

RESPOSTA DE MARACUJAZEIROS QUANDO INFECTADOS COM *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*

Alice Gorini Pettermann Loureiro Santos¹, Gilma Rosa do Nascimento¹, Paula Aparecida Muniz de Lima¹, Breno de Souza Borges¹, Rodrigo Sobreira Alexandre², Juliana de Lanna Passos¹, José Carlos Lopes¹.

¹Universidade Federal do Espírito Santo/ Centro de Ciências Agrárias, Alto Universitário, s/n, Guararema 29500-000, Alegre-ES, Brasil. alicegorinip@outlook.com, gilamrosanascimento@hotmail.com, aluap_lima@hotmail.com, breno.borges@edu.ufes.br, juliana.l.passos@ufes.br, jclufes@gmail.com.

²Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Avenida Governador Lindemberg, 360, Centro - 29550-000 - Jerônimo Monteiro-ES, Brasil, rodrigossobreiraalexandre@gmail.com.

Resumo

O maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) é a principal espécie cultivada no Brasil, porém apresenta alta suscetibilidade à fusariose, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (FOP). Em contraste, *Passiflora mucronata* mostra resistência natural ao patógeno, destacando-se como fonte promissora em programas de melhoramento. Neste estudo, plantas de *P. edulis* e híbridos de *P. mucronata* foram cultivadas em condições controle e submetidas à inoculação de FOP nas suas raízes. Amostras radiculares e caulinares foram analisadas para verificar a colonização fúngica e a distribuição de compostos fenólicos. A histologia evidenciou intensa colonização em *P. edulis* por FOP. Por outro lado, não foram observadas estruturas fúngicas nos tecidos de *P. mucronata*. A histoquímica revelou compostos fenólicos na periderme de ambas as espécies, em plantas controle e inoculadas, indicando produção constitutiva. Os resultados sugerem que a resistência de *P. mucronata* envolve um conjunto mais amplo de mecanismos estruturais e fisiológicos e também confirma a importância de *P. mucronata* como recurso genético para resistência à fusariose no melhoramento do maracujazeiro.

Palavras-chave: Fusariose. Histopatologia. Histolocalização. Compostos fenólicos. Resistência vegetal.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias- Agronomia

Introdução

Em 2023, o Brasil produziu 593.429 toneladas de maracujá, cultivadas em 41.584 hectares, consolidando-se como o maior produtor e consumidor mundial da fruta (IBGE, 2023). *Passiflora edulis* Sims., popularmente chamada de maracujá azedo ou amarelo é a principal espécie cultivada e comercializada, correspondendo a 95% dos pomares brasileiros (Silva *et al.*, 2024). Entretanto, a cultura é vulnerável a diversas doenças provocadas por vírus, bactérias, protozoários e fungos. Entre elas, destaca-se a fusariose ou murcha do maracujá, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (FOP) que resulta no bloqueio dos vasos condutores das plantas, impedindo o fluxo de água, ocasionando a murcha e consequentemente a morte da planta (Teixeira *et al.*, 2017; Laranjeira, 2018). Essa fitopatia apresenta elevada relevância econômica, pois provoca um declínio na produtividade e pode tornar o solo inviável para o cultivo, devido à característica de resistência do patógeno na forma de clamidósporos no solo, (Bueno *et al.*, 2009; Lucas, *et al.* 2023;) tornando ineficiente tratamentos químicos para o combate ao patógeno (Carvalho, 2015). Nesse cenário, *Passiflora mucronata* Lam. é uma espécie de alto interesse agrônomo para investigações devido a sua resistência a fusariose (Oliveira *et al.*, 2020) viabilizando a utilização dessa espécie em mecanismos de melhoramento genético, proporcionando possíveis aumentos nas taxas comerciais do maracujá (Preisigkeet *et al.*, 2017; Correa *et al.*, 2022). A resistência pode ser caracterizada como induzida quando as plantas formaram um mecanismo de defesa que só é ativado após a infecção do patógeno ou tratamento com certos produtos químicos naturais ou sintéticos (elicitores) (Cavalcanti *et al.*, 2005). E, no curso da evolução, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa que podem ser

classificados em resistência constitutiva. A resistência constitutiva é caracterizada pela presença permanente de barreiras estruturais ou químicas, independentemente da ocorrência de estresse (Hoffmann-Campo, 2012). Os compostos fenólicos ocupam papel central nas estratégias de defesa vegetal. Eles fazem parte dos metabólitos secundários mais abundantes nas plantas e podem atuar em diferentes níveis de resistência. Quando presentes de forma basal, funcionam como defesa constitutiva, compondo barreiras químicas que dificultam a colonização de tecidos por patógenos. Por outro lado, podem ser acumulados em resposta ao estresse, caracterizando uma defesa induzida, associada à ativação de vias biossintéticas após o reconhecimento do agente agressor (Baptista, 1999; Treutter, 2005; Taiz *et al.*, 2017). Diante desse contexto, técnicas de histolocalização são utilizadas como ferramentas importantes para compreender a dinâmica dessa interação. Ensaios histoquímicos permitem não apenas detectar compostos fenólicos pela alteração de coloração tecidual (Fonseca *et al.*, 2006), mas também evidenciar diretamente a presença de hifas fúngicas nos tecidos vegetais, por meio de técnicas de coloração específicas (Wesp, 2011). Portanto, a histolocalização constitui uma ferramenta essencial para integrar a análise da colonização fúngica e a detecção de compostos fenólicos, possibilitando a elucidação de mecanismos diferenciais de resistência entre *P. edulis* e *P. mucronata*.

Metodologia

O experimento foi conduzido no Laboratório Interdisciplinar de Ciências do Espírito Santo (LICES), do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre, ES (CCAUE-UFES), utilizando-se mudas de *P. mucronata* obtidas por hibridizações intraespecíficas entre genótipos do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) que apresentaram resistência à fusariose.

As mudas de *P. mucronata* e *P. edulis* foram submetidas a ferimentos nas raízes e, em seguida, mantidas em suspensão de esporos do fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. A suspensão foi preparada imediatamente antes da inoculação, adicionando-se 10 mL de água destilada autoclavada em placas de Petri contendo colônias fúngicas. O material resultante foi filtrado em dupla camada de gaze esterilizada e a concentração ajustada para 1×10^6 conídios mL⁻¹ em câmara de Neubauer. Após a inoculação, as plantas foram transferidas para solo autoclavado, onde permaneceram até o momento da maturação. Paralelamente, plantas-controle não inoculadas foram mantidas nas mesmas condições experimentais.

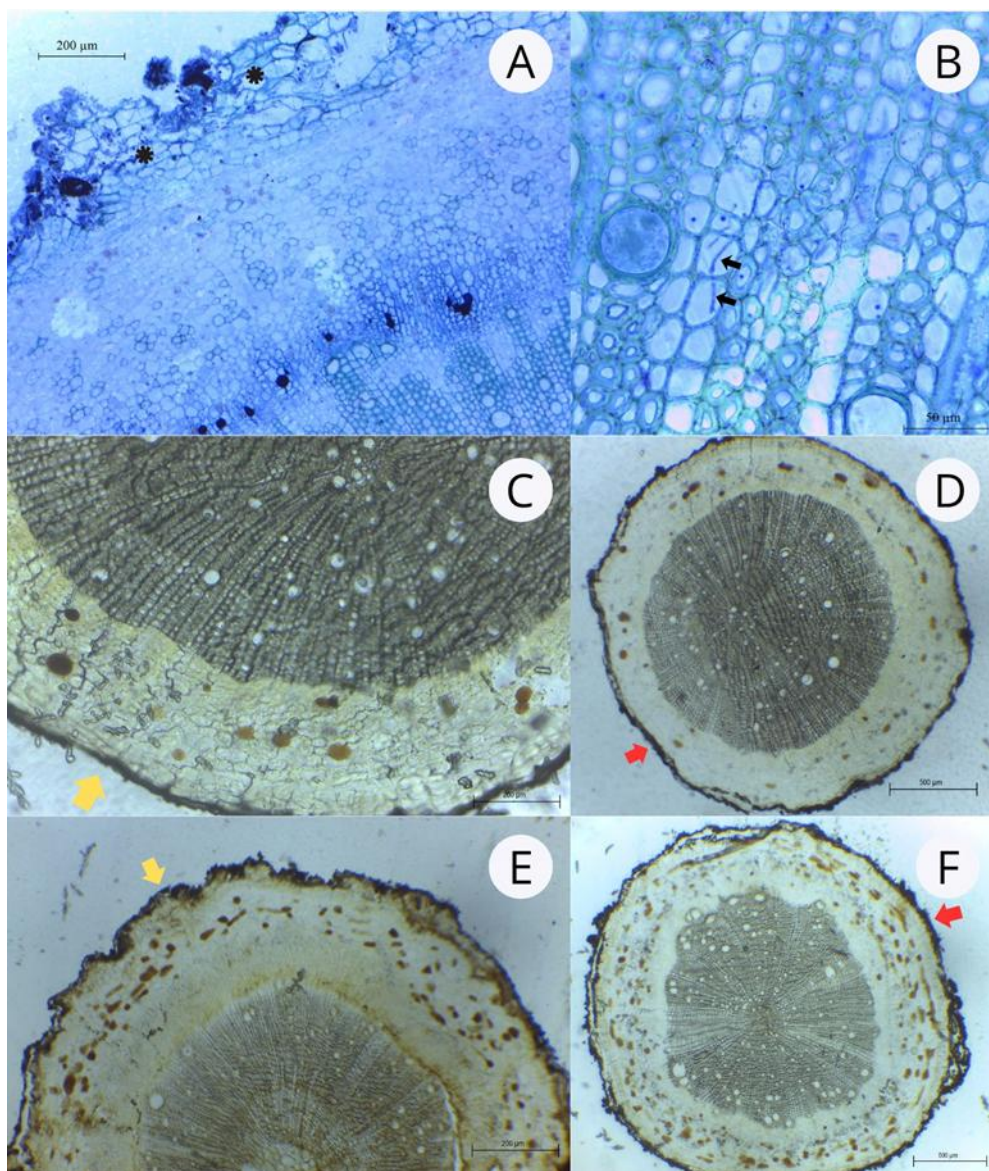
Após o período experimental, amostras de raízes de híbridos de *P. mucronata* e de *P. edulis* foram submetidos a dois processos de fixação diferentes de acordo com o objetivo: (1) fixação em FAA70 de amostras de raízes e processamento para registro da presença ou ausência de hifas fúngicas nos tecidos radiculares; (2) fixação de amostras de caules em Sulfato Ferroso em Formalina Neutra Tamponada para avaliar a presença e a distribuição de compostos fenólicos.

Portanto, partes das amostras das raízes coletadas foram fixadas em FAA70 e conservadas em etanol 70% (Kraus and Arduim, 1997). As amostras foram desidratadas em série etílica e incluídas em resina histológica (Historesin Leica). Após a montagem dos blocos, as raízes foram seccionadas transversalmente em micrótomo manual (RM 2235, Leica) com espessura de 7 µm, distendidos em lâminas de vidro, corados com Azul de Toluidina em pH 4,4 (O'Brien and Maccully, 1981) e montados com gelatina glicerina. As observações foram realizadas em microscópio óptico (Leica RM 2235) equipado com câmera digital (Leica ICC50 HD) e software Leica Application Suite LAS EZ. Paralelamente, segmentos caulinares foram coletados e fixados em Sulfato Ferroso em Formalina Neutra Tamponada por 48 horas com o objetivo de avaliar a presença e a distribuição de compostos fenólicos. Amostras do caule foram desidratadas em série etílica e incluídas em resina histológica (Historesin Leica) para visualização de compostos fenólicos. As seções foram realizadas no plano transversal, com o auxílio de um micrótomo rotativo manual (RM 2235, Leica) com 6 µm de espessura. Os cortes foram distendidos em lâminas de vidro e montadas lâminas semipermanentes. A análise do laminário e a documentação fotográfica foram feitas utilizando-se um microscópio de luz (Phoenix - Leipzig), acoplado a um sistema de captura digital da própria marca com o software ImageView Microscopy, do Laboratório da Botânica II (UFES/Alegre).

Resultados

A análise histológica das raízes de *P. edulis* revelou a presença de hifas de *F. Oxysporum* f. sp. *passiflorae* na periderme (tecido de revestimento secundário), em células do parênquima (cortical e do xilema secundário) e nos elementos de vaso do xilema secundário (Figura 1A-B). Por outro lado, nos híbridos de *P. mucronata* não foram observadas estruturas fúngicas nos tecidos radiculares. Ressalta-se que ambas as espécies apresentaram reação positiva à presença de compostos fenólicos na região da periderme, tanto em plantas controle (Figura 1C, E) quanto nas plantas inoculadas (Figura 1D, F).

Figura 1: Cortes transversais de raiz (A e B) e caule (C-F) de maracujazeiros.



Fonte: Os autores.

Nota: A) Cortes transversais de raízes de plantas de *P. edulis* f. *flavicarpa*, inoculadas com *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*. Asterisco: Padrão desorganizado das células em área de necrose observando presença das hifas. B) Cortes transversais de raízes de plantas de *P. edulis* f. *flavicarpa*, inoculadas com *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*. Setas pretas: Hifas intracelulares. C) Cortes transversais de *P. edulis*. (controle). Seta amarela:

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Reação positiva a compostos fenólicos. D) Cortes transversais de *P. edulis* infectados com *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*. Seta vermelha: Reação positiva a compostos fenólicos. E) Cortes transversais de *P. mucronata* (controle). Seta amarela: Reação positiva a compostos fenólicos. F) Cortes transversais de *P. mucronata* infectados com *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*. Seta vermelha: Reação positiva a compostos fenólicos

Discussão

A análise histológica revelou diferenças entre *P. edulis* e *P. mucronata* quanto à colonização pelo fungo *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* causador da fusariose ou murcha do maracujá. Enquanto em *P. edulis* foi possível observar a presença de hifas nos tecidos radiculares, em *P. mucronata* não houve evidências das estruturas fúngicas, sugerindo um mecanismo de resistência eficiente, capaz de impedir a penetração e o avanço do patógeno, uma vez que o patógeno penetra pelas raízes e se espalha pelos vasos do xilema, causando obstrução do mesmo, resultando na morte da planta (Batista & Barbosa, 2018; Laranjeira et al., 2018). Esse resultado corrobora para a utilização de *P. mucronata* como fonte de resistência natural contra a fusariose, representando importante material genético para programas de melhoramento.

Segundo Fonseca, et al. (2006), a reação de sulfato ferroso para a detecção de compostos fenólicos é caracterizada pelo enegrecimento dos tecidos, sendo essa resposta considerada indicativa da presença desses compostos. A análise histoquímica revelou a presença de compostos fenólicos restrita à região da periderme, sem detecção de reação significativa nos tecidos vasculares.

De acordo com Taiz et al. (2017), os compostos fenólicos são metabólitos secundários com funções essenciais na interação planta-patógeno, sendo a primeira linha de defesa sintetizada pela planta. Entretanto, a reação positiva para compostos fenólicos foi observada nas plantas controle de ambas as espécies (sem inoculação fúngica), bem como em *P. edulis* e nos híbridos de *P. mucronata* inoculados com *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*. A presença desses compostos em plantas controle e inoculadas sugere que sua produção pode ocorrer de forma constitutiva, integrando o metabolismo durante o desenvolvimento vegetal. Assim, ainda que desempenhem um papel importante na defesa, os compostos fenólicos isoladamente não explicam a diferença na suscetibilidade e resistência entre as espécies (Treutter, 2005).

Conclusão

Os resultados indicam a existência de uma resistência dos híbridos de *P. mucronata* frente a *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* e que essa resistência não está associada à produção de compostos fenólicos, mas provavelmente envolve um conjunto mais amplo de mecanismos estruturais e fisiológicos cuja elucidação requer estudos adicionais

Referências

- BATISTA, C. D.; BARBOSA, G. A. M. Doenças fúngicas do sistema radicular do maracujazeiro. In: **Maracujazeiro azedo: Polinizadores, pragas e doenças**. Florianópolis: Epigari, 2018. p. 121-142.
- BAPTISTA, M. J. et al. Produção de compostos fenólicos durante a infecção ectomicorrízica por dois isolados de *Pisolithus tinctorius* em *Eucalyptus uphylla* in vitro. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 309-315, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84041999000500013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/qcyrdk9vxz9dNBTNh8LJZTy/?lang=pt>. Acesso em: 24 set. 2025.
- BUENO, L. C. et al. Production of extracellular enzymes by *Fusarium solani* from yellow passion fruit. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 5, p. 343-346, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000500009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tpp/a/VM5cv8bhTCYtngR8JMxLzbK/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 24 set. 2025.

CARVALHO, J. A. **Reação de espécies de *Passiflora* a isolados de *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae***. 2015. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)- Universidade do Estado do Mato Grosso, Cáceres, 2015.

CAVALCANTI, L. S.; BRUNELLI, K. R.; STANGARLIN, J. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida. In: CAVALCANTI, L.S.; DI PIERO, R.M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. (Eds.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. FEALQ, 2005. p.81-124.

CORREA, A. O. *et al.* *Passiflora mucronata*, a passion fruit wild species resistant to fusariosis and a potential rootstock for commercial varieties. **Scientia Horticulturae**, v. 302, 111174, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111174>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423822002953?via%3Dihub> . Acesso em: 24 set. 2025.

FONSECA, M. C.; MEIRA, R. M. S. A.; CASALI, V. W. D. Anatomia dos órgãos vegetativos e histolocalização de compostos fenólicos e lipídicos em *Porophyllum ruderale* (Asteraceae). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 707-713, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000400011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/z9Jbcjdmdq4kCwMCLdsKkCq/?lang=pt>. Acesso em: 24 set. 2025.

HOFFMANN, C. B. Resistência constitutiva e induzida em plantas a insetos e a metabolômica. In: Congresso Brasileiro de Entomologia, 24., 2012. **Anais...** Curitiba: SEB, 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/939650/1/ResumoXXIVCBECampo.pdf>. Acesso em: 24 set. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E PESQUISA. **Produção Agrícola Municipal**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em: 14 ago. 2025.

LARANJEIRA, F. F. *et al.* Fusariose do maracujazeiro: etiologia, epidemiologia e estratégias de manejo. In: LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. (ed.). **Desafios do manejo de doenças radiculares causadas por fungos**. Pernambuco: Editora Universitária da UFRPE, 2018.

LUCAS, S. S. G. *et al.* Fusariose no semiárido brasileiro: Impactos e danos em culturas agrícolas. In: JUNIOR, F. J. C.; ASSUNÇÃO, M. C.; SILVA, T. S (org.). **Avanços da Pesquisa e Inovação em Sistemas Agrícolas: Conjunturas das Ciências Agrárias**. 1 ed. São Paulo: Editora Científica, 2023.

OLIVEIRA, P. A. *et al.* Initial growth of clonal seedlings of *Passiflora mucronata* genotypes in response to paclobutrazol concentrations. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, e10891210862, 2020. DOI: [10.33448/rsd-v9i12.10862](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10862). Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/10862>. Acesso em: 24 set. 2025.

PREISIGKER, S. C. *et al.* Early selection of *Passiflora* species resistant to fusariosis. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 4, p. 321-325, 2017. DOI: [10.1590/0100-5405/175390](https://doi.org/10.1590/0100-5405/175390). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/HjR6fNfCKdC7DG39cJvYrcx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2025

SILVA, J. M. *et al.* Produção de mudas de maracujá-amarelo em função de diferentes fertilizantes orgânicos e doses. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 20, n. 2, p. 17-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.30969/x3w6344>. Disponível em: <https://acsa.revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/1398>. Acesso em: 24 set. 2025.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: ArtMed, 2024. E-book. ISBN 9786558822127. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786558822127/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

THEUTTER, D. **Significance of flavonoids in plant resistance and enhancement of their biosynthesis**. Plant Biol (Stuttg), v.7, p.581-591, 2005. DOI: [10.1055/s-2005-873009](https://doi.org/10.1055/s-2005-873009). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16388461/>. Acesso em: 24 set. 2025.

WESP, C. L. **Histopatologia das reações de resistência de hospedeiros e de não-hospedeiros em interações *Puccinia triticina* x Poaceae**. 2011. Tese. (Doutorado em Fitotecnia com ênfase em Fitopatologia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo pelo fornecimento de instalações e equipamentos disponibilizados à pesquisa; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo suporte financeiro e bolsas.