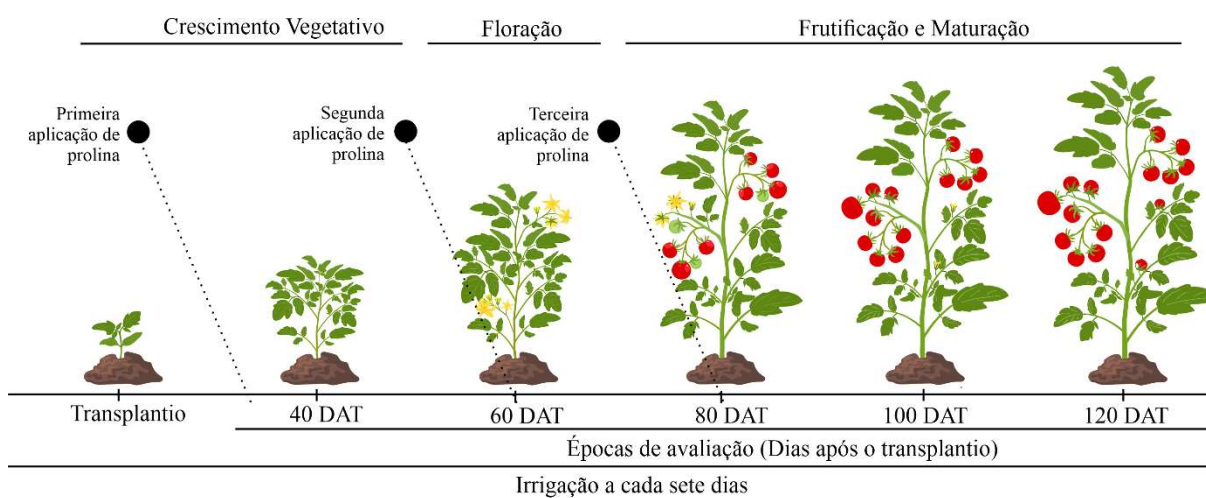


Figura 2 – Esquema das épocas de avaliação, períodos de aplicação de prolina e estágio fenológico do tomateiro. Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

2.6. Preparo das amostras

Para o preparo das amostras, plantas de tomate foram coletadas e separadas em caules, folhas e frutos e posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Análise de Tecidos Vegetais do Departamento de Agronomia da UFV.

As partes separadas oriundas das plantas foram lavadas com água ultra pura, acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas para estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção de massa constante. Posteriormente, as partes foram pesadas e moídas com auxílio de moinho tipo Willey, equipado com peneira de 20 mesh.

2.7. Características avaliadas

As avaliações de cada característica foram realizadas nos períodos de 80 e 120 dias após o transplantio, momentos de frutificação e final de ciclo, respectivamente.

2.7.1. *Produção de massa de matéria seca*

Foi realizada a determinação da massa de matéria seca das amostras utilizando balança de precisão (0,01 g). Para a obtenção da massa de matéria seca total, realizou-se a soma das partes das plantas.

2.7.2. *Partição de massa de matéria seca*

Atribuiu-se o valor de 100% para a produção total (todos os órgãos) de massa de matéria seca verificada nas plantas. A partir desse valor referencial, foram calculadas as produções percentuais de matéria seca de cada órgão da planta de acordo com a época de avaliação, conforme equação 1:

$$Partição = \frac{MS \text{ órgão}}{MS \text{ total}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

Partição: Partição de matéria seca (%);

MS órgão: Massa seca do órgão (g);

MS total: Massa seca total (g).

2.7.3. *Teor de carbono orgânico*

Para a determinação de carbono orgânico (%), utilizou-se a metodologia proposta por Bezerra Neto e Barreto (2011).

2.7.4. *Produtividade estimada em cada época de avaliação*

Para obtenção da produtividade estimada em cada época de avaliação ($t \text{ ha}^{-1}$), levou-se em consideração o produto da massa de matéria fresca de frutos colhidos em cada tratamento e época de avaliação pela população de plantas por hectare.

2.8. **Análise estatística**

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos ao teste de normalidade Shapiro Wilk. Posteriormente, realizou-se à análise de variância e quando verificados efeitos significativos,

foram realizados testes de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as médias dos tratamentos. Para comparar as médias dos tratamentos com a média da testemunha, utilizou-se o teste de Dunnett, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

Utilizou-se o programa RStudio® (Team, 2023) e o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2014). Realizou-se transformação logarítmica com os dados de massa de matéria seca de caules e teor de carbono orgânico aos 120 dias após o transplântio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de massa de matéria seca

Interações significativas entre doses de prolina e momentos de aplicação foram observadas para massa de matéria seca de folhas e de caules aos 80 e 120 dias após o transplântio (DAT) ($p < 0,01$). Analisando-se o efeito isolado de doses de prolina, verificou-se diferença significativa para massa de matéria seca de caules aos 80 ($p < 0,01$) e 120 DAT ($p < 0,05$). Houve resposta significativa para momentos de aplicação para as variáveis massa de matéria seca de folhas e de caules aos 80 DAT ($p < 0,05$) e massa de matéria seca de caules e de frutos aos 120 DAT ($p < 0,01$) (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância da massa de matéria seca de folhas (MSF), caules (MSC) e frutos (MSFR) do tomateiro irrigado a cada sete dias e cultivado com doses de prolina, aos 80 e 120 dias após o transplântio (continua)

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		80 dias após o transplântio		
		MSF	MSC	MSFR
Bloco	3	70,5975 ^{ns}	75,2077 ^{ns}	1366,25 ^{ns}
Prolina (PL)	1	66,3337 ^{ns}	252,2016 ^{**}	0,9600 ^{ns}
Momentos de aplicação (MA)	2	282,762 [*]	112,4135 [*]	295,2403 ^{ns}
PL x MA	2	308,888 ^{**}	172,7076 ^{**}	325,8322 ^{ns}
Testemunha x Fatorial	1	306,720 ^{ns}	24,6406 ^{ns}	122,9148 ^{ns}
Resíduo	18	48,2025	23,4135	395,763
CV (%):		11,2	8,0	37,8

GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: não significativo; ^{*}, ^{**}: F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância da massa de matéria seca de folhas (MSF), caules (MSC) e frutos (MSFR) do tomateiro irrigado a cada sete dias e cultivado com doses de prolina, aos 80 e 120 dias após o transplântio (conclusão).

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		120 dias após o transplântio		
		MSF	MSC	MSFR
Bloco	3	52,2391 ^{ns}	0,0110 ^{ns}	7009,81 ^{ns}
Prolina (PL)	1	35,5266 ^{ns}	0,0668 [*]	1278,23 ^{ns}
Momentos de aplicação (MA)	2	151,9137 ^{ns}	0,1032 ^{**}	13831,23 ^{**}
PL x MA	2	741,3216 ^{**}	0,2720 ^{**}	1919,53 ^{ns}
Testemunha x Fatorial	1	833,0405 ^{ns}	0,0562 ^{ns}	3,8705 ^{ns}
Resíduo	18	79,2467	0,0111	1980,86
CV (%):		12,3	2,3	24,0

GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: não significativo; ^{*}, ^{**}: F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

A massa de matéria seca de folhas do tomateiro foi influenciada pela pulverização de prolina. Aos 80 dias após o transplântio, observou-se que a dose de 100 mg L⁻¹ de prolina exógena contribuiu com maior massa (75,6 g/planta) quando aplicada aos seis dias após a irrigação (Figura 3A). Já na dose de prolina de 150 mg L⁻¹, verificou-se que houve maior incremento quando aplicada aos um e três dias após a irrigação. (Figura 3A)

Analisando os momentos de aplicação, observou-se que aos um e três dias após a irrigação, não houve diferença entre as doses de prolina aplicadas, no entanto, verificou-se que aos seis dias, a prolina pulverizada na dose de 100 mg L⁻¹ proporcionou maior massa de matéria seca de folhas (Figura 3A).

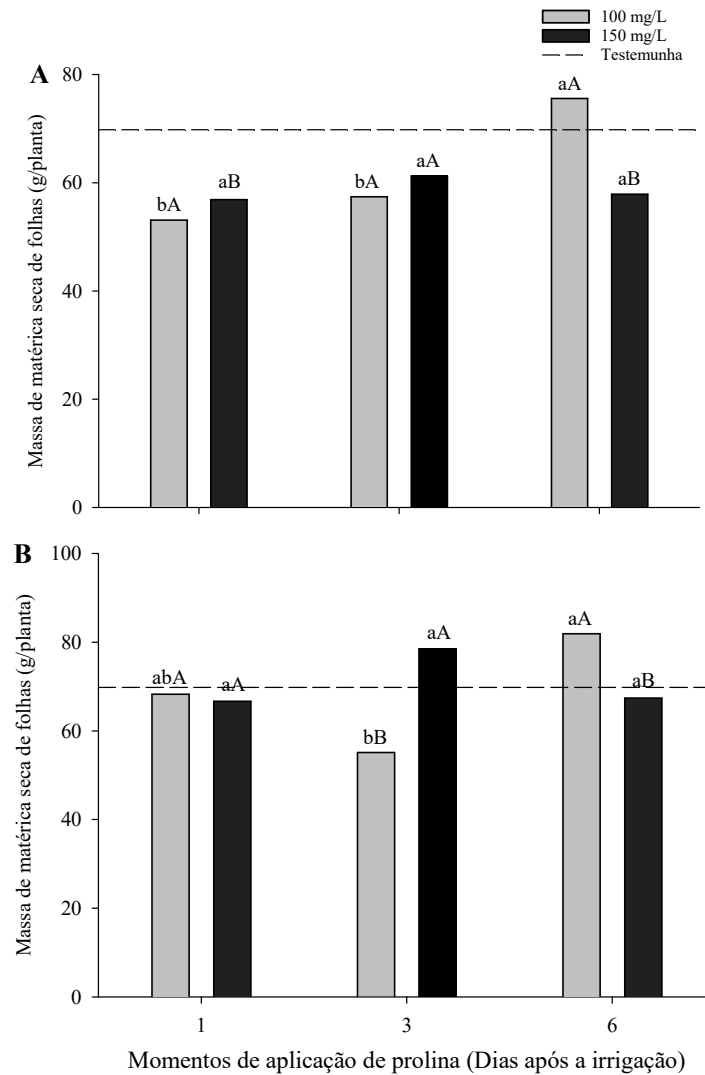


Figura 3 - Massa de matéria seca de folhas de tomateiro cultivado com doses de prolina aplicada em três momentos após a irrigação, aos 80 (A) e 120 (B) dias após o transplante. Médias seguidas de letras minúsculas iguais dentro da mesma dose de prolina e maiúscula dentro do mesmo momento de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Aos 120 dias após o transplante, observou-se incremento, em relação a testemunha, na massa de matéria seca com as doses de 150 e 100 mg L⁻¹, aos três e seis dias após a irrigação, respectivamente (Figura 3B).

Zouari et al. (2019) relatam que o ajuste osmótico promovido pela aplicação de prolina pode melhorar a biomassa das plantas sob estresse hídrico. Entretanto, a prolina pode ter efeito tóxico se for acumulada ou aplicada em altas concentrações, isso porquê o excesso pode bloquear sua degradação na via catabólica (Ashraf; Foolad, 2007; Nanjo et al., 2003) o que pode explicar um melhor desempenho quando aplicada a menor dose do aminoácido.

Várias pesquisas revelaram os efeitos benéficos da prolina aplicada de forma exógena, em que atua no aumento da tolerância à estresses abióticos pelas plantas. A eficácia da aplicação depende de diversos fatores, como dose aplicada, momento de aplicação e características relacionadas à planta (Sharma et al., 2020).

A massa de matéria seca de caules também foi influenciada pelos tratamentos estudados. Aos 80 dias após o transplântio, a aplicação de 100 mg L⁻¹ de prolina exógena no tomateiro contribuiu para maior acúmulo de massa seca (68,8 g/planta) na aplicação aos seis dias após a irrigação (Figura 4A), no entanto, não apresentou diferença na massa de matéria seca com aplicação um dia após a irrigação (67,0 g/planta). Na dose de 150 mg L⁻¹, não foi observada diferença entre os momentos de aplicação.

Quando avaliada a influência dos momentos de aplicação, verificou-se que em ambos os períodos, a dose de 100 mg L⁻¹ favoreceu a produção de massa de matéria seca de caules (Figura 4A).

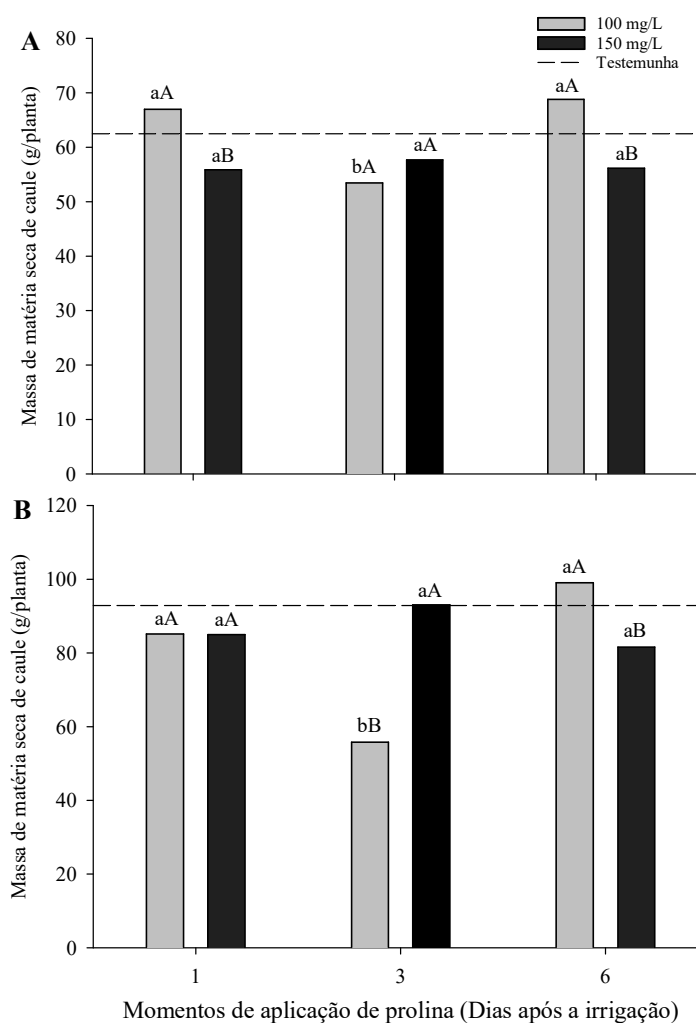


Figura 4 - Massa de matéria seca de caules de tomateiro cultivado com doses de prolina aplicada em três momentos após a irrigação, aos 80 (A) e 120 (B) dias após o transplante. Médias seguidas de letras minúsculas iguais dentro da mesma dose de prolina e maiúscula dentro do mesmo momento de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Aos 120 DAT, a dose de 100 mg L⁻¹ proporcionou incremento na massa de matéria seca de caules quando aplicada aos seis dias após a irrigação, apresentando 99,1 g/planta, no entanto, não se diferenciou da aplicação um dia após a irrigação (Figura 4B). A dose de 150 mg L⁻¹ não apresentou diferença entre os momentos de aplicação.

Estes resultados podem ser relacionados com a capacidade de determinada dose em determinado momento de aplicação promover ajustes osmóticos sem causar danos à planta. A prolina desempenha um papel protetor, mantendo a turgidez das células sob estresse ao nível adequado, o que influencia na taxa fotossintética e no crescimento das plantas (Hayat et al., 2012).

Em trabalho com a aplicação de prolina foliar em plantas de meloeiro estressadas por salinidade, Lacerda et al. (2012) observaram que a massa de matéria seca de caules foi incrementada com a aplicação de prolina, no entanto, notaram que a massa obtida apresentou diminuição de acordo com o aumento das doses aplicadas.

Verificando-se o efeito isolado dos momentos de aplicação de prolina na massa de matéria seca de frutos do tomateiro cultivar Vivacy aos 120 DAT, observou-se que com aplicação um dia após a irrigação, houve incremento de 58,4% na massa de matéria seca em comparação com a aplicação aos seis dias (Figura 5), apresentando 222,8 g/planta e 140,6 g/planta, respectivamente.

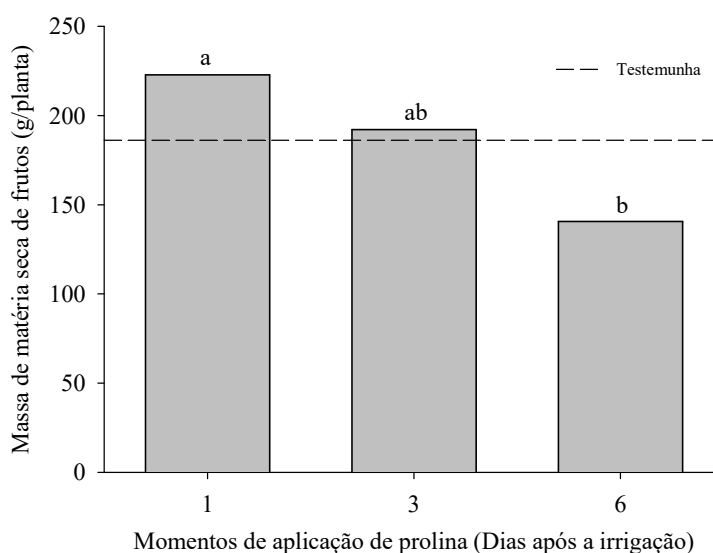


Figura 5 - Massa de matéria seca de frutos de tomateiro submetido a diferentes momentos de aplicação de prolina após a irrigação, aos 120 dias após o transplante. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Segundo Dawood et al. (2021), as respostas da aplicação da prolina são determinadas, principalmente, pelo momento de aplicação e a concentração utilizada. Por outro lado, Gruszecki et al. (2022) descreveram que o momento da aplicação da prolina em relação ao estágio de desenvolvimento da planta, pode apresentar maior importância que a quantidade aplicada.

Estes relatos sugerem também que, os efeitos da aplicação da prolina na planta estão relacionados com o desenvolvimento e/ou o potencial do estresse em que a planta se encontra, conseqüentemente, influenciando na massa de matéria seca.

3.2. Partição de massa de matéria seca

Para a partição da massa de matéria seca, interações significativas entre doses de prolina e momentos de aplicação foram observadas para folhas, caules e frutos aos 120 dias após o transplântio (DAT) ($p < 0,01$). Analisando-se o efeito isolado para doses de prolina e momentos de aplicação, verificou-se diferença significativa para massa de matéria seca de caules e frutos ($p < 0,05$) e para massa de matéria seca de folhas e de frutos ($p < 0,05$), respectivamente. Aos 80 dias após o transplântio, não foram verificadas significância estatísticas nos tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para a partição de massa de matéria seca de folhas (PMSF), caules (PMSC) e frutos (PMSFR) do tomateiro irrigado a cada sete dias e cultivado com doses de prolina aos 80 e 120 dias após o transplântio (continua)

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		80 dias após o transplântio		
		PMSF	PMSC	PMSFR
Bloco	3	49,5957 ^{ns}	67,4840 ^{ns}	227,367 ^{ns}
Prolina (PL)	1	0,9087 ^{ns}	9,2504 ^{ns}	4,3776 ^{ns}
Momentos de aplicação (MA)	2	51,1596 ^{ns}	17,5138 ^{ns}	25,4977 ^{ns}
PL x MA	2	42,2496 ^{ns}	6,7555 ^{ns}	39,4981 ^{ns}
Testemunha x Fatorial	1	6,2062 ^{ns}	16,1076 ^{ns}	2,2936 ^{ns}
Resíduo	18	20,2391	21,4831	70,7648
CV (%):		12,5	13,2	28,9

GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: não significativo; *, **: F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para a partição de massa de matéria seca de folhas (PMSF), caules (PMSC) e frutos (PMSFR) do tomateiro irrigado a cada sete dias e cultivado com doses de prolina aos 80 e 120 dias após o transplântio (conclusão).

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		120 dias após o transplântio		
		PMSF	PMSC	PMSFR
Bloco	3	24,6021 ^{ns}	43,4248 ^{ns}	126,924 ^{ns}
Prolina (PL)	1	19,0104 ^{ns}	61,3120 [*]	148,553 [*]
Momentos de aplicação (MA)	2	56,2747 ^{**}	24,1623 ^{ns}	152,219 [*]
PL x MA	2	49,7531 ^{**}	121,0220 ^{**}	325,939 ^{**}
Testemunha x Fatorial	1	19,6116 ^{ns}	2,1760 [*]	37,573 ^{ns}
Resíduo	18	7,5452	9,8626	29,474
CV (%):		12,8	12,4	10,1

GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: não significativo; ^{*}, ^{**}: F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

A aplicação exógena de prolina na dose de 150 mg/L influenciou na partição de massa de matéria seca de folhas (Figura 6A) ao final do ciclo da cultura. Com esta dose aplicada aos três dias após a irrigação, observou-se que a planta alocou mais matéria seca na parte vegetativa do que os demais tratamentos, apresentando 27,2% de matéria seca de folhas. O resultado observado foi maior em comparação à partição quando aplicada a dose de 100 mg L⁻¹ (20%) no mesmo momento de aplicação.

A pulverização de prolina pode influenciar na alocação de massa entre os órgãos da planta, resultando em uma redistribuição da matéria seca. Este comportamento é apresentado devido a capacidade da prolina promover o crescimento da planta (Ambreen et al., 2021; Ali et al., 2007), o que pode levar a uma maior alocação de matéria seca para determinado órgão. Além disso, devido sua atuação como osmorreguladora que pode contribuir com a abertura estomática em plantas com limitação hídrica, há a tendência de produzir mais assimilados, implicando na matéria seca (Taiz; Zeiger, 2017).

Quando verificada a partição de matéria seca para caules, resultados semelhantes foram observados. A dose de 150 mg L⁻¹ de prolina aos três dias após a irrigação contribuiu em alocar mais fotoassilados nos caules, apresentando partição de 32,4%, em comparação aos outros tratamentos. Em seguida, a dose de 100 mg L⁻¹ aplicada aos seis dias após a irrigação também influenciou na partição, com 27,3% de matéria seca em caules (Figura 6B).

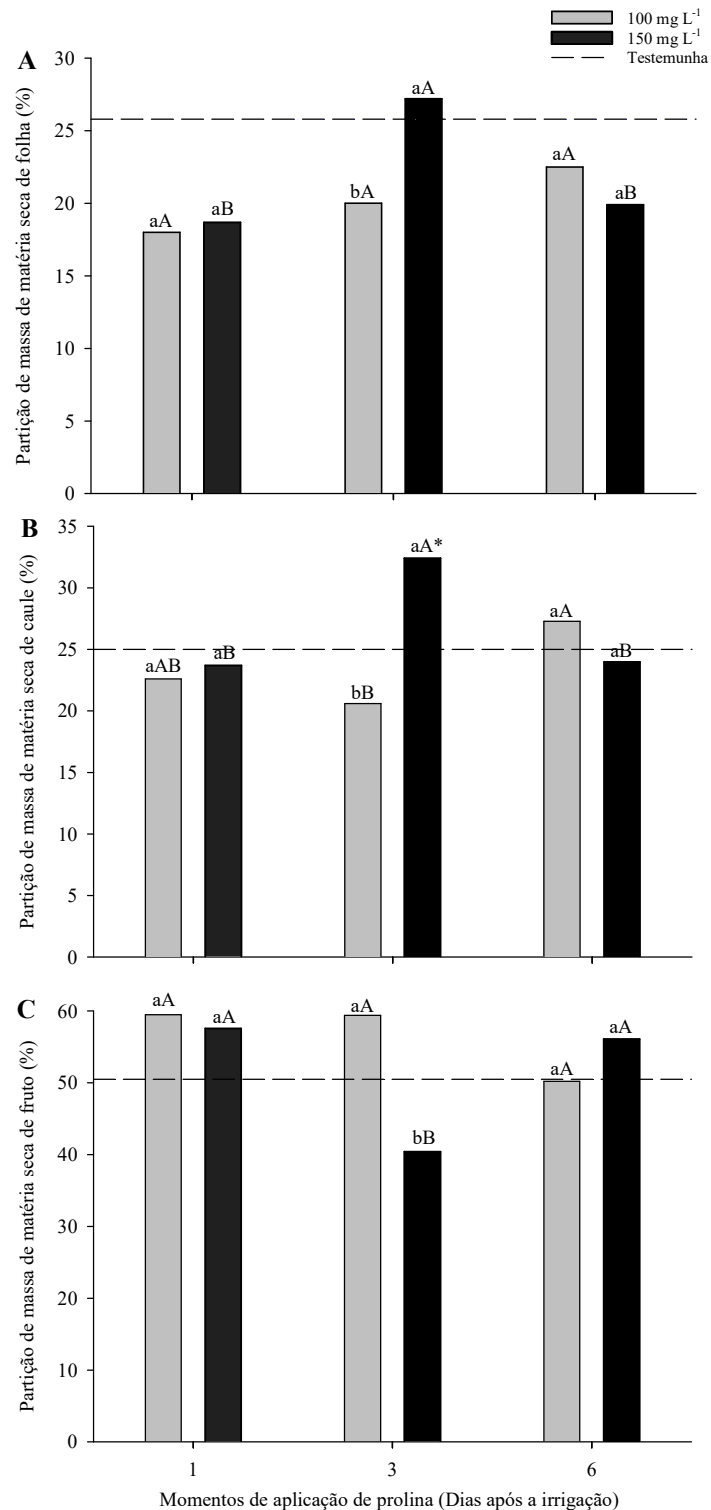


Figura 6 - Partição (%) da massa de matéria seca produzida por tomates cv. Vivacy submetidos a doses de prolina em diferentes momentos após a irrigação em folhas, caules e frutos aos 120 dias após o transplantio. Médias seguidas de letras minúsculas iguais dentro da mesma dose de prolina e maiúscula dentro do mesmo momento de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Destaca-se que nesta fase, normalmente as folhas e o caules recebem consideravelmente menos assimilados que os frutos, visto que, com a fase de frutificação, os assimilados são direcionados para tal órgão, que passa a atuar como dreno principal da planta (Lopes et al., 2011). Dessa forma, as folhas e caules utilizam assimilados objetivando a manutenção estrutural da planta (Martinazzo et al., 2015).

Este comportamento foi verificado na partição de matéria seca para os frutos de tomate, em que todos os tratamentos apresentaram maior alocação em relação com os resultados de folhas e caules, indicando conduta como dreno principal (Lucena, 2011). Maior partição de matéria seca de frutos foi verificada na dose de 100 mg L⁻¹ aos um e três dias após a irrigação, representando 59,5% e 59,4%, respectivamente (Figura 6C).

Em estudo da partição de matéria seca pelo tomateiro cultivar SM-16, Lucena (2011) observou média de 28,9% para as folhas, 18,6% para caules e 48,6% para frutos ao final do ciclo. De forma semelhante aos resultados encontrados no presente estudo, Peil et al. (2014) ao avaliarem as cultivares de tomate Cereja Vermelho e Flavor Top, verificaram que os frutos foram os principais drenos de fotoassimilados, representando 53,9% e 40,2% da massa de matéria seca, respectivamente.

3.3. Teor de carbono orgânico e produtividade estimada

Para o teor de carbono orgânico, houve resposta significativa na interação entre doses de prolina e momentos de aplicação para as variáveis: teor de carbono orgânico nas folhas, nos caules e nos frutos aos 80 DAT e nas folhas aos 120 DAT ($p < 0,01$). Analisando isoladamente as doses de prolina, verificou-se resposta significativa para teor de carbono orgânico nas folhas e nos caules aos 80 DAT ($p < 0,01$) e folhas e frutos aos 120 DAT ($p < 0,05$). Para momentos de aplicação, houve resposta significativa para teor de carbono orgânico nas folhas e nos caules aos 80 DAT ($p < 0,01$) e nas folhas aos 120 DAT ($p < 0,05$). Para produtividade estimada, houve diferença significativa aos 120 DAT para momentos de aplicação de prolina ($p < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância do teor de carbono orgânico em folhas (TCF), caules (TCC) e frutos (TCFR), e para produtividade estimada (PROD) do tomateiro irrigado a cada sete dias e cultivado com doses de prolina, aos 80 e 120 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		80 dias após o transplântio			
		TCF	TCC	TCFR	PROD
Bloco	3	0,4715 ^{ns}	10,2452 ^{ns}	20,4928 ^{ns}	1,5410 ^{ns}
Prolina (PL)	1	0,1504 ^{**}	2,0416 ^{**}	22,0416 ^{ns}	2,3405 ^{ns}
Momentos de aplicação (MA)	2	29,1837 ^{**}	0,5600 ^{**}	13,3616 ^{ns}	2,3170 ^{ns}
PL x MA	2	22,1754 ^{**}	24,8066 ^{**}	55,6116 ^{**}	1,3672 ^{ns}
Testemunha x Fatorial	1	0,4505 ^{**}	23,625 ^{**}	33,1259 ^{ns}	2,1794 ^{ns}
Resíduo	18	1,5284	0,8285	8,3761	8,3256
CV (%):		6,0	3,9	7,4	38,2
Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		120 dias após o transplântio			
		TCF	TCC	TCFR	PROD
Bloco	3	0,0116 ^{ns}	4,4742 ^{ns}	0,2323 ^{ns}	2,6562 ^{ns}
Prolina (PL)	1	0,0384 [*]	15,6816 ^{ns}	26,0416 [*]	7,2714 ^{ns}
Momentos de aplicação (MA)	2	0,1826 ^{**}	21,795 ^{ns}	7,415 ^{ns}	1,4936 [*]
PL x MA	2	0,1294 ^{**}	27,6216 ^{ns}	5,6816 ^{ns}	8,7752 ^{ns}
Testemunha x Fatorial	1	0,0588 ^{**}	108,4821 ^{ns}	2,0592 ^{ns}	1,7956 ^{ns}
Resíduo	18	0,0055	8,3111	3,6890	3,1429
CV (%):		2,5	9,6	3,9	27,6

GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: não significativo; *, **: F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Aos 80 dias após o transplântio, a dose de prolina exógena de 100 mg L⁻¹ aplicada aos três dias após a irrigação, proporcionou o maior teor de carbono orgânico (C org) nas folhas (17,7%) do tomateiro (Figura 7A). A dose de 150 mg L⁻¹ não diferiu entre os momentos de aplicação de prolina. Quando avaliados os momentos de aplicação, observou-se que em ambos os períodos, a pulverização de 100 mg L⁻¹ de prolina incrementou o conteúdo de carbono orgânico nas folhas do tomateiro.

Aos 120 dias após o transplântio, a aplicação de prolina na dose de 100 mg L⁻¹ um dia após a irrigação contribuiu com um maior teor de carbono orgânico nas folhas (22,5%) (Figura

7B), no entanto, não deferiu da aplicação aos três dias após a irrigação, que apresentou 19,3% de C orgânico na massa de matéria seca. Ao analisar os momentos de aplicação, verificou-se maior teor de C orgânico quando a prolina foi aplicada um dia após a irrigação, no entanto, não houve diferença entre as doses estudadas neste período.

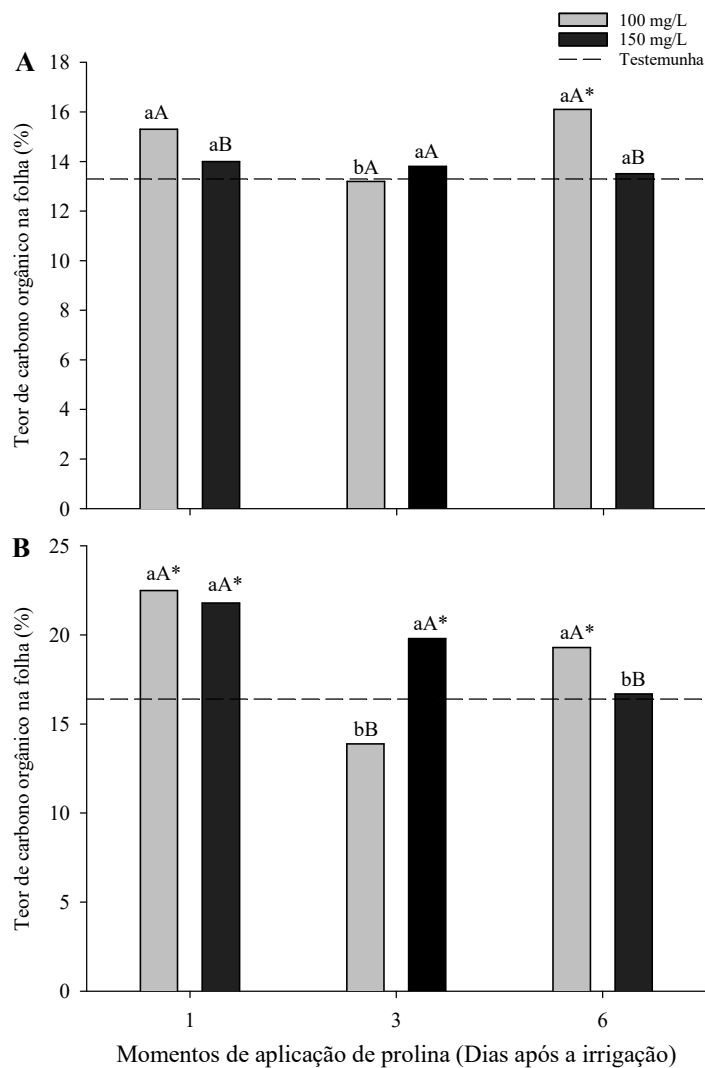


Figura 7 - Teor de carbono orgânico nas folhas dos tomateiros cv. Vivacy submetidos a doses de prolina em diferentes momentos após a irrigação, aos 80 (A) e 120 (B) dias após o transplante. Médias seguidas de letras minúsculas iguais dentro da mesma dose de prolina e maiúscula dentro do mesmo momento de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

O estresse hídrico causa a alteração de vários processos fisiológicos na planta, como a abertura e fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, na fotossíntese, respiração e a transpiração (Liang et al., 2020; Osakabe et al., 2014). O teor de carbono é influenciado por

diversos fatores, como capacidade fotossintética, massa de matéria seca e metabolismo do carbono. Neste contexto, uma das principais ações da prolina, como osmoprotetor, é a mitigação da redução do crescimento e da atividade fotossintética da planta em condição de estresse (Altuntas et al., 2020).

Segundo Cunha et al. (2022), o maior teor de carbono orgânico em função da aplicação da prolina exógena, indica que este aminoácido contribuiu em conservar o turgor celular apropriado, promovendo a assimilação de CO₂ conforme a condutância estomática.

Na literatura, há escassez de trabalhos envolvendo os efeitos de aminoácidos e, especificamente, da prolina, no teor de carbono orgânico em plantas. Em um cenário em que se busca uma maior produtividade de alimentos em condições de limitação hídrica, a determinação do carbono em vegetais é de suma importância para a realização de pesquisas e obtenção de novos conhecimentos referentes ao crescimento da planta.

Em relação ao teor de carbono orgânico em caules do tomateiro aos 80 dias após o transplântio, houve incremento com a aplicação da dose de prolina em 100 mg L⁻¹ aos três dias após a irrigação (Figura 8A), apresentando 25,4%. Contudo, não diferiu da aplicação um dia após a irrigação (23,9% de C org). A dose em 150 mg L⁻¹ de prolina exógena aplicada três dias após a irrigação incrementou o teor de carbono (24,4%). Para os momentos de aplicação, observou-se que aos um e seis dias após a irrigação, a prolina aplicada na dose de 100 mg L⁻¹ foi capaz de aumentar o teor de C orgânico.

É possível que a influência da prolina no teor de carbono orgânico em caules apresente-se de forma indireta, visto que depende, principalmente, de fatores ligados à planta, como as respostas fisiológicas e metabólicas diante do estresse a que o vegetal está submetido. Durante o déficit hídrico, o estresse pode influenciar o metabolismo do carbono, afetando sua distribuição e alocação. Nesta situação, é factível que a prolina atue como uma fonte de carbono (Taiz et al., 2017; Lal, 2018).

Efeitos da aplicação da prolina em relação ao carbono em outras culturas e tipo de estresse foram relatadas por diversos pesquisadores. Kaushal et al. (2011) relataram que a prolina exógena atuou na proteção de enzimas vitais no metabolismo do carbono em plantas de grão-de-bico. Em estudo com feijão-mungo submetido a estresse por frio, Posmyk e Janas (2007) verificaram que a aplicação de prolina atuou como fonte de carbono para as plantas. Em ambos os estudos, verificou-se um efeito benéfico na aplicação da prolina.

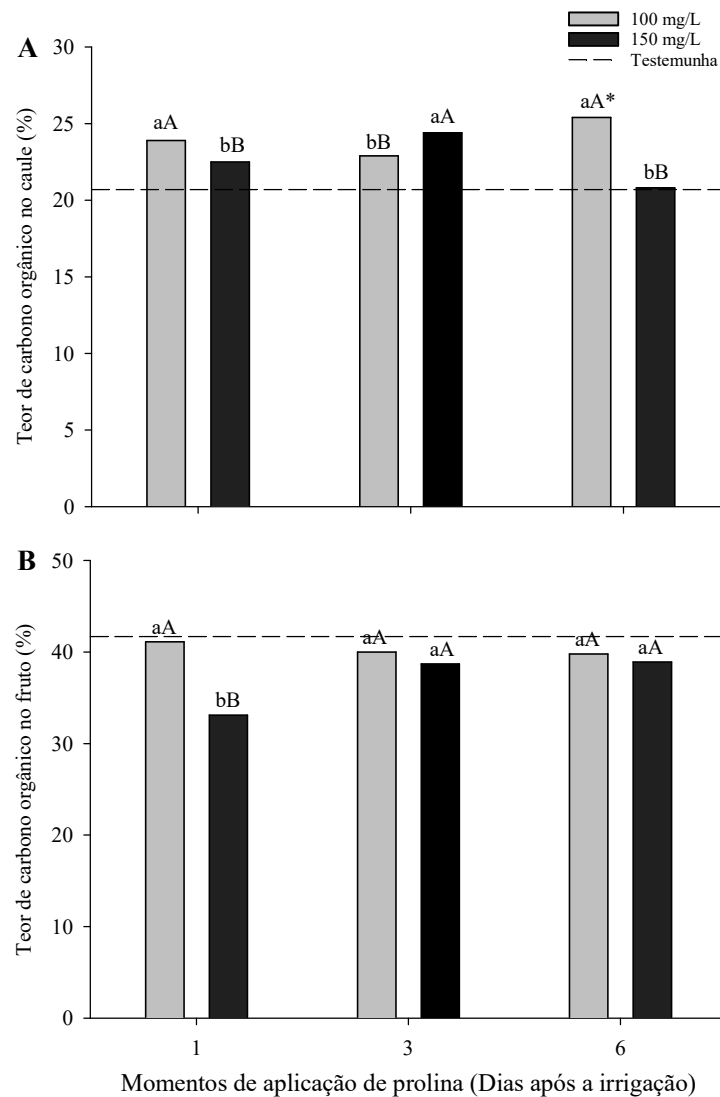


Figura 8 - Teor de carbono orgânico nos caules (A) e nos frutos (B) dos tomateiros cv. Vivacy submetidos a doses de prolina em diferentes momentos após a irrigação, aos 80 dias após o transplantio. Médias seguidas de letras minúsculas iguais dentro da mesma dose de prolina e maiúscula dentro do mesmo momento de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Para o teor de carbono em frutos aos 80 dias após o transplantio, verificou-se que os tratamentos estudados não diferiram do tratamento testemunha (41,7%) (Figura 8B). Entretanto, destaca-se que a dose de 100 mg L⁻¹ de prolina proporcionou maior teor de carbono orgânico um dia após a irrigação (41,1%), entretanto, não deferiu da aplicação aos três e seis dias após a irrigação. Resultados semelhantes também foram observados para o teor de carbono orgânico de folhas e caules.

Quando verificada a influência das doses de prolina de forma isolada aos 120 dias após o transplantio, observou-se que o teor de carbono orgânico em frutos apresentou maior valor com a aplicação de prolina na dose de 100 mg L⁻¹ (Figura 9), apresentando 50,2% de C orgânico, seguido da dose de 150 mg L⁻¹ com 48,1%, entretanto, não diferenciou-se do tratamento testemunha (Figura 9).

Da mesma forma que na massa de matéria seca, os frutos foram responsáveis por apresentarem maior teor de carbono orgânico em comparação com os demais órgãos do tomateiro. Este comportamento pode estar relacionado com o fato que os frutos armazenam açúcares, amido e outros componentes ricos em carbono (Osório et al., 2014; Hewitt et al., 1982). Além disso, os frutos podem acumular compostos orgânicos que contribuem para o teor de carbono, como compostos fenólicos (Chaudhary et al., 2018; Paula et al., 2015).

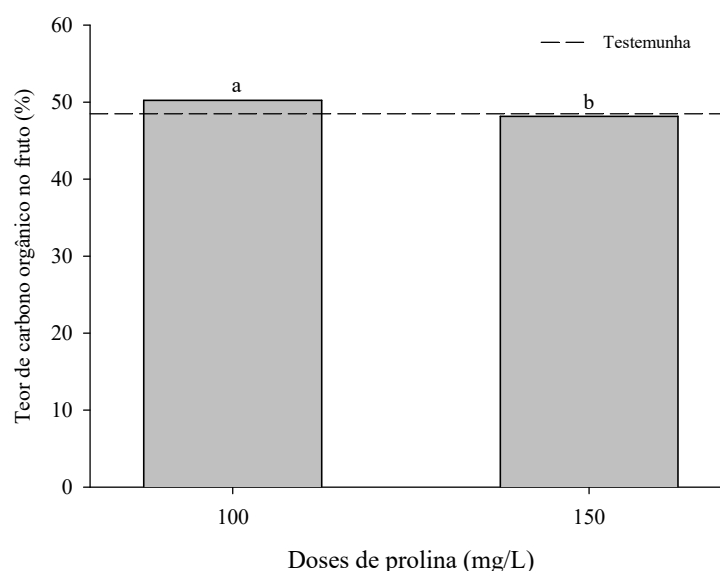


Figura 9 - Teor de carbono orgânico nos frutos dos tomateiros cv. Vivacy submetidos a doses de prolina, aos 120 dias após o transplantio. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado significativo e superior ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Levando em consideração os resultados obtidos e relatos na literatura (Dawood et al. (2021), entende-se que na aplicação de prolina deve ser levado em consideração, também, a fase fisiológica em que a planta se encontra. No presente estudo, observou-se variabilidade do desempenho das plantas em função das doses de prolina e das épocas de avaliação (80 e 120 dias após o transplantio), períodos da fase reprodutiva e de fim de colheita, respectivamente.

Destaca-se ainda que a duração de cada fase depende de diversos fatores, como o genótipo, ambiente e a nutrição das plantas (Schmidt et al., 2017).

A produtividade estimada em cada época de avaliação foi influenciada pelos momentos de aplicação de prolina aos 120 dias após o transplântio, entretanto, não apresentou diferença da testemunha (Tabela 6). Entre os momentos de aplicação, a pulverização de prolina aos 6 dias após a irrigação contribuiu para uma maior produtividade, seguido da aplicação ao um dia após a irrigação.

Tabela 6 - Produtividade estimada do tomateiro Vivacy aos 80 e 120 dias após o transplântio.

Momentos de aplicação de prolina (após a irrigação)	Produtividade Estimada (t ha ⁻¹)	
	80 dias após o transplântio	120 dias após o transplântio
Testemunha	22,41	63,07
1 dia	18,71 ^{a*}	69,18 ^{ab*}
3 dias	15,24 ^{a*}	50,19 ^{b*}
6 dias	19,88 ^{a*}	76,71 ^{a*}

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de * indica resultado não significativo ao tratamento testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

4. CONCLUSÕES

A prolina pulverizada na dose de 100 mg L⁻¹ incrementa a massa de matéria seca e o teor de carbono orgânico no tomateiro nas fases de frutificação e final de ciclo.

No tomateiro cultivar Vivacy, as aplicações de prolina a um ou seis dias após a irrigação contribuem para a obtenção de maiores acúmulos de matéria seca.

Na fase de final de ciclo da cultura, a prolina na dose de 100 mg L⁻¹ contribui com maior partição de matéria seca para os frutos.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, M. A.; RIDHA, A.; RUSYID, S. Estimation of biomass potential, carbon stocks, and carbon sequestration of *Trigona* sp. honey bees feed. *In: 2nd Biennial Conference of Tropical Biodiversity*, n. 886, p. 1-7, 2021.

ALI, Q.; ASHRAF, M.; ATHAR, H. U. R. Exogenously applied proline at different growth stages enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. **Pakistan Journal of Botany**, v. 39, n. 4, p. 1133-1144, 2007.

ALICHE, E. B.; THEEUWEN, T. P. J. M.; OORTWIJN, M.; VISSER, R. G. F.; LINDEN, C. G. Carbon partitioning mechanisms in potato under drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 146, p. 211-219, 2020.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 300p. (FAO Irrig. and Drain. Paper, n. 56).

ALMEIDA, V. S.; SILVA, D. J. H.; GOMES, C. N.; ANTONIO, A. C.; MOURA, A. D.; LIMA, A. L. R. Sistema Viçosa para o cultivo de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 074-079, 2015.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013, 472p.

ALTUNTAS, C.; DEMIRALAY, M.; MUSLU, A. S.; TERZI, R. Proline-stimulated signaling primarily targets the chlorophyll degradation pathway and photosynthesis associated processes to cope with short-term water deficit in maize. **Photosynthesis Research**, v. 144, p. 35-48, 2020.

AMBREEN, S.; ATHAR, H.; KHAN, A.; ZAFAR, Z. U.; AYYAZ, A.; KALAJI, H. M. Seed priming with proline improved photosystem II efficiency and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). **BMC Plant Biology**, v. 21, e502, 2021.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267p.

CHAUDHARY, P.; SHARMA, A.; SINGH, B.; NAGPAL, A. K. Bioactivities of phytochemicals present in tomato. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 8, p. 2833-2849, 2018.

CONAB. **Tomate**: análise dos indicadores da produção e comercialização no mercado mundial, brasileiro e catarinense. Brasília: Conab, 2016, 22p.

CUNHA, J. G.; CAVALCANTE, I. H. L.; SILVA, L. S.; SILVA, M. A.; SOUSA, K. A. O.; PAIVA NETO, V. B. Algal extract and proline promote physiological changes in mango trees during shoot maturation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, n. 3, e854, 2022.

DAWOOD, M. G.; KHATER, M. A.; EL-AWADI, M. E. Physiological role of osmoregulators proline and glycinebetaine in increasing salinity tolerance of Chickpea. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 64, n. 12, p. 7637-7648, 2021.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017, 574p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018, 356p.

FARA, S. J.; DELAZARI, F. T.; GOMES, S. R.; ARAÚJO, W. L.; SILVA, D. J. H. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 86-95, 2019.

FELTRIN. **Tomate Vivacy**. 2022. Disponível em: <https://produtor.sementesfeltrin.com.br/tomate/tomate-vivacy?variant_id=99>. Acesso em: 10 jun. 2022.

FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, v. 5, n. 19, p. 2952-2958, 2014.

FIALHO, E. S.; SANTOS, L. G. F. Unidades Mesoclimáticas de Viçosa-MG, na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, n. 18, p. 230-258, 2022.

GRUSZECKI, R.; STAWIARZ, A.; WALASEK-JANUSZ, M. The effects of proline on the yield and essential oil content of Turnip-Rooted Parsley (*Petroselinum crispum* ssp. *tuberosum*). **Agronomy**, v. 12, n. 8, e1941, 2022.

HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; WANI, A. S.; PICHTEL, J.; AHMAD, A. Role of proline under changing environments: a review. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, n. 11, p. 1456-1466, 2012.

HEWITT, J. D.; DINAR, M.; STEVENS, M. A. Sink strength of fruits of two tomato genotypes differing in total fruit solids content. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 107, n. 5, p. 896-900, 1982.

INMET. **Estações automáticas**. 2022. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A510>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

IRVIRING, L. J. Carbon assimilation, biomass partitioning and productivity in grasses. **Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 1116-1134, 2015.

KAUSHAL, N.; GUPTA, K.; BHANDHARI, K.; KUMAR, S.; THAKUR, P.; NAYYAR, H. Proline induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants by protecting vital enzymes of carbon and antioxidative metabolism. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 17, n. 3, p. 203-2013, 2011.

KHALID, M.; REHMAN, H. M. AHMAD, S.; SALEEM, F.; NAWAZ, S.; AHMED, N.; UZAIR, M.; RANA, I. A.; LAM, H.; ZAMAN, Q. U.; ATIF, R. M. Using exogenous melatonin, glutathione, proline, and glycine betaine treatments to combat abiotic stresses in crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 21, e12913, 2022.

KUO, C.; TU, Y. K.; FANG, S. L.; HUANG, Y. R.; CHEN, H. W.; YAO, M.H.; KUO, B. J. Early detection of drought stress in tomato from spectroscopic data: A novel convolutional neural network with feature selection. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 239, e104869, 2023.

LACERDA, F. H. D.; PEREIRA, F. H. F.; NEVES, D. S.; BORGES, F. Q. C.; CAMPOS JÚNIOR, J. E. Aplicação exógena de prolina na redução do estresse salino em meloeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, p. 218-227, 2012.

LAL, M. A. Nitrogen Metabolism. *In*: BHATLA, S. C.; LAL, M. A. (eds) **Plant physiology, development and metabolism**, Springer, 2018, p. 425-479.

LIANG, G.; LIU, J.; ZHANG, J.; GUO, J. Effects of drought stress on photosynthetic and physiological parameters of tomato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 145, n. 1, p. 12-17, 2020.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; DOMBROSKI, J. L. D.; RODRIGUES, G. S. O.; SOARES, A. M.; ARAÚJO, A. P. Análise do crescimento de tomate 'SM-16' cultivado sob diferentes coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 554-561, 2011.

LUCENA, R. R. M. **Crescimento, partição de assimilados e acúmulo de macronutrientes pelo tomateiro 'SM-16' em diferentes coberturas de solo**. 2011. 106p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2011.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G. H. S.; LANDIM, F. M. Yield and water use efficiency for two sweet potato cultivars depending on irrigation depths. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602-606, 2013.

MARTINAZZO, E. G.; PERBONI, A. T.; POSSO, D. A.; AUMONDE, T. Z.; BACARIN, M. A. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de tomateiro cv. Micro-Tom submetidas ao nitrogênio e piraclostrobina. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3001-3012, 2015.

NANJO, T.; FUJITA, M.; SEKI, M.; KATO, T.; TABATA, S.; SHINOZAKI, K. Toxicity of free proline revealed in an *Arabidopsis* T-DNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase. **Plant and Cell Physiology**, v. 44, n. 5, p. 541-548, 2003.

OJEWUMI, A.; AYOOLA, S.; OPE, A.; IYANDA, T. Proline as an osmolyte modulates changes in morphological and physiological attributes of *Capsicum annum* L. under water stress. **Annals of Science and Technology**, v. 8, n. 1, 2023.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, e86, 2014.

OSÓRIO, S.; RUAN, Y-L.; FERNIE, A. R. An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, e516, 2014.

PASTENES, C.; VILLALOBOS, L.; RÍOS, N.; REYES, F.; TURGEON, R.; FRANCK, N. Carbon partitioning to berries in water stressed grapevines: The role of active transport in leaves and fruits, **Environmental and Experimental Botany**, v. 107, p. 154-166, 2014.

PAULA, J. T.; FARIA, J. T. V.; FIGUEIREDO, A. S. T.; SCHWARZ, K.; NEUMANN, E. R. Características físico-químicas e compostos bioativos em frutos de tomateiro colhidos em diferentes estádios de maturação. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 434-440, 2015.

PEIL, R. M. N.; ALBUQUERQUE, NETO A. A. R.; ROMBALDI, C.V. Densidade de plantio e genótipos de tomateiro cereja em sistema fechado de cultivo em substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 234-240, 2014.

POSMIK, M. M.; JANAS, K. M. Effects of seed hydropriming in presence of exogenous proline on chilling injury limitation in *Vigna radiata* L. seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 29, p. 509-517, 2007.

SANTOS, R. H. S.; DIAS, M. S.; REIS, L. S.; PAES, R. A.; SILVA, F. A.; SANTOS, S. C. Cherry tomato cultivation under different levels of irrigation water salinity and root management system. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 10, n. 3, e7364, 2023.

SARKER, U.; OBA, S. Drought stress effects on growth, ROS markers, compatible solutes, phenolics, flavonoids, and antioxidant activity in *Amaranthus tricolor*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, n. 186, p. 999-1016, 2018.

SHARMA, A.; WANG, J.; XU, D.; TAO, S.; CHONG, S.; YAN, D.; LI, Z.; YUAN, H.; ZHENG, B. Melatonin regulates the functional components of photosynthesis, antioxidant system, gene expression, and metabolic pathways to induce drought resistance in grafted *Carya cathayensis* plants. **Science of The Total Environment**, v. 717, e136675, 2020.

SCHMIDT, D.; ZAMBAN, D. T.; PROCHNOW, D.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; PAULA, G. M.; COCCO, C. Caracterização fenológica, filocrono e requerimento térmico de tomateiro italiano em dois ciclos de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 89-96, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017, 888p.

TEAM, POSIT. **RStudio**: integrated development environment for R. Versão: 2023.6.2.561. Boston, MA: Posit Software, 2023. Disponível em: <http://www.posit.co/>. Acesso em: 8 ago. 2023.

ZHANG, Y.; WANG, X.; WANG, Y.; HU, L.; WANG, P. Detection of tomato water stress based on terahertz spectroscopy. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, e1095434, 2023.

ZOUARI, M.; HASSENA, A. B.; TRABELSI, L.; ROUINA, B. B.; DECOU, R.; LABROUSSE, P. Exogenous proline-mediated abiotic stress tolerance in plants: possible mechanisms. *In*: HOSSAIN, M.; KUMAR, V.; BURRITT, D.; FUJITA, M.; MÄKELÄ, P. (eds) **Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants**. Springer, 2019, p. 99-121.

CAPÍTULO 3

ACÚMULO DE MASSA DE MATÉRIA SECA E DE NUTRIENTES PELO TOMATEIRO IRRIGADO A CADA SETE DIAS E CULTIVADO NA ZONA DA MATA MINEIRA

1. INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças mais cultivadas e consumidas *in natura* no mundo, apresentando grande valor nutricional e importância econômica e social. Os frutos são ricos em proteínas, carboidratos e compostos bioativos, além de serem fonte de vitamina C (Martins Filho et al., 2022), mostrando assim, relevância na dieta e alimentação humana.

No Brasil, a tomaticultura corresponde a uma atividade expressiva, possuindo forte participação na geração de renda para a agricultura familiar (Carvalho et al., 2014). No ano de 2022, a produção nacional foi estimada em 3,8 milhões de toneladas (IBGE, 2022).

A cultura do tomateiro é bastante exigente quanto às condições de cultivo, principalmente, quanto às necessidades hídricas. A planta precisa de teores adequados de água em todo seu ciclo, sendo que o efeito causado pela limitação de água, resulta em deficiência hídrica na célula vegetal e redução do potencial osmótico, conseqüentemente, contribuindo para a inibição fotossintética, fechamento dos estômatos e abscisão foliar (Nunes et al., 2019; Taiz et al., 2017).

Além disso, a limitação de água pode contribuir com a deficiência nutricional na planta, visto que é por meio da água que os íons se movimentam da solução do solo para o sistema radicular dos vegetais. Os efeitos negativos da deficiência hídrica afetam diretamente o crescimento, a produção e a qualidade dos frutos do tomateiro (Viol et al., 2017).

Neste contexto, o estudo do acúmulo de nutrientes durante o ciclo de uma cultura possui um papel essencial para os programas de adubação (Morais et al., 2016), auxiliando no fornecimento de nutrientes de forma adequada, ou seja, no momento e na quantidade correta. O conhecimento do acúmulo de nutrientes possibilita determinar a exigência dos elementos requeridos em cada estágio fenológico da cultura, permitindo um melhor entendimento relacionado com a nutrição mineral e adubação (Kurtz et al., 2020; Cremonesi et al., 2019).

Dessa forma, neste trabalho objetivou-se avaliar o acúmulo matéria seca e de nutrientes pelo tomateiro cultivado durante o inverno e irrigado a cada sete dias no município de Viçosa, na região da Zona da Mata de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de condução

O experimento foi realizado em condições de campo no período de abril a agosto de 2022 na Unidade de Pesquisa, Ensino e Extensão (UEPE) Horta Nova, pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e localizada no distrito de São José do Triunfo, em Viçosa (Minas Gerais). A área do trabalho implantado situou-se nas coordenadas 20° 45' 48" S e 49° 26' 09" W, a uma altitude de 666 m.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa (clima subtropical de inverno seco) (Fialho et al., 2022). Os dados referentes a precipitação pluviométrica, temperaturas mínima e máxima do ar e umidade relativa estão apresentados na Figura 1, conforme dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

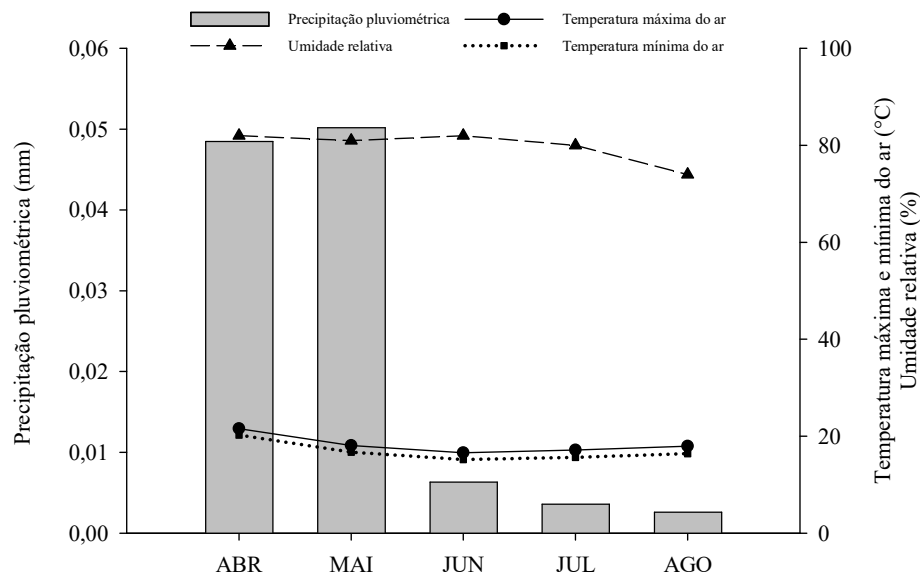


Figura 1 - Valores registrados de precipitação pluviométrica (mm), temperaturas mínima e máxima do ar (°C) e umidade relativa (%) durante a condução do experimento em Viçosa/MG. Fonte: INMET, 2022.

2.2. Produção de mudas

Utilizou-se a cultivar de tomate Vivacy (Feltrin Sementes), de hábito de crescimento indeterminado, ciclo em torno de 90 a 100 dias para início da produção, frutos grandes e de coloração vermelha e alta resistência a murcha de verticílio, murcha de fusário e vírus do mosaico do tomate (Feltrin, 2022).

As mudas de tomate foram produzidas em viveiro comercial, utilizando bandejas de polipropileno de 128 células com substrato comercial à base de fibra de coco. Na semeadura, colocou-se uma semente por célula. O transplante foi realizado quando as mudas apresentavam de 4 a 6 folhas.

2.3. Preparo da área e do solo

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (Embrapa, 2018). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm e, em seguida, realizou-se a caracterização física e química (Tabela 1), seguindo o manual de análise da Embrapa (2017).

Tabela 1 - Análise físico-química do solo na área experimental

Características	Profundidade (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Areia (%)	34	28	21	30	18
Silte (%)	18	19	19	29	24
Argila (%)	48	53	60	41	58
pH (H ₂ O)	5,8	5,4	5,6	5,8	5,8
MO (dag kg ⁻¹)	2,9	1,8	1,0	0,4	0,8
P (mg dm ³)	29,5	9,3	1,8	1,2	1,6
K (mg dm ³)	132	67	39	31	34
Na (mg dm ³)	3	3	4	3	3
Ca (cmol _c dm ³)	3,7	2,9	2,7	2,0	2,5
Mg (cmol _c dm ³)	1,1	0,78	0,77	0,64	0,71
H + Al (cmol _c dm ³)	4,2	2,9	2,9	1,3	1,6
Al (cmol _c dm ³)	0	0	0	0	0

pH em água, relação 1:2,5. P, K e Na: extrator Mehlich 1. Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹. H+AL: extrator Acetado de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0. MO (matéria orgânica): C. org. x 1,724 (Walkley-Black).

O solo foi preparado com aração, gradagem e subsolagem com hastes de 50 cm. Realizou-se gessagem com aplicação de 0,51 kg de gesso por parcela com objetivo de preparar o perfil do solo para estimular o enraizamento pelas plantas. A adubação fosfatada foi realizada utilizando Superfosfato Simples, em que se aplicou 0,076 kg por cova, totalizando 1,6 kg por parcela em superfície e 1,6 kg por parcela em sub superfície.

As demais fontes de nutrientes foram aplicadas via fertirrigação de forma escalonada durante todo o ciclo da cultura e a distribuição seguiu a recomendação de Alvarenga (2013) para o tomateiro. Os fertilizantes e a quantidade aplicada estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Fontes e quantidades dos fertilizantes aplicadas por fertirrigação durante o experimento

Fonte de nutriente	Quantidade aplicada (kg/ha)
Ureia	952,7
Cloreto de Potássio	297,7
Nitrato de Cálcio	297,7
Sulfato de Magnésio	198,4
Sulfato de Zinco	21,8
Sulfato de Manganês	19,8
Ácido Bórico	19,8

2.4. Delineamento experimental e tratamentos

As observações foram tomadas a partir do experimento implantado, em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram das épocas de avaliação (coletas das plantas), que foram realizadas aos 40, 60, 80, 100 e 120 dias após o transplantio.

As parcelas experimentais contaram com 4,0 m de largura e 1,2 m de comprimento, totalizando 4,8 m², com três linhas de plantas cada. Considerou-se área útil a linha central de cada parcela.

2.5. Tratos culturais e manejo da irrigação

As mudas foram transplantadas ao campo com espaçamento de 0,20 m entre plantas e 2,0 m entre linhas. As plantas foram tutoradas adotando-se o Sistema Viçosa (Almeida et al., 2015) para o cultivo do tomateiro. Semanalmente, foram realizadas desbrotas e podas, em que os brotos que se desenvolveram nas axilas das folhas e os brotos terminais das hastes foram eliminados.

Instalou-se o sistema de irrigação localizada por gotejamento, com gotejadores autocompensantes espaçados em 0,20 m, entre si, e vazão de 2,1 L/h. A avaliação de eficiência do sistema foi mensurada determinando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (Mantovani et al., 2013).

Realizou-se a irrigação a cada sete dias conforme a proposta de Fara et al. (2019). A lâmina de irrigação total aplicada foi de 126,01 mm, de acordo com a metodologia de Allen et al. (1998) através da estimativa da evapotranspiração da cultura.

Para impedir a competição com as plantas de cultivo, realizou-se a limpeza da área por capinas manuais para a retirada de plantas invasoras.

2.6. Preparo das amostras

Para o preparo das amostras, plantas de tomate foram coletadas e separadas em caules, folhas e frutos e posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Análise de Tecidos Vegetais do Departamento de Agronomia da UFV. As coletas foram realizadas aos 40, 60, 80, 100 e 120 dias após o transplântio, abrangendo o ciclo de crescimento e pico de produção da cultura em estudo.

As partes separadas oriundas das plantas foram lavadas com água ultra pura, acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas para estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção de massa constante. Posteriormente, as partes foram pesadas e moídas com auxílio de moinho tipo Willey, equipado com peneira de 20 mesh.

As amostras foram armazenadas em sacos de papel e devidamente identificadas para realização da digestão e, posteriormente, a determinação dos teores de macronutrientes (fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)) e micronutrientes (manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e ferro (Fe)).

2.7. Determinação dos teores de nutrientes

Após a mineralização e obtenção dos extratos, foram determinados os teores de: Ca, Mg, Mn, Zn, Fe e Cu pelo método de espectrofotometria de absorção atômica; K pelo método de fotometria de emissão de chama (Tedesco et al., 1995) e P por colorimetria, empregando o método de redução do fosfomolibdato pela Vitamina C, conforme descrito por Braga; Defelipo (1974).

2.8. Características avaliadas

O acúmulo de macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Mn, Cu, Fe e Zn) em cada órgão da planta foi obtido através da multiplicação dos teores de nutrientes pelo valor da massa de matéria seca, conforme Equação 1. Para a obtenção do acúmulo na planta, realizou-se a soma do acúmulo dos órgãos.

$$Acúmulo = MS \times T \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

Acúmulo: acúmulo de nutrientes*;

MS: massa de matéria seca (kg);

T: Teor de nutriente*.

* (g/kg para macronutrientes e mg/kg para micronutrientes).

Para a obtenção das curvas de acúmulo de massa matéria seca e de nutrientes, foram consideradas as médias do tratamento testemunha em cada época de avaliação do experimento implantado.

A taxa máxima de acúmulo diário de nutrientes foi obtida pela determinação do ponto de inflexão das curvas de equações de modelo polinomial e sigmoidal.

2.9. Análise estatística

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise de regressão. Na análise de regressão, os modelos foram escolhidos de acordo com a significância dos coeficientes de

regressão, o coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo, utilizando o programa SigmaPlot® (Inpixon, 2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Acúmulo de massa matéria seca

O acúmulo de massa de matéria seca pelas plantas apresentou comportamento crescente, com máximo acúmulo estimado de 364,45 g/planta, obtido aos 120 dias após o transplântio (Figura 2). Na fase inicial da cultura, observou-se lento acúmulo de matéria seca pelas folhas e caules, entretanto, posteriormente apresentaram crescimento com tendência de estabilização aos 79 e 105 dias após o transplântio, respectivamente.

De acordo com Pace et al. (1999), o lento crescimento inicial das plantas ocorre devido ao uso de mais energia para a fixação no solo, sendo as raízes, nessa fase, são o dreno preferencial dos fotoassimilados. Dessa forma, o acúmulo de matéria seca na parte aérea é reduzido.

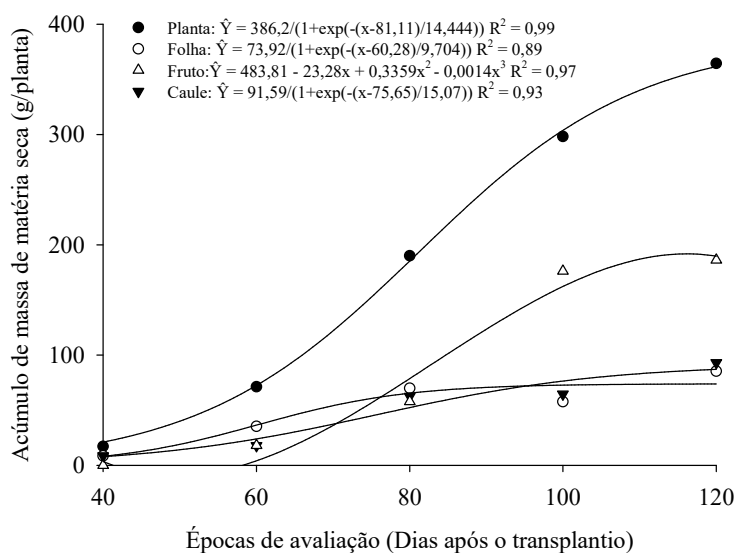


Figura 2 - Acúmulo de massa de matéria seca em plantas de tomate irrigadas a cada sete dias na região da Zona da Mata Mineira.

A partir dos 71 dias após o transplântio, verificou-se que os frutos apresentaram significativamente aumento na produção de matéria seca, com tendência de estabilização a partir dos 98 dias após o transplântio (Figura 2). O máximo acúmulo de matéria seca de frutos foi estimado em 186,27 g/planta aos 120 dias após o transplântio.

Em estudo com a cultivar Santa Clara, Fayad et al. (2002) obtiveram acúmulo total de 406,3 g/planta e nos frutos de 207,0 g/planta. Já Duarte et al. (2023) ao trabalharem com as cultivares Stella TY (grupo Salada) e HS 1188 (grupo Italiano), verificaram acúmulo total de 686,97 g/planta e 606,93 g/planta, respectivamente, aos 126 dias após o transplântio, resultados superiores ao encontrado no presente trabalho.

A diferença na produção de matéria seca do tomateiro verificada na literatura, está relacionada com a variabilidade em relação a fatores genéticos, ambientais e/ou a tratos culturais. Há cultivares que foram desenvolvidas para possuir melhor adaptabilidade em determinadas regiões, em que influencia no ciclo e na eficiência da produção de biomassa. Segundo Santos (2018), tomates do grupo Salada possuem maior produção de matéria seca em relação ao Italiano, grupo em que a cultivar utilizada no presente trabalho é classificada. Além disso, a matéria seca pode ser afetada pela intensidade de luz, temperatura e disponibilidade hídrica (Qaderi et al., 2023).

3.2. Acúmulo de nutrientes

Entre os macronutrientes estudados, o K foi o macronutriente acumulado em maior quantidade pelo tomateiro, resultado também observado por outros autores em cultivo hidropônico e em campo (Duarte et al., 2023; Prado et al., 2011). Na planta, observou-se um acúmulo crescente do nutriente até os 99 dias após o transplântio, aproximadamente (Figura 3A), sendo aos 76 dias DAT verificada a taxa máxima de acúmulo diário (8,57 g/planta/dia). Verificou-se valor de acúmulo máximo estimado em 10,45 g/planta.

O fruto foi o órgão que mais acumulou K, com conteúdo máximo (6,77 g/planta) alcançado aos 96 dias após o transplântio. Comportamento semelhante foi observado por Betancourt e Pierre (2013), que observou acúmulo de K também maior nos frutos ao estudarem o desempenho do tomateiro cultivar Alba. Em estudo com o tomateiro cultivar Caeté, Abreu et al. (2018) obtiveram acúmulo máximo de K estimado em 8,3 g/planta e 6,1 g/planta para a planta inteira e frutos, respectivamente, aos 99 dias após o transplântio.

Na literatura, algumas diferenças são encontradas no acúmulo de nutrientes. Isso é comum devido a distinção entre cultivares, que possuem características genéticas próprias. Além disso, outros fatores podem influenciar na absorção de nutrientes, como as condições ambientais (Lucena et al., 2013) e os tratos culturais.

O K é o macronutriente mais acumulado pela maioria das hortaliças, sendo que, no tomateiro, tem papel fundamental para a fixação dos frutos, visando a diminuição de quedas

durante os estádios de formação e amadurecimento (Filgueira, 2008; Alvarenga, 2013). De acordo com Bodale et al. (2021), o K é mais requisitado pela planta nos momentos de floração e frutificação, o que também foi observado no presente estudo no período de 60 a 80 dias após o transplântio.

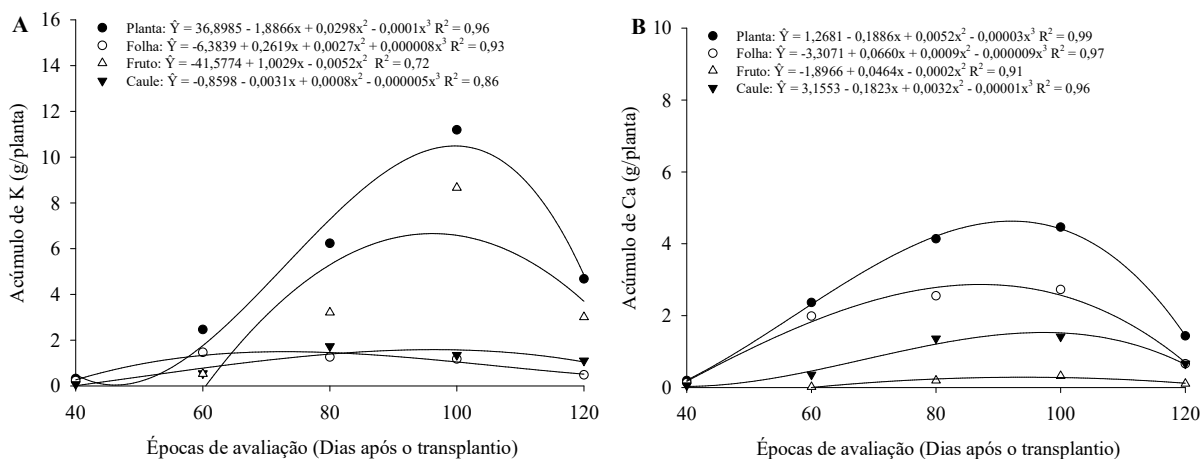


Figura 3 - Acúmulo de K (A) e Ca (B) pelas plantas de tomateiro irrigadas a cada sete dias.

Dentre os estudados, o Ca foi o segundo macronutriente mais acumulado pelo tomateiro Vivacy. O acúmulo total apresentou crescimento até os 92 dias após o transplântio, com valor máximo estimado de 4,62 g/planta (Figura 3B). Resultado aproximado também foi encontrado por Moraes et al. (2018), que estudando a cultivar Pomerano, observaram acúmulo de 6,8 g/planta aos 111 dias após o transplântio. A taxa máxima de acúmulo diário ocorreu aos 57 dias após o transplântio, com 2,02 g/planta/dia.

Maior conteúdo de Ca foi observado principalmente na parte aérea (folhas e caules), resultado também observado por Omana e Pena (2015) em estudo com o balanço de nutrientes em tomateiro. O maior acúmulo de Ca nas folhas é motivado pelo fato de apresentarem taxas de transpiração mais elevadas e ainda, devido este elemento ser transportado principalmente pelo xilema, apresentando baixa redistribuição (Cecílio Filho et al., 2018; Teixeira et al., 2014).

O Ca é um nutriente que apresenta várias funções importantes para o desenvolvimento do tomateiro, participando da estabilização da membrana plasmática e dos constituintes da pectina na parede celular (Reitz et al., 2021; Hocking et al., 2016). Além disso, exerce efeito protetor contra a podridão apical nas flores e nos frutos, distúrbio fisiológico que pode reduzir de forma significativa a produtividade da cultura (Azad et al., 2019).

Dentre os nutrientes estudados, o P foi o terceiro mais acumulado pelo tomateiro, apresentando crescimento no conteúdo até os 97 dias após o transplântio, com o acúmulo

máximo estimado de 1,73 g/planta, aproximadamente (Figura 4A). A taxa máxima de acúmulo diário ocorreu até aos 71 dias após o transplântio, alcançando 1,06 g/planta/dia. Entre os órgãos da planta, a maior partição do P foi requerida pelos caules, no qual se verificou máximo acúmulo (1,53 g/planta) aos 97 dias após o transplântio. Resultados semelhantes foram observados por Almeida Neta et al. (2021), que avaliando o efeito de NPK na nutrição do tomateiro cultivar BRS Sena, obtiveram acúmulo de 1,60 g/planta de P.

Quando comparada com a de outros nutrientes, a quantidade de P requerida pelas plantas é relativamente baixa, no entanto, este é um elemento essencial que estimula o crescimento e o desenvolvimento do tomateiro (Bodale et al., 2021; Higo et al., 2020; Marschner, 2012). O P atua no metabolismo das plantas participando de processos de transferência de energia celular, respiração e fotossíntese (Shabnam; Iqbal, 2022).

Após este período, uma redução no conteúdo da maioria dos nutrientes foi observada com tendência decrescente. Este resultado pode ser motivado em razão da realização de colheitas de frutos e proximidade com o final do ciclo da cultura, com o início do período de senescência.

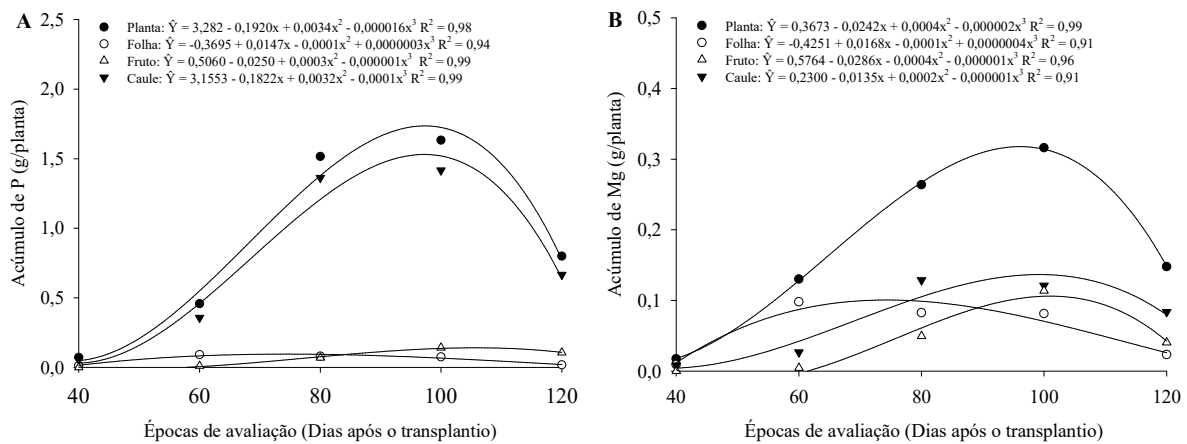


Figura 4 - Acúmulo de P (A) e Mg (B) pelas plantas de tomateiro irrigadas a cada sete dias.

O Mg, dentre os estudados, foi o macronutriente menos acumulado pelo tomateiro. Na planta, o conteúdo de Mg apresentou comportamento crescente até 95 dias após o transplântio, com acúmulo máximo estimado de 0,31 g/planta (Figura 4B). Para este nutriente, a taxa máxima de acúmulo diário ocorreu aos 66 dias após o transplântio, com 0,17 g/planta/dia. Como observado no cálcio, o Mg acumulou-se de forma prioritária em folhas e caules. Em trabalho com a cultivar Raísa, Prado et al. (2011) observaram resultados próximos comparado ao encontrado no presente estudo, com acúmulo máximo de 0,68 g/planta.

Possuindo grande importância nas fases vegetativa e reprodutiva das plantas, o Mg atua como um elemento chave em diversas funções, como na constituição da clorofila, na formação de ATP em cloroplastos, síntese de proteínas e como ativador enzimático (Gemin et al., 2023; Moraes, et al., 2018). De acordo com Taiz et al. (2017), o Mg tem um papel específico na ativação de enzimas ligadas na respiração e na fotossíntese.

Dentre os micronutrientes analisados, o Mn foi o mais exigido, apresentando um acúmulo total de 35,78% do total de micronutrientes contidos nas plantas estudadas. O acúmulo foi lento no início do ciclo da cultura, no entanto, se manteve até o fim da colheita, registrando máximo estimado de 41,84 mg/planta aos 120 dias após o transplântio (Figura 5A). A taxa máxima de acúmulo diário de Mn ocorreu aos 65 dias após o transplântio. Neste momento também houve maior acúmulo nos caules, dado o baixo transporte para os frutos.

Resultados semelhantes aos do presente estudo foram encontrados por Moraes et al. (2018) ao avaliarem as cultivares Gault e Pomerano, em que obtiveram máximos acumulados de 55,7 mg/planta e 68,2 mg/planta, respectivamente. De acordo com os mesmos autores, o Mn foi o elemento acumulado em maior quantidade entre os micronutrientes, como também o observado por Duarte et al. (2023) em estudo com acúmulo de nutrientes em tomates cultivados em ambiente protegido.

Segundo Diógenes (2016), a absorção de nutrientes pelo tomateiro é mínima até o surgimento das primeiras flores, sendo que a absorção aumenta de forma significativa na fase de pegamento e crescimento dos frutos, como observado no período de 60 a 80 dias após o transplântio no presente estudo.

O Mn tem suas funções voltadas principalmente para a ativação de enzimas, como as descarboxilases e as desidrogenases (Taiz et al., 2017). Além disso, está ligado a diversos outros processos, a exemplo de desintoxicação de espécies reativas de oxigênio, ativação hormonal, biossíntese de aminoácidos, ligninas e flavonóides (Alejandro et al., 2020; Kleiber; Grajek, 2015).

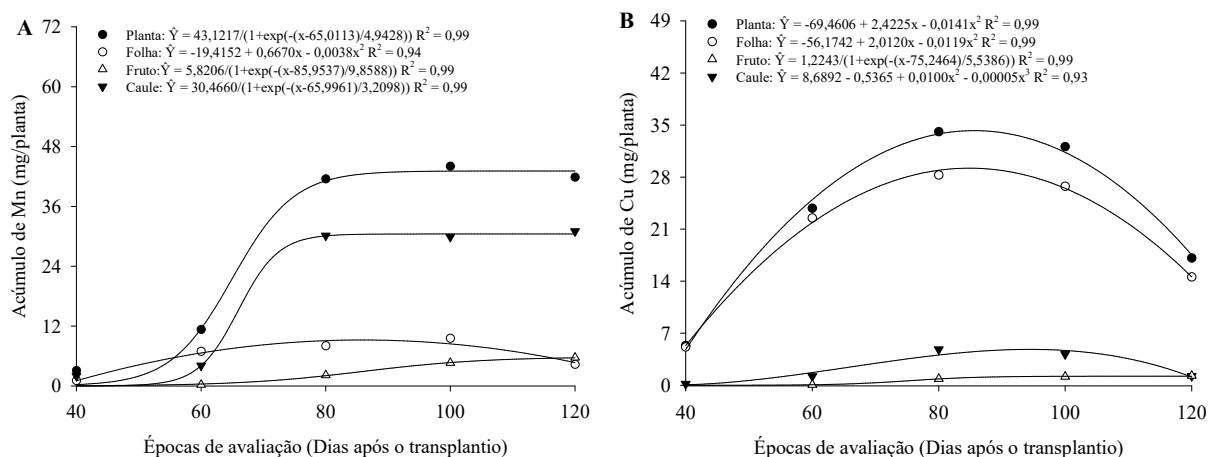


Figura 5 - Acúmulo de Mn (A) e Cu (B) pelas plantas de tomateiro irrigadas a cada sete dias.

Dentre os micronutrientes analisados o Cu foi o segundo micronutriente mais acumulado pelo tomateiro e apresentou comportamento crescente até atingir o máximo acúmulo de 34,59 mg/planta aos 86 dias após o transplantio (Figura 5B). As folhas foram o órgão que apresentou maior quantidade de Cu, com acúmulo máximo (29,22 mg/planta) observado aos 84 dias após o transplantio e, em seguida, um declínio no conteúdo do nutriente.

Comportamento dessemelhante foi observado por Fayad et al. (2002), que estudando o conteúdo de nutrientes pelo tomateiro cultivar Santa Clara e EF-50, observaram um acúmulo crescente de Cu até o final do ciclo da cultura. Maior acúmulo de Cu na planta foi observado por Purquerio et al. (2016) em estudo com as cultivares Dominador e Serato, em que obtiveram máximo estimado em 119,0 mg/planta e 118,6 mg/planta, respectivamente.

Dentre os micronutrientes em estudo, o Fe foi o terceiro mais acumulado pelas plantas. Durante o ciclo, observou-se um comportamento crescente e seguida tendência de estabilização, com valor máximo acumulado de 30,92 mg/planta aos 120 dias após o transplantio. A taxa máxima de acúmulo diário ocorreu aos 53 dias após o transplantio (Figura 6A).

De acordo com Prado (2008), na última fase de absorção, o acúmulo de certos elementos pode estabilizar ou até diminuir, situação que foi notada no acúmulo de macro e micronutrientes no presente estudo. Este comportamento está relacionado com a colheita de frutos, em que parte dos nutrientes são exportados.

Dentre os órgãos da planta, as folhas foram as que mais exigiram Fe, apresentando acúmulo máximo (21,50 mg/planta) aos 89 dias após o transplantio, e posteriormente, tendência de redução. Resultado semelhante foi encontrado por Fayad et al. (2002), que observaram acúmulo máximo de Fe aos 104 dias pelo tomateiro híbrido EF-50 e, logo após, diminuição no conteúdo do elemento.

O Fe tem sua atividade voltada a diversos processos metabólicos e fisiológicos na planta, estando envolvido na fotossíntese e respiração, além de atuar como cofator enzimático e catalizador na formação de clorofila (Gao; Dubos, 2021; Raiesi-Ardali et al., 2022; Ay et al., 2022).

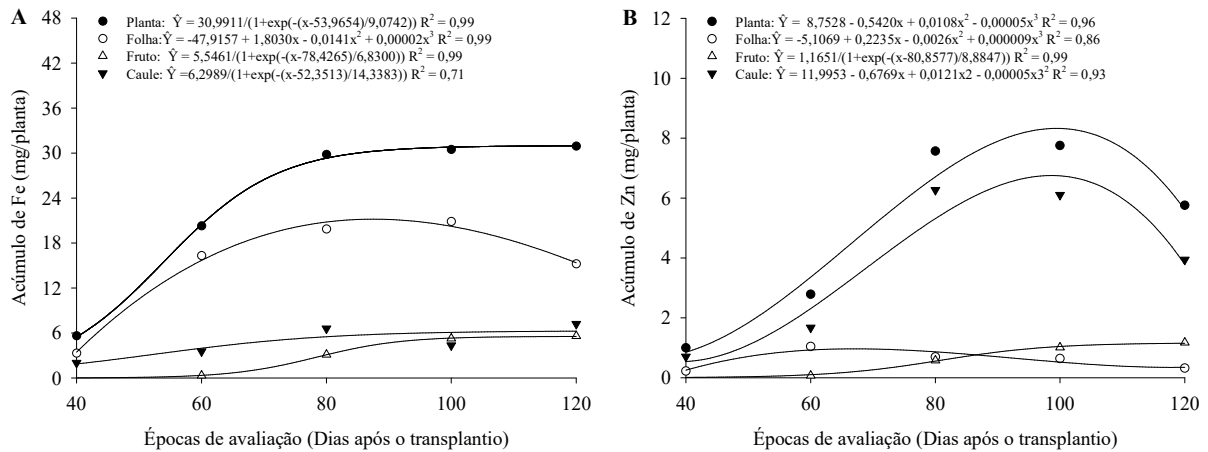


Figura 6 - Acúmulo de Fe (A) e Zn (B) pelas plantas de tomateiro irrigadas a cada sete dias.

Dentre os estudados, Zn foi o micronutriente menos acumulado pelas plantas. Na planta, verificou-se uma tendência crescente com posterior estabilização, em que o acúmulo máximo foi estimado em 8,31 mg/planta aos 99 dias após o transplantio (Figura 6B). O ponto da taxa máxima de acúmulo diário ocorreu aos 72 dias após o transplantio, com 5,58 g/planta/dia. Entre órgãos da planta, os caules foi o que mais apresentou acúmulo de Zn, com valor máximo estimado de 6,76 mg/planta aos 98 dias após o transplantio, aproximadamente.

Os grupos de variedades de tomate possuem características e exigências específicas, quanto ao crescimento, necessidade hídrica e nutricional e preferência ao tipo de solo e clima. Estes fatores podem interferir na absorção e acúmulo de nutrientes pelas plantas (Fageria, 1998), o que explica a variabilidade existente de resultados na literatura.

De forma geral, o acúmulo de nutrientes acompanhou o crescimento da planta, e foi intensificado nas fases frutificação e enchimento dos frutos. Esse fato é comum porque é nesta etapa que ocorre um aumento da atividade metabólica que, como consequência, há a mobilização de nutrientes e fotoassimilados da parte vegetativa para os frutos (Taiz; Zeiger, 1991).

Considerando a população de 25.000 plantas ha^{-1} , o acúmulo máximo de macronutrientes na planta inteira foi 261,25; 115,50; 43,25 e 7,75 kg ha^{-1} para K, Ca, P e Mg,

respectivamente. Considerando a mesma população de plantas para os micronutrientes, o acúmulo máximo foi 1,04; 0,86; 0,77 e 0,20 kg ha⁻¹ para Mn, Cu, Fe e Zn, respectivamente.

A produtividade estimada obtida na última época de avaliação (120 dias após o transplântio), foi de 63,07 t ha⁻¹.

4. CONCLUSÕES

O tomateiro Vivacy apresenta acúmulo crescente de massa de matéria seca ao longo do ciclo.

A ordem decrescente de acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na planta inteira do tomateiro cultivar Vivacy, foi K<Ca<P<Mg e Mn<Cu<Fe<Zn, respectivamente.

Maiores taxas de acúmulo diário de nutrientes são obtidas no período de 57 a 76 dias após o transplântio, nas fases de floração e frutificação, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ABREU, D. T. B.; OLIVEIRA, F. H. T.; QUEIROGA, F. M.; MOURA, A. C. C.; CARVALHO, S. L.; TAVARES, H. A. M. Accumulation of dry matter and macronutrients by the Caeté tomato under field conditions. **DYNA**, v. 85, n. 207, p. 101-106, 2018.

ALEJANDRO, S.; HÖLLER, S.; MEIER, B. PEITER, E. Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, e300, 2020.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 300p. (FAO Irrig. and Drain. Paper, n. 56).

ALMEIDA NETA, M. N.; MOTA, W. F.; PEGORARO, R. F.; BATISTA, C. M.; SILVA, A. R. S.; SILVA, P. D. S.; PACHECO, M. C. Are biomass partitioning and nutriente accumulation in industrial tomato influenced by NPK fertilization?. **Comunicata Scientiae**, v. 12, e3354, 2021.

ALMEIDA, V. S.; SILVA, D. J. H.; GOMES, C. N.; ANTONIO, A. C.; MOURA, A. D.; LIMA, A. L. R. Sistema Viçosa para o cultivo de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 074-079, 2015.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013, 472p.

AY, A.; DEMIRKAYA, S.; KIZILKAYA, R.; GÜLSER, C. The effects of two Fe-EDDHA chelated fertilizers on dry matter production and Fe uptake of tomato seedlings and Fe forms of a calcareous soil. **Eurasian Journal of Soil Science**, v. 11, n. 3, p. 259-265, 2022.

AZAD, M.; ISLAM, M.; HOSSSEN, M.; EATON, T. Yield and fruit quality of tomato as influenced by calcium and mulching in rooftop cultivation. **Agricultural Sciences**, v. 10, n. 7, p. 893-902, 2019.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, p. 73-85, 1974.

BETANCOURT, P.; PIERRE, F. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. Var. Alba) em casas de cultivo em Quíbor, estado Lara. **Bioagro**, v. 25, p. 81-188, 2013.

BODALE, I.; MIHALACHE, G.; ACHIȚEI, V.; TELIBAN, G-C.; CAZACU, A.; STOLERU, V. Evaluation of the nutrients uptake by tomato plants in different phenological stages using an electrical conductivity technique. **Agriculture**, v. 11, n. 4, e292, 2021.

CARVALHO, C. R. F.; PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M.; SOUZA, C. L. M.; SOUSA, E. F. Viabilidade econômica e de risco da produção de tomate no município de Cambuci/RJ, Brasil. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2293-2299, 2014.

CECÍLIO FILHO, A. B.; REYES, S. M.; ANCHESCHI FILHO, J. A.; SCHIAVON JUNIOR, A. A.; BARBOSA, J. C. Growth and accumulation of nutrients of 'Top Gun' watermelon. **Científica**, v. 46, n. 4, p. 367-379, 2018.

CREMONESI, M. V.; RAMALHO, B.; GOLFETTO, P.; KREPKI, L. S.; PAULETTI, V. Marcha de absorção, taxa de acúmulo e exportação de micronutrientes e alumínio pelo tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 13-23, 2019.

DIÓGENES, T. B. A. **Acúmulo de matéria seca e nutrientes e resposta do tomateiro caeté a doses de nitrogênio e fósforo**. 2016. 88f. Tese (Doutorado em Manejo e Água e Solo) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

DUART, A. M.; MATTAR, G. S.; CESAR, T. Q. Z.; SALA, F. C.; PURQUERIO, L. F. V. Nutritional accumulation for salad and italian tomatoes grown in a protected environment. **Engenharia Agrícola**, v. 43, n. 1, e20210206, 2023.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017, 574p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018, 356p.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FARA, S. J.; DELAZARI, F. T.; GOMES, S. R.; ARAÚJO, W. L.; SILVA, D. J. H. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 86-95, 2019.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. Z.; CARDOSO, A. A.; FINGER, F. L.; FERREIRA, F. A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 90-94, 2002.

FELTRIN. **Tomate Vivacy**. 2022. Disponível em: <https://produtor.sementesfeltrin.com.br/tomate/tomate-vivacy?variant_id=99>. Acesso em: 10 jun. 2022.

FIALHO, E. S.; SANTOS, L. G. F. Unidades Mesoclimáticas de Viçosa-MG, na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, n. 18, p. 230-258, 2022.

FILGUEIRA, F. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008, 421p.

GAO, F.; DUBOS, C. Transcriptional integration of plant responses to iron availability. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 6, p. 2056-2070, 2021.

GEMIN, L. G.; LARA, G. B.; MÓGOR, A. F.; MAZARO, S. R.; SANTOS, B. F. S.; MÓGOR, G.; AMATUSSI, J. O.; CORDEIRO, E. C. N.; MARQUES, H. M. C. Polysaccharides combined to copper and magnesium improve tomato growth, yield, anti-oxidant and plant defense enzymes. **Scientia Horticulturae**, v. 310, e. 111758, 2023.

HIGO, M.; AZUMA, M.; KAMIYOSHIHARA, Y.; KANDA, A.; TATEWAKI, Y.; ISOBE, K. Impact of phosphorus fertilization on tomato growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Microorganisms**, v. 8, n. 2, p. 1-16, 2020.

HOCKING, B.; TYERMAN, S. D.; BURTON, R. A.; GILLIHAM, M. Fruit calcium: transport and physiology. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-17, 2016.

IBGE. **Produção de Tomate no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>>. Acesso em 31 out. 2023.

INMET. **Estações automáticas**. 2022. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A510>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

INPIXON. **SigmaPlot for Windows Version 15**. Versão: 15.0.0.13. Palo Alto, CA: Inpixon, 2022. Disponível em: <https://systatsoftware.com/sigmaplot/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

KURTZ, C.; FAYAD, J. A.; VIEIRA NETO, J. Dinâmica de crescimento e absorção de nutrientes pelo cultivar de cebola Epagri 363 Superprecoce. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p.74696-74714, 2020.

KLEIBER, T.; GRAJEK, M. Tomato reaction on excessive manganese nutrition. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 21, n. 1, p. 118-125, 2015.

LUCENA, R. R. M.; NEGREIROS, M. Z.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, T. M. V.; BESSA, A. T.; LOPES, W. A. R. Acúmulo de massa seca e nutrientes pelo tomateiro 'SM-16' cultivado em solo com diferentes coberturas. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 401-406, 2013.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G. H. S.; LANDIM, F. M. Yield and water use efficiency for two sweet potato cultivars depending on irrigation depths. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602-606, 2013.

MARTINS FILHO, J. B.; CREMASCO, J. P.; NORIS, F. J.; SANTOS, R. M.; SANTOS, J. S. P.; PAI, A. D.; PAI, E. D. Demanda hídrica do tomate de mesa no município de Paranapuã-SP em diferentes épocas de plantio. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, e18111628797, 2022.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. London: Elsevier, 2012. 643p.

MORAES, C. C.; ARAÚJO, H. S.; FACTOR, T. L.; PURQUERIO, L. F. V. Fenologia e acumulação de nutrientes por cebola de dia curto em semeadura direta. **Revista Ciência Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 281-290, 2016.

MORAES, A. C.; FACTOR, T. L.; ARAÚJO, H. S.; PURQUERIO, L. F. V. Plant growth and nutrient accumulation in two tomato hybrids under tropical conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 9, p. 1419-1425, 2018.

NUNES, A. M. C.; NUNES, L. R. L.; RODRIGUES, A. J. O.; UCHOA, K. S. A. Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 239-258, 2019.

OMANA, H. G.; PENA, H. Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. **Bioagro**, v. 27, n. 2, p. 111-120, 2015.

PACE, P. F.; CRALLE, H. T.; EL-HALAWANY, S. H. M.; COTHREN, J. T.; SENSEMAN, S. A. Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. **The Journal of Cotton Science**, v. 3, n. 1, p. 183-187, 1999

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**, São Paulo: Editora Unesp, 2008. 407p.

PRADO, R. M.; SANTOS, V. H. G.; GONDIM, A. R.O.; ALVES, A. V.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CORREIA, M. A. R. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes em tomateiro cultivar Raísa cultivado em sistema hidropônico. **Semina: Ciências Agrária**, v. 32, p.19-30, 2011.

PURQUERIO, L. F. V.; SANTOS, F. F. B.; FACTOR, T. L. Nutrient uptake by tomatoes Dominador and Serato grown in São Paulo State, Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 1, p. 35-40, 2016.

QADERI, M. M.; MARTEL, A. B.; STRUGNELL, C. A. Environmental factors regulate plant secondary metabolites. **Plants**, v. 12, n. 3, e447, 2023.

RAIESI-ARDALI, T.; MA'MANI, L.; CHOROM, M.; MOEZZI, A. Improved iron use efficiency in tomato using organically coated iron oxide nanoparticles as efficient bioavailable Fe sources. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 9, p. 1-16, 2022.

REITZ, N. F.; SHACKEL, K. A.; MITCHAM, E. J. Differential effects of excess calcium applied to whole plants vs. excised fruit tissue on blossom-end rot in tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 290, e110514, 2021.

SANTOS, F. F. **Acúmulo de nutrientes em tomateiro e adubação potássica na produtividade e qualidade de fruto**. 2018. 122 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2018.

SHABNAM, R.; IQBAL, M. T. Understanding phosphorus dynamics on wheat plant under split-root system in alkaline soil. **Brazilian Journal of Science and Technology**, v. 3, p. 1-16, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology: mineral nutrition**. Redwood City: The Benjamin Cummings Publishing, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017, 888p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS - Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, M. V.; OLIVEIRA, C. P. M.; SANTOS, M. L.; PINTAR, A. F.; OLIVEIRA, F. L. Influência dos nutrientes na formação de massa seca da melancia sem sementes. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 3, p. 31-40, 2014.

VIOL, M. G.; CARVALHO, J. A.; LIMA, E. M. C.; MATTOS, R. W.; REZENDE, F. C.; RODRIGUES, J. L. M. Déficit hídrico e produção do tomate cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p. 1244-1253, 2017.