

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA ETEC**  
**PROFESSOR CARMELINO CORRÊA JÚNIOR**  
**Técnico em Cafeicultura**

**Alison Faria Costa Santos**  
**Bruno Alexandre Zambeli Ferreira**  
**Marisa Carrijo Rodrigues**  
**Ryan Alves Patrocínio De Almeida**

**FERRUGEM NO CAFÉ**

**Franca-SP**  
**2026**

**Alison Faria Costa Santos**  
**Bruno Alexandre Zambeli Ferreira**  
**Marisa Carrijo Rodrigues**  
**Ryan Alves Patrocínio De Almeida**

## **FERRUGEM NO CAFÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso Técnico em Cafeicultura da Etec  
Prof. Carmelino Corrêa Junior, orientado pelo  
Prof. Clayson Correia de Sousa, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Técnico em Cafeicultura

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta caminhada acadêmica. À minha família, pelo amor, apoio e incentivo incondicional em todos os momentos, especialmente diante dos desafios enfrentados durante esta trajetória. Aos meus amigos e professores, que contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional, deixo minha sincera gratidão. Esta conquista é resultado do esforço coletivo de todos que acreditaram em meu potencial e estiveram ao meu lado durante essa jornada.

## RESUMO

A ferrugem do cafeeiro é uma das principais doenças que afetam a cultura do café, causando prejuízos significativos à produtividade e à qualidade dos grãos. Provocada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, a doença se manifesta principalmente nas folhas, reduzindo a capacidade fotossintética da planta e favorecendo a queda precoce da folhagem. Sua ocorrência está associada a fatores climáticos, manejo inadequado e suscetibilidade das variedades cultivadas. O presente trabalho tem como objetivo analisar os principais aspectos relacionados à ferrugem do café, abordando suas causas, sintomas, impactos econômicos e formas de prevenção e controle. O presente trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica, com base em artigos científicos, livros, publicações técnicas e materiais disponibilizados por instituições de pesquisa em cafeicultura. Foram selecionadas fontes que abordam a etiologia da doença, seus danos à cultura cafeeira e as estratégias de manejo recomendadas para sua contenção. Verificou-se que a ferrugem do cafeeiro é responsável por expressivas perdas na produção, especialmente quando não são adotadas medidas adequadas de monitoramento e controle. Os sintomas mais comuns incluem o aparecimento de manchas amareladas na face superior das folhas e a formação de uma massa pulverulenta de coloração alaranjada na face inferior. Entre as principais estratégias de manejo destacam-se o uso de cultivares resistentes, a realização de práticas culturais adequadas, a adubação equilibrada, o monitoramento constante da lavoura e a aplicação criteriosa de fungicidas. A integração dessas medidas contribui para a redução da incidência da doença e para a manutenção da produtividade das lavouras. Conclui-se que a ferrugem do café representa um importante desafio para a cafeicultura, exigindo atenção contínua dos produtores e profissionais da área agrícola. A adoção de estratégias preventivas e de manejo integrado é fundamental para minimizar os danos causados pela doença, garantir a sustentabilidade da produção e promover melhores resultados econômicos para o setor cafeeiro.

**Palavras-chave:** Ferrugem do cafeeiro; *Hemileia vastatrix*; Manejo integrado; Cafeicultura; Sanidade vegetal.

## **ABSTRACT**

Coffee rust is one of the main diseases affecting coffee cultivation, causing significant losses in productivity and bean quality. Caused by the fungus *Hemileia vastatrix*, the disease manifests mainly in the leaves, reducing the plant's photosynthetic capacity and favoring premature leaf drop. Its occurrence is associated with climatic factors, inadequate management, and the susceptibility of cultivated varieties. This work aims to analyze the main aspects related to coffee rust, addressing its causes, symptoms, economic impacts, and forms of prevention and control. This work was developed through bibliographic research, based on scientific articles, books, technical publications, and materials made available by agricultural research institutions. Sources addressing the etiology of the disease, its damage to coffee cultivation, and the management strategies recommended for its containment were selected. It was found that coffee rust is responsible for significant losses in production, especially when adequate monitoring and control measures are not adopted. The most common symptoms include the appearance of yellowish spots on the upper surface of the leaves and the formation of an orange-colored powdery mass on the lower surface. Key management strategies include the use of resistant cultivars, appropriate cultural practices, balanced fertilization, constant crop monitoring, and the judicious application of fungicides. The integration of these measures contributes to reducing the incidence of the disease and maintaining crop productivity. In conclusion, coffee rust represents a significant challenge for coffee farming, requiring continuous attention from producers and agricultural professionals. The adoption of preventive and integrated management strategies is fundamental to minimizing the damage caused by the disease, ensuring the sustainability of production, and promoting better economic results for the coffee sector.

**Keywords:** Coffee rust; *Hemileia vastatrix*; Integrated management; Coffee farming; Plant health.

## **SUMÁRIO**

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                                                                                         | <b>6</b>  |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>                                                                              | <b>8</b>  |
| 2.1 Principais sintomas e causas da doença                                                                  | 8         |
| 2.2 Prejuízos econômicos e produtivos ocasionados pela ferrugem                                             | 11        |
| 2.3 Principais estratégias de manejo e controle utilizadas para reduzir sua incidência nas lavouras de café | 14        |
| <b>3. Considerações finais</b>                                                                              | <b>18</b> |
| <b>4. REFERÊNCIAS</b>                                                                                       | <b>20</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura possui grande relevância econômica e social, sendo uma das atividades agrícolas mais importantes do mundo. No Brasil, o café destaca-se como um dos principais produtos do agronegócio, contribuindo significativamente para a geração de empregos, renda e desenvolvimento regional. Entretanto, a produção cafeeira enfrenta diversos desafios relacionados à ocorrência de pragas e doenças que comprometem a produtividade e a qualidade dos grãos. Entre essas enfermidades, a ferrugem do cafeeiro destaca-se por sua elevada capacidade de disseminação e pelos prejuízos causados às lavouras (SOUZA et al., 2020).

A ferrugem do café é uma doença provocada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, considerado um dos principais patógenos da cultura cafeeira em nível mundial. Sua ocorrência está associada a condições climáticas favoráveis, como alta umidade relativa do ar e temperaturas adequadas ao desenvolvimento do fungo. A doença afeta principalmente as folhas da planta, reduzindo sua capacidade fotossintética, provocando desfolha precoce e comprometendo o desenvolvimento e a produção dos cafeeiros. Dessa forma, o conhecimento sobre seus mecanismos de ocorrência e formas de controle torna-se fundamental para a sustentabilidade da atividade agrícola (VIEIRA et al., 2025).

A importância do estudo da ferrugem do cafeeiro está relacionada aos impactos econômicos e produtivos que essa doença pode causar. Em diversas regiões produtoras, surtos severos de ferrugem resultam em redução significativa da produtividade, aumento dos custos de produção e diminuição da rentabilidade dos agricultores. Além disso, a doença exige investimentos constantes em monitoramento e controle, tornando indispensável a adoção de estratégias eficientes de manejo. Nesse contexto, compreender os fatores que favorecem seu desenvolvimento e as alternativas disponíveis para sua prevenção é essencial para garantir a manutenção da produção cafeeira (SILVA et al., 2020).

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento acerca da ferrugem do café e de seus efeitos sobre a cultura cafeeira. Considerando a importância econômica do café para o agronegócio brasileiro, torna-se relevante analisar os aspectos relacionados à ocorrência da doença, seus sintomas, formas de disseminação e métodos de controle. Além disso, o estudo contribui para a formação técnica dos profissionais da área cafeeira, fornecendo

informações que podem auxiliar na tomada de decisões voltadas ao manejo adequado das lavouras e à redução das perdas produtivas (ANDRADE et al., 2023).

Diante desse cenário, surge o seguinte problema de pesquisa: quais são os principais impactos causados pela ferrugem do cafeeiro na produção de café e quais estratégias de manejo podem ser utilizadas para prevenir e controlar a doença de forma eficiente? A busca por respostas para essa questão é fundamental para compreender a dimensão dos prejuízos provocados pela enfermidade e identificar medidas capazes de minimizar seus efeitos sobre a atividade cafeeira (SILVA, 2022).

O objetivo deste trabalho é revisar o tema da ferrugem do cafeeiro, abordando suas características, impactos e formas de controle.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Principais sintomas e causas da doença

A ferrugem do cafeeiro é considerada uma das doenças mais importantes da cafeicultura mundial, sendo causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*. Essa enfermidade afeta principalmente as folhas das plantas de café, comprometendo seu desenvolvimento fisiológico e reduzindo significativamente a produtividade das lavouras. O patógeno possui elevada capacidade de disseminação, especialmente em condições ambientais favoráveis, tornando-se uma constante preocupação para produtores e profissionais ligados ao setor agrícola. Sua ocorrência pode variar conforme fatores climáticos, características genéticas das cultivares e práticas de manejo adotadas nas propriedades rurais (CASTRO; VALENTE, 2022).

Os sintomas iniciais da ferrugem geralmente se manifestam por meio do aparecimento de pequenas manchas cloróticas de coloração amarela na face superior das folhas. Essas manchas costumam ser arredondadas e pouco perceptíveis nos primeiros estágios da infecção. Com o avanço da doença, ocorre o desenvolvimento de lesões mais evidentes, que se tornam progressivamente maiores e mais numerosas. Esse processo resulta em alterações fisiológicas importantes, reduzindo a eficiência fotossintética da planta e comprometendo sua capacidade de crescimento e produção (BEZERRA, 2024).

Uma das características mais marcantes da ferrugem do cafeeiro é a formação de uma massa pulverulenta de coloração alaranjada ou amarelada na face inferior das folhas. Essa estrutura corresponde à produção de uredinísporos do fungo, responsáveis pela disseminação da doença entre as plantas. Quando tocadas, essas estruturas liberam facilmente os esporos, favorecendo sua propagação pelo vento, pela água da chuva e até mesmo por atividades realizadas durante os tratos culturais da lavoura (VIEIRA et al., 2025).

À medida que a infecção se intensifica, as folhas passam a apresentar necrose em torno das lesões, tornando-se progressivamente enfraquecidas. Em casos mais severos, ocorre intensa desfolha, especialmente nos ramos produtivos, reduzindo significativamente a capacidade da planta de realizar fotossíntese. Como consequência, há diminuição do crescimento vegetativo, redução da formação de

flores e frutos e comprometimento da produtividade nas safras subsequentes. Em ataques intensos e sucessivos, o cafeeiro pode apresentar esgotamento fisiológico e queda expressiva na produção (SOUZA et al., 2021).

Além dos danos diretos às folhas, a ferrugem pode afetar indiretamente a qualidade dos grãos produzidos. Plantas severamente atacadas apresentam menor disponibilidade de energia para o enchimento dos frutos, resultando em grãos menores e menos uniformes. Esse cenário impacta negativamente o valor comercial da produção e pode gerar prejuízos econômicos significativos aos produtores, especialmente em regiões onde a doença ocorre com elevada frequência (SILVA et al., 2020).

A ocorrência da ferrugem está diretamente relacionada à presença do agente causal *Hemileia vastatrix*, um fungo biotrófico que necessita de tecidos vivos para completar seu ciclo de desenvolvimento. Após atingir a superfície das folhas, os esporos germinam e penetram nos tecidos vegetais através dos estômatos. A partir desse momento, o fungo estabelece uma relação parasitária com a planta hospedeira, retirando nutrientes necessários para seu crescimento e reprodução. Esse processo desencadeia alterações fisiológicas que resultam nos sintomas observados nas plantas infectadas (CASTRO, 2020).

As condições climáticas desempenham papel fundamental no desenvolvimento da ferrugem. Ambientes caracterizados por elevada umidade relativa do ar, presença frequente de chuvas e temperaturas amenas favorecem a germinação dos esporos e a infecção das folhas. Em geral, temperaturas entre 20°C e 25°C são consideradas ideais para o desenvolvimento do fungo. Dessa forma, regiões produtoras que apresentam essas condições climáticas tornam-se mais suscetíveis à ocorrência de epidemias da doença (CARMO et al., 2026).

Outro fator importante está relacionado à arquitetura das plantas e ao adensamento das lavouras. Plantios muito densos dificultam a circulação de ar entre os cafeeiros, aumentando o período de molhamento foliar e criando um microclima favorável ao desenvolvimento do patógeno. Além disso, áreas sombreadas e com baixa incidência de luz solar tendem a apresentar maior umidade, contribuindo para o aumento da incidência da ferrugem (SOUZA et al., 2020).

A suscetibilidade genética das cultivares também exerce influência significativa sobre a ocorrência da doença. Algumas variedades de café apresentam genes de resistência capazes de reduzir ou impedir o estabelecimento do fungo.

Entretanto, devido à elevada variabilidade genética de *Hemileia vastatrix*, novas raças fisiológicas podem surgir e superar mecanismos de resistência anteriormente eficazes. Esse cenário reforça a importância do melhoramento genético como ferramenta para o desenvolvimento de cultivares mais resistentes e adaptadas às condições de cultivo (ANDRADE et al., 2023).

Estudos recentes têm demonstrado que a interação entre o cafeeiro e o fungo envolve mecanismos moleculares complexos relacionados à ativação de genes de defesa da planta. Quando ocorre o reconhecimento do patógeno, diferentes respostas bioquímicas são desencadeadas, buscando limitar a colonização dos tecidos vegetais. Contudo, em cultivares suscetíveis, esses mecanismos nem sempre são suficientes para impedir o avanço da infecção, permitindo a manifestação dos sintomas e a progressão da doença (CASTRO, 2020).

Aspectos relacionados à nutrição mineral das plantas também podem influenciar a severidade da ferrugem. A deficiência ou o desequilíbrio de nutrientes essenciais pode comprometer a resistência natural dos cafeeiros, tornando-os mais vulneráveis ao ataque do fungo. Pesquisas indicam que manejos adequados de adubação, especialmente envolvendo nitrogênio e potássio, contribuem para o fortalecimento das plantas e para a redução da incidência da doença nas lavouras (SILVA et al., 2020).

Nos últimos anos, avanços tecnológicos têm permitido o desenvolvimento de métodos modernos para a identificação precoce da ferrugem. O uso de imagens multiespectrais, inteligência artificial e técnicas de aprendizado de máquina tem possibilitado a detecção de alterações fisiológicas nas plantas antes mesmo do aparecimento dos sintomas visíveis. Essas ferramentas auxiliam no monitoramento das lavouras e favorecem a adoção de medidas de controle em momentos mais adequados, aumentando a eficiência do manejo fitossanitário (SOARES et al., 2022).

Da mesma forma, pesquisas envolvendo processamento digital de imagens e redes neurais convolucionais têm demonstrado resultados promissores na identificação automática da ferrugem em áreas de cultivo. Essas tecnologias permitem avaliações mais rápidas e precisas da incidência da doença, contribuindo para a tomada de decisões por parte dos produtores e técnicos responsáveis pelo manejo das lavouras (VENTURA et al., 2024).

Além dos fatores ambientais e genéticos, características biológicas do próprio fungo contribuem para sua elevada capacidade de adaptação. Estudos relacionados à estrutura genética de *Hemileia vastatrix* evidenciam a presença de mecanismos que favorecem sua variabilidade e evolução, possibilitando o surgimento de novas formas capazes de superar barreiras de resistência presentes em determinadas cultivares. Esse aspecto representa um dos principais desafios para o controle duradouro da doença (SILVA, 2022).

Portanto, os sintomas da ferrugem do cafeeiro estão diretamente associados ao processo de colonização das folhas pelo fungo *Hemileia vastatrix*, manifestando-se principalmente por manchas cloróticas, formação de pústulas alaranjadas, necrose e desfolha. Sua ocorrência resulta da interação entre fatores biológicos, ambientais, genéticos e de manejo, que juntos influenciam o estabelecimento e a severidade da doença. Compreender esses aspectos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficientes de monitoramento, prevenção e controle, contribuindo para a sustentabilidade e a produtividade da cafeicultura (ANDRADE et al., 2023).

## **2.2 Prejuízos econômicos e produtivos ocasionados pela ferrugem**

A ferrugem do cafeeiro é considerada uma das doenças mais prejudiciais para a cafeicultura devido à sua capacidade de afetar diretamente o desempenho produtivo das plantas. Causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, a enfermidade compromete o funcionamento fisiológico do cafeeiro, reduzindo sua capacidade fotossintética e, consequentemente, a produção de energia necessária para o crescimento e o desenvolvimento dos frutos. Quando não controlada adequadamente, a doença pode provocar perdas significativas na produtividade das lavouras, tornando-se um dos principais fatores limitantes da produção de café em diversas regiões do mundo (VIEIRA et al., 2025).

Os prejuízos produtivos estão relacionados principalmente à redução da área foliar ativa das plantas. A presença de lesões e a posterior queda das folhas diminuem a capacidade de realização da fotossíntese, processo essencial para a produção de carboidratos que serão utilizados no desenvolvimento dos frutos. Como

resultado, os cafeeiros apresentam menor vigor vegetativo e menor capacidade produtiva, refletindo diretamente na quantidade de café colhida ao final da safra (DE SOUZA et al., 2021).

Além da redução imediata da produtividade, a ferrugem pode comprometer o potencial produtivo das safras seguintes. A desfolha precoce causada pela doença interfere na formação de novos ramos produtivos e prejudica a diferenciação das gemas florais responsáveis pela produção futura. Dessa forma, mesmo após o controle da enfermidade, os efeitos negativos podem persistir por mais de um ciclo produtivo, ocasionando perdas acumuladas ao longo dos anos (ANDRADE et al., 2023).

Outro impacto importante está relacionado à qualidade dos frutos e dos grãos produzidos. Plantas severamente infectadas direcionam parte significativa de seus recursos para responder ao estresse causado pela doença, reduzindo a disponibilidade de nutrientes para o enchimento dos frutos. Esse processo resulta na formação de grãos menores, menos uniformes e com menor peso, fatores que influenciam negativamente a classificação comercial e o valor agregado do produto final (BEZERRA, 2024).

As perdas econômicas decorrentes da ferrugem não se limitam à redução da produção. O controle da doença exige investimentos constantes em monitoramento, mão de obra especializada, aquisição de fungicidas e realização de aplicações periódicas. Esses custos adicionais aumentam as despesas operacionais da propriedade e podem comprometer a rentabilidade da atividade, especialmente em pequenas e médias propriedades que possuem menor capacidade financeira para absorver os gastos relacionados ao manejo fitossanitário (SOUZA et al., 2020).

O impacto econômico tende a ser ainda maior em regiões onde as condições climáticas favorecem o desenvolvimento do fungo durante grande parte do ano. Ambientes com elevada umidade e temperaturas adequadas possibilitam a ocorrência de múltiplos ciclos da doença, exigindo maior frequência de intervenções para seu controle. Nessas situações, os custos de produção aumentam significativamente, reduzindo a margem de lucro dos produtores rurais (DO CARMO et al., 2026).

Outro fator que contribui para os prejuízos econômicos é a necessidade de substituição ou renovação de lavouras altamente afetadas. Em casos de infestações recorrentes e severas, o enfraquecimento das plantas pode tornar inviável a

manutenção da área cultivada, exigindo investimentos na implantação de novas lavouras ou na adoção de cultivares mais resistentes. Esse processo demanda recursos financeiros elevados e pode resultar em períodos de redução da produção até que as novas plantas alcancem plena capacidade produtiva (CASTRO, 2020).

A ferrugem também pode influenciar a competitividade da cafeicultura no mercado nacional e internacional. A redução da produtividade e da qualidade dos grãos pode comprometer a capacidade dos produtores de atender às exigências dos compradores, especialmente nos segmentos voltados para cafés especiais. Dessa forma, além dos prejuízos diretos na produção, a doença pode afetar a posição competitiva das propriedades e das regiões produtoras no mercado cafeeiro (CASTRO; VALENTE, 2022).

Diversos estudos demonstram que a severidade da ferrugem está diretamente relacionada à intensidade das perdas econômicas observadas nas lavouras. Em áreas onde o manejo é inadequado ou inexistente, os índices de perda podem alcançar níveis elevados, comprometendo significativamente a sustentabilidade financeira da atividade agrícola. Por esse motivo, o monitoramento constante da doença é considerado uma estratégia essencial para minimizar seus impactos e preservar a produtividade das plantações (SOARES et al., 2022).

Os prejuízos econômicos também estão associados à necessidade de investimentos em tecnologias de monitoramento e diagnóstico precoce. Atualmente, ferramentas baseadas em sensoriamento remoto, imagens multiespectrais e inteligência artificial vêm sendo incorporadas ao manejo da ferrugem, permitindo identificar focos da doença antes que os sintomas se tornem visíveis. Embora essas tecnologias contribuam para a eficiência do controle, sua implementação representa custos adicionais para os produtores, especialmente aqueles com menor acesso à inovação tecnológica (VENTURA et al., 2024).

A nutrição inadequada das plantas pode agravar ainda mais os impactos produtivos da ferrugem. Cafeeiros submetidos a desequilíbrios nutricionais tendem a apresentar menor resistência ao ataque do fungo, favorecendo a progressão da doença e aumentando os danos à produção. Nesse contexto, a adoção de programas adequados de adubação representa não apenas uma prática de manejo nutricional, mas também uma estratégia importante para reduzir perdas econômicas associadas à enfermidade (SILVA et al., 2020).

Além disso, a elevada capacidade de adaptação genética de *Hemileia vastatrix* constitui um desafio para os programas de controle. O surgimento de novas raças fisiológicas capazes de superar mecanismos de resistência genética pode resultar em novas epidemias e demandar investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento de cultivares resistentes. Esse cenário evidencia a complexidade do problema e reforça a necessidade de estratégias integradas para minimizar os impactos da doença na cafeicultura (SILVA, 2022).

Pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de novos métodos de controle, incluindo produtos alternativos e compostos naturais, buscam reduzir os custos e os impactos ambientais associados ao uso intensivo de fungicidas. Estudos envolvendo extratos biológicos e substâncias derivadas de microrganismos têm apresentado resultados promissores, demonstrando potencial para integrar programas de manejo sustentável da ferrugem. No entanto, essas tecnologias ainda demandam investimentos em pesquisa e validação antes de serem amplamente adotadas pelos produtores (SOUZA, 2022).

Dessa forma, verifica-se que os prejuízos econômicos e produtivos ocasionados pela ferrugem do cafeeiro vão muito além da simples redução da produtividade. A doença afeta a qualidade dos grãos, aumenta os custos de produção, exige investimentos constantes em controle e monitoramento, reduz a rentabilidade das propriedades e pode comprometer a sustentabilidade da atividade cafeeira. Portanto, o desenvolvimento e a adoção de estratégias eficientes de manejo são fundamentais para minimizar os impactos da ferrugem e garantir a competitividade do setor cafeeiro diante dos desafios impostos por essa importante enfermidade agrícola (SILVA, 2022).

### **2.3 Principais estratégias de manejo e controle utilizadas para reduzir sua incidência nas lavouras de café**

O manejo da ferrugem do cafeeiro exige a adoção de estratégias integradas que visam reduzir a incidência da doença e minimizar os prejuízos causados à produção. Considerada uma das principais enfermidades da cafeicultura, a ferrugem demanda monitoramento constante e a aplicação de diferentes métodos de controle, uma vez que nenhuma medida isolada é capaz de proporcionar proteção completa

às lavouras. Dessa forma, o manejo integrado da doença tem sido amplamente recomendado por pesquisadores e técnicos, combinando práticas culturais, genéticas, químicas e tecnológicas para alcançar melhores resultados (DE SOUZA et al., 2021).

Entre as principais estratégias de controle destaca-se o uso de cultivares resistentes. O desenvolvimento de variedades geneticamente melhoradas tem contribuído significativamente para a redução da incidência da ferrugem em diversas regiões produtoras. Essas cultivares possuem genes de resistência capazes de dificultar ou impedir a infecção pelo fungo *Hemileia vastatrix*, reduzindo a necessidade de aplicações frequentes de fungicidas e proporcionando maior sustentabilidade ao sistema produtivo. Entretanto, devido à capacidade de adaptação do patógeno, torna-se necessário o contínuo desenvolvimento de novos materiais genéticos resistentes (ANDRADE et al., 2023).

A utilização de cultivares resistentes está diretamente relacionada aos avanços obtidos pelos programas de melhoramento genético. Pesquisas envolvendo a identificação de genes de resistência têm permitido compreender melhor os mecanismos de defesa do cafeeiro contra o fungo. Esse conhecimento contribui para a seleção de materiais mais adaptados às condições de cultivo e capazes de apresentar resistência duradoura à doença, fortalecendo uma das principais ferramentas de controle atualmente disponíveis (CASTRO, 2020).

Outra medida importante consiste na adoção de práticas culturais adequadas. O manejo correto da lavoura favorece a redução das condições ambientais que estimulam o desenvolvimento da ferrugem. Entre essas práticas destacam-se a realização de podas, o controle do excesso de sombreamento, o espaçamento adequado entre plantas e a eliminação de ramos improdutivos. Essas ações contribuem para melhorar a circulação de ar no interior da lavoura, reduzindo a umidade e dificultando a germinação dos esporos do fungo (DO CARMO et al., 2026).

A nutrição equilibrada das plantas também desempenha papel fundamental no manejo da doença. Cafeeiros bem nutridos apresentam maior vigor vegetativo e melhores condições fisiológicas para resistir aos ataques de patógenos. A adubação adequada, especialmente com nitrogênio e potássio, fortalece os mecanismos naturais de defesa das plantas e contribui para reduzir a severidade da ferrugem. Além disso, o acompanhamento da fertilidade do solo permite corrigir deficiências

nutricionais que poderiam favorecer o estabelecimento da doença (SILVA et al., 2020).

O controle químico continua sendo uma das ferramentas mais utilizadas pelos produtores para o manejo da ferrugem do cafeeiro. A aplicação de fungicidas pode ser realizada de forma preventiva ou curativa, dependendo das condições da lavoura e do nível de incidência da doença. Fungicidas sistêmicos e protetores são amplamente empregados para reduzir a multiplicação do fungo e evitar a disseminação dos esporos. Contudo, para garantir a eficiência do controle químico, é fundamental respeitar as recomendações técnicas relacionadas à época de aplicação, dosagem e rotação de ingredientes ativos (DE SOUZA et al., 2021).

Nos últimos anos, alternativas ao controle químico convencional têm sido estudadas com o objetivo de reduzir impactos ambientais e promover sistemas produtivos mais sustentáveis. Nesse contexto, os óleos essenciais vêm sendo avaliados como potenciais agentes no controle da ferrugem do cafeeiro. Diversos estudos demonstram que determinadas substâncias de origem vegetal apresentam atividade antifúngica capaz de inibir o desenvolvimento de *Hemileia vastatrix*, representando uma alternativa promissora para programas de manejo integrado da doença (SOUZA et al., 2020).

Além dos óleos essenciais, pesquisas envolvendo compostos biológicos e metabólitos produzidos por microrganismos têm apresentado resultados positivos no combate ao fungo causador da ferrugem. Extratos provenientes de fungos micoparasitas, por exemplo, possuem compostos capazes de interferir no desenvolvimento do patógeno, reduzindo sua capacidade de infecção. Essas alternativas biológicas vêm despertando interesse crescente devido ao potencial de utilização em sistemas de produção mais sustentáveis e com menor dependência de produtos químicos (SOUZA, 2022).

O monitoramento constante das lavouras é outro componente essencial para o sucesso do manejo. A identificação precoce dos primeiros sintomas permite a adoção rápida de medidas de controle, evitando que a doença atinja níveis elevados de infestação. Tradicionalmente, esse acompanhamento é realizado por meio de inspeções visuais periódicas. No entanto, novas tecnologias vêm ampliando a capacidade de detecção e monitoramento da ferrugem nas áreas de cultivo (SOARES et al., 2022).

O uso de imagens multiespectrais tem possibilitado a identificação de alterações fisiológicas nas plantas antes mesmo da manifestação dos sintomas visíveis. Essa tecnologia permite detectar sinais precoces da infecção, favorecendo intervenções mais rápidas e eficientes. Como resultado, os produtores podem otimizar a aplicação de medidas de controle e reduzir custos relacionados ao manejo da doença (BEZERRA, 2024).

Ferramentas baseadas em inteligência artificial e aprendizado de máquina também vêm sendo incorporadas ao monitoramento fitossanitário das lavouras. Modelos computacionais capazes de analisar imagens e identificar padrões associados à ferrugem têm apresentado elevada precisão na detecção da doença. Essas tecnologias auxiliam técnicos e produtores na tomada de decisões, tornando o manejo mais eficiente e contribuindo para a redução das perdas produtivas (CASTRO; VALENTE, 2022).

Da mesma forma, sistemas que utilizam processamento digital de imagens e redes neurais convolucionais vêm demonstrando grande potencial para a identificação automática da ferrugem em campo. Essas ferramentas permitem avaliações rápidas de grandes áreas cultivadas, fornecendo informações importantes para o planejamento das ações de controle e monitoramento da doença (VENTURA et al., 2024).

Outro aspecto relevante no manejo da ferrugem é o conhecimento das condições climáticas que favorecem o desenvolvimento do fungo. Modelos agrometeorológicos têm sido utilizados para estimar períodos de maior risco de ocorrência da doença, possibilitando que os produtores adotem medidas preventivas antes da instalação da infecção. Essa abordagem contribui para o uso mais racional dos recursos e para o aumento da eficiência das estratégias de controle (DO CARMO et al., 2026).

Além disso, estudos sobre a resistência de diferentes genótipos de café têm contribuído para a identificação de materiais mais tolerantes à ferrugem. A avaliação contínua dessas variedades permite selecionar cultivares capazes de manter bons níveis de produtividade mesmo em ambientes favoráveis ao desenvolvimento da doença, fortalecendo as estratégias de prevenção e controle adotadas nas propriedades cafeeiras (VIEIRA et al., 2025).

Dessa forma, verifica-se que o controle eficiente da ferrugem do cafeeiro depende da integração de diversas estratégias de manejo. A utilização de cultivares

resistentes, a adoção de práticas culturais adequadas, o manejo nutricional equilibrado, o controle químico racional, o uso de alternativas biológicas e a aplicação de tecnologias de monitoramento constituem ferramentas complementares e indispensáveis para reduzir a incidência da doença. A combinação dessas medidas possibilita maior proteção das lavouras, redução das perdas produtivas e fortalecimento da sustentabilidade da cafeicultura (CASTRO, 2020).

### 3. Considerações finais

A ferrugem do cafeeiro é considerada uma das doenças mais importantes e prejudiciais para a cultura do café, representando um grande desafio para produtores e profissionais do setor agropecuário. Ao longo deste trabalho, foi possível compreender que a doença, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, afeta diretamente o desenvolvimento das plantas, reduzindo sua capacidade produtiva e ocasionando perdas econômicas significativas quando não são adotadas medidas adequadas de prevenção e controle.

Os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que o estudo permitiu identificar as principais características da ferrugem do café, seus sintomas, formas de disseminação e os impactos causados à produção cafeeira. Também foi possível analisar as estratégias de manejo utilizadas no combate à doença, destacando a importância do monitoramento constante das lavouras, da utilização de cultivares resistentes, da adubação equilibrada e da aplicação correta de fungicidas quando necessária. Essas medidas, quando aplicadas de forma integrada, contribuem para a redução da incidência da doença e para a manutenção da produtividade das plantações.

Além dos prejuízos produtivos, observou-se que a ferrugem pode comprometer a qualidade da produção e aumentar os custos operacionais das propriedades rurais. Dessa forma, o conhecimento técnico sobre a doença torna-se uma ferramenta indispensável para que os produtores possam tomar decisões mais eficientes e sustentáveis, garantindo melhores resultados econômicos e maior competitividade no mercado cafeeiro.

A pesquisa bibliográfica realizada permitiu reunir informações relevantes e atualizadas sobre o tema, evidenciando que o manejo integrado continua sendo a alternativa mais eficaz para o controle da ferrugem do cafeeiro. A combinação de diferentes práticas preventivas e corretivas reduz os riscos de infecção e contribui para a sustentabilidade da atividade agrícola a longo prazo.

Por fim, conclui-se que a ferrugem do café continuará sendo um tema de grande relevância para a agropecuária, especialmente diante das mudanças climáticas e dos desafios relacionados à produção agrícola sustentável. Nesse sentido, recomenda-se a realização de novos estudos e pesquisas voltados ao desenvolvimento de variedades mais resistentes, tecnologias de monitoramento e

métodos de controle cada vez mais eficientes. A ampliação do conhecimento científico sobre a doença é fundamental para fortalecer a cafeicultura e garantir a segurança produtiva de uma das culturas agrícolas mais importantes do Brasil e do mundo.

#### 4. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Guilherme Alberto Grossi et al. Panorama atual da resistência genética do cafeeiro à *Hemileia vastatrix* e *Meloidogyne* spp. 2023.
- BEZERRA, Thalita Almeida. Caracterização multiespectral da ferrugem do cafeeiro causada por *Hemileia vastatrix* Berk & Br em folhas inoculadas e assintomáticas. 2024.
- CASTRO, Gabriel Dumbá Monteiro de; VALENTE, Domingos Sárvio Magalhães. Modelo para monitoramento remoto da ferrugem do cafeeiro utilizando Machine Learning. 2022.
- CASTRO, Isabel Samila Lima. Identificação e caracterização de análogo de gene de resistência (RGA) envolvido na interação cafeeiro-*Hemileia vastatrix*. 2020.
- DE SOUZA, Hernane et al. ANTECIPAÇÃO DO CONTROLE DA FERRUGEM-DO-CAFEEIRO (*Hemileia vastatrix*) COM DIFERENTES FUNGICIDAS. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 3, p. 454-496, 2021.
- DO CARMO, Luiz Felipe Rodrigues et al. DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO AGROMETEOROLÓGICO PARA ESTIMATIVA DE SUSCETIBILIDADE À FERRUGEM DO CAFEEIRO. **INCAPER EM REVISTA**, v. 16, n. 1, p. 17-25, 2026.
- SILVA, L. F. ANÁLISE DE ELEMENTOS TRANSPONÍVEIS EM *Hemileia vastatrix* E *Coffea* spp. Universidade Federal de Viçosa, 2022.
- SILVA, Fabrício Júnio et al. Adubação nitrogenada e potássica e sua relação com a incidência de cercosporiose e ferrugem em cafeeiro fertirrigado. **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 29-35, 2020.
- SOARES, Analis da Silva et al. Detecção precoce da ferrugem do cafeeiro causada por *Hemileia Vastatrix* a partir de imagens multiespectrais. 2022.
- SOUZA, Nayane da Silva et al. Controle da ferrugem do cafeeiro com óleos essenciais. 2020.
- SOUZA, Gustavo Silva França de. Constituição química e atividade de extratos de filtrado de cultura de fungo da família Nectriaceae micoparasita de *Hemileia vastatrix*. 2022.
- VENTURA, Charly Braga et al. Identificação de bicho-mineiro e de ferrugem no cafeeiro utilizando processamento digital de imagens e redes neurais convolucionais. **Revista de Estudos Interdisciplinares**, v. 6, n. 3, p. 01-27, 2024.
- VIEIRA, Iago de Carvalho et al. Ferrugem do cafeeiro: comparação de métodos de inoculação e avaliação da resistência de genótipos de *Coffea arabica* a *Hemileia vastatrix*. 2025.