

TÉCNICAS APLICADAS À DIAGNOSE DE DOENÇAS DO CAFEEIRO: AVANÇOS E CONTRIBUIÇÕES PARA O MANEJO FITOSSANITÁRIO SUSTENTÁVEL

Felipe Pereira Aguiar Cunha de Almeida¹, Davi Reali Colombo¹, Isaías Flório Ramos Júnior¹, Lucas Jordão Santana Tigre¹, Otávio Brandão Oliosí¹, Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes¹, Willian Bucker Moraes¹.

¹Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/n, 29500-000, Guararema - Alegre - ES, Brasil, fpalmeida1103@gmail.com, davicolombo@icloud.com, isaiasfloriosjr@gmail.com, lucasjst01@gmail.com, oliosib07@gmail.com, simonepaivabucker@gmail.com, willian.moraes@ufes.br.

Resumo

O diagnóstico fitopatológico é essencial para a cafeicultura, pois possibilita a detecção precoce de doenças e a adoção de medidas eficazes de manejo. O objetivo deste trabalho foi apresentar as principais técnicas de diagnóstico de doenças do café, desde métodos tradicionais até ferramentas moleculares e digitais. A metodologia consistiu em revisão bibliográfica realizada em bases científicas como SciELO, ScienceDirect, Springer Nature e MDPI, considerando artigos publicados entre 2005 e 2025, nos idiomas português e inglês. Os resultados mostram que os métodos tradicionais, apesar de acessíveis, são limitados em precisão; técnicas moleculares, como PCR e qPCR, apresentam alta sensibilidade, mas requerem infraestrutura laboratorial; enquanto ferramentas emergentes, como inteligência artificial e biossensores, despontam como alternativas promissoras para diagnósticos rápidos e de campo. Conclui-se que a integração de diferentes abordagens representa a estratégia mais eficiente para fortalecer o manejo fitossanitário e a sustentabilidade da cafeicultura brasileira.

Palavras-chave: *Coffea* spp. Biotecnologia. Fitopatologia. Manejo sustentável.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias/Agronomia.

Introdução

O café (*Coffea arabica* e *Coffea canephora*) é uma das culturas agrícolas de maior relevância socioeconômica para o Brasil, posicionando o país como o maior produtor e exportador mundial de café. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2025), a produção da safra 2024/2025 está estimada em 55,7 milhões de sacas de 60 kg, representando um crescimento de 2,7% em relação à safra anterior. No cenário global, a produção mundial foi projetada em 176,2 milhões de sacas, sendo o Brasil responsável por cerca de 33,3% desse total (AgênciaGov, 2025). Esses números evidenciam não apenas a importância da cultura para a economia nacional, mas também seu papel fundamental no abastecimento internacional do mercado café.

Mencionada a importância da cultura, é relevante expor fatores que podem prejudicar a produção e a qualidade dos grãos de café. Segundo Embrapa (2024), o ataque de doenças pode levar à redução da produtividade, inviabilizar os grãos para o beneficiamento e exportação e, em alguns casos levar à morte da planta. Entre as principais doenças do café, destaca-se a ferrugem-do-café (*Hemileia vastatrix*), considerada a mais devastadora, capaz de reduzir drasticamente a produção quando não controlada. Outra doença que vem surgindo com grande potencial de causar prejuízos é a murcha de fusário do café, causada por espécies do gênero *Fusarium*, os sintomas dessa doença incluem murcha e amarelamento das folhas, desfolha, escurecimento do tecido vascular, secagem e morte dos ramos plagiotrópicos e ortotrópicos da planta (Belan *et al.*, 2018).

Nessa vertente, destaca-se a fitopatologia, área destinada a estudos de doenças que ocorrem em plantas. Um dos tópicos que compõem esta área é o diagnóstico fitopatológico, definido como o processo de reconhecimento de uma doença e identificação do seu agente causal, utilizando métodos clínicos, laboratoriais e epidemiológicos (Agrios, 2005). Para Miller *et al.* (2009) este diagnóstico tem importância fundamental para proteger as culturas e os sistemas vegetais naturais, além de estar ligada a uma definição para a implementação de medidas de controle. Segundo Sá (2021), a falta de detecção

precoce, ou sua imprecisão, acarreta no maior uso de pesticidas, elevando o custo de produção e comprometendo a qualidade final do produto. Assim, uma correta identificação dos patógenos permite não apenas a aplicação direcionada de defensivos, mas também o uso racional de práticas integradas, como a escolha de cultivares resistentes, manejo do solo e monitoramento contínuo (Zambolim, 2016).

Considerando a crescente ocorrência de novos patógenos, associada às mudanças climáticas e a necessidade de sistemas de produção sustentáveis, diagnósticos cada vez mais rápidos, precisos e acessíveis são necessários. A realização desta revisão justifica-se pela necessidade de consolidar o conhecimento sobre métodos tradicionais, moleculares e digitais de diagnóstico fitopatológico, considerando o avanço das tecnologias emergentes e sua relevância para enfrentar os desafios fitossanitários atuais da cafeicultura. Nesse contexto, esta revisão tem como objetivo apresentar as principais técnicas de diagnóstico fitopatológico aplicadas às doenças do cafeeiro, destacando suas potencialidades, limitações e relevância para a eficiência do manejo sustentável de doenças.

Metodologia

Esta revisão da literatura é caracterizada como qualitativa, e foi realizada para apresentar informações relevantes e recentes sobre a temática proposta. Para isso, utilizando os termos: "diagnóstico fitopatológico", "doenças do cafeeiro", "identificação de fitopatógenos", foi realizada uma busca nas plataformas eletrônicas SciELO, ScienceDirect, Springer Nature e MDPI, considerando artigos publicados nos idiomas português e inglês. A seleção de artigos científicos recentes, divulgados em revistas de destaque, teve prioridade. Foram considerados estudos que tratam das principais formas de diagnóstico fitopatológico aplicadas, tanto as tradicionais, como a observação visual de sintomas e o isolamento em meio de cultura, quanto as modernas, como a PCR, o sequenciamento de DNA, além das ferramentas digitais, como sensoriamento remoto e análise de imagens por algoritmos de aprendizado de máquina. Os materiais foram escolhidos com base na sua relevância para o tema, na qualidade da fonte e na utilidade dos métodos descritos no cenário da cafeicultura brasileira.

Resultados

Os resultados obtidos nesta pesquisa apresentam os métodos tradicionais, moleculares computacionais e tecnológicos para detecção de doenças do cafeeiro, destacando suas vantagens e limitações, como custo, precisão e aplicabilidade em diferentes contextos. A Tabela 1 apresenta tais métodos, destacando suas potencialidades e desafios para a detecção de fitopatógenos na cultura do cafeeiro (Tabela 1).

Tabela 1 – Principais técnicas de diagnóstico fitopatológico.

Técnica	Tipo	Vantagens	Desvantagens	Referência
Observação visual	Tradicional	Baixo custo; rápida em campo	Subjetiva; baixa precisão; depende de especialista	Archana <i>et al.</i> (2024)
Isolamento e cultivo em meio de cultura	Tradicional	Permite identificação morfológica; útil para fungos/bactérias	Demorado; requer condições estéreis e mão de obra qualificada	Agrios (2005)
Microscopia	Tradicional	Visualização de estruturas diagnósticas de patógenos	Limitada a organismos visíveis ao microscópio	Archana <i>et al.</i> (2024)
PCR / qPCR	Molecular	Alta sensibilidade e especificidade; quantificação de DNA	Custo elevado; requer laboratório equipado	Ferrucho <i>et al.</i> (2024);

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Sequenciamento genômico / rpoD	Molecular	Identificação precisa de espécies	Exige bioinformática e custo elevado	Raimundi <i>et al.</i> (2021); McTavish <i>et al.</i> (2023)
Inteligência Artificial (IA)	Computacional	Diagnóstico rápido; aplicável em campo por imagens digitais	Depende de banco de dados robusto; precisa validação	Cabrera <i>et al.</i> (2024); Adelaja & Pranggono (2025); Pramudita <i>et al.</i> (2023)
Biossensores	Tecnológico	Detecção precoce e em tempo real; não invasivo	Muitos ainda em desenvolvimento; custo e acesso limitados	Buja <i>et al.</i> (2021); Garcia-Vera <i>et al.</i> (2024)

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Os resultados mostram que, apesar da simplicidade e do baixo custo, os métodos tradicionais não oferecem a precisão necessária diante da crescente complexidade do patossistema cafeeiro. Ainda assim, sua utilização continua essencial, principalmente em regiões com recursos limitados, servindo como base inicial de identificação.

As técnicas moleculares consolidaram-se como ferramentas fundamentais, sendo capazes de detectar patógenos de forma precoce e com alta especificidade. Entretanto, a demanda por infraestrutura laboratorial e profissionais qualificados limita sua aplicação rotineira em campo.

As ferramentas digitais, como a inteligência artificial, apresentam grande potencial para diagnósticos rápidos e acessíveis, mas ainda dependem de bases de dados amplas e diversificadas para garantir acurácia em diferentes condições ambientais. Já os biossensores se configuram como alternativa promissora para a detecção em tempo real, mas carecem de maior validação e disponibilidade comercial.

Discussão

A revisão da literatura evidenciou que o diagnóstico fitopatológico do cafeeiro envolve uma diversidade de abordagens, desde métodos tradicionais até ferramentas modernas. Entre os métodos tradicionais, a observação visual, o isolamento em meio de cultura e a microscopia continuam amplamente utilizados, principalmente por seu baixo custo e acessibilidade. Contudo, apresentam limitações relacionadas à subjetividade e ao tempo demandado, além da necessidade de profissionais especializados (Archana *et al.*, 2024; Raimundi *et al.*, 2021).

Os métodos moleculares, como a PCR e suas variações (qPCR), oferecem diagnósticos com alta sensibilidade e especificidade, tornando-se referência em Fitopatologia. Ferrucho *et al.* (2024) destacam a eficácia da qPCR na detecção de *Colletotrichum kahawae*, enquanto Raimundi *et al.* (2021) mostraram o potencial do rep-PCR na caracterização de *Pseudomonas* spp. associadas ao cafeeiro. Complementarmente, McTavish *et al.* (2023) demonstraram, por meio de análises genômicas, que genes de virulência podem estar associados à maior agressividade de patógenos, ressaltando a importância da genômica no diagnóstico.

Tecnologias emergentes, como inteligência artificial, vêm sendo aplicadas ao reconhecimento de imagens de folhas. Modelos baseados em *Convolutional Neural Network* (Rede Neural Convolucional) têm alcançado elevada acurácia na detecção de doenças (Cabrera *et al.*, 2024; Adelaja e Pranggono, 2025; Pramudita *et al.*, 2023). Além disso, o uso de biossensores aplicados em campo, capazes de detectar sinais ópticos ou moleculares, tem se mostrado uma alternativa promissora, embora ainda em estágio de desenvolvimento, com poucas aplicações testadas diretamente no cafeeiro (Buja *et al.*, 2021; Garcia-Vera *et al.*, 2024).

Casos recentes, como a ocorrência de *Ceratocystis manginecans* causando cancro e morte em *Coffea arabica* no Brasil (Ferreira *et al.*, 2023), reforçam a urgência de métodos diagnósticos rápidos e confiáveis, fundamentais para conter surtos de doenças emergentes.

Assim, a integração de diferentes métodos – tradicionais, moleculares e digitais – deve ser entendida como a abordagem mais robusta e eficaz para o diagnóstico fitopatológico no cafeeiro, permitindo tanto a confiabilidade dos resultados quanto a aplicabilidade prática no manejo fitossanitário.

Conclusão

O diagnóstico fitopatológico é um pilar essencial para a sustentabilidade e competitividade da cafeicultura brasileira. A revisão da literatura evidenciou que, embora os métodos tradicionais, como observação visual de sintomas, isolamento em meio de cultura e microscopia, continuem desempenhando papel relevante, os avanços em técnicas moleculares, como PCR, qPCR e sequenciamento de genes, e ferramentas digitais, como inteligência artificial e análise de imagens por algoritmos de visão computacional, ampliam as possibilidades de diagnósticos mais rápidos, precisos e aplicáveis em diferentes contextos produtivos.

Conclui-se que a integração entre diferentes ferramentas diagnósticas constitui a estratégia mais promissora para aumentar a eficiência do manejo de doenças do cafeeiro. Para tanto, é indispensável o investimento em pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico e capacitação de profissionais, assegurando diagnósticos confiáveis e contribuindo para a sanidade e qualidade da produção de café.

Referências

ADELAJA, O.; PRANGGONO, B. Leveraging Deep Learning for Real-Time Coffee Leaf Disease Identification. **AgriEngineering**, v. 7, n. 1, p. 13, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering7010013>

AGÊNCIA GOV. **Produção mundial de café foi estimada em 176,2 milhões de sacas de 60kg para a safra 2024/2025.** Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias>. Acesso em: 08 ago. 2025.

AGRIOS, G. N. Plant Pathology. 5. ed. **Elsevier Academic Press**, 2005.

ARCHANA, T. S.; KUMAR, D.; GHOSH, P. et al. Detecção de patógenos de plantas: explorando técnicas modernas e direções futuras. **Indian Phytopathology**, v. 77, p. 573–585, 2024. <https://doi.org/10.1007/s42360-024-00762-w>. Acesso em: 08 ago. 2025.

BELAN, L. L. et al. First Report of Fusarium Species associated with Fusarium Wilt in Coffea canephora plants in Brazil. **Plant Disease**, v. 102, n. 9, p. 1859, 2018.

BUJA, I.; SABELLA, E.; MONTEDURO, A.; CHIRIACÒ, M.; BELLIS, L.; LUVISI, A.; MARUCCIO, G. Advances in plant disease detection and monitoring: from traditional assays to in-field diagnostics. **Sensors (Basel)**, v. 21, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21062129>. Acesso em: 08 ago. 2025.

CABRERA, J.; AVRAMIDIS, K.; NARAYANAN, S;. **Early Detection of Coffee Leaf Rust Through Convolutional Neural Networks Trained on Low-Resolution Images.** arXiv preprint arXiv:2403.14218, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.14737>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Produção de café apresenta recuperação de 2,7% em 2025, estimada em 55,7 milhões de sacas.** Disponível em: <https://www.gov.br/conab>. Acesso em: 08 ago. 2025.

EMBRAPA. **Manejo integrado de pragas e doenças do café arábica.** Circular Técnica n. 8. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 08 ago. 2025.

FERREIRA, E. A.; SILVA, A. C.; OLIVEIRA, R. J. First report of Ceratocystis manginecans causing cankers and death of Coffea arabica in Brazil. **Plant Disease**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-23-0656-PDN>

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

FERRUCHO, R. L.; MARÍN-RAMÍREZ, G. A.; OCHOA-CORONA, F.; ÁNGEL C., C. A. PCR-Based Detection for the Quarantine Fungus *Colletotrichum kahawae*, a Biosecurity Threat to the Coffee (*Coffea arabica*) Industry Worldwide. **Plant Disease**, v. 108, n. 9, p. 2615–2624, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-23-1788-SR>. Acesso em: 08 ago. 2025.

GARCIA-VERA, C. et al. Early Disease Detection in Crops through Hyperspectral Imaging and Deep Learning. **Sustainability**, v. 16, n. 4, p. 1558, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16146064>. Acesso em: 08 ago. 2025.

McTAVISH, K. J.; HENRY, C.; PETERS, C. *Pseudomonas syringae* coffee blight is associated with plasmid-encoded type III effectors. *New Phytologist*, 2023. DOI: 10.1111/nph.19364.

MILLER, S. A.; BEED, F. D.; HARMON, C. L. Plant disease diagnostic capabilities and networks. **Annual Review of Phytopathology**, v. 47, p. 15–38, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081743>. Acesso em: 08 ago. 2025.

RAIMUNDI, M. K.; SOUZA, R. M.; MATTOS, C. R. Molecular identification of *Pseudomonas* spp. isolated from coffee plants using rep-PCR and rpoD sequences. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145000121>

SÁ, R. C. **Diagnóstico e manejo de doenças de plantas na agricultura moderna**. 2021. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021. Disponível em: <https://rosario.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/9439/1/RAPHAEL%20CAMARA%20S%c3%81.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2025.

ZAMBOLIM, L. **Doenças do cafeeiro: estratégias de manejo**. Viçosa: UFV, 2016.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Epidemiologia e Manejo de Doenças de Plantas Agrícolas e Florestais (LEMP) e ao Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI), da Universidade Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, pela infraestrutura para realização deste estudo, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.