

DESEMPENHO DA CULTIVAR ARARA FRENTE À FERRUGEM DO CAFEIEIRO (*Hemileia vastatrix*): UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE RESISTÊNCIA GENÉTICA E ESTABILIDADE PRODUTIVA

Roger Alexandre Nogueira Gontijo¹, Ana Paula Rezende Ferreira², Gabriel Antônio da Silva², Alysson Rodrigo Fonseca e Silva³, Fabrizio Furtado de Sousa³, Vinícius Valim Pereira³.

¹Professor, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Divinópolis, Brasil
(roger.gontijo@uemg.br),

²Estudantes de Graduação, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG),
Divinópolis, Brasil

³Professores, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Divinópolis, Brasil

Resumo: Esta revisão analisa a resistência da Cultivar Arara à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*). Os dados indicam que sua resistência é de natureza relativa e influenciada pelo ambiente, mantendo a severidade da doença abaixo de 10% em relação a materiais suscetíveis. Conclui-se que a cultivar é estratégica para a cafeicultura sustentável por aliar produtividade e sanidade, embora demande monitoramento contínuo devido à variabilidade do patógeno e às oscilações na expressão da resistência.

Palavras-chave: Melhoramento genético; *Coffea arabica* L.; Sanidade vegetal; Fitopatologia.

INTRODUÇÃO

A cafeicultura desempenha um papel vital na estrutura socioeconômica brasileira, sendo o país o maior produtor e exportador global de *Coffea arabica* L. Entretanto, a produtividade e a sustentabilidade desse setor são constantemente ameaçadas por desafios fitossanitários, entre os quais a ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo biotrófico *Hemileia vastatrix*, assume posição de destaque. Este patógeno, ao colonizar o parênquima foliar, desencadeia uma série de respostas fisiológicas deletérias que culminam na redução da longevidade das folhas e, consequentemente, na capacidade de suporte de carga dos ramos plagiotrópicos.

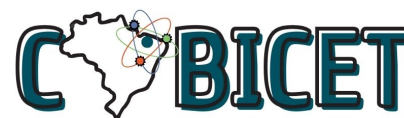
Esta enfermidade é capaz de reduzir drasticamente a capacidade fotossintética da planta devido à desfolha precoce, resultando em perdas produtivas significativas em safras consecutivas. A magnitude dessas perdas está intrinsecamente ligada ao ciclo bienal do cafeeiro, onde a desfolha ocorrida em um ano de alta carga compromete severamente a formação de gemas florais para o ciclo subsequente, acentuando a oscilação da produção.

Historicamente, o controle da ferrugem baseou-se no uso intensivo de fungicidas. Contudo, a pressão por modelos agrícolas mais sustentáveis e a necessidade de redução dos custos operacionais impulsionaram o desenvolvimento de materiais com resistência genética.

O marco desse avanço foi a utilização de derivados do Híbrido de Timor, que forneceu a base genética para diversas cultivares modernas. Nesse cenário, a Cultivar Arara tem conquistado ampla adoção nas regiões produtoras brasileiras. Além de apresentar vigor vegetativo notável e alto potencial produtivo, ela se destaca por seu comportamento favorável frente ao patógeno.

Originada de um provável cruzamento natural entre o Icatu e o Catuaí Amarelo, a Cultivar Arara apresenta características fenotípicas desejáveis, como arquitetura de planta compacta e maturação de frutos tardia, o que facilita o planejamento da colheita. Essa cultivar tem se consolidado como uma opção promissora, amplamente difundida em diferentes regiões produtoras e frequentemente mencionada em estudos recentes. Entretanto, observa-se que a maior parte das pesquisas aborda a Cultivar Arara em ensaios comparativos com outras cultivares, havendo uma lacuna na sistematização das informações especificamente relacionadas à incidência da ferrugem e à estabilidade de sua resistência.

Contudo, a literatura alerta que a expressão da resistência não é absoluta; ela é modulada pela interação genótipo $\times$ ambiente e pela evolução das raças de *H. vastatrix*. Diante da expansão de seu cultivo, torna-se imperativo sistematizar o conhecimento sobre sua estabilidade fitossanitária. A compreensão de como variáveis térmicas e hídricas



interferem na quebra da resistência ou na manifestação de sintomas é fundamental para o balizamento de recomendações técnicas regionalizadas.

Assim, a realização de uma revisão bibliográfica sobre a incidência da ferrugem na Cultivar Arara justifica-se pela necessidade de reunir e organizar o conhecimento disponível, identificar lacunas de pesquisa e contribuir para o entendimento da interação entre genótipo, ambiente e patógeno. Espera-se que esta compilação ofereça um referencial sólido para técnicos e pesquisadores na tomada de decisão sobre o manejo fitossanitário em lavouras implantadas com este material genético.

Portanto, a presente revisão tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a incidência da ferrugem do cafeeiro, causada por *Hemileia vastatrix*, com ênfase na Cultivar Arara, visando compreender seu comportamento frente à doença, bem como avaliar a influência de fatores edafoclimáticos e da variabilidade do patógeno na estabilidade da resistência. Nessa perspectiva, busca-se contribuir tanto para o avanço do conhecimento científico quanto para o fortalecimento da cafeicultura em bases mais sustentáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e analítico, voltada à avaliação crítica da incidência da ferrugem do cafeeiro na Cultivar Arara e de sua relevância para o manejo da doença. O procedimento metodológico foi estruturado em etapas sequenciais, contemplando: (i) definição da pergunta de pesquisa e do escopo temático; (ii) busca e triagem das publicações; (iii) avaliação de qualidade e elegibilidade dos estudos; e (iv) síntese crítica e interpretação dos resultados.

A delimitação temporal focou prioritariamente na última década, período em que a Cultivar Arara expandiu sua área plantada no Brasil e despertou maior interesse acadêmico. A busca por publicações foi conduzida majoritariamente nas bases de dados Google Scholar, SciELO e Portal de Periódicos CAPES. Foram utilizados como descritores os termos “ferrugem do cafeeiro”, “*Hemileia vastatrix*”, “Cultivar Arara”, “*coffee leaf rust*” e “*coffee cultivars*”, em diferentes combinações com operadores booleanos, de modo a abranger estudos sobre incidência, severidade, resistência genética, desempenho agrônomo e qualidade de bebida em cultivares de *Coffea arabica*, com ênfase na Cultivar Arara.

Os critérios de inclusão contemplaram artigos científicos, dissertações e publicações técnicas que apresentassem dados ou discussões diretamente relacionados à incidência e/ou severidade da

ferrugem do cafeeiro, abordassem cultivares de *C. arabica* resistentes ou suscetíveis, incluindo a Cultivar Arara ou materiais geneticamente relacionados, e estivessem disponíveis em texto completo. Foram priorizados estudos publicados nos últimos anos, sem, contudo, excluir trabalhos clássicos considerados fundamentais para o entendimento da dinâmica da doença e da resistência genética.

Trabalhos duplicados entre bases foram excluídos, bem como estudos sem relação direta com o tema (por exemplo, aqueles que apenas mencionavam a ferrugem de forma tangencial) e publicações com informações insuficientes para análise (como falta de descrição de métodos, ausência de dados mínimos de incidência/severidade ou de caracterização das cultivares). Sempre que necessário, procedeu-se à leitura integral dos textos para confirmação da elegibilidade. A sistematização dos dados buscou identificar o delineamento experimental utilizado nos estudos, visando assegurar que as comparações entre a Cultivar Arara e as cultivares testemunhas (geralmente suscetíveis) fossem estatisticamente válidas.

Além da triagem temática, realizou-se uma avaliação qualitativa da robustez metodológica dos estudos incluídos, considerando, entre outros aspectos: clareza na descrição das condições experimentais, número de cultivares avaliadas, período e local de condução dos ensaios, forma de mensuração da incidência e severidade da ferrugem, e tratamento estatístico dos dados. Considerou-se, ainda, a relevância dos dados climáticos reportados nos estudos, uma vez que a precipitação e a temperatura são variáveis determinantes no ciclo de vida do fungo e na resposta da planta.

Essa etapa permitiu ponderar o peso relativo de cada estudo na síntese final, evitando uma abordagem meramente descritiva. A análise das publicações selecionadas foi conduzida de forma qualitativa, porém com foco interpretativo e crítico. Os estudos foram comparados quanto ao comportamento da Cultivar Arara frente à ferrugem em diferentes condições ambientais e sistemas de manejo, ao desempenho relativo em relação a cultivares suscetíveis e resistentes, às evidências sobre mecanismos fisiológicos e genéticos de resistência e aos impactos sobre a produtividade e a qualidade da bebida.

A partir dessa comparação sistemática, buscaram-se identificar não apenas padrões de resposta, mas também divergências entre os resultados, possíveis explicações para essas diferenças (por exemplo, variações edafoclimáticas, de raças de *H. vastatrix* ou de práticas de manejo) e lacunas consistentes no conhecimento disponível. A integração desses dados



permitiu construir uma visão holística sobre a estabilidade da Cultivar Arara, transcendendo a simples análise de campo e incorporando conceitos de fitopatologia e fisiologia da produção.

Assim, a metodologia adotada não se limita à síntese descritiva da literatura, mas procura integrar e contrastar criticamente as evidências, destacando implicações práticas para o manejo da ferrugem e indicando direções de pesquisa futura. Espera-se, com isso, oferecer uma contribuição mais robusta à comunidade científica e técnica, ao explicitar tanto o estado atual do conhecimento sobre a Cultivar Arara quanto os pontos em que ainda há incertezas relevantes para o avanço dos programas de melhoramento e das estratégias de manejo da doença.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese dos estudos sobre a ferrugem do cafeeiro, causada por *Hemileia vastatrix*, evidencia que a incidência e a severidade da doença variam de forma expressiva em função da cultivar, das condições ambientais e da variabilidade do patógeno. Essa variabilidade é intrínseca ao sistema hospedeiro-patógeno, onde a pressão de seleção exercida pelo ambiente modula a velocidade de disseminação dos urediniósporos.

Ensaio conduzidos com cultivares tradicionais de *Coffea arabica*, como as cultivares Catuaí e Mundo Novo, em diferentes regiões produtoras, relatam frequentemente valores de incidência superiores a 60–80% e severidade acima de 20–30% em condições favoráveis à doença, com reduções de produtividade que podem superar 30% em safras consecutivas (CARVALHO et al., 2017; MOREIRA et al., 2024). O elevado índice de severidade nestas cultivares é agravado pela alta carga pendente, que drena reservas da planta e a torna mais vulnerável à infecção fúngica.

Em áreas de clima mais úmido e ameno, esses percentuais tendem a ser ainda mais elevados, com registros de epidemias severas em altitudes intermediárias, sobretudo quando o manejo químico é inadequado (AVELINO et al., 2015). Tais condições climáticas favorecem a germinação do fungo, que ocorre preferencialmente na presença de água livre na superfície foliar e em temperaturas entre 15 e 28 °C. Tais resultados reforçam, de forma quantitativa, o papel central da resistência genética como componente estruturante das estratégias de manejo da ferrugem.

Em contrapartida, estudos que avaliam cultivares melhoradas, em especial aquelas derivadas do Híbrido de Timor, demonstram redução consistente na incidência e na severidade da ferrugem. REIS et al. (2018), observaram que cultivares classificadas

como resistentes apresentaram, em média, menos de 10% de folhas com pústulas ativas e severidade inferior a 5%, em comparação a valores superiores a 25–30% de severidade em cultivares suscetíveis no mesmo ambiente.

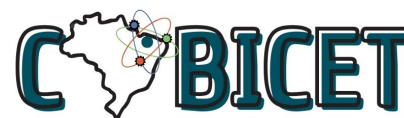
De forma semelhante, MORAES et al. (2021) relataram taxas de progressão da doença até 50% menores em genótipos portadores de genes de resistência, associadas a redução significativa da desfolha e manutenção de maior área foliar fotossinteticamente ativa. Essa manutenção do aparato fotossintético é vital para o enchimento de grãos e para a preservação das gemas vegetativas e reprodutivas para o próximo ciclo. Esses resultados apontam não apenas uma diferença qualitativa (presença/ausência de resistência), como também um gradiente de resposta que se traduz em ganhos agrônômicos mensuráveis.

No contexto dessas cultivares melhoradas, a Cultivar Arara tem sido recorrentemente mencionada como material de destaque, tanto pelo desempenho agrônômico quanto pelo comportamento frente à ferrugem. SOUZA e CORRÊA (2019), descrevem a Cultivar Arara com níveis de severidade frequentemente inferiores a 5–10%, enquanto cultivares suscetíveis avaliadas no mesmo conjunto experimental atingem valores superiores a 20%. O vigor vegetativo da Cultivar Arara parece conferir-lhe uma capacidade de recuperação e reposição foliar superior, mitigando os efeitos deletérios de eventuais infecções tardias.

Em estudos comparativos conduzidos em diferentes ambientes, SANTOS et al. (2021) e REICHEL et al. (2023), relatam que a Cultivar Arara mantém produtividade equivalente ou superior a 35–40 sacas ha⁻¹, com menor intensidade de desfolha e menor área foliar lesionada ao longo de múltiplos ciclos. A estabilidade produtiva observada sugere que a resistência presente na cultivar não compromete o direcionamento de fotoassimilados para os frutos, o que ocorre frequentemente em outros genótipos resistentes que possuem um custo metabólico de defesa muito elevado.

Além disso, os trabalhos de REICHEL et al. (2023) e COELHO et al. (2024), demonstram que a Cultivar Arara possui alto potencial para cafés especiais, refutando a ideia de que a resistência genética comprometeria a qualidade sensorial. Em avaliações sensoriais, a cultivar tem apresentado notas elevadas na escala BSCA (Brazil Specialty Coffee Association), com destaque para doçura e acidez equilibrada.

Esses dados corroboram a classificação da Cultivar Arara como resistente e indicam que sua base genética, derivada de materiais com genes de



resistência, se traduz em benefícios agrônômicos concretos.

A análise comparativa mais aprofundada revela que a resistência observada na Cultivar Arara não é uniforme em todas as condições de cultivo. Em ambientes caracterizados por elevada umidade relativa (>80%), temperaturas amenas prolongadas (18–22 °C) e alta pressão de inóculo, alguns autores relatam incremento na incidência da doença, com valores que podem se aproximar de 15–20% de severidade na Cultivar Arara, ainda que se mantenham abaixo daqueles observados em cultivares claramente suscetíveis, que podem ultrapassar 30–40% nas mesmas condições (REIS et al., 2018; MOREIRA et al., 2024).

Essas diferenças sugerem que, embora a Cultivar Arara mantenha um desempenho relativo superior, sua resistência é modulada de forma significativa pela interação genótipo × ambiente. Essa interação também se expressa em termos geográficos. Em regiões de Cerrado, onde o inverno é seco, a incidência é naturalmente menor, enquanto em regiões de Mata com maior nebulosidade, o desafio fitossanitário é maior.

Em regiões de maior altitude e temperaturas médias mais baixas, a ferrugem tende a progredir mais lentamente, e a diferença entre a Cultivar Arara e cultivares suscetíveis pode ser menos pronunciada em termos absolutos de severidade, ainda que a relação relativa se mantenha (CARVALHO et al., 2017).

Em contrapartida, em áreas de clima mais quente e úmido, ou sob regimes de chuvas mal distribuídos, a pressão de inóculo aumenta e expõe mais claramente os limites da resistência relativa da Cultivar Arara, exigindo maior integração com práticas de manejo, como adubação equilibrada, podas bem manejadas e, quando necessário, uso complementar de fungicidas (PEREIRA et al., 2021).

As práticas de manejo também emergem como fator explicativo para parte das divergências entre estudos. Ensaio que combinam cultivares resistentes com manejo nutricional adequado e monitoramento sistemático da ferrugem tendem a registrar níveis de severidade ainda mais baixos e maior estabilidade produtiva, mesmo em ambientes considerados favoráveis ao patógeno (ALMEIDA et al., 2022; PEREIRA et al., 2021). A relação entre nitrogênio e potássio, por exemplo, é crucial; plantas com nutrição equilibrada apresentam tecidos mais resistentes à penetração mecânica e química do fungo.

Por outro lado, em sistemas com adubação deficiente, podas tardias ou ausência de monitoramento, há relatos de aumento da ferrugem mesmo em materiais

classificados como resistentes, incluindo a Cultivar Arara. Isso indica que a expressão da resistência não pode ser dissociada do contexto de manejo em que a cultivar é inserida.

Outro aspecto recorrente na literatura diz respeito à variabilidade genética de *H. vastatrix*. Estudos populacionais indicam alta diversidade de raças fisiológicas, com diferenciação entre regiões e, por vezes, dentro de uma mesma região produtora (ALMEIDA et al., 2022; ZAMBOLIM et al., 2024). A dinâmica de "braço de ferro" evolutivo entre a resistência da planta e a virulência do fungo é constante. No caso da Cultivar Arara, a ampla base genética proveniente do Híbrido de Timor oferece uma proteção mais robusta, mas não invulnerável.

Em sistemas altamente especializados, nos quais poucas cultivares dominam grandes áreas de cultivo, essa variabilidade tende a ser moldada pela pressão de seleção imposta pelos genes de resistência presentes nas plantas. Assim, ainda que a Cultivar Arara apresente desempenho superior no conjunto dos estudos, permanece sujeita às mesmas pressões evolutivas que já resultaram em quebras de resistência em outras cultivares em diferentes contextos (AVELINO et al., 2015; BERNY MIER Y TERAN et al., 2025).

Assim, a literatura apresenta tanto convergências quanto divergências. Há concordância em relação ao fato de que a Cultivar Arara tende a apresentar menor severidade de ferrugem e menor desfolha em comparação a cultivares suscetíveis, além de manter produtividade e qualidade de bebida em níveis competitivos (SOUZA e CORRÊA, 2019; REICHEL et al., 2023; COELHO et al., 2024).

Em contrapartida, divergências surgem quanto à magnitude exata desses benefícios e à estabilidade da resistência ao longo de anos e em diferentes contextos climáticos. Enquanto alguns estudos reportam níveis quase residuais de ferrugem na Cultivar Arara em determinadas condições, outros descrevem ocorrência moderada da doença sob alta pressão de inóculo, ainda que inferior à observada em materiais suscetíveis (REIS et al., 2018; MOREIRA et al., 2024).

Essas diferenças podem ser parcialmente atribuídas a metodologias distintas de avaliação (escalas visuais, épocas de amostragem, forma de cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença), às variações edafoclimáticas entre locais e safras, bem como à composição de raças de *H. vastatrix* presentes em cada região.

Estudos que abordam a resposta fisiológica de cafeeiros à ferrugem sugerem que a resistência envolve um conjunto de mecanismos, incluindo barreiras anatômicas, respostas de hipersensibilidade

localizada, produção de compostos fenólicos, ativação de enzimas antioxidantes e alterações em rotas metabólicas relacionadas à defesa (SILVA et al., 2022; ALMEIDA et al., 2022).

Embora tais mecanismos não tenham sido caracterizados em detalhe especificamente para a Cultivar Arara, evidências provenientes de cultivares com origem genética semelhante indicam que combinações de resistência vertical (mediada por genes específicos) e resistência quantitativa (parcial) podem estar em jogo. Do ponto de vista crítico, isso reforça a necessidade de estudos que vão além da mera descrição de níveis de severidade, incorporando análises histopatológicas e fisiológicas que permitam relacionar respostas de defesa a reduções efetivas na colonização por *H. vastatrix*.

A literatura também mostra que, na maior parte dos estudos, a Cultivar Arara é avaliada em conjunto com outras cultivares, em ensaios comparativos de desempenho agrônomo, estabilidade produtiva e qualidade de bebida (SOUZA e CORRÊA, 2019; OLIVEIRA e REIS, 2023; REICHEL et al., 2023). Esses trabalhos são valiosos para posicionar a Cultivar Arara em relação a um conjunto de referências, mas, ao mesmo tempo, fornecem informações limitadas sobre a quantificação detalhada da incidência e da severidade da ferrugem especificamente nessa cultivar, em séries temporais mais longas.

Faltam dados, por exemplo, sobre a evolução da ferrugem na Cultivar Arara ao longo de vários ciclos de produção sob diferentes níveis de pressão do patógeno e sob distintas combinações de práticas de manejo.

De maneira geral, a integração crítica dos resultados disponíveis indica que a Cultivar Arara apresenta desempenho consistente em termos de resistência relativa à ferrugem, com reduções frequentemente superiores a 50% na severidade em comparação a cultivares suscetíveis, associadas a menor desfolha e maior estabilidade produtiva. Contudo, essa resistência deve ser interpretada como de natureza não absoluta e dependente do contexto ambiental e de manejo, bem como da dinâmica evolutiva do patógeno.

A ausência de um conjunto mais robusto de estudos específicos, que avaliem o comportamento da Cultivar Arara de forma isolada em diferentes condições edafoclimáticas, com protocolos padronizados de mensuração da doença, limita a extrapolação de recomendações técnicas mais precisas. É necessário fomentar pesquisas de longa duração que avaliem a Cultivar Arara sob diferentes densidades de plantio e regimes de irrigação, fatores que alteram o microclima e a pressão da doença.

Nesse sentido, os resultados atuais apontam tanto o potencial da Cultivar Arara como componente-chave no manejo da ferrugem quanto a necessidade de pesquisas adicionais que consolidem, com base em indicadores quantitativos, a estabilidade de sua resistência e seu papel em sistemas cafeeiros de diferentes regiões, uma vez que diferentes fatores influenciam a expressão da resistência na Cultivar Arara (Tabela 1).

Tabela 1. Fatores que influenciam a expressão da resistência na Cultivar Arara e impacto observado.

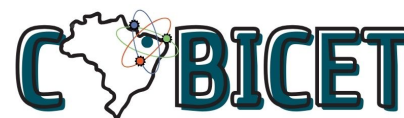
Fator influenciador	Impacto observado na resistência
Alta umidade (>80%)	Incremento na incidência e severidade
Variabilidade do patógeno	Risco da redução da eficácia dos mecanismos de defesa
Manejo nutricional	Adubação equilibrada favorece a estabilidade
Altitude e temperatura	Climas mais frios reduzem a progressão da doença

Como base nos estudos analisados e demonstrado na tabela 1, observa-se que a expressão da resistência também pode ser influenciada por fatores edafoclimáticos, como umidade, altitude, temperatura e manejo. Estes dados sublinham que a genética por si só não é uma garantia de sanidade, mas sim uma ferramenta que deve ser potencializada pelo manejo cultural adequado.

CONCLUSÃO

A análise da literatura confirma que a ferrugem do cafeeiro, causada por *Hemileia vastatrix*, permanece como um dos principais desafios fitossanitários da cultura. O uso de cultivares resistentes consolidou-se como pilar fundamental do manejo integrado, reduzindo a dependência exclusiva de fungicidas.

Os estudos disponíveis indicam que a Cultivar Arara apresenta, de modo consistente, menor incidência e severidade da ferrugem em comparação a cultivares suscetíveis. Essa superioridade fitossanitária é acompanhada por uma robustez produtiva que permite ao cafeicultor maior segurança econômica, reduzindo a incerteza quanto à safra futura.



Essa resistência relativa está associada à sua base genética e se traduz em maior manutenção da área foliar ativa. Entretanto, a expressão dessa resistência é modulada por fatores ambientais e pela variabilidade do patógeno. A possibilidade de surgimento de novas raças do fungo capazes de superar os genes de resistência atuais é uma ameaça constante que não deve ser negligenciada.

Ademais, a predominância de estudos comparativos limita a caracterização plena da estabilidade da Cultivar Arara ao longo do tempo. Lacunas científicas relevantes incluem a escassez de séries temporais longevas em múltiplas localidades, a insuficiência de dados sobre mecanismos fisiológicos e histopatológicos específicos, bem como a carência de análises que integrem, de forma sistêmica, a resistência ao desempenho agrônômico. A superação desses gargalos de conhecimento viabilizará um posicionamento técnico mais assertivo deste material genético nos diversos biomas cafeeiros do Brasil.

Do ponto de vista científico, compreender melhor a interação genótipo $\times$ ambiente $\times$ patógeno pode orientar o desenvolvimento de novas cultivares. Diante do conjunto de evidências, conclui-se que a Cultivar Arara representa um avanço significativo no manejo da ferrugem.

Sua adoção não deve ser isolada: a combinação com monitoramento e práticas culturais adequadas é fundamental. O futuro da cafeicultura produtiva e sustentável repousa na integração de tecnologias genéticas com um manejo que respeite a fisiologia da planta e a dinâmica dos agroecossistemas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. A. R. et al. Genotypic relationship of *Hemileia vastatrix* populations reveals high diversity of the pathogen. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, 2022.

ALMEIDA, L. A. R. et al. Morphophysiological adaptation of coffee genotypes under rust stress. *Coffee Science*, v. 17, 2022.

AVELINO, J. et al. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, v. 7, p. 303–321, 2015.

BARTELEGA, L. et al. Dinâmica dos nutrientes e desenvolvimento dos frutos de cafeeiro da Cultivar Arara durante o ciclo produtivo. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2017.

BERNY MIER Y TERAN, J. C. et al. Global Coffea arabica variety trials reveal genotype-by-environment

interactions in resistance to coffee leaf rust. *Frontiers in Plant Science*, v. 16, 2025.

CALONECTRIA HEMILEIAE AS MYCOPARASITE OF COFFEE LEAF RUST. *iScience*, 2021.

CARNEIRO, A. L. C. et al. Artificial intelligence for detection of coffee leaf rust. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 185, 2021.

CARVALHO, A. M. et al. Behavior of coffee cultivars under the incidence of rust and gray leaf spot. *Coffee Science*, v. 12, n. 1, p. 15–25, 2017.

COELHO, E. G. et al. Physicochemical and sensory properties of Arabica coffee beans of Cultivar Arara dried using different methods. *Foods*, v. 13, n. 5, 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Dinâmica dos nutrientes e desenvolvimento dos frutos de cafeeiro da Cultivar Arara. Brasília, 2017.

LUIZ, B. C. et al. Survey of potential fungal antagonists of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) on Coffea arabica in Hawai'i, USA. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 55, 2024.

MATIELLO, J. B. Cultivar Arara: desempenho produtivo e resistência em diferentes regiões. *CaféPoint*, 2019.

MATIELLO, J. B. et al. Cultura do café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/Procafé, 2010.

MORAES, L. et al. Dinâmica da progressão da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e desfolha em genótipos de Coffea arabica com diferentes níveis de resistência. *Coffee Science*, v. 16, p. 1–10, 2021.

MOREIRA, T. R. et al. Climatic favorability to the occurrence of *Hemileia vastatrix* in Brazil. *Climate*, v. 12, 2024.

NASCIMENTO, M. O. et al. Quality of Arabica coffee grown in Brazilian savannah and impact of potassium sources. *Food Research International*, v. 176, 2024.

OLIVEIRA, I. A.; REIS, A. M. Avaliação do desenvolvimento das cultivares de café Cultivar Arara e Paraíso II no Sul de Minas Gerais. *Revista Agroveterinária do Sul de Minas*, v. 5, n. 1, p. 39–48, 2023.

PEREIRA, D. R. et al. Genetic and chemical control of coffee rust and impacts on coffee quality. *Plants*, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2021.

REICHEL, T. et al. Potential of rust-resistant arabica coffee cultivars for specialty coffee production. *Bioscience Journal*, v. 39, 2023.



REIS, E. A. C. et al. Characterization of coffee cultivars leaf rust-resistant subjected to pruning. *Coffee Science*, v. 13, n. 3, p. 355–364, 2018.

RODRIGUES, A. S. et al. Worldwide population structure of the coffee rust fungus *Hemileia vastatrix* is strongly shaped by local adaptation and breeding history. *Phytopathology*, 2022.

SILVA, M. C. et al. An overview of the mechanisms involved in coffee–*Hemileia vastatrix* interactions. *Agronomy*, v. 12, n. 2, p. 326, 2022.

SOUZA, A. R. CORREA, P. R. R. Caracterização de variedades resistentes de café à ferrugem (*Hemileia vastatrix*). *Revista Agroveterinária do Sul de Minas*, 2019.

SPATIAL AND TEMPORAL GENETIC DIVERSITY OF *Hemileia vastatrix*. PMC, 2022.

TALHINHAS, P. et al. The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology*, 2017.

ZAMBOLIM, L. et al. Breeding programs against coffee leaf rust in Brazil: a review. *Journal of Agricultural Science*, v. 16, n. 1, 2024.