



## Controle Biológico do Maracujazeiro com *Bacillus thuringiensis*: Uma Prática Sustentável e Eficaz

### *Biological Control of Passion Fruit with Bacillus thuringiensis: An Effective and Sustainable Practice*

**Stefhanie Carmélia Matos Nunes**

Universidade Católica de Pernambuco. <https://orcid.org/0009-0006-0047-3301>

**Itamar Victor de Lima Costa**

Universidade Católica de Pernambuco. <https://orcid.org/0009-0001-0653-5992>

**Leidson Ramos de Sousa**

Universidade Católica de Pernambuco. <https://orcid.org/0009-0006-5431-578X>

**Marcos Antonio Barbosa de Lima**

Universidade Federal Rural de Pernambuco. <https://orcid.org/0000-0001-5987-224X>

**Juliana Moura de Luna**

Universidade Católica de Pernambuco. <https://orcid.org/0000-0003-4619-6857>

**Galba Maria de Campos-Takaki**

Universidade Católica de Pernambuco. <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>

**Resumo:** Os agrotóxicos, embora eficazes no controle de pragas, apresentam impactos ambientais e riscos à saúde humana, além de contribuir para a resistência de insetos e a degradação da microbiota do solo. Nesse contexto, os biopesticidas microbianos surgem como alternativa sustentável, destacando-se *Bacillus thuringiensis* (Bt) pelo seu efeito seletivo sobre lepidópteros e segurança para organismos não-alvo. O presente trabalho revisa a aplicação de Bt no manejo da lagarta *Dione juno juno* no maracujazeiro, destacando evidências de sua eficácia, benefícios ambientais e integração a práticas de manejo sustentável. Estudos indicam que o uso de Bt reduz a dependência de produtos químicos, preserva a biodiversidade do solo e diminui a emissão de gases de efeito estufa, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e às metas de baixo carbono na agricultura. Limitações técnicas e regulatórias ainda restringem sua adoção em larga escala, mas avanços em formulações, encapsulação e estratégias de manejo integrado de pragas ampliam seu potencial. A revisão evidencia que o controle biotecnológico de pragas com Bt representa não apenas uma ferramenta fitossanitária eficaz, mas também uma estratégia de sustentabilidade ambiental e resiliência agrícola, promovendo práticas agrícolas mais seguras e conscientes.

**Palavras-chave:** biopesticidas microbianos; *Bacillus thuringiensis*; maracujazeiro; controle biológico; sustentabilidade agrícola.

**Abstract:** Although effective in pest control, chemical pesticides have significant environmental impacts, pose risks to human health, and contribute to insect resistance and soil microbiota degradation. In this context, microbial biopesticides have emerged as a sustainable alternative, with *Bacillus thuringiensis* (Bt) standing out for its selective effect on lepidopterans and safety for non-target organisms. This review addresses the application of Bt in the management of the butterfly *Dione juno juno* in passion fruit crops, highlighting evidence of its efficacy, environmental benefits, and integration into sustainable agricultural practices. Studies show that Bt use reduces reliance on chemical products, preserves soil biodiversity, and decreases

greenhouse gas emissions, aligning with the Sustainable Development Goals (SDGs) and low-carbon agricultural targets. Technical and regulatory limitations still restrict large-scale adoption, but advances in formulations, encapsulation, and integrated pest management strategies enhance its potential. This review demonstrates that biotechnological pest control with Bt is not only an effective phytosanitary tool but also an environmental sustainability and agricultural resilience strategy, fostering safer and more conscious farming practices.

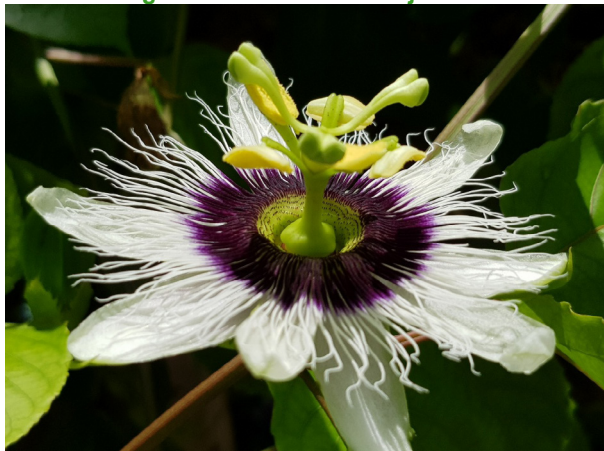
**Keywords:** microbial biopesticides; *Bacillus thuringiensis*; passion fruit; biological control; agricultural sustainability.

## INTRODUÇÃO

Os agrotóxicos, também denominados defensivos agrícolas, constituem um dos pilares da agricultura moderna, sendo utilizados para proteger lavouras contra insetos, plantas daninhas e fitopatógenos (Almeida; Cassella, 2023). Classificam-se em inseticidas, fungicidas e herbicidas, conforme o alvo de ação (Lima *et al.*, 2023). Globalmente, seu uso está associado à intensificação agrícola e ao aumento da produtividade, atendendo à demanda crescente por alimentos diante da expansão populacional (Saikawa *et al.*, 2024). Entretanto, embora contribuam para a estabilidade produtiva de curto prazo, os defensivos químicos apresentam efeitos colaterais significativos, como contaminação de solos e recursos hídricos, bioacumulação e desenvolvimento de resistência em populações de pragas (Yasir; Hossain; Pratap-Singh, 2025; Zhang *et al.*, 2023), além de impactos indiretos sobre as emissões de gases de efeito estufa (Saikawa *et al.*, 2024) e degradação da microbiota do solo, comprometendo o sequestro de carbono e a resiliência climática dos sistemas agrícolas (Liu *et al.*, 2025).

Entre as culturas de maior relevância socioeconômica no Brasil, destaca-se o maracujá (*Passiflora edulis*) (Figura 1), amplamente cultivado por pequenos e médios produtores e valorizado tanto pelo mercado de frutas frescas quanto pela indústria de sucos e derivados (Souza; Lopes; Moura, 2023). O país figura entre os principais produtores mundiais, com destaque para a agricultura familiar, que depende fortemente dessa cadeia produtiva para geração de renda (Oliveira; Santos; Silva, 2022). No entanto, a cultura é suscetível a diversas pragas e doenças, o que aumenta a dependência de inseticidas químicos de amplo espectro, elevando custos de manejo e riscos ambientais (Barros; Carvalho; Almeida, 2024).

**Figura 1 - Flor do maracujazeiro.**



**Fonte: Suhurab Mohamed (2024).**

Entre as principais pragas do maracujazeiro, a lagarta *Dione juno juno* (Lepidoptera: Nymphalidae) (Figura 2), destaca-se pelo elevado potencial destrutivo, reduzindo a área foliar e comprometendo o desenvolvimento das plantas (Vishwakarma *et al.*, 2023). O manejo convencional baseia-se no uso de inseticidas químicos, associados a riscos ambientais e à saúde humana, além de favorecer resistência (Barros; Carvalho; Almeida, 2024). Nesse contexto, os biopesticidas microbianos, especialmente *Bacillus thuringiensis* (Bt), têm sido amplamente reconhecidos por sua ação seletiva contra lepidópteros, segurança para organismos não-alvo e eficácia comprovada no controle biológico (Kumar *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2025; Ejaz *et al.*, 2025).

**Figura 2 - Lagarta *Dione juno juno*, principal praga do maracujazeiro, responsável pela redução da área foliar e prejuízos na produtividade.**



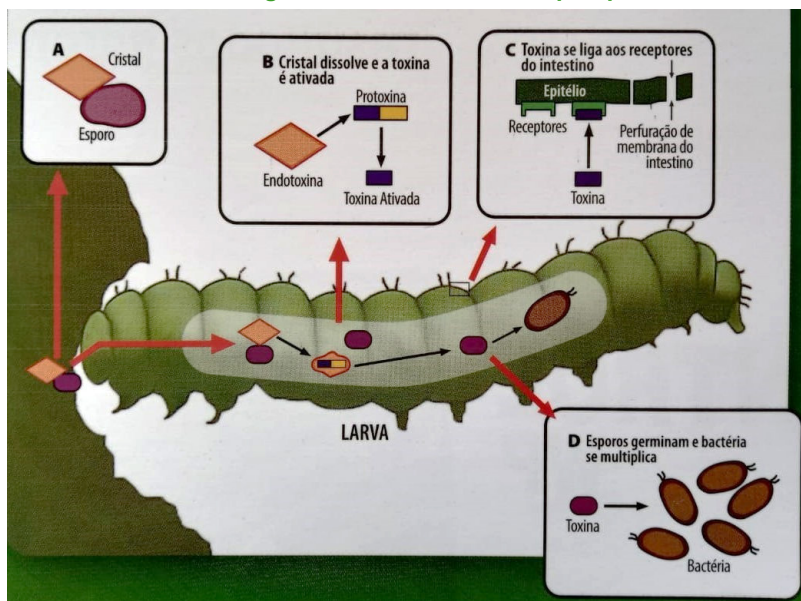
**Fonte: Diogo César, 2024.**

Apesar do potencial do Bt, ainda existem lacunas em revisões integrativas que consolidem evidências recentes sobre sua aplicação em culturas socioeconomicamente relevantes, como o maracujá, considerando aspectos de sustentabilidade e manejo biológico. Este capítulo visa apresentar uma revisão sobre biopesticidas microbianos, destacando *B. thuringiensis* como exemplo de controle biológico eficaz e sustentável, explorando seu papel na redução do uso de químicos e na promoção de práticas agrícolas resilientes frente às mudanças climáticas.

## DESENVOLVIMENTO

O uso de *Bacillus thuringiensis* (Bt) como biopesticida microbiano tem sido amplamente estudado devido à sua eficácia seletiva contra lepidópteros, incluindo a lagarta *Dione juno juno*, praga-alvo do maracujazeiro (Ejaz *et al.*, 2025; Kumar *et al.*, 2021). As proteínas entomopatogênicas Cry e Vip (Figura 2), produzidas pelo Bt, conferem ação letal específica às larvas, sem comprometer polinizadores ou inimigos naturais, evidenciando segurança ambiental e compatibilidade com sistemas agrícolas sustentáveis (Xu *et al.*, 2025).

**Figura 3 – Representação esquemática da ação das proteínas Cry e Vip do *B. thuringiensis* sobre larvas de lepidópteros.**

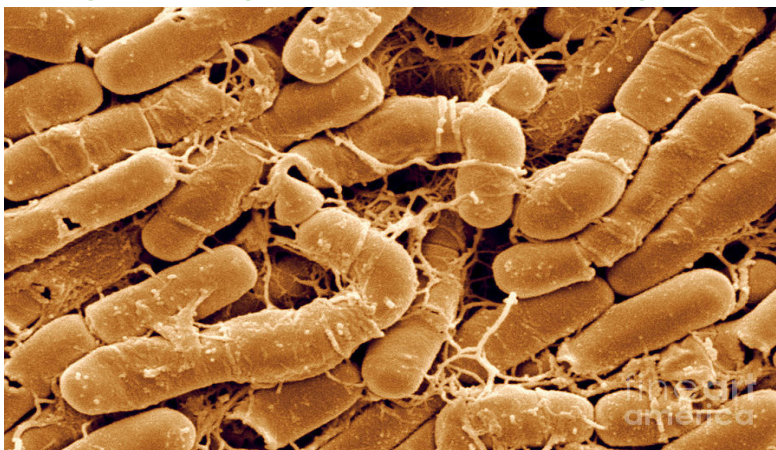


Fonte: Araunah Agro (2021).

Diversas estratégias têm sido empregadas para potencializar a eficácia do Bt (Figura 4), incluindo o uso de substratos renováveis ou resíduos agroindustriais na fermentação, como melaço de cana, bagaço, farelo de arroz e cascas de frutas. Esses

substratos promovem crescimento microbiano adequado e produção de inclusões cristalinas entomopatogênicas, ao mesmo tempo que aumentam a sustentabilidade do processo e reduzem a pegada de carbono associada à produção de biopesticidas (Kumar *et al.*, 2021). Além disso, formulações como pó molhável (WP) e suspensão concentrada (SC) demonstram praticidade para aplicação em pequenas e médias propriedades, incorporando aditivos que protegem contra radiação ultravioleta e aumentam a estabilidade microbiana (Ejaz *et al.*, 2025).

**Figura 4 - Micrografia eletrônica do *Bacillus thuringiensis*.**



**Fonte: Scimat (2020).**

A eficácia do Bt em campo é reconhecida, embora sua ação seja relativamente mais lenta que a de inseticidas sintéticos, como a lambda-cialotrina. Entretanto, os biopesticidas oferecem equilíbrio mais favorável em termos de impactos ambientais e sustentabilidade de longo prazo, preservando a microbiota do solo e contribuindo para a ciclagem de nutrientes e sequestro de carbono (Chowdhury; Sarkar; Das, 2023; Liu *et al.*, 2021). Tais características tornam o Bt uma ferramenta valiosa para atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente relacionados à segurança alimentar (ODS 2), consumo e produção responsáveis (ODS 12), combate às mudanças climáticas (ODS 13) e preservação da vida terrestre (ODS 15).

Apesar do potencial do Bt, sua adoção enfrenta desafios, como resistência do mercado, barreiras regulatórias e degradação das proteínas Cry em condições ambientais adversas (Kumar; Chauhan; Singh, 2020; García-Gutiérrez *et al.*, 2022). Tecnologias emergentes, como microencapsulação e nanotecnologia, têm sido aplicadas para aumentar a persistência e eficiência dos biopesticidas em campo, enquanto a engenharia genética permite aprimorar cepas e ampliar o espectro de ação (Zhang *et al.*, 2022; Abd El-Azeem *et al.*, 2021).

A integração do Bt em programas de manejo integrado de pragas (MIP) representa uma abordagem consolidada para reduzir a pressão seletiva sobre insetos e limitar a necessidade de produtos químicos, promovendo equilíbrio entre

produtividade agrícola e preservação ambiental (Isman; Gruère, 2021). Estudos demonstram que a adoção de biopesticidas pode reduzir significativamente a dependência de inseticidas químicos, preservar a biodiversidade do solo e diminuir emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo produtivo (Gonçalves *et al.*, 2023; Chowdhury; Sarkar; Das, 2023).

Perspectivas futuras indicam que a combinação de inovações tecnológicas, políticas públicas de incentivo a práticas de baixo carbono e avanços em formulações biológicas permitirá consolidar o Bt como alternativa viável e sustentável para o manejo de pragas em culturas de relevância socioeconômica, como o maracujazeiro, alinhando proteção fitossanitária à mitigação de impactos ambientais e climáticos (Murugan *et al.*, 2023; Ejaz *et al.*, 2025).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de *Bacillus thuringiensis* no manejo da lagarta *Dione juno juno* no maracujazeiro constitui uma alternativa eficaz e sustentável aos inseticidas químicos convencionais. Além de proporcionar controle seletivo das pragas, o Bt contribui para a preservação da microbiota do solo e fortalece a resiliência dos sistemas agrícolas. Quando integrado a práticas de manejo sustentável, sua adoção reduz a dependência de produtos químicos, minimiza emissões de gases de efeito estufa e promove a mitigação de impactos ambientais. Dessa forma, o emprego de biopesticidas microbianos não se limita à proteção fitossanitária, mas configura uma estratégia alinhada aos objetivos globais de sustentabilidade e à transição para uma agricultura de baixo carbono.

## REFERÊNCIAS

ABD EL-AZEEM, S. A. M. *et al.* **Genetic improvement of *Bacillus thuringiensis* for enhanced bioinsecticidal activity.** Microbiological Research, v. 250, p. 126-135, 2021.

ALMEIDA, Izadora de Souza Alves; DADAZIO, Tais Santo; NOGUEIRA, Patricio Eduardo; BERNARDO DE ANDRADE, Saulo Cirilo dos Reis; SUSSAI, João Filipi; HAMAMURA, Harumi; DOMINGUES, Rafael de Noronha; SCARAMUSSA, Aline Silva. **Monitoring diseases in the crop of passion fruit (*Passiflora* spp.) in two different cultivars submitted to different fertilizations.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 9, p. 332–348, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-332>.

BARROS, F. A.; CARVALHO, R. C.; ALMEIDA, V. S. **Integrated pest management perspectives for passion fruit (*Passiflora edulis*): advances and future directions.** Crop Protection, v. 174, p. 106163, 2024. DOI: 10.1016/j.cropro.2023.106163.

BERINI, F. *et al.* **Microbial and natural products as sustainable biopesticides.** Applied Microbiology and Biotechnology, v. 105, n. 3, p. 1023–1035, 2021.

CHOWDHURY, T.; SARKAR, S.; DAS, S. **Soil microbiome, carbon sequestration and sustainable agriculture: role of biopesticides.** Environmental Research, v. 222, 115221, 2023.

DA COSTA, Aline dos Santos; ROCHA, João de Deus Andrade; SILVA, Maria Elisa da; *et al.* **Review on pesticide contamination and drinking water treatment in Brazil: the need for improved treatment methods.** ACS ES&T Water, v. 4, n. 9, p. 3629–3644, 2024. DOI: 10.1021/acsestwater.4c00063.

EJAZ, M. R.; JAOUA, S.; LORESTANI, N.; SHABANI, F. **Global climate change and its impact on the distribution and efficacy of *Bacillus thuringiensis* as a biopesticide.** Science of The Total Environment, v. 930, p. 173965, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.173965.

EMBRAPA. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

GARCÍA-GUTIÉRREZ, L. *et al.* **Environmental stability of *Bacillus thuringiensis* formulations and implications for field efficacy.** Pest Management Science, v. 78, n. 4, p. 1384–1393, 2022.

GONÇALVES, R. A. *et al.* **Impacts of synthetic pesticides versus biopesticides on agricultural sustainability: a comparative analysis.** Journal of Cleaner Production, v. 401, 136933, 2023.

ISMAN, M. B.; GRUÉRE, G. **Scaling up the use of biopesticides in agriculture: opportunities and challenges.** Outlooks on Pest Management, v. 32, n. 1, p. 13–20, 2021.

KUMAR, P.; KAMLE, M.; BORAH, R.; SHUKLA, A. K.; *et al.* ***Bacillus thuringiensis* as microbial biopesticide: uses and application for sustainable agriculture.** Sustainability, v. 13, n. 21, p. 12020, 2021. DOI: 10.3390/su132112020.

KUMAR, R.; CHAUHAN, A.; SINGH, V. **Barriers to adoption of biopesticides: a global perspective.** Crop Protection, v. 139, 105395, 2020.

KUMAR, S. *et al.* ***Bacillus thuringiensis* as a biopesticide: Current status and future prospects.** Biocontrol Science and Technology, v. 32, n. 6, p. 581–598, 2022.

LIMA, Heloisa Eusebia; OLIVEIRA, Bhrenda Alves; GOULART, Adilson Correia; GOULART, Simone Machado. **Classificação química dos agrotóxicos: uma revisão sobre os principais grupos.** In: Transformações agrárias: pesquisas e tecnologias para o desenvolvimento sustentável. Guarujá, SP: Editora E-Publicar, 2023. v. 1, cap. 6, p. 65–76. DOI: 10.47402/ed.ep.c23156296.

LIU, Y. *et al.* **Microbial biopesticides and carbon sequestration: a synergistic approach to sustainable agriculture.** Science of The Total Environment, v. 795, 148843, 2021.

LIU, Zhen; CHEN, Qiang; YU, Ming; *et al.* **Pesticides reduce soil carbon sequestration by altering microbial community composition and function.** Science of The Total Environment, v. 929, p. 171631, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.171631.

MURUGAN, K. *et al.* **Biopesticides in the era of climate change: prospects and challenges.** Frontiers in Microbiology, v. 14, 1104321, 2023.

OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, M. F.; SILVA, J. R. **Challenges in passion fruit production: pests, diseases and sustainable management strategies.** Tropical Plant Pathology, v. 47, p. 543–555, 2022. DOI: 10.1007/s40858-022-00486-9.

SAIKAWA, Eri; AVRAMOV, Alexander; BASINGER, Nicholas; *et al.* **Soil greenhouse gas fluxes in corn systems with varying agricultural practices and pesticide levels.** Environmental Science: Advances, v. 3, p. 1760–1774, 2024. DOI: 10.1039/d4va00105b.

SOUZA, A. P.; LOPES, D. R.; MOURA, J. P. **Socioeconomic importance and sustainability challenges in the passion fruit production chain in Brazil.** Journal of Cleaner Production, v. 405, p. 136834, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136834.

VISHWAKARMA, P.; YADAV, A. N.; SINGH, R. N.; *et al.* **Biopesticides: eco-friendly pest management for sustainable agriculture.** Environmental Science and Pollution Research, v. 30, p. 12345–12360, 2023. DOI: 10.1007/s11356-023-25547-8.

XU, J.; WANG, H.; ZHANG, Y.; LI, Y. **Enhancing *Bacillus thuringiensis* performance: fertilizer-driven improvements in biofilm formation, UV protection, and pest control efficacy.** Microorganisms, v. 13, n. 2, p. 456, 2025. DOI: 10.3390/microorganisms13020456.

YASIR, Muhammad; HOSSAIN, Abul; PRATAP-SINGH, Anubhav. **Pesticide degradation: impacts on soil fertility and nutrient cycling.** Environments, v. 12, n. 8, p. 272, 2025. DOI: 10.3390/environments12080272.

ZHANG, H. *et al.* **Nanotechnology-based formulations of microbial pesticides for improved stability and efficacy.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 70, n. 18, p. 5550–5562, 2022.

ZHANG, Qi; ZHAO, Xiaoxue; WANG, Zhijun; *et al.* **Global pesticide use intensity continues to increase despite regulations.** Nature Sustainability, v. 6, p. 520–528, 2023. DOI: 10.1038/s41893-023-01080-8.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado a S.C.M.N., I.V.L.C. e L.B.S, e ao CNPq bolsa a G.M.C.T. (Processo No 312241/2022-4).