



ALEXANDRE CACCIATORI SOARES

**CONTRIBUIÇÃO DE FATORES AMBIENTAIS E DO
HOSPEDEIRO NO HIPERPARASITISMO DA FERRUGEM
DO CAFFEIRO EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

LAVRAS-MG

2019

ALEXANDRE CACCIATORI SOARES

**CONTRIBUIÇÃO DE FATORES AMBIENTAIS E DO HOSPEDEIRO NO
HIPERPARASITISMO DA FERRUGEM DO CAFFEIRO EM CONDIÇÕES DE
CAMPO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros
Orientador

**LAVRAS-MG
2019**

ALEXANDRE CACCIATORI SOARES

**CONTRIBUIÇÃO DE FATORES AMBIENTAIS E DO HOSPEDEIRO NO
HIPERPARASITISMO DA FERRUGEM DO CAFFEIRO EM CONDIÇÕES DE
CAMPO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 11 de abril de 2019

Prof. Dr. Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros UFLA/DFP

Dra. Rafaela Araújo Guimarães UFLA/DFP

Prof. Dr. Márcio Tadeu Godinho UFV/DFP

Prof. Dr. Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros
Orientador

**LAVRAS-MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Ao professor Flávio, pela orientação, dedicação e compromisso de ensinar dentro e fora da sala de aula

Aos companheiros do Controle Biológico que me ajudaram em todas as partes deste trabalho, tanto em campo até o presente momento

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade e infra-estrutura que me permitiu me tornar o que hoje sou.

Aos meus pais Ivam Peres Soares e Sandra Cacciatori Soares pelo amor, incentivo, apoio e por não medirem esforços para que eu concluísse mais uma etapa em minha vida.

Aos amigos de infância que sempre me acompanharam e aos que fiz aqui, peças fundamentais em diversos momentos nessa jornada.

A todas as repúblicas amigas, locais onde sempre encontrei amigos tanto para ajudar nos estudos como para ajudar com a palavra certa no momento em que as coisas andavam difíceis.

Aos familiares que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

A minha irmã Débora Cacciatori Gonçalves de Bezerra e meu cunhado Raoni Gonçalves de Bezerra pela cumplicidade e apoio.

RESUMO

A ferrugem do cafeeiro é uma doença devastadora mas seu parasitismo por *Lecanicillium lecanii* que reconhecidamente tem uma pequena importância no progresso da doença. Entretanto, evidências recentes mostraram que a ecologia desta interação multitrófica é mais complexa do que se imaginava mas os fatores que contribuem para o parasitismo de *Hemileia vastatrix* apenas começaram a ser descritos. Ensaios a respeito da ferrugem do cafeeiro e seu parasita foram conduzidos em um cafezal onde não foram usados fungicidas afim de descobrir a contribuição de características da planta e condições ambientais na dinâmica da ferrugem do cafeeiro e seu parasitismo por *L. Lecanii*. Ao longo do tempo, a incidência/severidade e a presença do hiperparasita nas folhas foram registradas mensalmente. O maior índice de parasitismo foi detectado na época de seca com altos índices na face leste do cafeeiro. Houve uma correlação positiva entre a incidência do hiperparasita e a incidência/severidade da ferrugem, independentemente da parte da planta ou estação do ano, e uma forte correlação na parte superior da planta. *H. vastatrix* e *L. lecanii* foram detectados com maior frequência na época de maiores temperaturas. Os fatores abióticos bem como características da planta possuem um papel importante na epidemia da ferrugem bem como de seu inimigo natural. Os resultados deste estudo mostraram que as estratégias de controle da doença devem levar estes fatores e características da planta em consideração no manejo integrado da ferrugem do cafeeiro, para racionalmente administrar a aplicação de fungicidas e desta forma reduzir os custos de produção e o risco de surgimento de populações resistentes de *H. vastatrix*.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Controle biológico. Fatores ambientais. Hiperparasitismo.

ABSTRACT

Coffee rust is a devastating disease but its parasitism by *Lecanicillium lecanii* is assumed as having little role in the disease progress. However, recent evidence showed that the ecology of the multitrophic interaction is more complex but the factors that contribute for *Hemileia vastatrix* parasitism have only started to be addressed. Surveys of rust and its parasitism in a coffee plantation where no fungicide was used were carried out to find out the contribution of the plant characteristics and environmental conditions on the dynamics of coffee rust and its parasitism by *L. lecanii*. Throughout the year, rust incidence/severity and hyperparasite presence were assessed monthly on leaves. The maximum parasitism was found in the dry season with high rates on the east-facing side of the plant rather than on the west-facing side. There was a positive correlation between hyperparasite incidence and rust incidence/severity, regardless of the plant parts or season and a stronger correlation in the upper part of the plant. *H. vastatrix* and *L. lecanii* were more frequently found at higher temperatures. The abiotic environmental factors as well as plant features play a strong role in epidemic rust and on its natural enemy. The results from this work showed that disease control strategies should take such factors and plant features into consideration in the integrated management of coffee rust, to rationally manage fungicide application and therefore both reduce production costs and the risk of the emergence of fungicide resistant *H. vastatrix* populations.

Keywords: *Coffea arabica*. Biological control. Environmental factors. Hyperparasitism

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Importância Econômica do cafeeiro	9
2.2 Impactos da ferrugem do cafeeiro	9
2.2 Controle da ferrugem do cafeeiro	10
2.3 Antagonista ao patógeno	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
5 CONCLUSÃO.....	20
REFERÊNCIAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura tropical perene, e o Brasil é o maior produtor e exportador do mundo desta commodity, com produção estimada entre 50,48 a 54,48 milhões de sacas, sendo o estado de Minas Gerais sendo responsável por cerca de 50% desta produção com estimativa de 26,42 a 27,68 milhões de sacas. (CONAB 2019).

Entre as doenças do café, a ferrugem, causada por *Hemileia vastatrix* (BERKELEY & BROME), é a mais severa, resultando em abscisão prematura das folhas, perda de produtividade e até morte de plantas em ataques severos (FERNANDEZ et al., 2004; LUACES et al., 2011). O controle da ferrugem do cafeeiro se baseia na aplicação de fungicidas (LOLAND & SINGH 2004; LÓPEZ-BRAVO et al., 2012; SHIOMI et al., 2006). Entretanto, os fungicidas representam risco à saúde tanto do homem como do meio-ambiente e podem reduzir a qualidade do café (LUACES et al., 2011) e podem exercer uma pressão de seleção (GRASSO et al., 2006) levando ao desenvolvimento de populações resistentes ao fungicida, reduzindo as opções para um manejo adequado da ferrugem do cafeeiro.

Muitos antagonistas são efetivos contra a ferrugem (HADDAD et al., 2009; JACKSON et al., 2012); entretanto, estes antagonistas podem ser suprimidos pela ação de fungicidas não-seletivos (ISLAM et al., 2011), resultando em maiores dificuldades no controle da doença. Um destes antagonistas é o hiperparasita, *Lecanicillium lecanii*, que é um inimigo natural de *Hemileia vastatrix* (KOUVELIS et al., 1999; ZARE & GAMS, 2001). Estudos recentes têm relacionado a atividade de biocontrole de *Lecanicillium lecanii* com um mutualismo indireto com uma formiga (*Azteca instabilis*) e a colchonilha (*Coccus viridis*), em que *Lecanicillium lecanii* é um patógeno da colchonilha (JACKSON et al., 2012; VANDERMEER et al., 2009) sugerindo que o biocontrole natural da ferrugem do cafeeiro por um hiperparasita é dependente de uma complexa teia ecológica. Estes estudos constataram que o parasitismo e a redução da severidade da ferrugem do cafeeiro foram maiores na época de alta umidade em relação à época de baixa umidade.

Em condições de campo, a baixa performance de *Lecanicillium lecanii* no biocontrole da ferrugem do cafeeiro levou os produtores a descartar esta estratégia baseada no biocontrole do manejo da doença (MAFFIA et al., 2009). Entretanto, esta baixa performance se deve ao fato de se ignorar a habilidade ecológica do parasita em competir com o patógeno, pois de acordo com nosso conhecimento, nenhuma abordagem ecológica foi usada para definir as

condições naturais que favorecem o hiperparasitismo de *Hemileia vastatrix* e a sua relação com a severidade da ferrugem do cafeeiro no Brasil.

Um maior entendimento a respeito da ferrugem do cafeeiro bem como a dinâmica de seu inimigo natural pode levar a um manejo sustentável da ferrugem do cafeeiro, evitando pulverizações desnecessárias de fungicidas ou determinando o melhor momento para liberação do agente de biocontrole para máxima eficácia da estratégia de manejo.

Foram consideradas as hipóteses que *Hemileia vastatrix* bem como *Lecanicillium lecanii* podem ser influenciados pelas estações (seca e úmida), exposição à luz solar bem como a arquitetura da planta (como a densidade foliar e a posição de cada ramo). O objetivo deste trabalho foi determinar quais fatores do hospedeiro e do ambiente contribuem para que ocorra o hiperparasitismo de *Hemileia vastatrix*, resultando em redução na severidade da ferrugem do cafeeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância Econômica do cafeeiro

O mercado global de café arábica conta com a presença de seis países produtores. Dentre eles, Brasil e Colômbia destacam-se por deter cerca de metade do mercado global enquanto os demais países possuem pequenas fatias da metade restante (COLTRO et al., 2006). O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial com perspectiva de 38% do mercado global para o ano de 2019 (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2019). Destaque para os estados de Minas Gerais (53%), Espírito Santo (23%), São Paulo (11%) e Bahia (7%) (CONAB, 2019).

Estima-se uma produção para o ano de 2019 de 50,48 e 54,48 milhões de sacas beneficiadas, sendo de 36,12 a 38,16 milhões de sacas de arábica e de 14,36 a 16,33 milhões de sacas de conilon (CONAB, 2006).

2.2 Impactos da ferrugem do cafeeiro

A cultura do café é afetada por diversas doenças, sendo a ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* (BERKELEY & BROOME), tem grande destaque figurando como a mais severa por causar abscisão prematura das folhas, resultando em consequente perda de produtividade e até mesmo podendo resultar em morte de plantas quando em severidade elevada e sem o devido manejo (LUACES et al., 2011).

Diversos fatores podem afetar a interação entre o patógeno e seu hospedeiro, dentre eles fatores genéticos do hospedeiro que podem levar a uma reação de hipersensibilidade com o patógeno fazendo desta estratégia uma alternativa real para o controle de tal doença de tamanho impacto (FERNANDEZ et al., 2004).

Fatores como a sombra ou a exposição solar são diretamente influentes e controversos, podendo agir tanto de forma a trazer benefícios como prejuízos ao cafeeiro no manejo da ferrugem, como por exemplo o fato de que o sombreamento evita altas cargas produtivas

causando um efeito de redução na receptividade da folha pelo patógeno, entretanto esta situação também cria condições microclimáticas mais favoráveis à colonização e infecção (LOPEZ-BRAVO et al., 2012).

2.2 Controle da ferrugem do cafeeiro

O controle da ferrugem do cafeeiro é feito tradicionalmente com o uso de fungicidas, mais especificamente triazóis, como por exemplo o ciproconazol e flutriafol mostrando-se capazes de controlar o progresso da doença no campo (Capucho et al. 2013).

Apesar de eficientes, as estratégias de controle baseadas na aplicação de fungicidas cúpricos ao longo do tempo tem mostrado uma elevação nos níveis de cobre do solo. Tal fator resulta em maior concentração de cobre nos grãos de café além de um possível contaminante para o meio-ambiente de forma geral (LOLAND & SIGH, 2004).

As estratégias de controle biológico tem se mostrado uma estratégia interessante para evitar os problemas causados pela aplicação de fungicidas ao mesmo tempo que tem se mostrado potencialmente eficientes no manejo do progresso do patógeno, como por exemplo com o uso de isolados específicos de *Bacillus sp.* e *Pseudomonas sp.* (HADDAD et al., 2009).

2.3 Antagonista ao patógeno

O fungo *Lecanicillium lecanii* é conhecido por ser inimigo natural do agente causal da ferrugem do cafeeiro (KOUVELIS et al., 1999; ZARE & GAMS, 2001).

Entretanto estudos comprovam que a relação do agente de controle com o patógeno depende de fatores muito mais complexos e uma cadeia trófica complexa. Além de parasitar as pústulas de ferrugem, o fungo *Lecanicillium lecanii* também ataca colchonilhas (*Coccus viridis*) que apresentam uma relação de mutualismo direta com formigas (*Azteca instabilis*) que por sua vez podem auxiliar na dispersão dos conídios de *Lecanicillium lecanii*, mostrando que uma compreensão ampla sobre a dinâmica dos diversos agentes de diversos níveis tróficos podem levar a uma maior eficiência na colonização das pústulas de *Hemileia vastatrix*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área e cultivar

O experimento foi conduzido em uma fazenda cafeeira situada no município de Lavras, Minas Gerais, durante 8 meses, sendo 4 meses durante a época das águas e 4 meses durante a época de seca entre os anos de 2011 e 2012. A lavoura de café possuía 20 anos no momento do início do experimento e a cultivar Mundo Novo 164 de *Coffea arabica* foi utilizada. Fungicidas foram usados no manejo da lavoura, entretanto, dois anos antes do início do experimento as aplicações de fungicidas foram suspensas, ainda que as demais operações de manejo tenham sido mantidas (adubação, capinas e colheita).

O experimento foi conduzido em uma área que contabiliza 5 hectares de lavoura de café, com espaçamento de 0,6 m entre plantas e 3 m entre linhas. Um total de 4 blocos com dez plantas em cada foram selecionados aleatoriamente a distâncias regulares na área da lavoura.

3.2 Registros de ferrugem e de hiperparasita

As plantas tiveram seus registros coletados mensalmente de acordo com a incidência/severidade da ferrugem bem como a presença do hiperparasita. O parâmetro para definir a incidência da ferrugem do cafeeiro foi o número de folhas que apresentaram ferrugem, bem como a severidade e incidência do hiperparasita das folhas parasitadas pela ferrugem que foram parasitadas por *Lecanicillium lecanii*.

Para a severidade da doença, o número de folhas afetadas por *Hemileia vastatrix* foi determinada através de uma análise dos sintomas de ferrugem numa escala categórica variando de 0 a 5, onde: 0 = (sem sintomas), 1 (<3% da superfície foliar coberta pela ferrugem do cafeeiro), 2 (3% a 6%), 3 (6% a 12%), 4 (12% a 25%) e 5 (25% a 50%), como definido por Cunha et al., 2001. Os dados foram transformados usando a indexação de Mckinney (1923), para calcular a severidade da doença. Um total de 40 plantas e 12 ramos

por planta foram registrados durante 8 meses (4 meses na época de seca e 4 meses na época úmida); n=3840.

3.3 Registro dos fatores relativos ao hospedeiro

Com relação aos fatores relacionados ao hospedeiro, os efeitos da orientação em relação ao sol (leste-oeste) foram registrados sendo 6 ramos do lado voltado à direção leste e 6 ramos voltados à direção oeste. Para cada orientação, foram selecionados dois ramos nos terços inferior, médio e superior da planta respectivamente. A densidade foliar das plantas foi registrada levando em conta a percentagem de ramos cobertos com folhas usando a escala diagramática que varia de 1 a 5 como a seguir: 1 (0% a 20% de densidade foliar), 2 (21% a 40%), 3 (42% a 60%), 4 (61% a 80%) e (81% a 100%), como descrito por Boldini (2002). Um total de 40 plantas e 12 ramos por planta foram registrados mensalmente durante 8 meses (4 meses durante a época de seca e 4 meses durante a época das águas); n=3840.

3.4 Variáveis climáticas

Ao mesmo tempo que foram registrados os dados da severidade de ferrugem do cafeeiro e incidência do hiperparasita, foram registradas a precipitação volumétrica (mm/hour) e a máxima, mínima e média temperaturas (°C) na estação meteorológica de Lavras, Minas Gerais, Brasil (918m de altitude, 21°13'40''S, 44°57'50''W).

3.5 Desenho experimental e análise estatística

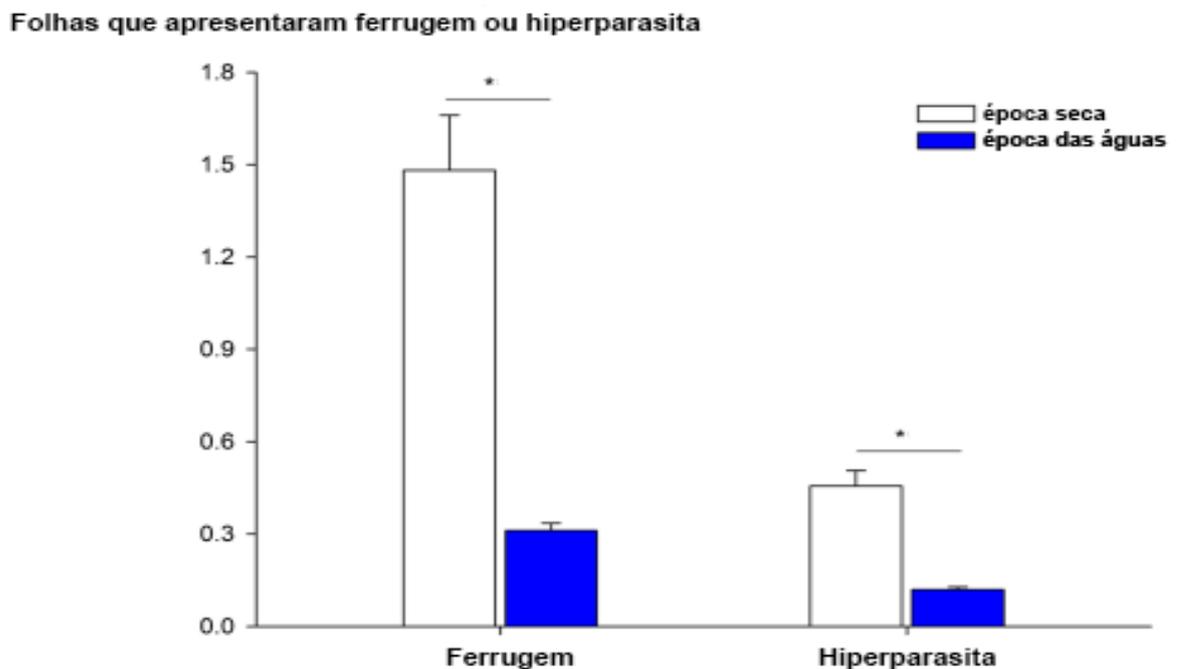
No campo observacional deste estudo, um total de 4 blocos foram selecionados a distâncias regulares dentro da lavoura de café. Cada bloco englobou 10 plantas, e para cada planta, 12 ramos foram analisados (unidade de replicação) durante 8 meses (quatro meses na época seca e 4 meses na época das águas). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA; $p < 0.05$) e quando necessário os dados avaliados foram separados usando o Student's t-test para os seguintes fatores: (1) comparação entre a ferrugem do cafeeiro

(*Hemileia vastatrix*) ou incidência do hiperparasita entre as épocas de seca e das águas e (2) influência da orientação em relação ao sol dos ramos avaliados (orientação no sentido leste-oeste) na incidência da ferrugem e do hiperparasita nas folhas do cafeeiro durante as épocas de seca e das águas ou com o teste de intervalos múltiplos de Tukey para a comparação entre as diferentes partes da planta (inferior, intermediária ou superior) para cada estação (seca e águas), levando em conta a incidência da ferrugem e de pústulas parasitadas. Coeficientes de relação de Pearson (r) foram aplicados para avaliar a correlação entre os seguintes fatores: (1) presença do hiperparasita e incidência ou severidade da ferrugem, (2) densidade de enfolhamento da planta e número de folhas que apresentaram ferrugem ou incidência de hiperparasitismo, (3) precipitação volumétrica e hiperparasitismo ou incidência da ferrugem e (4) temperaturas máxima, média e mínima e a incidência de ferrugem e hiperparasita. O SAS 9.3 foi usado para as análises estatísticas (Sistema SAS para Windows, SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontradas diferenças significativas entre as diferentes estações (seca e águas) para a incidência da ferrugem ($p \leq 0.001$) e hiperparasitismo ($p \leq 0.001$), com o período de seca se mostrando mais favorável a estas variáveis em relação à época das águas. Além disso, a análise de correlação de Pearson mostrou uma correlação positiva significativa entre a densidade das folhas do cafeeiro e a incidência de ferrugem para a época das águas ($r=0.05$, $p \leq 0.05$) enquanto na época de seca uma relação negativa significativa foi detectada ($r=-0.07$, $p \leq 0.001$). Por outro lado, não houve correlação significativa entre a incidência do hiperparasita e a densidade de folhas do cafeeiro para as épocas de seca ($p \leq 0.146$) e das águas ($p \leq 0.091$). A figura 1 compara a incidência de ferrugem e de seu parasita nos períodos de seca e das águas durante o experimento.

Figura 1 – Comparação entre incidência da ferrugem e do hiperparasita durante a época de seca e das águas. 40 plantas foram avaliadas com 12 ramos em cada por 4 meses em casa estação. * Significante a 0.001 de probabilidade.

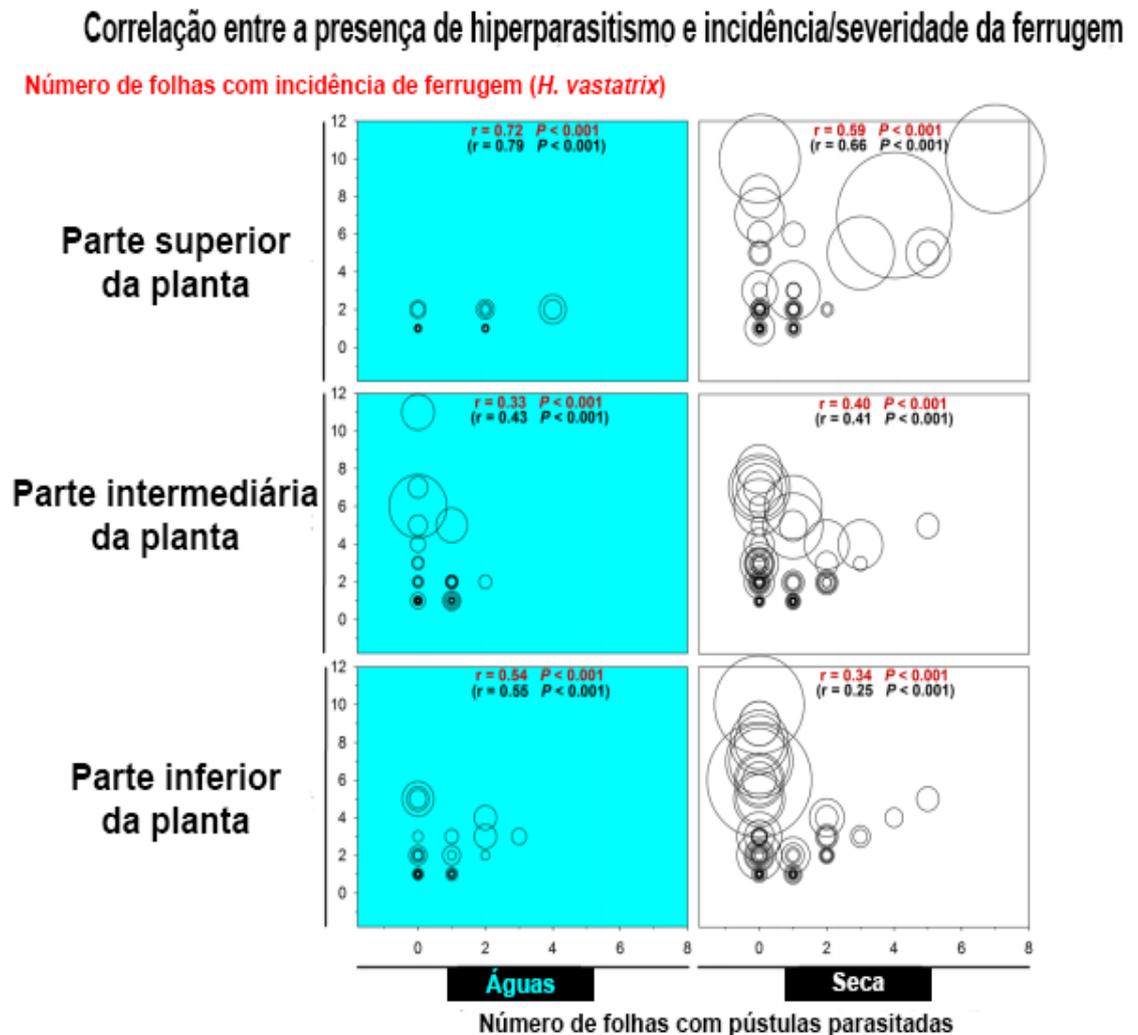


A maior incidência do patógeno e de seu hiperparasita na época das secas pode estar relacionado com o efeito indireto da chuva na época das águas, o que pode levar a um incremento na densidade foliar durante a época seca. Apesar de não ser detectada uma

correlação entre a precipitação pluviométrica na época das águas com a densidade foliar da respectiva época, a correlação entre densidade pluviométrica da época das águas e a densidade foliar na época das secas mostrou uma correlação positiva ($r=0.068$, $p\leq 0.01$), o que reforça as hipóteses de uma causa indireta. Por outro lado, os surtos de ferrugem do cafeeiro sabidamente causam queda prematura de folhas mesmo quando em baixa severidade (CAPUCHO et al., 2013). Além disso, como a chuva pode ter contribuído com as plantas de baixa densidade foliar durante a época das águas isto pode ser a razão de baixas taxas de ferrugem pois as folhas que permaneceram na planta foram as que não apresentavam sintomas de ferrugem enquanto as folhas afetadas são mais susceptíveis à abscisão (Fernandez et al. 2004).

Na época seca, não houve efeito significativo para *Hemileia vastatrix* ($p=0.067$) ou incidência de pústulas parasitadas ($p=0.489$) considerando as partes da planta. Por outro lado, folhas infectadas por *Hemileia vastatrix* foram encontradas em maior quantidade nas porções inferior e média da planta na época das águas ($p=0.008$), enquanto o coeficiente de correlação entre *H. vastatrix* e *L. lecanii* foram maiores na parte inferior da planta. A figura 2 mostra essa correlação nas diferentes partes da planta ao longo do ano.

Figura 2 – Correlação entre severidade/incidência da doença e a presença do hiperparasita. Coeficiente de correlação entre número de folhas hiperparasitadas e incidência de ferrugem (primeira linha) ou severidade (segunda linha em parênteses) em relação às partes da planta nas duas estações. O tamanho dos círculos é proporcional à severidade de ferrugem encontrada.



O terço inferior é relatado como a parte mais favorável ao desenvolvimento da ferrugem (GARÇON et al., 2000). Estas informações nos mostram que o hiperparasita tem a capacidade de colonizar as pústulas de ferrugem, e a população de *L. lecanii* aumentou junto com a população de *H. vastatrix*, o que é um comportamento esperado para um hiperparasita (MCCOOK, 2006). Entretanto, o controle pode requerer aplicações adicionais do agente de

biocontrole direcionadas à parte inferior da planta para o manejo do progresso da ferrugem, na ausência do patógeno relatado para contribuir para uma epizootia e redução da escala e severidade da ferrugem em outros agroecossistemas (VANDERMEER et al., 2009). Como não foram encontradas diferenças significativas na incidência do hiperparasita em relação às partes da planta ou mesmo correlação para a densidade foliar do cafeeiro, o parasitismo de *L. lecanii* pode ser feito através de uma colonização aleatória, sem levar em conta a densidade foliar das plantas.

Quando a presença do hiperparasita foi correlacionada com a incidência de ferrugem ou severidade nas três partes da planta (superior, média e inferior), uma correlação positiva significativa foi encontrada para a incidência e severidade em ambas estações em qualquer parte da planta. Entretanto houve uma forte correlação na parte superior da planta. Além disso, os maiores valores encontrados na época seca sugerem uma maior incidência e severidade da ferrugem. Nesta época, uma correlação fraca na parte inferior da planta foi detectada, o que pode ser relacionada a um intenso surto da ferrugem neste período.

Foram detectadas maiores incidências tanto de *H. vastatrix* como de *L. lecanii* na face oeste da planta em comparação com a face leste na época seca e de *H. vastatrix* na época das águas. Na estação das águas não houve efeito no hiperparasitismo ($p=0.07$). Os ramos voltados para o lado oeste foram exposta à luz solar apenas no período da tarde e este fato contribuiu positivamente para uma maior incidência de ferrugem e de parasitismo em comparação ao outro lado durante a época seca. O período prolongado na ausência de luz solar no lado oeste tende a manter uma maior umidade foliar e/ou uma maior umidade relativa, criaram um microclima favorável à infecção por *H. vastatrix*, como reportado por Capucho et al., (2013) e Fernandez et al., (2004), esta condição se mostrou favorável para a o parasitismo das pústulas durante a época da seca. Durante a época das águas, devido ao fato de o progresso da ferrugem ser muito mais rápido que seu parasita ou porque a alta taxa de precipitação forneceu a umidade necessária para o parasitismo, a posição do ramo em relação ao sol não não interferiu no desenvolvimento do hiperparasita. Mesmo assim, durante a época das águas, para os ramos voltados na direção oeste, a incidência da ferrugem foi maior, o que pode estar relacionado com a alta umidade e maiores períodos sem incidência luminosa (AVELINO et al., 2006), o que favorece a viabilidade dos uredósporos, que são fotossensíveis à luz UV-B. Lopez-Bravo et al., (2012) constatou um aumento de cerca de 20% na

incidência/severidade de ferrugem nos ramos sombreados em um campo de pesquisas na Costa Rica.

Não foi constatada uma correlação significativa entre a presença do hiperparasita ou incidência de ferrugem e a precipitação pluviométrica entre os períodos de seca ($p \leq 0.400$; $p \leq 0.154$) e das águas ($p \leq 0.0936$; $p \leq 0.649$). Entretanto, levando em conta a temperatura, houve uma correlação positiva significativa entre a incidência de ferrugem e pústulas parasitadas em relação à máxima temperatura ($25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$); adicionalmente, o parasitismo de ferrugem mostrou uma correlação positiva com a temperatura média ($19 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$) na época das águas. Na época seca, *H. vastatrix* e *L. lecanii* se desenvolveram melhor a uma temperatura entre a média e máxima ($19^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ e $27^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, respectivamente). De forma geral, *H. vastatrix* e *L. lecanii* puderam se desenvolver em altas temperaturas (26°C) durante o período do experimento, entretanto, *L. lecanii* se correlacionou positivamente com temperaturas medianas na época seca, mas o mesmo não vale para *H. vastatrix* ($p=0.137$). Além disso, na época seca *L. lecanii* mostrou uma correlação negativa com baixas temperaturas, mas o mesmo não foi observado para *H. vastatrix* ($p=0,0441$), sugerindo que nestes casos o inimigo natural da ferrugem do cafeeiro pode ser mais competitivo para o parasitismo sob baixas temperaturas em relação ao patógeno, o que representa um maior potencial de biocontrole em baixas temperaturas do que em altas.

As tabelas 1 e 2 ilustram estes resultados

Tabela 1 – Influência da orientação dos ramos em relação ao sol (faces leste e oeste) considerando a incidência da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e *Lecanicillium lecanii* nas folhas do cafeeiro durante as épocas da seca e das águas.

Orientação em relação ao sol	Incidência nas folhas			
	<i>H. vastatrix</i>		<i>L. lecanii</i>	
	Águas	Seca	Águas	Seca
Face oeste	0.14*	0.54***	0.04 ^{ns}	0.13*
Face leste	0.09	0.37	0.02	0.08

(Avaliação de 8 meses (4 meses na época seca e 4 na época das águas, 40 plantas, 12 replicatas (folhas de café) por planta em cada estação; n=3840)

* Significante ao nível de probabilidade de 0.05

** Significante ao nível de probabilidade de 0.01

*** Significante ao nível de probabilidade de 0.001

Ns não significativo

Tabela 2 – Coeficientes de correlação entre o número de folhas infectadas por *H. Vastatrix* ou hiperparasitada por *L. Lecanii* e as temperaturas máxima ($T_{(max)}$), média ($T_{(méd)}$) e mínima ($T_{(min)}$) durante as épocas de seca e das águas.

Fungo	Variáveis climáticas					
	Época das águas			Época de seca		
	$T_{(max)}$	$T_{(méd)}$	$T_{(min)}$	$T_{(max)}$	$T_{(méd)}$	$T_{(min)}$
<i>L. lecanii</i>	0.08***	0.07**	ns	-0.07**	-0.07**	-0.05*
<i>H.vastatrix</i>	0.06**	ns	ns	ns	-0.06**	ns

(Avaliação de 8 meses (4 meses na época seca e 4 na época das águas, 40 plantas, 12 replicatas (folhas de café) por planta em cada estação; n=3840)

* Significante ao nível de probabilidade de 0.05

** Significante ao nível de probabilidade de 0.01

*** Significante ao nível de probabilidade de 0.001

Ns não significativo

5 CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostraram que os fatores ambientais abióticos como precipitação pluviométrica, temperatura e exposição à luz solar dos ramos do cafeeiro bem como a morfologia da planta possuem um papel importante na dinâmica da ferrugem do cafeeiro e população de seu inimigo natural.

Desta forma, estes fatores devem ser levados em consideração ao se fazer o uso do agente antagonista de controle biológico em estudo ao buscar estratégias de controle da doença, levando em conta todos fatores bióticos e abióticos que podem interferir na dinâmica do cafeeiro com seu patógeno e seu antagonista ao se fazer o desenvolvimento do manejo integrado da ferrugem do cafeeiro.

REFERÊNCIAS

AVELINO J, ZELAYA H, MERLO A, PINEDA A, ORDOÑEZ M, SAVARY S (2006) **The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations**. *Ecol Model* 197(3–4):431–447. doi:10.1016/j. ecolmodel.2006.03.013

BOLDINI J M (2002) **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado** Dissertation, Universidade Federal de Lavras

CAPUCHO AS, ZAMBOLIM L, LOPES UN, MILAGRES NS (2013) **Chemical control of coffee leaf rust in *Coffea canephora* cv. conilon**. *Australas Plant Pathol* 42(6):667–673. doi:10.1007/s13313-013- 0242-y

COLTO L, MOURAD AL, OLIVEIRA PAPL, BADDINI JPOA, KLETECKE RM (2006) **Environmental profile of Brazilian green coffee**. *Int J Life Cyc AssesS* 11(1):16–21.

doi:10.1065/lca2006.01.230

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2019), **Acomp. safra brasileira de café, v. 6– Safra 2019, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-62, janeiro 2019**. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/24572_0d93c50ad02a492689d26f1319defa39>. Acesso em: 7 abr. 2019.

CUNHA R. L., POZZA E. A., DIAS W. P., BARRETTI P. B. (2001) **Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro**. http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/10820/469/155585_Art148f.pdf?sequence=1. Accessed 24 July 2014

FERNANDEZ D, SANTOS P, AGOSTINI C, BON MC, PETITOT AS, SILVA MC, GUERRA-GUIMARÃES L, RIBEIRO A, ARGOUT X, NICOLE M (2004) **Coffee (*Coffea arabica* L.) genes early expressed during infection by the rust fungus (*Hemileia vastatrix*)**. *Mol Plant Pathol* 5(6):527– 536. doi:10.1111/J.1364-3703.2004.00250.X

GARÇON C. P., ZAMBOLIM L., VALE F. X. R., COSTA H., SILVA M. B. **Progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes altitudes**. 2000

http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/10820/376/155537_Art064f.pdf?sequence=1. Accessed 19 January 2014

- GRASSO V, PALERMO S, SIEROTZKI H, GARIBALDI A, GISI U (2006) **Cytochrome b gene structure and consequences for resistance to Qo inhibitor fungicides in plant pathogens**. *Pest Manag Sci* 62: 465–472 2006. doi:10.1002/ps.1236
- HADDAD F, MAFFIA LA, MIZUBUTI ESG, TEIXEIRA H (2009) **Biological control of coffee rust by antagonistic bacteria under field conditions in Brazil**. *Biol Control* 49(2):14–119 2009. doi:10.1016/j.biocontrol.2009.02.004
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (2019). **Total production by all exporting countries**. Disponível em: < <http://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/1a-total-production.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2019.
- ISLAM MS, ALI M, RAHMAN MS **In vitro studies on the fungicidal effect on Trichoderma species in tea plantation, Banglad**. *J Agric Res* 36(4):677–683 2011. doi:10.3329/bjar.v36i4.11758
- JACKSON D, ZEMENICK K, HUERTA G **Occurrence in the soil and dispersal of Lecanicillium lecanii, a fungal pathogen of the green coffee scale (Coccus viridis) and coffee rust (Hemileia vastatrix)**. *Trop Subtrop Agroecosyst* 15(2):389–401 2012
- KOUVELIS VN, ZARE R, BRIDGE PD, TYPAS MA **Differentiation of mitochondrial subgroups in the Verticillium lecanii species complex**. *Lett Appl Microbiol* 28(4):263–268 1999. doi:10.1046/j.1365-2672.1999.00530.x
- LOLAND J, SINGH B **Copper contamination of soil and vegetation in coffee orchards after long-term use of Cu fungicides**. *Nutr Cycl Agroecosyst* 69(3):203–211 2004. doi:10.1023/B:FRES.0000035175.74199.9a
- LÓPEZ-BRAVO DF, VIRGINIO-FILHO EM, AVELINO J **Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions**. *Crop Prot* 38:21–29 2012. doi:10.1016/j.cropro.2012.03.011
- LUACES O, RODRIGUES LHA, MEIRA CAA, BAHAMONDE A **Using nondeterministic learners to alert on coffee rust disease**. *Expert Syst Applic* 2011 38(11):14276–14283. doi:10.1016/j.eswa.2011.05.003
- MAFFIA LA, HADDAD F, MIZUBUTI ESG **Controle biológico da ferrugem do cafeeiro (ISBN 9788585771485)**. In: Bettiol W, Morandi MAB (eds) **Biocontrole de doenças de plantas: usos e perspectivas**, 1st edn. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, pp 267–275 2009
- MCCOOK S **Global rust belt: Hemileia vastatrix and the ecological integration of world coffee production since 1850**. *J Glob Hist* 1(2): 177–195. 2006 doi:10.1017/S174002280600012X

MCKINNEY RH **Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum***. J Agric Res 26(5):195–218 1923

VANDERMEER J, PERFECTO I, LIERE H **Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii*, through a complex ecological web**. Plant Pathol 58(4):636–641, 2009 doi:10.1111/j.1365-3059.2009.02067.x

ZARE R, GAMS W **A revision of *Verticillium* sect. *Prostrata*. IV. the genus *Lecanicillium* and the new genus *Simplicillium***. Nova Hedwigia 73(1–2):1–50. 2001