

**ANÁLISE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO NO TOMATEIRO EM CULTIVO PROTEGIDO NO NOROESTE DO PARANÁ*****ECONOMIC EVALUATION OF SILICON APPLICATION IN PROTECTED TOMATO CULTIVATION IN NORTHWESTERN PARANÁ******ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA APLICACIÓN DE SILICIO EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO INVERNADERO EN EL NOROESTE DEL PARANÁ***Gustavo Soares Wenneck<sup>1</sup>, Roberto Rezende<sup>2</sup>, Reni Saath<sup>3</sup>, Adriely Cristina dos Santos<sup>4</sup>, Nathália de Oliveira Sá<sup>5</sup>

e757786

<https://doi.org/10.47820/recima21.v7i5.7786>

PUBLICADO: 05/2026

**RESUMO**

O estudo teve como objetivo analisar a viabilidade econômica da aplicação de silício em cultivo protegido de tomate no noroeste do Paraná. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com diferentes níveis de irrigação (60 e 100% da evapotranspiração da cultura) e formas de aplicação de silício (sem aplicação, foliar e via solo). Os custos de produção foram calculados para cada tratamento, considerando o manejo específico. A análise econômica considerou a produtividade média de cada tratamento, extrapolada para uma área de 175 m<sup>2</sup>. Foram analisados custos fixos, custos variáveis, custo da aplicação do silício, retorno econômico, balanço econômico e incremento relativo à aplicação do silício na cultura. A irrigação com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura - ETc proporcionou maior rentabilidade à cultura. A aplicação de silício, tanto via solo quanto foliar, em todas as condições hídricas, aumentou significativamente o retorno financeiro em comparação ao tratamento sem a aplicação do elemento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Elemento benéfico. Horticultura. *Solanum lycopersicum* L.**ABSTRACT**

*The objective of this study was to analyze the economic feasibility of silicon application in protected tomato cultivation in northwestern Paraná, Brazil. The experiment was conducted in a greenhouse, using different irrigation levels (60 and 100% of crop evapotranspiration) and silicon application methods (no application, foliar, and soil application). Production costs were calculated for each treatment, considering the specific management practices. The economic analysis considered the average yield of each treatment, extrapolated to an area of 175 m<sup>2</sup>. Fixed costs, variable costs, silicon application costs, economic return, economic balance, and the relative increase due to silicon application were all evaluated. Irrigation with 100% replacement of crop evapotranspiration (ETc) resulted in higher crop profitability. Silicon application, whether via soil or foliar spray, under all irrigation conditions, significantly increased financial returns compared to the treatment without silicon.*

**KEYWORDS:** Beneficial element. Horticulture. *Solanum lycopersicum* L.

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM) / Centro Universitário Integrado.

<sup>2</sup>Engenheiro Agrícola, Doutor em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM).

<sup>3</sup>Engenheira Agrícola, Doutora em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM).

<sup>4</sup>Engenheira de Alimentos, Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

<sup>5</sup>Engenheira Agrônoma, Mestre em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM).



### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo analizar la viabilidad económica de la aplicación de silicio en el cultivo protegido de tomate en el noroeste del Paraná. El experimento fue conducido en invernadero, con diferentes niveles de riego (60% y 100% de la evapotranspiración del cultivo) y formas de aplicación de silicio (sin aplicación, foliar y vía suelo). Los costos de producción fueron calculados para cada tratamiento, considerando el manejo específico. El análisis económico consideró la productividad media de cada tratamiento, extrapolada a un área de 175 m<sup>2</sup>. Se analizaron costos fijos, costos variables, costo de la aplicación de silicio, retorno económico, balance económico e incremento relativo de la aplicación de silicio en el cultivo. El riego con reposición del 100% de la evapotranspiración del cultivo – ETc proporcionó mayor rentabilidad al cultivo. La aplicación de silicio, tanto vía suelo como foliar, en todas las condiciones hídricas, aumentó significativamente el retorno financiero en comparación con el tratamiento sin la aplicación del elemento.

**PALABRAS CLAVE:** Elemento benéfico. Horticultura. *Solanum lycopersicum* L.

### INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças mais cultivadas no Brasil, com produção superior a 4 milhões de toneladas em 2023, destacando-se pela sua relevância socioeconômica e pela elevada demanda por insumos e tecnologias que aumentem a produtividade e qualidade dos frutos (IBGE, 2024; Silva et al., 2022).

O silício tem sido descrito como um elemento benéfico que, apesar de não ser essencial, promove efeitos positivos no crescimento e tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos, como salinidade, seca e ataque de patógenos (Etesami & Jeong, 2023; Luyckx et al., 2017). A aplicação de silício em culturas olerícolas, como o tomate, tem demonstrado potencial para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos frutos (Soares-Wenneck et al., 2021; Wenneck et al., 2023). Embora existam estudos que evidenciem os benefícios fisiológicos e produtivos do silício, a análise de sua viabilidade econômica ainda é escassa, especialmente em cultivos protegidos (Olle, 2020; Thorne et al., 2020).

Considerando os potenciais benefícios fisiológicos do silício e a escassez de estudos econômicos em sistemas protegidos, parte-se da hipótese de que a aplicação de silício pode aumentar a produtividade e a rentabilidade do tomateiro cultivado sob diferentes manejos hídricos. Dessa forma, o estudo teve como objetivo avaliar o impacto econômico da aplicação de silício em tomate cultivado sob diferentes níveis de irrigação.

### 1. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Centro Técnico de Irrigação (CTI-UEM), no município de Maringá-PR, cuja classificação climática é Cfa (Nitsche et al., 2019). O tomate foi cultivado em



ambiente protegido (175 m<sup>2</sup>). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com dois níveis de reposição hídrica (60 e 100% da evapotranspiração da cultura - ETc) e quatro formas de aplicação do silício (sem aplicação, foliar, solo em dose única, solo em dose parcelada e aplicação foliar), com quatro repetições.

O solo, classificado como NITOSSOLO VERMELHO distroférrico (Santos et al., 2018), com textura argilosa foi previamente preparado com motocultivador. As mudas (Contratack/Grazianni) foram transplantadas em canteiros de (3 x 0,5 m), com espaçamento entre plantas de 0,75 m. Nos tratamentos com aplicação de silício no solo, foram utilizados 100 kg ha<sup>-1</sup> de Si. No transplante foi realizada a aplicação total do silício nos tratamentos com dose única, enquanto nos tratamentos parcelados a dose foi dividida em três aplicações (0, 30 e 60 dias após o transplante - DAT). Foi utilizado na aplicação foliar 1 g de Si L<sup>-1</sup> de água, com um volume de calda de 100 mL planta<sup>-1</sup> aplicado em intervalos de 15 dias a partir do transplante das mudas.

Os custos fixos de produção foram determinados considerando a metodologia descrita pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2010), sendo determinada a depreciação linear da estrutura. O capital da terra foi determinado com a taxa de 3% do valor da terra, tendo como base os dados de valor do Departamento de Economia Rural-DERAL do Paraná. Os custos variáveis foram calculados considerando os custos com mudas e insumos agrícolas utilizados, o custo com energia elétrica considerando as taxas vigentes e o consumo para irrigação, a mão-de-obra pelo tempo médio operacional e salário-mínimo vigente. Os custos, fixos e variáveis, foram calculados de forma proporcional à área de produção. O retorno econômico foi baseado na produtividade média da cultura (Wenneck et al., 2023), e preço de comercialização (R\$ 5 kg<sup>-1</sup>) na época de colheita (dezembro/2022 a janeiro/2023) no município. O balanço econômico foi determinado pela diferença do custo e do rendimento em cada cenário (tratamento) analisado. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta uma análise detalhada dos custos de produção de tomate cultivados em ambiente protegido no município de Maringá-PR, considerando dois níveis de reposição hídrica, de 60% e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). Houve variação dos custos variáveis entre os níveis de reposição considerando a variação de consumo de energia pela irrigação, sendo demais variáveis similares (Tabela 1).

**Tabela 1.** Custos de produção da cultura do tomate produzido em ambiente protegido no município de Maringá-PR

Descrição	Reposição hídrica (% ETc)	
	60	100
Custos fixos		
Capital da terra	46,13	46,13
Depreciação estrutura	337,00	337,00
Custo fixo total	383,13	383,13
Custos variáveis		
Mudas	315,00	315,00
Insumos	287,23	287,23
Custo eletricidade	18,67	31,11
Operação de Máquinas/equipamentos	20,00	20,00
Mão-de-obra	579,92	579,92
Custo variável parcial	1220,82	1233,26
Custo total (R\$)	1603,95	1616,39

As variações entre custo total da Tabela 1 e da Tabela 4 estão relacionadas à diferença ocasionada pela utilização do silício, sendo explícito em cada cenário de reposição hídrica e forma de aplicação do elemento. A Tabela 2 apresenta os custos totais associados às diferentes formas de aplicação de silício no cultivo do tomateiro, sendo que as aplicações no solo apresentam o mesmo valor, pois apresentaram dose igual sendo diferentes somente as épocas de aplicação do elemento. O menor custo de silício em relação à aplicação do elemento via foliar está relacionado à menor proporção de elemento utilizado em fertilizações foliares.

**Tabela 2.** Custo da aplicação do silício no tomateiro

Forma de aplicação	Custo total (R\$)
Sem aplicação	0,00
Solo – dose única	73,32
Solo – dose parcelada	73,32
Foliar	6,28



Destaca-se que a aplicação foliar de silício não representa necessariamente a maneira mais eficaz de aplicar o silício. A eficácia na absorção de silício e a reação da planta podem diferir dependendo do método de aplicação. Pesquisas sugerem que o silício pode ser absorvido mais rapidamente pelas plantas através da aplicação foliar, contudo, a permanência do elemento no solo pode ser reduzida em relação à aplicação direta no solo (Ma & Yamaji, 2015). A Tabela 3 apresenta os resultados financeiros da produção de tomate, considerando diferentes níveis de reposição hídrica e formas de aplicação de silício. Os dados demonstram o impacto dessas variáveis na produção (em kg) e no retorno bruto (em R\$) obtido.

**Tabela 3.** Retorno econômico bruto na área de produção

Reposição hídrica	Forma de aplicação	Produção (kg)	Retorno bruto (R\$)
100	Sem aplicação	11.373,71 b	56.868,57 c
	Foliar	11.657,14 b	58.285,71 c
	Solo - dose única	13.897,14 a	69.485,71 a
	Solo - parcelado	12.544,00 ab	62.720,00 b
60	Sem aplicação	8.557,71 d	42.788,55 e
	Foliar	9.609,14 c	48.045,71 e
	Solo - dose única	12.278,86 ab	61.394,29 b
	Solo - parcelado	10.834,29 c	54.171,43 d

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento da produtividade nos tratamentos com silício pode estar associado à maior espessura das paredes celulares, menor perda de água e maior eficiência fotossintética, características frequentemente atribuídas ao acúmulo de silício nos tecidos vegetais (Ma & Yamaji, 2015; Rios et al., 2023). Resultados semelhantes foram observados por Shi et al. (2022), que relataram alterações fisiológicas e metabólicas associadas à maior tolerância ao estresse em tomateiro submetido à aplicação de silício.

A Tabela 4 apresenta uma análise completa da viabilidade econômica das diferentes práticas de cultivo do tomate, considerando a reposição hídrica e a aplicação de silício. De acordo com os dados obtidos, o incremento no retorno econômico ocorre principalmente em função da aplicação de silício no solo.

**Tabela 4.** Balanço econômico da produção da cultura do tomate produzido em ambiente protegido com diferentes formas de aplicação de silício e manejo hídrico. Maringá-PR

Reposição hídrica (% ETc)	Forma de aplicação	Custo total (R\$)	Retorno bruto (R\$)	Balanço econômico (R\$)	Incremento econômico pelo uso de silício (%)
60	Sem aplicação	1.603,95 c	42.788,57 c	41.184,62 d	-
	Solo – dose única	1.677,27 a	61.394,29 ab	59.717,02 ab	45,00
	Solo – parcelado	1.677,27 a	54.171,43 bc	52.494,16 c	27,46
	Foliar	1.610,23 bc	48.045,71c	46.435,48 cd	12,75
100	Sem aplicação	1.616,39 b	56.868,57 bc	55.252,18 bc	-
	Solo – dose única	1.689,71 a	69.485,71 a	67.796,00 a	22,70
	Solo – parcelado	1.689,71 a	62.720,00 ab	61.030,29 ab	10,46
	Foliar	1.622,67 b	58.285,71 b	56.663,04 b	2,55

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise econômica demonstrou que, apesar do custo adicional da aplicação de silício, os ganhos em produtividade resultaram em balanço econômico positivo, principalmente com aplicação no solo. A maior eficiência econômica observada com a irrigação de 100% da ETc combinada à aplicação de silício sugere uma possível sinergia entre adequada disponibilidade hídrica e ação benéfica do silício, como relatado por Ahmad et al. (2020), em estudo com arroz irrigado.

A aplicação de silício se mostrou economicamente viável, pois teve como resultado o aumento de rendimento, refletindo diretamente no retorno econômico da cultura nas condições analisadas (Tabela 4). Cenários produtivos com aplicação de silício superaram as condições sem aplicação do elemento com incremento variando de 2,55 a 45%. Ao comparar com dados de Soares-Wenneck et al. (2021) sobre análise econômica no cultivo de couve-flor, realizada no mesmo ambiente de produção, verificou-se efeito significativo do silício sobre a produtividade e retorno econômico. O silício fortalece as paredes celulares, aumentando a resistência a doenças, pragas e condições adversas como salinidade e seca (Taiz & Zeiger, 2013).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS



Os resultados demonstram potencial de aplicação do silício como estratégia de manejo economicamente viável em sistemas protegidos de tomateiro. Entretanto, os resultados estão condicionados às condições edafoclimáticas e à escala experimental adotada. Estudos futuros devem avaliar a estabilidade econômica da aplicação de silício em escala comercial e sob diferentes condições de mercado e manejo hídrico.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [projeto: 177035/2023-4], à Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao Instituto Integrado de Ciência e Tecnologia (IN2).

#### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Homologatória N° 2.559, de 18 de Junho de 2019**. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2019, as Tarifas de Energia e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição referentes à Copel Distribuição S/A, e dá outras providências. Brasília, DF: ANEEL, 2020.

AHMAD, S.; MUNEEER, M. A.; ULLAH, H.; WANG, J. Role of silicon in enhancing water use efficiency of crops under drought stress: A review. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p. 1274, 2020.

CONAB. **Custos de produção agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília, DF: Conab, 2010.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R. Silicon as a beneficial element for sustainable agriculture: Perspectives and challenges. **Environmental Research**, v.219, p.114857, 2023.

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J. F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.411, 2017.

MA, J. F.; YAMAJI, N. A cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**, v.20, n.7, p.435-442, 2015.

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

OLLE, M. Silicon in a sustainable cropping system. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences**, v.74, n.3, p.165–170, 2020.

RIOS, J. J.; MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C.; CARVAJAL, M. Silicon mediates salt stress tolerance in plants: Physiological and molecular insights. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.200, p. 107675, 2023.

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



SHI, Y.; GUO, S.; ZHAO, X.; XU, M.; XU, J.; XING, G.; ZHANG, Y.; AHAMMED, G. J. Comparative physiological and transcriptomics analysis revealed crucial mechanisms of silicon-mediated tolerance to iron deficiency in tomato. **Frontiers in Plant Science**, v.13, p.1094451, 2022.

SILVA, E. C.; LOPES, P. M. A.; BARBOSA, A. C. R. Panorama da horticultura brasileira em números. **Hortifrúti Brasil**, v.30, n.2, p.8-12, 2022.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

THORNE, S. J.; HARTLEY, S. E.; MAATHUIS, F. J. M. Is silicon a panacea for alleviating drought and salt stress in crops? **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.1221, 2020.

WENNECK, G.S.; SAATH, R.; REZENDE, R.; TERASSI, D.S.; VILA, V.V.; PEREIRA, G.L. Extraction and accumulation of silicon in tomato grown under different water regimes and application forms. **Ciência e Agrotecnologia**, v.47, p.e005323, 2023.