

CENTRO PAULA SOUZA
ETEC PROF. CARMELINO CORRÊA JÚNIOR
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL
DE TÉCNICO EM AGROPECUÁRIA

Letícia de Oliveira Soares
Mariane de Carlo Oliveira
Paola Vitória Lopes Freitas
Yasmin Gabrielly Ferreira Silveira Bernardes

FERRUGEM DO CAFEEIRO

FRANCA

2025

Letícia de Oliveira Soares

Mariane de Carlo Oliveira

Paola Vitória Lopes Freitas

Yasmin Gabrielly Ferreira Silveira Bernardes

FERRUGEM DO CAFEEIRO

Trabalho de Conclusão de curso, apresentado ao Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio da Etec Prof. Carmelino Corrêa Júnior, orientado pelo Prof. Wengler Mateus Garsia, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Agropecuária.

FRANCA

2025

DEDICAMOS esse trabalho aos nossos pais e ao
nosso professor orientador Wengler.

AGRADECEMOS aos nossos professores, pais e amigos por sempre acreditarem na gente.

RESUMO

Soares, Letícia de Oliveira; **Oliveira**, Mariane de Carlo; **Freitas**, Paola Vitória Lopes; **Bernardes**, Yasmin Gabrielly Ferreira Silveira. Ferrugem do cafeeiro. Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado para Obtenção do Título de Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio. ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Franca/SP, 2025.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso visa explorar amplamente a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*), uma doença fúngica classificada como uma das mais devastadoras para a cultura do café, a qual gera perdas econômicas e de produção significativas globalmente. A pesquisa pretende entender a origem do fungo, seu ciclo biológico, os fatores ambientais que favorecem sua ocorrência, os sintomas típicos nas lavouras e os principais métodos de controle. A ferrugem do cafeeiro foi primeiramente identificada no Ceilão (hoje conhecido como Sri Lanka) em 1868, espalhando-se rapidamente por áreas produtoras e chegando ao Brasil em 1970, especificamente na Bahia. O patógeno possui uma alta capacidade de mutação e adaptação, o que torna seu controle mais complexo e aumenta a frequência de surtos. O fungo desenvolve-se preferencialmente em ambientes com alta umidade e temperaturas em torno de 20 °C a 25 °C, afetando diretamente as folhas e diminuindo a capacidade fotossintética da planta, o que resulta em desfolha e na redução da produção em 30% a 50%. O ciclo da doença é afetado por condições climáticas, como precipitação e temperatura, além de práticas inadequadas de manejo e nutrição das plantas. No que tange à economia, a ferrugem exerce um impacto considerável sobre a cafeicultura brasileira, que responde por cerca de 70% das exportações globais de café e emprega milhões de trabalhadores. A diminuição da produtividade e o aumento nos gastos com fungicidas comprometem a competitividade do setor. O controle químico, que é amplamente utilizado, é baseado na aplicação de fungicidas triazóis, estrobilurinas e cúpricos, seguindo cronogramas específicos de acordo com o nível de infecção e a época das chuvas. No entanto, o uso excessivo desses produtos pode aumentar os custos e causar impactos ambientais adversos. Em

contrapartida, o controle biológico se apresenta como uma alternativa sustentável, utilizando agentes naturais como fungos, bactérias e insetos antagonistas para diminuir a população do patógeno. Essa abordagem promove a conservação ambiental, minimiza os riscos de intoxicação e apoia o equilíbrio ecológico nas plantações. A pesquisa conclui que a gestão integrada que combina práticas culturais, monitoramento contínuo, controle químico equilibrado e o uso de controle biológico se revela a abordagem mais eficiente para combater a ferrugem do cafeeiro, assegurando a sustentabilidade e a produtividade da cafeicultura no Brasil. Dessa forma, enfatiza a relevância de pesquisas constantes e da aplicação de tecnologias agrícolas inovadoras para reduzir os impactos desta doença, que continua a ser um dos maiores desafios fitossanitários enfrentados pelo setor cafeeiro mundial.

Palavras-chave: *Hemileia vastatrix*; Café; Doença fúngica; Controle biológico; Produção agrícola.

ABSTRACT

Soares, Letícia de Oliveira; **Oliveira**, Mariane de Carlo; **Freitas**, Paola Vitória Lopes; **Bernardes**, Yasmin Gabrielly Ferreira Silveira. Coffee rust. Final Course Work Presented for the Degree of Agricultural Technician Integrated with High School. ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Franca/SP, 2025.

This Final Course Project aims to explore coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*), a fungal disease classified as one of the most devastating to coffee cultivation, which causes significant economic and production losses globally. The research aims to understand the origin of the fungus, its biological cycle, the environmental factors that favor its occurrence, the typical symptoms in crops, and the main methods of control. Coffee leaf rust was first identified in Ceylon (now known as Sri Lanka) in 1868, spreading rapidly through producing areas and reaching Brazil in 1970, specifically in Bahia. The pathogen has a high capacity for mutation and adaptation, which makes its control more complex and increases the frequency of outbreaks. The fungus develops preferentially in environments with high humidity and temperatures around 20°C to 25°C, directly affecting the leaves and decreasing the plant's photosynthetic capacity, which results in defoliation and a 30% to 50% reduction in production. The disease cycle is affected by climatic conditions, such as precipitation and temperature, as well as inadequate plant management and nutrition practices. Economically, rust has a considerable impact on Brazilian coffee farming, which accounts for about 70% of global coffee exports and employs millions of workers. Declining productivity and rising fungicide costs are undermining the sector's competitiveness. Chemical control, which is widely used, is based on the application of triazole, strobilurin, and copper fungicides, following specific schedules according to the level of infection and the rainy season. However, excessive use of these products can increase costs and cause adverse environmental impacts. In contrast, biological control presents itself as a sustainable alternative, using natural agents such as fungi, bacteria, and antagonistic insects to reduce the pathogen population. This approach promotes environmental conservation, minimizes the

risks of poisoning, and supports ecological balance in plantations. The research concludes that integrated management, which combines cultural practices, continuous monitoring, balanced chemical control, and the use of biological control, is the most efficient approach to combating coffee rust, ensuring the sustainability and productivity of coffee farming in Brazil. Thus, it emphasizes the importance of ongoing research and the application of innovative agricultural technologies to reduce the impacts of this disease, which remains one of the greatest phytosanitary challenges facing the global coffee sector.

Keywords: *Hemileia vastatrix*; Coffee; Fungal disease; Biological control; Agricultural production.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2.	Objetivo.....	12
3.	DESENVOLVIMENTO.....	13
3.1.	Origem do fungo.....	13
3.2.	Ciclo da doença.....	14
3.3.	Ambiente favorável para ferrugem.....	20
3.4.	Os sintomas na lavoura.....	23
3.5.	Impactos econômicos e produtivos.....	26
3.6.1	Métodos de controle.....	29
3.6.2.	Controle químico.....	31
3.6.3	Controle biológico.....	32
4.	CONCLUSÃO.....	34
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, com grande relevância econômica, social e cultural, sendo o Brasil o maior produtor e exportador global. No entanto, a produção cafeeira enfrenta diversos desafios fitossanitários, entre os quais a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) se destaca como a doença mais destrutiva e prejudicial à cultura. Esse fungo provoca severas perdas de produtividade e qualidade dos grãos, comprometendo diretamente a rentabilidade e a sustentabilidade das lavouras. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo estudar a origem, o ciclo biológico, os fatores ambientais que favorecem a ferrugem, seus sintomas na lavoura, os impactos econômicos e produtivos, além de apresentar os principais métodos de controle, tanto químicos quanto biológicos, visando contribuir para o manejo eficiente e sustentável da doença nas plantações de café.

A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, é reconhecida como a enfermidade de maior impacto na cultura do café em todo o mundo, sendo relatada pela primeira vez no Ceilão (atual Sri Lanka) em 1868 e, no Brasil, em 1970, no estado da Bahia (ZAMBOLIM, 2016). O fungo se disseminou rapidamente pelas regiões produtoras, encontrando no clima tropical condições ideais para seu desenvolvimento. A doença manifesta-se principalmente nas folhas, ocasionando manchas amarelo-alaranjadas e a posterior queda foliar, o que reduz a capacidade fotossintética das plantas e, conseqüentemente, a produção. Segundo Carneiro, Silva e Faulin (2021), as condições ideais para o desenvolvimento da ferrugem incluem alta umidade e temperaturas entre 20 °C e 25 °C, favorecendo surtos epidêmicos em períodos chuvosos.

Além dos aspectos biológicos, a ferrugem do cafeeiro representa um grave problema econômico para a cafeicultura nacional. De acordo com Caixeta (2017), o café é uma das principais fontes de renda do agronegócio brasileiro, gerando milhões de empregos diretos e indiretos. Contudo, a ferrugem pode causar perdas de até 50% da produção, elevando os custos de controle e reduzindo a competitividade do produto nacional no mercado global. Conforme

Ghini et al. (2011), as mudanças climáticas têm contribuído para o aumento da severidade da doença, tornando o manejo ainda mais complexo e exigindo estratégias de controle adaptadas a diferentes regiões e condições climáticas.

Os métodos de controle da ferrugem dividem-se, basicamente, em químico e biológico. O controle químico, amplamente utilizado pelos produtores, é realizado por meio da aplicação de fungicidas à base de triazóis, estrobilurinas e compostos cúpricos, os quais devem ser aplicados conforme o estágio da cultura e o nível de infecção (KIMATI et al., 2011). No entanto, o uso excessivo desses produtos acarreta riscos ambientais e econômicos. Por outro lado, o controle biológico tem se mostrado uma alternativa sustentável e promissora, utilizando microrganismos antagonistas, como bactérias e fungos benéficos, capazes de reduzir a incidência da doença de forma natural e menos agressiva ao meio ambiente (VALLE et al., 2024).

Assim, este trabalho reforça a importância da conscientização dos produtores e da adoção de práticas integradas de manejo para o controle eficaz da ferrugem do cafeeiro. O estudo demonstra que a combinação equilibrada de controle químico racional, controle biológico, monitoramento climático e boas práticas agrícolas é fundamental para garantir a sustentabilidade da cafeicultura brasileira. Com base nisso, conclui-se que o enfrentamento dessa doença requer não apenas técnicas eficientes, mas também investimento contínuo em pesquisa, inovação e capacitação rural, a fim de assegurar a produtividade, a qualidade do café e a preservação ambiental para as futuras gerações.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*), destacando sua origem, ciclo biológico, fatores ambientais favoráveis, sintomas na lavoura, impactos econômicos e produtivos, além de discutir as principais estratégias de manejo utilizadas no controle da doença. Busca-se compreender os efeitos dessa enfermidade na produtividade e qualidade do café, avaliando a eficácia dos métodos de controle químico e biológico, com ênfase em práticas sustentáveis que reduzam os impactos ambientais e promovam a eficiência na produção cafeeira. Dessa forma, o estudo visa contribuir para o aprimoramento do manejo integrado da cultura do café e para a difusão de conhecimentos técnicos que auxiliem produtores e profissionais da área agropecuária no enfrentamento dessa das principais doenças da cafeicultura mundial.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1. ORIGEM DO FUNGO

O patógeno responsável pela ferrugem no café possui 32 variedades distintas, sendo as categorias I, II, III e XV as mais significativas. Atualmente, esse agente está bem consolidado em 12 nações do hemisfério ocidental: Brasil, Paraguai, Argentina, Bolívia, Peru, Equador e Colômbia na América do Sul; Nicarágua, El Salvador, Honduras e Guatemala na América Central; e México na América do Norte (GODOY; FILHO; SALGADO, 1997).

A ferrugem do café, uma enfermidade provocada por um fungo, teve sua origem no leste africano e começou a ser notada a partir do ano de 1869 (CARNEIRO; SILVA; FAULIN, 2021). Este problema é visto como um dos mais danosos na história e tem gerado significativas perdas em todo o globo nos últimos 100 anos. A enfermidade se manifesta em condições de alta umidade, onde os fungos atacam inicialmente o tronco da planta de café, avançando para as folhas e ocasionando manchas amarelas, o que eventualmente leva à sua queda e compromete a produção de café (CABALLERO; DUKE, 2020). De

acordo com Zambolim (2016), no Brasil, a ferrugem foliar do café é atribuída ao fungo *Hemileia vastatrix*, que foi encontrado pela primeira vez na espécie *Coffea arabica* em janeiro de 1970, no sul da Bahia. Atualmente, essa praga afeta toda a área de cultivo brasileiro onde se planta arábica e conilon, resultando em perdas que podem oscilar entre 30% e 50%.

Primeiramente identificada no Ceilão em 1868, a ferrugem-alaranjada-do-cafeeiro é provocada pelo fungo *Hemileia vastatrix*. Sua primeira ocorrência no Brasil foi registrada em 1970 na Bahia, logo se espalhando por diversas áreas produtivas do Sudeste, especialmente em Minas Gerais e Espírito Santo (KIMATI et al., 1995; VENTURA et al., 2007). Na região de Rondônia, a enfermidade foi observada pela primeira vez em 1976 em plantações de *Coffea arabica* na cidade de Cacoal (VENEZIANO, 1999).

O fungo *H. vastatrix* possui uma enorme capacidade de se transformar e gerar novas variedades fisiológicas; mais de 50 variedades já foram reconhecidas pelo Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), situado em Oeiras, Portugal (VÁRZEA; MARQUES, 2005). Contudo, acredita-se que a quantidade seja realmente superior. No Brasil, foram detectadas 15 variedades na espécie *C. arabica*, sendo a variedade II a mais comum (ZAMBOLIM, 2016).

A ferrugem do cafeeiro provoca não somente diminuições imediatas na produção durante o ano presente, mas também perdas subsequentes nos anos seguintes, resultantes da secagem de ramos no ano inicial (CERDA et al., 2017). O agente patogênico leva em média 33 dias para dar início ao processo de esporulação a partir do momento em que os esporos (urediniósporos) são depositados na folha, e 40 dias para que 50% das pústulas (as áreas onde os esporos se encontram) se desenvolvam (MORAES, 1983).

FIGURA 1: Ferrugem do café



Fonte: agrolink, 2025.

3.2 CICLO DA DOENÇA

A doença conhecida como ferrugem, ou ferrugem alaranjada, resulta do fungo *Hemileia vastatrix* Berk & Br, é considerada a principal doença que afeta plantas de café globalmente. Essa condição pode comprometer seriamente extensas regiões de cultivo, resultando em perdas significativas de produtividade, além de exigir investimentos em métodos de controle químico, o que eleva os custos de produção (Matiello; Almeida, 2006).

Os sintomas das folhagens com manchas cloróticas e queda prematura, que diminuem a capacidade fotossintética e a produção. Na parte de baixo das folhas, em torno das manchas, forma-se uma camada em pó de esporos de tonalidade amarelo-alaranjada que se assemelha a ferrugem. (Figura 1) Em regra, as variedades cultivadas de *Coffea canephora*, como Robusta e Conilon, apresentam maior resistência à ferrugem em comparação às variedades de *Coffea arabica*.

FIGURA 2: Sintomas de ferrugem em folhas de cafeeiro



Fonte: (Rehagro/blog)

A documentação menciona a presença da ferrugem no cafeeiro desde o ano de 1861, porém, em 1868, em Ceilão, atualmente conhecido como Sri Lanka, os impactos destrutivos dessa enfermidade foram identificados, levando a uma grande redução na produção de café na região. Mais de cem anos após seu primeiro registro, o agente causador espalhou-se por todas as áreas produtoras de café na África, Ásia e Oceania. No Brasil, foi detectada na Bahia em 1970, e em menos de dez anos, alcançou todo o território da América Latina.

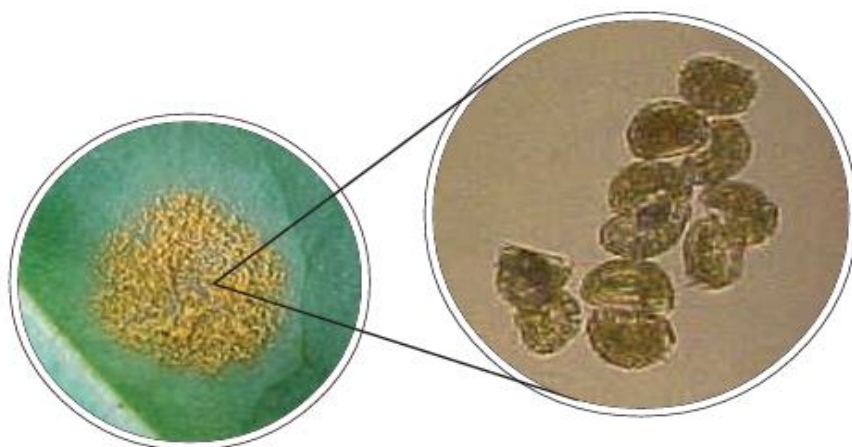
A doença é desencadeada por um fungo biotrófico que prospera somente em tecidos vivos. Este problema se manifesta em todo o Estado do Espírito Santo, variando em gravidade conforme as circunstâncias climáticas, a carga nas plantas, fertilizações inadequadas, espaçamento entre as plantas, além da resistência ou vulnerabilidade das variedades e clones utilizados, entre outros fatores. A ferrugem resultou em perdas consideráveis na colheita, podendo atingir até 50% em anos com alta infecção em café arábica, prejudicando também a qualidade do produto. Essa infestação ainda provoca um aumento na utilização de fungicidas, o que eleva os custos de produção e, frequentemente, causa sérios danos ao meio ambiente.

O agente causador da ferrugem é o fungo *Hemileia vastatrix*, que é um parasita obrigatório do grupo dos basidiomicetos, pertencente à ordem

Uredinales e à família Pucciniaceae, apresentando um ciclo de vida incompleto. Até agora, no cafeeiro, as fases de pínio e écio são desconhecidas e consideradas autóicas, com os estádios de urédia, telia e basídio ocorrendo nas plantas de café (ZAMBOLIM et al., 1997; ZAMBOLIM; VALE; ZAMBOLIM, 2003). As características que fazem o gênero *Hemileia* se diferenciar de outros gêneros que também têm teliósporos unicelulares da mesma família incluem a esporulação por meio de estômatos, esporos que são pedicelados e agrupados em feixes, além de uredosporos com formato reniforme, espinhosos na parte de trás e lisos na parte frontal (Figura 1). Os uredosporos representam a fase assexuada dessa ferrugem e são os responsáveis por ocasionar infecções nas folhas do cafeeiro. Esses esporos se formam em grande quantidade nas pústulas localizadas na parte inferior das folhas.

Os uredosporos são células únicas, de cor amarelo-alaranjada, apresentando de 1 a 5 aberturas germinativas em suas membranas. Suas formas e tamanhos variam entre 25-35 µm por 12-28 µm, dependendo do local onde se desenvolvem, sendo que os que estão no centro costumam ter um formato piramidal, com a ponta curvada, enquanto os que estão nas bordas possuem formas reniformes ou são convexos de um lado e planos do outro (Figura 1). As faces laterais, que tocam os esporos adjacentes, são lisas e uniformes, enquanto as superfícies externas, que estão livres, têm uma curvatura e pequenas projeções (espinhos) que medem entre 3 a 4 µm. A parte externa do soro é rugosa, com pequenas saliências, enquanto a parte interna é lisa (CHAVES et al., 1970; RIJO; RODRIGUES, 1978).

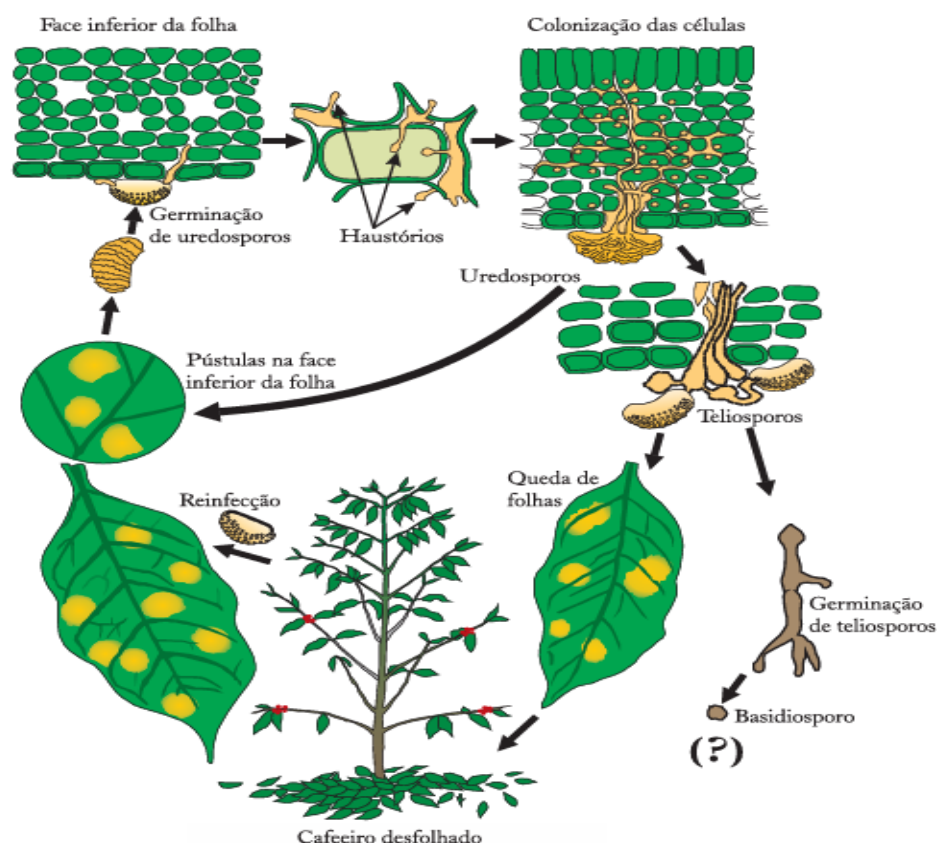
FIGURA 3: Uredosporos do fungo *Hemileia vastatrix*, agente causal da ferrugem do cafeeiro.



Fonte: José Aires Ventura, (2007)

Os teliosporos aparecem de forma esporádica, sendo raramente mencionados em pesquisas, além de não terem sido vistos em plantas de café no Espírito Santo. Eles foram observados se formando no centro de lesões mais antigas, tipicamente de 7 a 10 semanas após a criação dos uredosporos, em condições de clima frio e seco. Apresentam contornos irregulares e são cobertos por uma película suave, sem espinhos, com um diâmetro médio de 20 a 25 μ m. O ciclo da enfermidade (Figura 2) começa com os uredosporos do fungo, que são dicarióticos ($n+n$) e, ao se depositarem na superfície inferior das folhas, germinam na presença de umidade, penetram e causam infecção, resultando na formação da urédia com os uredosporos. Os uredosporos gerados têm a capacidade de infectar novamente folhagens da mesma planta ou de outras plantas.

FIGURA 4: Ciclo biológico da ferrugem do cafeeiro *Hemileia vastatrix*, destacando os diferentes processos de infecção e colonização dos tecidos. Adaptado de Becker-Raterink (1991).



Fonte: José Aires Ventura, (2007)

A doença avança mais rapidamente em temperaturas que variam de 20 a 25 graus Celsius, de acordo com o Livro Café Conilon - capítulo 17 - páginas 450 a 497. O café Conilon é mais suscetível quando a umidade do ar é elevada, embora também possa prosperar em temperaturas entre 10 e 25 graus Celsius. O fungo se propaga por meio do vento e por respingos de chuva ou de irrigação por aspersão. A enfermidade se manifesta com intensidade significativa em mudas que são cultivadas em substratos inadequados ou com desbalanceamento de nutrientes, especialmente o nitrogênio. Em plantas adultas que enfrentam estresse hídrico e carências nutricionais, a ocorrência da doença pode ser bastante grave. Cultivares em solos arenosos, que possuem baixo teor de matéria orgânica e estão sob intensa luz solar, podem também sofrer com a doença em grande escala. A sobrevivência do inóculo nas folhas de cafeeiro, que foram naturalmente afetadas por *Coffea coffeicola*, foi mais prolongada quando as folhas permaneceram acima do solo, mantendo 33% de viabilidade dos conídios depois de 260 dias; em contrapartida, as folhas que

ficaram na superfície do solo ou enterradas a 10 cm não mostraram sobrevivência.

Tabela 1: Fatores que predispoem o cafeeiro às principais doenças foliares e dos ramos

Doença	Fatores Predisponentes
Ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i>)	Temperatura entre 21° e 23°C Molhamento foliar contínuo Umidade relativa do ar > 90% Alta carga de frutos nas plantas Baixa relação folha/fruto
Mancha-de-Olho-Pardo (<i>Cercospora coffeicola</i>)	Deficiências nutricionais Desequilíbrios de nutrientes Estresse hídrico Solos pobres e arenosos Deficiência hídrica
Seca dos Ponteiros	Deficiências nutricionais Deficiência hídrica Alta carga de frutos Ventos fortes e frios Ocorrência de doenças e pragas Problemas no sistema radicular

Fonte: José Aires Ventura, (2007)

Tudo começa quando a planta de café é afetada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk & Br, que é muito pequeno e tem a aparência de um pó laranja. Esses esporos são disseminados principalmente pelo vento e pela chuva, mas também podem ser transportados por insetos, animais e até por pessoas durante a colheita. Quando o esporo se deposita em uma folha de cafeeiro, a ferrugem só se desenvolve se as condições forem favoráveis, especialmente umidade elevada e temperatura amena. Se isso ocorrer, o esporo entra na folha por meio de pequenos orifícios, conhecidos como estômatos, que ficam na parte inferior. Uma vez dentro da folha, o fungo começa a se alimentar dos nutrientes da planta, debilitando-a. Ele se multiplica ao absorver esses nutrientes, mas não termina com as células imediatamente. Com o passar do tempo, essa infecção se torna visível por meio do aparecimento de manchas amarelas na superfície da folha, que são chamadas de ferrugem alaranjada ou

verdadeira, considerada a doença mais significativa para o cafeeiro em todo o mundo.

3.3 Ambiente favorável para ferrugem

Um dos principais obstáculos que os cultivadores de café encontram é a vulnerabilidade das plantas a diferentes enfermidades (CARVALHO, 2009). A ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) é uma das doenças mais significativas que afetam o cafeeiro e é encontrada em todas as áreas produtoras de café no planeta (ALFONSI, 2019). É uma enfermidade que provoca a queda das folhas nas plantas e, por isso, resulta em uma diminuição na produção do cafeeiro. O agente causador da ferrugem do cafeeiro afeta as folhas, ocasionando uma redução na fotossíntese, o que pode levar à perda de folhas e a uma redução na produção de 30 a 50% (Guzzo, 2004).

As pesquisas iniciais sobre a biologia de *H. vastatrix* no Brasil começaram nos anos 70, quando se analisou como as condições ambientais afetavam a germinação, a capacidade de infecção dos uredosporos nas folhas do café e a epidemiologia da enfermidade. (KUSHALAPPA; CHAVES, 1980; AKUTSU, 1981; KUSHALAPPA; ESKES, 1989).

Entre os fatores ambientais mais significativos que estão ligados ao surgimento da doença, destacam-se a umidade e a temperatura. A temperatura ideal para a germinação e a infecção pelo fungo gira em torno de 22°C, enquanto temperaturas muito frias, abaixo de 15°C, ou extremamente altas, acima de 30°C, podem restringir o avanço da epidemia. A chuva também impacta a progressão da enfermidade; precipitações moderadas e uniformemente espalhadas elevam a umidade, além de favorecer a propagação da doença entre as folhas e as plantas do cafeeiro (CHALFON; PIMENTEL-SOUZA; CARVALHO, 2016).

Assim, é possível perceber que a enfermidade geralmente começa antes e de maneira mais intensa em áreas ou partes da planta que recebem menor quantidade de luz e onde a umidade nas folhas permanece por um período mais prolongado (KIMATI et al., 1997). A ferrugem é fortemente afetada

pelo clima (LOPES, 2012). Quando as temperaturas ultrapassam 23º Celsius, a incidência da doença diminui, mas um nível de umidade relativa acima de 80% favorece o seu surgimento (SANTOS et al., 2002).

O micélio do cogumelo se desenvolve no mesófilo e se concentra abaixo da epiderme, onde provoca a criação de soro que se rompe pelo estômato. A propagação dos esporos acontece por meio do vento, insetos, chuvas, animais e mudas contaminadas, com o ser humano sendo um relevante espalhador do inóculo a grandes distâncias. Dentro da vegetação, as gotas de chuva, a água aplicada através de irrigação por aspersão (comum em sistemas de pivô central ou canhão), assim como o escoamento das gotas da parte superior para a inferior das folhas, que transportam o inóculo, têm um papel crucial na propagação do fungo de uma folha para outra ou entre plantas na mesma fileira. Em áreas onde o calor não representa um fator restritivo, a evolução da enfermidade é influenciada pela quantidade e a força das chuvas, o nível de folhas na planta de café e a presença do inóculo inicial ao concluir a temporada seca. No Brasil, a pesquisa que busca relacionar a intensidade da ferrugem do cafeeiro com a altitude ainda é bastante limitada (ZAMBOLIM; VALE; ZAMBOLIM, 2003).

Os sinais da enfermidade aparecem a princípio com manchas cloróticas na parte superior das folhas do cafeeiro. Em seguida, surgem pequenas manchas circulares de coloração amarelo ou alaranjada na parte inferior, e, posteriormente, uma camada em pó de uredósporos se forma. A taxa de multiplicação do patógeno está ligada a condições do ambiente, onde temperaturas mais altas e umidade elevada favorecem um aumento na taxa de reprodução do patógeno, resultando assim em uma maior gravidade da enfermidade (Coltri et al, 2019).

FIGURA 5: Ferrugem *Hemileia vastatrix*



Fonte: Mariane de Carlo Oliveira

Primordialmente, ele gera marcas cloróticas semi-transparentes com diâmetro de 1 a 3 mm na parte de baixo da borda da folha, que aparecem como aglomerados em pó de coloração amarelo-laranja resultantes de uredósporos do agente patogênico. As bolhas geram aproximadamente 150.000 esporos de uredíneo, que são capazes de resistir à ausência de água por até seis semanas. O fungo também pode impactar a ponta do broto em crescimento e frutas imaturas, levando à queda antecipada de folhas e à desidratação de ramos (Silva et al., 2006).

Figura 6: Desfolha por Ferrugem Hemileia vastatrix



Fonte: revista cafeicultura

Nesse contexto, elementos associados à presença de microclima em plantações de café favorecem o crescimento de fitopatógenos. Além disso, a doença tende a se manifestar de forma mais intensa, levando a altos níveis de

gravidade de ferrugem, especialmente em clones vulneráveis, quando não é controlada ou em locais com pouca luz solar e umidade elevada (ALFONSI et al., 2019).

Com base nos dados apresentados, a ferrugem do cafeeiro, sua proliferação e severidade estão diretamente ligadas a condições ambientais específicas. Fatores criam um ambiente propício para a germinação e disseminação do patógeno, especialmente em áreas com menor incidência de luz solar e onde o molhamento foliar se prolonga. A doença, que se manifesta por meio de manchas e pústulas nas folhas, pode causar desfolha intensa e uma redução de produtividade. Portanto, um manejo eficaz da ferrugem exige um monitoramento rigoroso das condições microclimáticas nas lavouras, permitindo a adoção de medidas preventivas e de controle em tempo para controlar os impactos econômicos.

3.4 Os sintomas na lavoura

A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo biotrófico *Hemileia vastatrix*, é um dos principais fatores limitantes da produção de café arábica. O patógeno é um parasita obrigatório que infecta as folhas, causando desfolha severa e podendo causar a seca de ramos. A ferrugem do cafeeiro causa não apenas perdas primárias de produtividade no ano corrente, mas também perdas secundárias nos anos seguintes, devido à seca de ramos no primeiro ano. O patógeno demora em média 33 dias para iniciar o processo de esporulação desde a deposição dos esporos (urediniósporos) na folha e 40 dias para o desenvolvimento de 50% das pústulas (os locais onde estão localizados os esporos) (VENTURA, Charly Braga et al. 2024).

De acordo com SOUZA, A. M. de et al. (2017), a doença tem alto potencial de dispersão, uma vez que os uredosporos do fungo podem ser disseminados pelo vento e pela chuva. A infecção do fungo forma manchas pulverulentas amareladas na face inferior das folhas, resultantes da formação dos uredosporos. As folhas infectadas caem, em seguida ocorre a seca dos ramos debilitando a planta e conseqüentemente não há formação de botões

florais na safra seguinte. Em ataques severos, a planta pode perder todas as folhas. Quando infecta cultivares suscetíveis, a ferrugem pode reduzir a produção do cafeeiro arábica em 30% a 50%, além de piorar a qualidade da bebida.

Os sintomas da ferrugem podem ser inicialmente observados na face inferior do limbo foliar, apresentando manchas cloróticas translúcidas na coloração amarelopálida com 0,1-0,3 cm de diâmetro inicialmente podendo evoluir e alcançar 1 cm a 2 cm de diâmetro (VALLE, Luan Oliveira et al. 2024). Os sintomas se manifestam inicialmente causando manchas cloróticas na face superior da folha do cafeeiro, posteriormente se formam pequenas manchas circulares de cor amarelo/alaranjadas na face inferior e, posteriormente, se forma uma massa pulverulenta de uredósporos. A velocidade com que o patógeno se reproduz está associada a fatores ambientais, sendo que, temperaturas elevadas e alta umidade propiciam uma maior velocidade de reprodução do patógeno e conseqüentemente, uma maior severidade da doença (BARBOSA, Edmilson Rodrigues et al.,2024).

A Ferrugem do cafeeiro se destaca por ocasionar grandes perdas, podendo causar prejuízo de até 50% em condições climáticas favoráveis. Os principais danos causados são a queda precoce das folhas e a seca dos ramos, que, em consequência não produzem frutos no ano seguinte. o agente fitossanitário *H. vastatrix* é favorecido principalmente pela ocorrência de umidade elevada e temperaturas entre 25°C e 30°C, fato esse que favorece a incidência da doença na região Amazônica. Tais condições climatológicas são características da região Amazônica, sendo um dos fatores importantes para os altos índices de severidade de doenças nessa região (RODRIGUES, Anderson Vieira et al.2017).

Conforme apontado por Paiva, Matheus e outros (2021), as condições climáticas influenciam de forma significativa a manifestação da Ferrugem. Um nível de umidade acima de 80%, temperaturas em torno de 23 graus Celsius e a umidade intensa nas plantas estabelecem as condições mais favoráveis para o surgimento da doença. Dessa maneira, é frequente notar um aumento na incidência, especialmente a partir de novembro. Adicionalmente, uma maior

produção das plantas favorece o surgimento da enfermidade, pois elas se tornam mais fatigadas e imunologicamente mais frágeis. Outros fatores relevantes incluem a virulência do patógeno, a nutrição da planta, o tempo de umidade nas folhas e a densidade de plantio que gera um microclima favorecido.

FIGURA 7: Sintomas de ferrugem na face do ramo (a) e da folha (b)



Fonte: Alfonsi, 2017 arquivo pessoal

Figura 8 : Pústula de ferrugem na face inferior da folha.



Fonte: Carvalho et al., 2011

A doença mais devastadora que afeta as lavouras é a ferrugem do café, causada por *Hemileia vastatrix*. Com altas taxas de infecção, o patógeno pode causar queda de folhas de até 50%, e perda de rendimento de 30-50%, com perdas econômicas estimadas em 1-2 bilhões de dólares por ano. A ferrugem do cafeeiro conilon compromete, em alguns casos, em mais de 50% a produção de café, devido a redução da área fotossinteticamente ativa, que por consequência, reduz a produção de fotoassimilados pelas folhas direcionado ao crescimento vegetativo e a fase reprodutiva dos cafeeiros (QUARTO, Igor Tatagiba et al., 2023).

Estes danos segundo DE SOUZA, Hernane et al. (2021), irá causar a desfolha, o que irá contribuir com perdas significativas na produção de até 50% e redução no tamanho do fruto, além de perdas de ramos laterais e menor longevidade das plantas de café.

A Ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro se destaca por ocasionar grandes perdas, podendo causar prejuízo de até 50% em condições climáticas favoráveis. Os principais danos causados são a queda precoce das folhas e a seca dos ramos, que, em consequência não produzem frutos no ano seguinte. De acordo com DOS SANTOS NETO, João Hipólito et al. (2022), a temperatura exerce efeito significativo sobre o desenvolvimento da doença. Nesse contexto, a doença constitui-se como um fator limitante para produção e produtividade do cafeeiro, ocasionando perdas que chegam a inviabilizar a produção da cultura.

3.5 Impactos econômicos e produtivos

O café é um dos melhores meios econômicos na agricultura brasileira e é uma das bebidas mais populares do mundo trazendo um sabor inconfundível um aroma muito agradável e proporcionando ao consumidor energia. A produção de café no Brasil é mais competitiva do que a de outros países produtores ao redor do mundo. Nosso país tem uma produção e exportação maiores proporcionalmente, além de contar com tecnologias adequadas para o manejo da cultura e uma estrutura eficiente para comercialização. As diferenças

regionais também ajudam a atender diferentes tipos de cafés e a criar diversas combinações de blends (CAIXETA, 2017).

O Brasil possui aproximadamente 2 milhões de hectares dedicados ao cultivo de café, com cerca de 300 mil produtores espalhados por vários estados, como Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro, Rondônia, Goiás, Amazonas, Mato Grosso e Pará. Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária, essa vasta área faz do país um lugar bastante favorável para o cultivo dessa planta. É importante destacar a região Sudeste, especialmente Minas Gerais, que é um dos principais polos de produção de café no Brasil. Com o tempo e o desenvolvimento da indústria, a produção se tornou uma atividade bastante relevante na economia nacional. A agricultura passou a contar com uma variedade de serviços técnicos, incluindo máquinas, materiais, equipamentos, infraestrutura e logística para grãos e outros produtos agrícolas.

O café desempenha um papel crucial tanto do ponto de vista econômico quanto social. Há décadas, o Brasil mantém sua posição como o maior produtor e exportador global de café, respondendo por aproximadamente 70% das exportações mundiais desse produto. Segundo o quarto levantamento da safra brasileira de café, divulgado em dezembro de 2020 pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), esses números continuam a reforçar a liderança brasileira no setor.

A cafeicultura no Brasil desempenha um papel significativo na composição do Produto Interno Bruto (PIB), sendo responsável pela criação de cerca de 8 milhões de empregos, tanto diretos quanto indiretos, além de contribuir para o aumento da renda de produtores e trabalhadores rurais, conforme dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2023).

De acordo com as estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção de café beneficiado no Brasil em 2022 foi projetada em 53,428 milhões de sacas, indicando um crescimento de cerca de 11% em comparação ao ano anterior. Esse aumento provavelmente está associado à bienalidade positiva dos cafeeiros registrada ao longo de 2022 (CONAB, 2022).

O Brasil continua a liderar o ranking mundial de produção de café, com a previsão de que o café Arábica corresponda a 35,712 milhões de sacas beneficiadas em 2022, segundo dados da CONAB. A maior parte do cultivo do cafeeiro Arábica está concentrada na região Sudeste, abrangendo principalmente os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo. Para o mesmo ano, estima-se que a produção média nesses estados seja de 24,791 milhões, 16,459 milhões e 4,4338 milhões de sacas de café beneficiado, respectivamente. Em relação à exportação de café brasileiro, em fevereiro deste ano foram comercializadas 39,589 milhões de sacas de 60 kg, das quais o café Arábica representou 86,5% do total (CECAFÉ, 2022).

A severidade da ferrugem do café é altamente influenciada pela cultivar, clima e adensamento de plantio. Há estudo sobre o impacto das mudanças climáticas na severidade da ferrugem no cafeeiro, onde os autores mostram a redução do período de incubação da doença com o aumento das temperaturas (Ghini et al., 2011). Com este cenário, onde a resistência das cultivares de café não é permanente e com o aumento das temperaturas médias, o patógeno pode invadir a planta até o máximo de seu potencial.

A cultura do café, assim como diversas outras culturas agrícolas, enfrenta a exposição a uma série de distúrbios fisiológicos, pragas e doenças que podem impactar diretamente a planta, trazendo prejuízos como a redução da produtividade, o desgaste e deformação das plantas, a queda na qualidade devido à redução ou defeitos nos grãos e, em casos mais graves, levar até mesmo à morte da planta (MATIELLO et al., 2010).

O valor da safra de café depende de diversos fatores, como oferta e demanda, quantidade produzida, armazenamento e qualidade dos frutos, entre outros. A qualidade do café, por sua vez, é influenciada por elementos como radiação solar, nutrição das plantas, altitude, além da presença ou ausência de pragas e doenças. Entre os aspectos que determinam a qualidade da bebida, destaca-se o grau de maturação dos frutos no momento da colheita. É sabido que frutos maduros, no estágio conhecido como cereja, resultam em cafés de qualidade superior. Geralmente, o grau de maturação é avaliado por métodos

destrutivos, envolvendo a colheita de algumas plantas em um determinado talhão, o que pode ou não representar a realidade do cultivo na área inteira.

O acompanhamento da cultura cafeeira desempenha um papel crucial no controle de doenças, garantindo que as lavouras não sofram danos econômicos significativos (MATIELLO et al., 2010). Porém, a tarefa de monitorar ataques de pragas, doenças e plantas invasoras representa uma operação custosa e demorada, que exige ainda uma supervisão periódica e especializada (VIEIRA; MARCATTI, 2019).

Segundo Brasil (2022), a doença apresenta risco médio e sua severidade é maior em anos caracterizados por uma alta carga de frutos pendentes nas plantas, quando a incidência pode alcançar entre 80% e 90%. Em anos de baixa carga, essa proporção não ultrapassa 35%. A infecção ocorre nas folhas logo após as primeiras chuvas, geralmente entre os meses de novembro e dezembro. Durante janeiro e fevereiro, a doença apresenta crescimento logarítmico, enquanto em março e abril evolui exponencialmente até atingir o pico. A ocorrência do pico varia de acordo com a altitude e a variedade cultivada, situando-se normalmente entre maio e julho. A faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento da doença situa-se entre 20 °C e 24 °C; abaixo de 18 °C e acima de 28 °C, a severidade é reduzida. Altitudes compreendidas entre 650 e 1.000 metros também favorecem o avanço da doença (Zambolim; Caixeta, 2021).

3.6.1 Métodos de controle

Para alcançar êxito na produção de café, é fundamental realizar uma gestão eficaz das plantações, o que inclui todas as etapas da produção, desde a escolha das sementes, o viveiro para cultivo das mudas, a preparação do solo para o plantio, o momento de plantar e todos os cuidados necessários com a cultura. Um outro ponto importante é o monitoramento de pragas, enfermidades e plantas invasoras; ao compreendê-las, fica mais simples e assertivo decidir as ações a serem tomadas.

O manejo químico de enfermidades em plantas é uma opção prática e econômica, ajudando a alcançar elevadas produtividades (KIMATI et al., 2011), sendo um dos procedimentos mais comuns no Brasil para combater a ferrugem do cafeeiro.

A ferrugem, frequentemente referida como ferrugem verdadeira ou alaranjada, é provocada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk & Br, e é considerada a patologia mais significativa que afeta o cafeeiro em todo o mundo. Essa enfermidade pode impactar extensas áreas de cultivo severamente, resultando em perdas na produtividade e gerando a necessidade de investimentos em controle químico, o que eleva os custos de produção (Matiello; Almeida, 2006).

O controle químico da ferrugem, basicamente, é feito por meio da utilização de fungicidas conforme um cronograma anual. O controle químico da ferrugem, basicamente, é feito por meio da utilização de fungicidas conforme um cronograma anual. Muitas vezes, essas intervenções são realizadas em excesso e utilizando fungicidas sistêmicos, que são mais dispendiosos em relação aos protetores (Godoy et al., 1997). O aumento da infecção leva à diminuição da superfície foliar e, gradualmente, resulta na perda das folhas das plantas (Guzzo, 2004). A perda de folhas afeta a produção do ciclo seguinte, intensificando os ciclos bienais, já que as reservas serão destinadas à recuperação da vegetação, resultando em redução da frutificação (Bartholo et al., 1989).

De maneira geral, quando a taxa da doença ultrapassa 5%, sugere-se a utilização de fungicidas para controle no período de dezembro a abril. Os fungicidas mais utilizados pertencem às classes dos triazóis, estrobilurinas e cobre inorgânico, e as informações sobre registro, aplicação, dosagens e limitações podem ser encontradas no site Agrofít do Ministério da Agricultura e Pecuária (Agrofít, 2023). Uma abordagem eficaz leva ao uso cuidadoso dos pesticidas, utilizando-os apenas quando necessário, aumentando a eficácia das substâncias dos fungicidas sistêmicos e adiando a ocorrência de patógenos resistentes.

A vigilância da ferrugem deve iniciar no começo do desenvolvimento dos frutos e continuar até a época da colheita. Para realizar essa vigilância, é necessário dividir a plantação em seções e coletar amostras de

aproximadamente 25 plantas por seção, escolhidas de forma aleatória. Na parte inferior da planta, deve-se retirar uma folha do terceiro ou quarto par de folhas dos lados norte, sul, leste e oeste, totalizando quatro folhas por planta, o que resulta em 100 folhas por seção. As folhas devem ser examinadas quanto à presença de pústulas de ferrugem na face inferior. A incidência é calculada anotando-se a quantidade de folhas que apresentam pústulas esporuladas em relação ao total de folhas coletadas. Por exemplo, se entre 50 folhas coletadas foram encontradas 10 com pústulas esporuladas, a incidência será de 20%. ok

Até o presente momento, uma das principais maneiras de controlar a ferrugem em cafeeiros é através do uso de fungicidas químicos. No entanto, esse método pode apresentar um custo que, em algumas situações, é considerado elevado. Esse custo é formado por duas partes: o gasto com a aplicação (custo operacional) e o preço do fungicida em si.

3.6.2 Controle químico

A abordagem principal para gerenciar a ferrugem é a utilização de técnicas químicas, que incluem o uso de fungicidas protetores preventivos, com os cúpricos se destacando pela sua eficácia, ou através da aplicação de fungicidas sistêmicos pelas folhas e/ou solo, que podem ser usados em combinação com inseticidas sistêmicos ou de forma isolada. Outra maneira de controle é através de aplicações de sulfato de cobre misturado com micronutrientes.

A gestão química de enfermidades vegetais representa uma solução eficaz e financeiramente viável, ajudando a alcançar altos níveis de produção (KIMATI et al., 2011), sendo uma das abordagens mais aplicadas no Brasil para combater a ferrugem do café.

O manejo químico da ferrugem é essencialmente realizado por meio da aplicação de fungicidas segundo um cronograma anual. Muitas vezes, esses tratamentos são aplicados em excesso e incluem fungicidas sistêmicos, que têm um custo mais elevado em comparação aos protetores (Godoy et al., 1997). O aumento da infecção leva à diminuição da área foliar e, gradualmente, resulta na

perda de folhas das plantas (Guzzo, 2004). A perda de folhas prejudica a produção do próximo ano, acentuando os ciclos bienais, já que as reservas serão utilizadas para a recuperação da vegetação, resultando em uma menor geração de frutos (Bartholo et al., 1989).

A aplicação de fungicidas pode ser tanto preventiva quanto terapêutica. Os fungicidas pertencentes ao grupo dos triazóis, como Ciproconazol, Azoxistrobina, Piraclostrobina, Epoxiconazol e Flutriafol, demonstram uma eficácia considerável. Normalmente, recomenda-se que sejam aplicados durante a estação chuvosa, que ocorre entre novembro e março na área sudeste (MESQUITA et al., 2016). Além disso, o Flutriafol pode ser utilizado no solo através do método Drench, sendo captado pelas raízes das plantas (MATIELLO et al., 2010).

As aplicações de fungicidas à base de cobre combinadas com fungicidas sistêmicos (triazóis) se tornaram uma abordagem atual para o manejo da enfermidade (Oliveira, 2002). O uso químico de fungicidas pertencentes ao grupo dos triazóis é conhecido pela sua capacidade de penetração e movimentação dentro da planta, apresentando uma sistematicidade em 99% das situações, dependente do fluxo do xilema (Azevedo, 2003).

Nos anos recentes, o controle químico tradicional da ferrugem do cafeeiro se tornou um obstáculo, manifestando-se em julho e agosto com altos índices da patologia, mesmo com os tratamentos químicos normais aplicados, o que demanda uma alteração na abordagem para o manejo dessa enfermidade. Os fungicidas pertencentes aos grupos químicos dos triazóis se destacam como alguns dos mais eficazes na luta contra a ferrugem do cafeeiro (Matiello e Paiva, 2015).

3.6.3 Controle biológico

Um dos métodos para controlar a ferrugem do cafeeiro *Hemileia vastatrix* pode ser através do controle biológico (EMBRAPA, 2024). Esse método consiste no controle de pragas, doenças e insetos transmissores de doenças, através dos

seus próprios inimigos naturais, podendo ser eles: insetos, fungos, antagonistas, bactérias ou vírus. Dessa forma acabando com a população indesejada.

O controle biológico é uma estratégia de manejo de doenças em plantas que utiliza agentes naturais, como fungos, bactérias ou insetos, para suprimir ou reduzir a intensidade e os danos causados por doenças, como a ferrugem do cafeeiro conilon. O controle biológico no café tem potencial promissor como alternativa sustentável ao manejo integrado de pragas, contribuindo para a produção de café de forma segura, eficiente e ambientalmente correta.

Uma alternativa menos impactante ao meio ambiente para combater a ferrugem é o uso de bactérias endofíticas como agentes de controle biológico, de modo que, esses microrganismos exercem a capacidade de colonizar os tecidos internos das plantas, e oferece uma vantagem ecológica sobre elas. Um exemplo são os micróbios que colonizam as plantas epifiticamente, pois são menos suscetíveis às adversidades ambientais. Além disso, os microrganismos endofíticos ocupam habitats semelhantes aos patógenos e, portanto, têm potencial para controle biológico. Neste sentido, esta revisão objetivou-se concatenar os avanços associados ao controle biológico da ferrugem do cafeeiro (QUARTO, Igor Tatagiba et al., 2023).

Esse método consiste no controle de pragas, doenças e insetos transmissores de doenças, através dos seus próprios inimigos naturais, podendo ser eles: insetos, fungos, antagonistas, bactérias ou vírus. Dessa forma acabando com a população indesejada. Um exemplo desse tipo de controle pode se dado pelo uso de joaninhas no combate dos pulgões. A utilização de métodos alternativos aos agrotóxicos na agricultura apresenta diversas vantagens. Entre elas, destaca-se o menor risco de intoxicação dos trabalhadores rurais durante a aplicação, garantindo mais segurança no campo.

Além disso, os alimentos produzidos são livres de resíduos de defensivos químicos, o que contribui para a saúde dos consumidores. Trata-se também de uma prática mais sustentável, com menor risco de poluição ao meio ambiente. Outro benefício é o incentivo à presença de predadores naturais, o que favorece o equilíbrio do ecossistema e a preservação da biodiversidade. Por fim, há uma redução nos custos com mão

de obra e insumos, o que torna a produção mais econômica para o produtor rural (VALLE, Luan Oliveira et al., 2024).

De acordo com VALLE, Luan Oliveira et al. (2024) existem três tipos de controle biológico, sendo eles: o natural, onde o objetivo principal é conservar os predadores já existentes no ambiente, mantendo naturalmente o seu equilíbrio. O clássico, usado principalmente para pragas exóticas e que devem ser combatidas a longo prazo, que necessitam de importação e colonização de seus inimigos naturais. E o artificial, onde os predadores são criados em laboratórios e em larga escala.

4. CONCLUSÃO

O estudo pormenorizado da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) evidenciou sua importância fitossanitária e seu impacto socioeconômico e produtivo, sobretudo no contexto da cafeicultura brasileira. A doença, amplamente disseminada e favorecida por condições ambientais específicas como elevadas temperaturas e alta umidade, impõe restrições significativas à produtividade e à qualidade do café, exigindo compreensão aprofundada de seu ciclo biológico e dos fatores que condicionam sua incidência. Observou-se que a manutenção da competitividade e da sustentabilidade da cadeia produtiva do café requer a implementação de estratégias de manejo integrado, que englobem o controle químico, com o uso racional de fungicidas sistêmicos e protetores, o controle biológico e práticas culturais adequadas. Nesse contexto, a atenção à pesquisa científica, ao desenvolvimento de variedades geneticamente resistentes e à otimização das técnicas de aplicação de defensivos constitui pilar essencial para mitigar prejuízos e garantir a estabilidade produtiva e econômica do setor cafeeiro.

Dessa forma, o investimento contínuo em ciência, inovação e tecnologia se mostra indispensável à evolução dos métodos de manejo da ferrugem do cafeeiro, contribuindo para a redução da dependência de insumos químicos e para o fortalecimento de uma produção mais sustentável e ambientalmente equilibrada. A expansão do controle biológico, baseada na utilização de inimigos naturais e microrganismos antagônicos, apresenta-se como alternativa

promissora à conservação da biodiversidade e ao equilíbrio dos ecossistemas agrícolas. Além disso, a disseminação do conhecimento técnico e a capacitação dos produtores acerca das boas práticas de cultivo e monitoramento da doença são fundamentais para aprimorar a eficácia das intervenções e sustentar a posição de destaque do Brasil no mercado global de café, assegurando a qualidade, a produtividade e a competitividade do produto nacional.

5.REFERÊNCIAS:

AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 28 agosto 2025.

ALFONSI, Waldenilza Monteiro Vital et al. Período de incubação da ferrugem do cafeeiro. *Summa Phytopathologica*, v. 45, p. 134-140, 2019.

AZEVEDO, L. A. S. Fungicidas protetores: fundamentos para o uso racional. São Paulo, 2003. 319 p.

BARBOSA, Edmilson Rodrigues; REIS, André Moraes. AVALIAÇÃO DO SANITIZANTE FINE EM ASSOCIAÇÃO AO FUNGICIDA FLUTRIAFOL NO CONTROLE DA FERRUGEM TARDIA DO CAFEEIRO. *Revista Agroveterinária do Sul de Minas-ISSN: 2674-9661*, v. 6, n. 3, p. 48-65, 2024.

BARTHOLO, G. F.; MAGALHAES FILHO, A. A. R. de; GUIMARAES, P. T. G.; CHALFOUN, S. M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989

BEZERRA, Thalita Almeida. Caracterização multiespectral da ferrugem do cafeeiro causada por *Hemileia vastratrix* Berk & Br em folhas inoculadas e assintomáticas. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Mapa divulga lista com hierarquização de pragas de maior risco fitossanitário do Brasil. *Notícias*, 6 abr. 2022. Atualizado em 31 out. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/asuntos/noticias/mapa-divulga-lista-com-hierarquizacao-de-pragas-de-maior-risco-fitossanitario> Acesso em: 14 jun. 2022.

CABALLERO, E. M. T.; DUKE, A. M. R. Implementation of artificial neural networks using nvidia digits and opencv for coffee rust detection. In: 2020 5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE). [S.l.: s.n.], 2020. p. 246–251.

CAIXETA, Eveline Teixeira et al. Manejo integrado de pragas e doenças do café arábica. 2024.

CAIXETA, G.Z.T. Aspectos econômicos da cadeia do café, 1a edição, Minas Gerais. Editora: EPIMAG, 2017. 236 p.

CARNEIRO, A. L. C.; SILVA, L. de B.; FAULIN, M. S. A. R. Artificial intelligence for detection and quantification of rust and leaf miner in coffee crop. 2021.

CARVALHO, Vicente Luiz de; CUNHA, Rodrigo Luz da; SILVA, Nathan Resende Naves. Alternativas de controle da ferrugem do cafeeiro. 2009

Cerda, R.; Avelino, J.; Gary, C.; Tixier, P.; Lechevallier, E. Primary and secondary yield losses caused by pests and diseases: Assessment and modeling in coffee. PLoS One 2017, 12, 1–17. 2017. doi: 10.1371/journal.pone.0169133.

CHALFON, S. M.; PIMENTEL-SOUZA, G. C.; CARVALHO, V. L. Ferrugem-do-cafeeiro: importância do monitoramento com as mudanças climáticas. Concórdia: EPAMIG, 2016. 5p (EPAMIG. Circular Técnica, 235).

Chalfoun, S.M.; Lima, R.D. de. Influência do clima sobre a incidência de doenças infecciosas. Informe Agropecuário 1986, 12, 31- 36.

CHAVES, G. M.; CRUZ FILHO, J.; CARVALHO, M.G.; MATSUOKA, K.; COELHO, D.J.; SHIMOYA, C. A Ferrugem do Cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) Revisão de literatura com observações e comentários sobre a enfermidade no Brasil. Seiva. Viçosa, MG: v. 30, Edição Especial, p. 1-75, 1970.

COLTRI. P. P; JULIO. Z; PATRICIO. F. Período de incubação da ferrugem do cafeeiro. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/JqzQVZRM39xPbNjn6WcVrf/?lang=pt> > Acesso em: 9 set. 2023.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira: Café Safra 2022. Primeiro Levantamento, v. 9, n. 1, pp. 1-60, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 11 jul

CONAB. Safra brasileira de café. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/Safras/café>. Acesso em: 26 jan. 2021.

DE SOUZA, Hernane et al. ANTECIPAÇÃO DO CONTROLE DA FERRUGEM-DO-CAFEEIRO (Hemileia vastatrix) COM DIFERENTES FUNGICIDAS. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v. 15, n. 3, p. 454-496, 2021.

DE SOUZA, Hernane et al. ANTECIPAÇÃO DO CONTROLE DA FERRUGEM-DO-CAFEEIRO (Hemileia vastatrix) COM DIFERENTES FUNGICIDAS. Revista Brasileira de Engenharia e Biosistemas, 2021.

DOS SANTOS NETO, João Hipólito et al. Incidência de Ferrugem no Cafeeiro em Diferentes Terços da Planta Relacionado com Umidade e Temperatura. 17º JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA E 14º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSULDEMINAS, v. 14, n. 1, 2022.

EMBRAPA. Tema controle biológico. Disponível em: <https://www.embrapa.br/temacontrole-biologico>. Acesso em: 7 set. 2024.

Garçon, C. L. P.; Zambolim, L.; Vale, F. X. R.; Mizubuti, E. S. G.; Altmann, T.; Paiva, S. B. Modelo de previsão da ferrugem (Hemileia vastatrix Berk. & Br.) do cafeeiro (Coffea arabica L.). In: I Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil, 1., 2000, Resumos Expandidos. 230-234, doi: 10.1590/0100-5405/187216rg/10.1590/0100-5405/187216

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GONÇALVES, R. R. do V. Incubation period of Hemileia Vastatrix in coffee plants in Brazil simulated under Climate change. Summa Phytopathology, v. 37, n. 2, p. 85-93, June 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000200001>.

GODOY, C. V.; BERGAMIN FILHO, A.; SALGADO, C. L. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. Manual de Fitopatologia. 3 ed., v. ol. 2. São Paulo, Agronômica Ceres, 1997. 774 p.

Godoy; Filho; Salgado. Manual de fitopatologia/editado por Hiroshi Kimari...[et al]. – 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres. 1995-1997. 2v. : il. Capítulo 17 .
Ferrugem do cafeeiro - *Hemileia vastatrix* Berk. & Br.

GUZZO, S. D. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência sistêmica adquirida em cafeeiro contra *Hemileia vastatrix*. Tese de doutorado, Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2004, 236p.

GUZZO, S.D. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência adquirida em cafeeiro contra *Hemileia vastatrix*. Doctor Scientiae, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. 2004. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64132/tde-24082004-105153/publico/Sylvia.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2024.

KIMATI, H. et al. Manual de Fitopatologia. 4. ed. São Paulo: USP/ESALQ, 2011. 343pg

KIMATI, H. et al. Manual de fitopatologia: Doenças de plantas cultivadas. Agronômica Ceres, São Paulo, v. 2, p. 705, 1997.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas. 3. ed. Piracicaba: Ceres, 1997. Volume 2, 512 p.

KUSHALAPPA A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. Annual Review Phytopathology. v. 27, p.503-531, 1989.

KUSHALAPPA, A. C.; CHAVES, G. M. An analysis of the development of coffee rust in the field. Fitopatologia Brasileira. Brasília, DF: v. 5, p. 95-183, 1980.

LOPES, Paulo Rogério et al. Evolução da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) em agroecossistemas cafeeiros convencional, orgânico-mineral e orgânico. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 7, n. 1, p. 160-168, 2012.

MATIELLO, B. et al. Cultura de café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro-RJ; Varginha-MG: SARC/PROCAFÉ, 2010. 280 p.

MATIELLO, J.B. Café conillon. Rio de Janeiro: MMA/SDR/PROCAFÉ/PNFC, 1998. 162p

MATIELLO, J.B.; ALMEIDA S.R. A ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle. MAPA/PROCAFE, Varginha, 98p., 2006.

MATIELLO. J. B, PAIVA. R. N. Controle da ferrugem tardia exige mudança de conceitos. Disponível em:
<http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7185/82_41-CBPC2015.pdf?sequence=1> Acesso em: 10 set. 2023.

Moraes, S.A. de. A ferrugem do cafeeiro: importância, condições predisponentes, evolução e situação no Brasil. Instituto Agrônômico 1983, 50p.

OLIVEIRA, L. M.; PEREZ JUNIOR, J. H. Contabilidade de custos para não contadores. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 338 p.

OLIVEIRA, SILVÂNIA HF et al. Efeito da chuva sobre a tenacidade e eficiência de fungicidas cúpricos associados ao óleo vegetal no controle da ferrugem do cafeeiro. Fitopatologia Brasileira, v. 27, n. 6, p. 581-585, 2002.

Paiva, Matheus; Moreli, Pedro. O impacto da Ferrugem do Cafeeiro. Site: Labor Rural Inteligencia para o Agronegócio. 20 out, 2021. Disponível em <https://laborrural.com/o-impacto-da-ferrugem-do-cafeeiro/>.

PEREIRA, Vanessa Vitoriano. Análise sensorial de genótipos de café Arábica resistentes à ferrugem processados por via úmida. 2022.

QUARTO, Igor Tatagiba et al. CONTROLE BIOLÓGICO DA FERRUGEM DO CAFEEIRO. 2023

RIJO, L.; RODRIGUES, C. J. Processo de infecção da *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. em cultivares suscetíveis e resistentes de *Coffea arabica* L. Garcia da Orta – Série Estudos Agrônômicos. Lisboa: v. 5, n. 1-2, p. 23-24, 1978.

RODRIGUES, Anderson Vieira et al. Incidência espacial da doença ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) em lavoura de café robusta amazônico e comportamento de diferentes clones para severidade durante período chuvoso no sul do Amazonas. 2022. (VENTURA et al., 2017).

SANTOS, J. M. F. et al. Avaliação da eficácia de fungicidas sistêmicos no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix* L.) do cafeeiro, sob chuva simulada. Arquivos do Instituto Biológico, p. 45-49, 2002

SILVA, M. C. et al. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. *Braz. J. Plant Physiol.* v. 18, p. 119-147, 2006. DOI <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100010>

SIVIERO, Amauri et al. Manual para identificação e manejo das doenças de *Coffea canephora* no Acre. 2024.

SOUZA, A. M. de et al. *Pragas e Doenças na Cultura do Café*. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.

TEIXEIRA, H.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Sobrevivência de *Cercospora coffeicola* em restos culturais de lavouras cafeeiras orgânicas e convencional. *Fitopatologia Brasileira*. Lavras: v. 31, n. supl., p. 193, 2006

VALLE, Luan Oliveira et al. Eficácia do uso do controle biológico no cafeeiro. 2024.

VÁRZEA, V. M. P.; MARQUES, D. V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (ed.). *Durable resistance to coffee leaf rust*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2005. p. 53-74.

VENEZIANO, W. Controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no Estado de Rondônia. Porto Velho: Embrapa-CPAF-RO, 1999. 8 p. il. (Embrapa-CPAF-RO. Recomendações técnicas, n. 12).

VENTURA, Charly Braga et al. IDENTIFICAÇÃO DE BICHO-MINEIRO E DE FERRUGEM NO CAFEEIRO UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS E REDES NEURAS CONVOLUCIONAIS. *Revista de Estudos Interdisciplinares*, v. 6, n. 3, p. 01-27, 2024.

VENTURA, J.A. Doenças In: COSTA, E.B. (Coord.). *Manual Técnico para o cultivo do café no Espírito Santo*. Vitória: SEAG-ES, 1995. p. 82-89.

VIEIRA R. P. H.; MARCATTI, G. E. Detecção de anomalias na cultura do café utilizando imagens do satélite Sentinel-2. In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Santos, SP, 2019.

ZAMBOLIM, L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, v. 41, p. 1-8, 2016.

ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T. An overview of physiological specialization of coffee leaf rust pathotypes. *International Journal of Current Research*, v. 13, p. 15479-15490, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24941/ijcr.40600.01>

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do; PEREIRA, A. A.; CHAVES, G. M. Café (*Coffea arabica* L.) controle de doenças: 3.1 doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. (ed.). *Controle de doenças de plantas: grandes culturas*. v. 1. Viçosa, MG: UFV, 1997. p. 83-140.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do; PEREIRA, A., A.; CHAVES, G., M. Manejo integrado das doenças do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.), *ENCONTRO SOBRE PRODUÇÃO DE CAFÉ COM QUALIDADE*, 1., 1999, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 134-215.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, E. M. Produção integrada do cafeeiro: manejo de doenças. In: ZAMBOLIM, L. (ed.). *Produção integrada de café*. Viçosa, MG: UFV, 2003. p. 443-508.