



C A P Í T U L O 2 1

ESTUDO SOBRE A INTERFERÊNCIA DA FISIOLOGIA NA PATOLOGIA PÓS COLHEITA

Lorrayne Zampar Alves

Doutoranda em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGA), Universidade Estadual de Maringá (UEM).
<http://lattes.cnpq.br/0775834617329417>

Murilo Fuentes Pelloso

Prof. Dr. Em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS).
<http://lattes.cnpq.br/0926959399074057>

Kátia Regina Freitas Schwan-Estrada

Profa. Dra. em Agronomia, Departamento de Agronomia (DAG), Programa de Pós-graduação em Agroecologia (PROFAGROEC) e de Agronomia (PGA), Universidade Estadual de Maringá (UEM).
<http://lattes.cnpq.br/7333463527916515>

RESUMO: O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma produção anual de cerca de 43 milhões de toneladas. Apesar desse sucesso, a fruticultura enfrenta desafios significativos, especialmente devido à ação de microrganismos fitopatogênicos, que podem causar grandes perdas no período pós-colheita. Quando atacadas por fitopatógenos, as plantas frutíferas ativam mecanismos naturais de defesa, para retardar ou impedir a penetração desses agentes. Contudo, o entendimento científico sobre as interações entre frutos e patógenos ainda é limitado, deixando lacunas que impactam negativamente a cadeia produtiva. As plantas em campo utilizam diferentes estratégias para combater os patógenos, mas nem sempre são suficientes para garantir a qualidade dos frutos ao longo do processo produtivo. Diante disso, o manejo integrado de doenças se destaca como a estratégia mais viável, promovendo uma abordagem sustentável para o controle fitossanitário. Este estudo revisou informações sobre o manejo pós-colheita de frutos, com foco em tecnologias aplicadas, seus mecanismos de ação e os desafios em sua implementação. A análise indicou tendências positivas, mas destacou a necessidade urgente de mais pesquisas para validar a eficácia das práticas atuais e desenvolver soluções inovadoras que minimizem as perdas e garantam a qualidade dos frutos

ao longo da cadeia produtiva. Investir em pesquisas integradas é essencial para promover práticas agrícolas que assegurem não só a produtividade, mas também a sustentabilidade do setor frutícola brasileiro. Essas lacunas dificultam a adoção de práticas integradas mais eficientes e limitam o potencial de inovação tecnológica no setor. Essa abordagem busca equilibrar produtividade e preservação ambiental, favorecendo sistemas de produção mais resilientes.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de doenças de plantas; Fruticultura; Práticas integradas

STUDY ON THE INTERFERENCE OF PHYSIOLOGY IN POST-HARVEST PATHOLOGY

ABSTRACT: Brazil stands out as the third largest fruit producer in the world, with an annual production of about 43 million tons. Despite this success, fruit growing faces significant challenges, especially due to the action of phytopathogenic microorganisms, which can cause major losses in the post-harvest period. When attacked by phytopathogens, fruit plants activate natural defense mechanisms to delay or prevent the penetration of these agents. However, scientific understanding of the interactions between fruits and pathogens is still limited, leaving gaps that negatively impact the production chain. Plants in the field use different strategies to combat pathogens, but they are not always sufficient to ensure fruit quality throughout the production process. In this context, integrated disease management stands out as the most viable strategy, promoting a sustainable approach to plant health control. This study reviewed information on post-harvest fruit management, focusing on applied technologies, their mechanisms of action, and the challenges in their implementation. The analysis indicated positive trends but highlighted the urgent need for further research to validate the effectiveness of current practices and to develop innovative solutions that minimize losses and ensure fruit quality throughout the production chain. Investing in integrated research is essential to promote agricultural practices that ensure not only productivity but also the sustainability of the Brazilian fruit sector. These gaps hinder the adoption of more efficient integrated practices and limit the potential for technological innovation in the sector. This approach seeks to balance productivity and environmental preservation, favoring more resilient production systems.

KEYWORDS: Fruit Production, Plant Disease Control, Integrated Practices.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a FAO (2023), a produção mundial de frutas superou 890 milhões de toneladas, com destaque para a China, a Índia e o Brasil como principais produtores. O comércio internacional de frutas frescas e processadas movimentou bilhões de dólares anualmente, impulsionado pela crescente demanda por produtos saudáveis

e convenientes. A fruticultura brasileira destaca-se globalmente, posicionando o país como o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma produção anual de cerca de 43 milhões de toneladas em 2023 (FreshPlaza, 2024). Por sua vez, o setor de hortaliças, altamente diversificado e segmentado, concentra sua produção em seis espécies principais: batata, tomate, melancia, alface, cebola e cenoura (Embrapa, 2021).

Embora a maior parte dessa produção seja voltada para o mercado interno, o Brasil alcançou um marco histórico em 2021, com exportações de frutas ultrapassando US\$ 1,21 bilhão. As frutas mais exportadas foram mangas, melões, uvas, nozes e castanhas, limões e limas (MAPA, 2022). Em 2023, as exportações alcançaram aproximadamente 1,06 a 1,1 milhão de toneladas, gerando entre US\$ 1,2 e US\$ 1,3 bilhão em receitas (Williams, 2024; FreshPlaza, 2024). Por sua vez, no primeiro semestre de 2025, as exportações brasileiras de frutas apresentaram crescimento de 27% em volume, com destaque para o melão, que alcançou 118 mil toneladas embarcadas (Fruitnet, 2025).

No entanto, a produção enfrenta desafios significativos devido ao ataque de microrganismos fitopatogênicos, como fungos, bactérias e vírus, que são responsáveis por perdas pós-colheita substanciais (FAO, 2022). Esses patógenos podem atacar os frutos e hortaliças tanto na fase de pré-colheita quanto na pós-colheita, resultando no desenvolvimento de podridões e outros problemas que comprometem a qualidade e a segurança alimentar.

A infecção por patógenos na pós-colheita frequentemente está associada ao aumento na atividade de enzimas degradadoras de parede celular, como poligalacturonases, pectinmetilesterases e celulases. Essas enzimas são responsáveis pelo amolecimento e perda de firmeza dos frutos, acelerando o processo de senescência (Prusky et al, 2013).

Estima-se que as perdas pós-colheita na fruticultura brasileira possam variar entre 20% e 40% da produção total, dependendo da espécie e da logística empregada (Embrapa, 2022). Esses índices são agravados pela falta de infraestrutura de armazenagem refrigerada e de transporte adequado, principalmente em regiões distantes dos portos exportadores.

Diversos fatores dessa fase influenciam a expressão da qualidade das frutas e hortaliças, impactando aspectos como respiração, transpiração, composição química, aparência interna e externa, estrutura anatômica, processo degradativo e sabor (Mattiu, 2007). Entre os patógenos mais comuns que afetam hortaliças-frutos no campo e na pós-colheita estão fungos, bactérias, vírus e nematoides (Menten, 2016). A severidade desses problemas pode variar conforme as condições climáticas e o manejo adotado na pré-colheita.

Quando um fitopatógeno ataca uma planta, a fisiologia da planta reage de diversas maneiras, incluindo respostas como a resposta hipersensitiva (HR), resistência sistêmica adquirida (SAR), indução de proteínas relacionadas à patogênese (PR-proteínas), enzimas relacionadas ao estresse oxidativo e compostos sinalizadores. Essas respostas ajudam a planta a retardar ou até mesmo impedir a penetração de agentes fitopatogênicos (Fernandes et al., 2009a; Fernandes et al., 2015b).

Nesta revisão, objetiva-se sintetizar o conhecimento atual sobre a interferência da fisiologia na pré e pós-colheita. Serão abordados os aspectos e resultados dessa interação, bem como possíveis estratégias para minimizar o impacto dos patógenos, promovendo práticas mais eficazes e sustentáveis para a produção de frutas e hortaliças.

2 DESENVOLVIMENTO

A compreensão das doenças de plantas envolve reconhecer que estas representam distúrbios nos processos fisiológicos normais da planta, resultando em desempenho anormal em funções vitais como absorção de água e nutrientes, e na síntese e utilização de alimentos (Kühn, 1858; Bergamin et al., 2019).

Em plantas saudáveis, há um equilíbrio entre os processos geradores e consumidores de energia. Quando este balanço é alterado, a planta experimenta um uso desordenado da energia, prejudicando seu desenvolvimento (Bergamin et al., 2019). Para patógenos, a adesão aos hospedeiros é a primeira etapa crucial na conexão física entre o parasita e o hospedeiro (Epstein; Nicholson, 2016; Leite et al., 2001). Após a penetração, esses patógenos podem se espalhar e colonizar o tecido do hospedeiro, levando à desagregação celular e à utilização dos nutrientes da planta, resultando em alterações na morfologia e metabolismo (Horbach et al., 2011). O sucesso do patógeno depende de sua capacidade de penetrar, colonizar e neutralizar as reações de defesa da planta (Pascholati et al., 2008).

As plantas possuem mecanismos de defesa diversos contra patógenos, incluindo a resposta hipersensitiva (HR), resistência sistêmica adquirida (SAR), indução de proteínas relacionadas à patogênese (PR-proteínas), enzimas relacionadas ao estresse oxidativo e o uso de compostos sinalizadores como ácido salicílico e peróxido de hidrogênio (Embrapa, 2009). A resposta hipersensitiva, uma das principais respostas de defesa, envolve o colapso rápido e localizado do tecido ao redor da infecção, com liberação de compostos tóxicos para combater o patógeno (Agrios, 2004; Fernandes et al., 2006; Bret; Oliveira, 2018).

A resistência sistêmica adquirida (SAR) é ativada após uma infecção inicial, resultando em uma resposta de alerta em outras partes da planta, mediada principalmente pela via do ácido salicílico (Bergamin et al., 2019). Estudos como o

de Silva et al. (2008) e Bruzamarello (2016) mostram que a indução de resistência pode reduzir significativamente os sintomas de doenças e aumentar a atividade de proteínas e enzimas relacionadas à patogênese.

Em muitos frutos, o estresse mecânico durante a colheita e manuseio provoca microlesões na epiderme, que desencadeiam a ativação de vias de sinalização relacionadas ao ácido jasmônico e ao ácido salicílico. Essas vias participam da regulação de genes de defesa e do acúmulo de proteínas relacionadas à patogênese (PR-proteínas), essenciais na contenção de infecções iniciais (Alkan; Fortes, 2015).

Durante o armazenamento, a fisiologia pós-colheita está intimamente ligada ao metabolismo secundário, com acúmulo de compostos fenólicos, flavonoides e fitoalexinas. Esses metabólitos não apenas possuem ação antimicrobiana direta, mas também funcionam como antioxidantes, reduzindo danos oxidativos nos tecidos, o que prolonga a vida útil dos frutos (Terry et al., 2007). As fitoalexinas, produzidas em resposta a estresses, desempenham um papel crucial na proteção das plantas contra patógenos. Estudos como o de Raasch-Fernandes et al. (2019) e Franzener (2011), destacam a eficácia dos elicitores e a indução de resistência em diversas culturas. A ativação de mecanismos de defesa, como a produção de fitoalexinas e a resposta a estresse oxidativo, é fundamental para a proteção das plantas (Purkayastha, 1995; Labanca, 2002).

Compostos voláteis como aldeídos, alcoóis e terpenos desempenham papel importante na inibição do crescimento de fungos pós-colheita. Em algumas espécies, a emissão desses voláteis aumenta após infecção inicial, funcionando como barreira química contra a progressão do patógeno (Droby et al., 2016).

Além da HR e da SAR, a imunidade basal desempenha papel crucial na prevenção da colonização inicial por patógenos. Essa imunidade é mediada pelo reconhecimento de padrões moleculares associados a microrganismos (MAMPs) por receptores de membrana, ativando cascatas de sinalização de cálcio e espécies reativas de oxigênio (ROS), que modulam a expressão de genes de defesa (Boller; Felix, 2009).

No contexto pós-colheita, a qualidade dos frutos pode ser comprometida por patógenos que causam doenças como podridões e manchas (Terão et al., 2009; Choudhury, 2021). Estudos de Aguiar (2020) demonstram que o manejo adequado, incluindo práticas pré-colheita e técnicas de conservação, é essencial para minimizar perdas e prolongar a vida útil dos produtos.

Métodos como a refrigeração e o uso de atmosferas controladas e modificadas têm mostrado eficácia no controle de patógenos (Vieira et al., 2006; Arrudal et al., 2004). A temperatura e a umidade relativa influenciam diretamente a taxa respiratória e a produção de etileno nos frutos. O aumento da produção de etileno está relacionado à aceleração da senescência e à redução da resistência tecidual, criando condições favoráveis para a colonização por patógenos (Saltveit, 2019).

A atmosfera modificada e controlada reduz a disponibilidade de oxigênio e aumenta o CO₂, suprimindo tanto a respiração dos frutos quanto o desenvolvimento de patógenos aeróbios. Contudo, a eficácia depende de ajustes específicos para cada espécie e cultivar, pois, concentrações inadequadas podem induzir distúrbios fisiológicos (Kader, 2002).

O manejo integrado de doenças, que combina práticas pré e pós-colheita, é crucial para garantir a qualidade e sustentabilidade na produção de hortaliças e frutos. Métodos naturais, biológicos e biotecnológicos são recomendados para reduzir o uso de agrotóxicos e promover uma agricultura sustentável (Zambolim, 2002; Senhor et al., 2009). Essas práticas, além de reduzirem a dependência de químicos, podem agregar valor comercial aos produtos ao atender mercados que demandam alimentos mais saudáveis.

Ademais, tecnologias emergentes, como o uso de recobrimentos comestíveis à base de polissacarídeos e óleos essenciais, têm mostrado potencial para prolongar a vida útil de frutas sem recorrer a conservantes sintéticos. Ensaios realizados no Brasil indicam que tais tratamentos podem reduzir perdas e manter a qualidade sensorial por períodos até 50% maiores.

Estratégias modernas de controle pós-colheita incluem ainda a aplicação de elicitores naturais, como quitina, quitosana e extratos vegetais, que induzem respostas fisiológicas semelhantes às geradas por infecção real, mas sem causar danos. Isso resulta em aumento da atividade de enzimas como quitinases e β -1,3-glucanases, fortalecendo as barreiras contra patógenos (Romanazzi et al., 2016).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o estudo tenha destacado as interações complexas e os efeitos das patologias, ficou evidente que a literatura atual sobre o tema ainda é insuficiente e carece de investigações mais aprofundadas. A análise das interações revelou que, embora sejam apresentadas em tópicos e subtópicos, essas interações ocorrem de forma simultânea e raramente isolada. O que acontece na fase pré-colheita influencia significativamente o estado do fruto na pós-colheita. Assim, o cuidado deve começar no campo e continuar até que o produto chegue à mesa do consumidor, como ressaltado por Chitarra (1990), Benato (1999) e Senhor et al. (2009). Isso inclui práticas culturais adequadas e cuidados com transporte, armazenamento e colheita.

Os patógenos causam perdas significativas pós-colheita, afetando atacadistas, varejistas, importadores e consumidores, com perdas que variam entre 20% e 80% (Sommer, 2002). As plantas tentam combater esses patógenos com diversos mecanismos de defesa (Bergamin et al., 2019). Atualmente, o manejo integrado é considerado o método mais eficaz para o controle de doenças, especialmente

aquelas quiescentes (Senhor et al., 2009). A combinação do manejo adequado no campo com estratégias pós-colheita, incluindo controle físico, tem demonstrado eficiência no controle de patógenos, agindo direta e indiretamente sobre a fisiologia da fruta, retardando o amadurecimento e preservando a aparência e qualidade (Benato, 1999).

Em suma, os resultados indicam que, embora as informações disponíveis forneçam uma base valiosa, há uma necessidade contínua de pesquisa para aprofundar o entendimento e melhorar as práticas de manejo e controle.

4 REFERÊNCIAS

ALKAN, N.; FORTES, A. M. Insights into molecular and metabolic events associated with fruit response to post-harvest fungal pathogens. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 889, 2015. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00889>

BENATO, E. A. Controle de doenças pós-colheita em frutos tropicais. **Summa Phytopathologica**, v. 25, n. 1, p. 90-93, 1999.

BERGAMIN FILHO, A.; REZENDE, J. A. M.; AMORIN, L. **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. Vol. 1. São Paulo: Ceres, 2019. 561 p.

BOLLER, T.; FELIX, G. A renaissance of elicitors: perception of microbe-associated molecular patterns and danger signals by pattern-recognition receptors. **Annual Review of Plant Biology**, v. 60, p. 379–406, 2009. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105346>

DROBY, S.; WISNIEWSKI, M.; MACARISIN, D.; WILSON, C. Postharvest pathology. In: BAILEY, J. A.; DEAN, R. A. (eds). **Plant Pathology**. 5th ed. Springer, 2016. p. 521–555.

EMBRAPA. **Boas práticas na pós-colheita de frutas e hortaliças**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 9 ago. 2025.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT Statistical Database**. Rome, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 9 ago. 2025.

FERNANDES, C. de F.; VIEIRA JUNIOR, J. R. **Estratégias de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos**. 2015.

FRESHPLAZA. **Brazil's fruit exports reach record \$1.2 billion with new market openings and trade deals**. FreshPlaza, 26 jan. 2024. Disponível em: <https://www.freshplaza.com/north-america/article/9689698/brazil-s-fruit-exports-reach-record-1-2-billion-with-new->

market-openings-and-trade-deals/. Acesso em: 9 ago. 2025.

FRUITNET. **Brazil's fruit exports surge 27 per cent in first half of 2025**. Fruitnet, 30 jul. 2025. Disponível em: <https://www.fruitnet.com/fruitnet/brazils-fruit-exports-surge-27-per-cent-in-first-half-of-2025/267847.article>. Acesso em: 9 ago. 2025.

KADER, A. A. **Postharvest technology of horticultural crops**. 3rd ed. University of California, Agriculture and Natural Resources, 2002. 535 p.

PRUSKY, D.; ALKAN, N.; MENGISTE, T.; FLORS, V. Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. **Annual Review of Phytopathology**, v. 51, p. 155–176, 2013. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102349>

ROMANAZZI, G.; LORIA, R.; NIGRO, F.; GABLER, F. M.; SMILANICK, J. L. Chitosan, a biopolymer with triple action on postharvest decay of fruit and vegetables: eliciting, antimicrobial and film-forming properties. **Postharvest Biology and Technology**, v. 110, p. 77–87, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.017>

SALTVEIT, M. E. Respiratory metabolism. In: WATKINS, C. B. (ed.). **The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks**. USDA, 2019. p. 45–52.

SENHOR, R. F. et al. Manejo de doenças pós-colheita. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 1, 2009.

SOMMER, N. F. Postharvest handling practices and postharvest diseases of fruit. **Plant Disease**, v. 66, p. 357-364, 2002.

TERRY, L. A.; JOYCE, D. C.; ADIKARAM, N. K. B.; KHAN, A. L. The biochemical basis of fruit defence against pathogens. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 1–14, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.02.003>

WILLIAMS. **Brazil's fruit exports reach record 1 million tonnes in 2023**. Williams Shipping Agency, 2024. Disponível em: <https://williams.com.br/fruit-exports-reach-record-1-million-tonnes-in-2023-in-brazil/>. Acesso em: 9 ago. 2025.

ZAREIE, R.; MELANSON, D. L.; MURPHY, P. J. Isolation of fungal cell wall degrading proteins from barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves infected with *Rhynchosporium secalis*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 15, n. 10, p. 1031-1039, 2002.