



DANIEL DE CARVALHO MELO COSTA

**RESISTÊNCIA DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea arabica*) AO BICHO-MINEIRO *Leucoptera coffeella*
(LEPIDOPTERA: LYONETIIDAE)**

**LAVRAS – MG
2023**

DANIEL DE CARVALHO MELO COSTA

**RESISTÊNCIA DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea arabica*) AO BICHO-
MINEIRO *Leucoptera coffeella* (LEPIDOPTERA: LYONETIIDAE)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Costa, Daniel de Carvalho Melo.

Resistência de cultivares de café arábica (*Coffea arabica*) ao
bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) /
Daniel de Carvalho Melo Costa. - 2022.

92 p. : il.

Orientador(a): Bruno Henrique Sardinha de Souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.
Bibliografia.

1. Controle varietal. 2. Siriema. 3. Resistência de plantas. I.
Souza, Bruno Henrique Sardinha de. II. Título.

DANIEL DE CARVALHO MELO COSTA

RESISTÊNCIA DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea arabica*) AO BICHO-MINEIRO *Leucoptera coffeella* (LEPIDOPTERA: LYONETIIDAE)

RESISTANCE OF ARABICA COFFEE CULTIVARS (*Coffea arabica*) TO COFFEE LEAF MINER *Leucoptera coffeella* (LEPIDOPTERA: LYONETIIDAE)

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 22 de dezembro de 2022.

Dr. André Dominghetti Ferreira – EMBRAPA
Dr. Geraldo Andrade Carvalho – UFLA
Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho – EPAMIG
Dr. Rogério Antônio Silva - EPAMIG

Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

*Ao meu pai José Antônio (in memoriam), pelo amor, incentivo
e apoio incondicional. Meu maior amigo.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela força e por nunca me abandonar.

À Universidade Federal de Lavras – UFLA e ao Departamento de Entomologia – DEN pela oportunidade concedida para a realização do curso de Doutorado em Entomologia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto, à FAPEMIG e pela concessão da bolsa, e à CAPES pelo apoio financeiro.

Ao Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza, por sua orientação, amizade, importantes oportunidades e incentivo. Sem palavras para agradecer o quanto seus ensinamentos e ajuda foram fundamentais para a minha formação como pesquisador e para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador Dr. Carlos Henrique Siqueira de Carvalho da EMBRAPA Café/Procafé pelo fornecimento dos materiais de café e área de campo para avaliação, e disponibilidade para contribuir com o trabalho.

Ao Prof. Dr. Mário Lúcio, pelo fornecimento da área de café para as avaliações e disponibilidade para contribuir com o trabalho.

Aos pesquisadores Dr. André Dominghetti (EMBRAPA Café) e Dr. Gladyston Rodrigues (EPAMIG), agradeço pelas viagens a Patrocínio -MG, e sempre dispostos a ajudar.

Aos membros da banca Prof. Dr. Geraldo Andrade Carvalho, Dr. Rogério Antônio Silva, Dr. Gladyston Rodrigues, Dr. André Dominghetti e Prof. Dr. Mário Lúcio Vilela de Resende (suplente), Dr. Maurício Sérgio Zacarias (suplente) pela disponibilidade em contribuir com o trabalho.

A todos os professores do Departamento de Entomologia, pelos valiosos ensinamentos.

Aos amigos do Laboratório de Resistência de Plantas e MIP, Ana Paula, Fernanda Ferreira, Larah, Filipe, Gilberto e Amanda Nascimento pela ótima convivência e ajuda no dia a dia com os trabalhos.

A todos os funcionários do Departamento de Entomologia, especialmente a Lea pela colaboração e disposição em ajudar.

A todos os companheiros do curso de Entomologia, pelas conversas e apoio durante o curso.

Aos amigos que fiz na República 49, especialmente Júlio, Daniel e Thiago Agostini.

Aos meus amigos Filipe Aiura e Maurício pela amizade, apoio e solidariedade.

A minha mãe, por todo o amor, incentivo e preocupação.

Ao meu pai (*in memoriam*) pela amizade, conselhos, amor e incentivo em todas as minhas decisões.

A minha namorada Camila pelo amor, carinho, paciência e dedicação. E ajuda com o trabalho.

Aos meus sogros Maria Eunice e Camilo, por tudo que já fizeram e ainda fazem por mim.

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO GERAL

O bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) é considerado a principal praga da cultura cafeeira em função da ocorrência generalizada e perdas econômicas causadas ao produtor. Uma das alternativas mais promissoras para o controle do bicho-mineiro é o uso de cultivares resistentes. A Fundação Procafé lançou a cultivar Siriema AS1, que apresenta características de resistência tanto ao bicho-mineiro quanto à ferrugem. Assim, este trabalho teve os objetivos de: avaliar em condições de campo na região do Sul de Minas Gerais a resistência de cultivares comerciais de café arábica ao bicho-mineiro e correlacionar sua infestação com fatores climáticos; e avaliar e caracterizar os tipos de resistência (antixenose e ou antibiose) da cv. Siriema e de suas progênies. Para o experimento com as cultivares comerciais, foram utilizadas 28 cultivares e 2 clones do painel de cultivares do INCT-Café, em Lavras, e para o experimento com a cv. Siriema e suas progênies, foram utilizadas mudas obtidas na Fazenda Experimental do Procafé. As amostragens do bicho-mineiro foram realizadas mensalmente em campo, onde foram avaliadas ao acaso três folhas do terceiro/quarto par de folhas de ramos do terço superior das plantas por parcela, procedendo-se da mesma forma para o terço médio. Os parâmetros avaliados foram a porcentagem de folhas minadas intactas, o número de minas por folha, e a intensidade de injúria, de acordo com uma escala quantitativa de porcentagem de área foliar atacada pelo bicho-mineiro. Em laboratório foram caracterizadas as categorias de resistência (antixenose e ou antibiose) da cv. Siriema e de suas progênies ao bicho-mineiro, comparando-as com a cultivar comercial Arara por meio de ensaios de preferência para oviposição e desenvolvimento biológico. Foram observadas diferenças na infestação do bicho-mineiro entre as cultivares no experimento de campo; além disso, a precipitação acumulada foi fator importante na regulação do nível de infestação da praga em campo. A intensidade de injúria também variou significativamente entre os genótipos, com altas e baixas infestações, e foi significativamente correlacionada com o número de minas por folha. As diferentes progênies de ‘Siriema’ testadas neste estudo não interferiram na oviposição de *L. coffeella* em laboratório, e desse modo, não apresentam resistência por antixenose. Os maiores efeitos da resistência por antibiose nas progênies de ‘Siriema’ foram na fase larval. A fase de pupa e a longevidade dos adultos não foram afetadas negativamente pelos genótipos resistentes. Estudos sobre a influência de fatores climáticos na flutuação populacional de *L. coffeella* são importantes para orientar o monitoramento da praga, uma vez que esses dados permitem antecipar quando e em que intensidade a praga pode surgir na lavoura. Além disso, a caracterização das categorias e níveis de resistência na cv. Siriema e em suas progênies podem contribuir para o avanço de programas de melhoramento genético do café arábica quanto à ao desenvolvimento de cultivares comerciais produtivas e com resistência ao bicho-mineiro.

Palavras-chave: Controle varietal; resistência de plantas; Siriema; antixenose; antibiose.

GENERAL ABSTRACT

The leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) is considered the main coffee crop pest due to its widespread occurrence and economic losses caused to producers. The use of resistant cultivars is one of the most promising alternatives for leaf miner control. The Procafé Foundation launched the Siriema AS1 cultivar, which is resistant to both leaf miner and rust. Thus, this study aimed to assess the leaf miner resistance of commercial arabica coffee cultivars, correlating the infestation with climatic factors, as well as evaluating and characterizing the types of resistance (antixenosis and/or antibiosis) of cv. Siriema and its progenies. The experiments were conducted under field conditions in the southern region of Minas Gerais, Brazil. The first experiment consisted of using 28 commercial cultivars and 2 clones from the panel of cultivars of the INCT-Café, in the municipality of Lavras, and the second one, with cv. Siriema and its progenies, was performed using seedlings from the Procafé Experimental Farm. Leaf miner sampling was carried out monthly in the field, randomly assessing three leaves, per plot, of the third/fourth pair of leaves from branches of the upper third of the plants, proceeding in the same way for the middle third. The following parameters were assessed: percentage of intact mined leaves, number of mines per leaf, and intensity of injury, according to a quantitative scale of the percentage of leaf area attacked by the leaf miner. In the laboratory, the categories of leaf miner resistance (antixenosis and/or antibiosis) of cv. Siriema and its progenies were characterized, comparing them with the commercial cultivar Arara through tests of preference for oviposition and biological development. Differences in leaf miner infestation were found between the cultivars in the field experiment. In addition, accumulated precipitation was an important factor in regulating the level of pest infestation in the field. Injury intensity also varied significantly between genotypes, with high and low infestation rates, and was significantly correlated with the number of mines per leaf. The 'Siriema' progeny genotypes tested in the laboratory did not interfere with the oviposition of *L. coffeella* and, therefore, have no antixenosis resistance. The greatest negative effects of antibiosis resistance on 'Siriema' progenies were observed in the larval stage. Pupal stage and adult longevity were not negatively affected by resistant genotypes. Studies on the influence of climatic factors on the population fluctuation of *L. coffeella* are important to guide pest monitoring, as these data allow us to predict when and at what intensity the pest may appear in the crop. Moreover, the characterization of resistance categories and levels in cv. Siriema and its progenies may contribute to the advancement of arabica coffee genetic improvement programs for the development of productive commercial cultivars resistant to leaf miner.

Keywords: Varietal control; plant resistance; Siriema; antixenosis; antibiosis.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1 Características gerais e importância econômica do bicho-mineiro	12
3.2 Resistência de plantas de café ao bicho-mineiro.....	13
3.3 Influência de fatores climáticos na infestação do bicho-mineiro	16
REFERÊNCIAS	18
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	22
ARTIGO 1.....	22
ARTIGO 2.....	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	94

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo. Projeção realizada pelo Conselho dos Exportadores de Café do Brasil apontam que até 2030 o consumo mundial de café aumentará cerca de 30% e alcançará 204,5 milhões de sacas (CECAFÉ, 2016). Assim, para que o Brasil mantenha sua participação no mercado internacional é necessário que a produção nacional aumente cerca de 16,17 milhões de sacas até 2030, alcançando 72,65 milhões de sacas (MAPA, 2018). Entre os fatores que podem afetar a atividade cafeeira no Brasil está o ataque de insetos pragas que prejudicam direta e indiretamente a produtividade e qualidade da produção.

O bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* Guérin-Méneville (Lepidoptera: Lyonetiidae) é considerada a principal espécie de inseto-praga da cultura cafeeira no país em função de sua ocorrência generalizada e das perdas econômicas causadas aos produtores (MENDONÇA et al., 2016). O controle químico é a estratégia mais utilizada para reduzir os danos do bicho-mineiro. Porém, seu uso intenso causa efeitos negativos, como a mortalidade de inimigos naturais, deixa resíduos dos produtos no ambiente e promove a seleção de populações resistentes da praga. O surgimento de populações resistentes de *L. coffeella* levou inseticidas convencionais, como organofosforados e piretroides, a se tornarem ineficientes no controle do bicho-mineiro na região do cerrado de Minas Gerais, uma das principais regiões produtoras do Brasil. Assim, o grande número de aplicações necessárias para o controle do bicho-mineiro e os altos valores dos inseticidas mais modernos aumentam o custo de produção, restando aos produtores poucas opções para o manejo da praga (GUERREIRO FILHO; SILVAROLLA; ESKES, 1999; SOUZA, 2017).

O uso de cultivares resistentes é uma das estratégias mais promissoras para o manejo do bicho-mineiro. O desenvolvimento de cultivares de café tem sido realizado por meio de técnicas clássicas e moleculares de seleção (GUERREIRO FILHO; SILVAROLLA; ESKES, 1999). Recentemente, a Fundação Procafé disponibilizou aos produtores a cv. Siriema AS1, um híbrido oriundo do cruzamento entre *Coffea arabica* e *C. racemosa*. A cultivar possui resistência aos dois principais problemas fitossanitários do cafeeiro, a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) e o bicho-mineiro, e é até então,

a única cultivar tida como altamente resistente ao inseto-praga (MATIELLO et al., 2014; 2015). No entanto, há escassez de trabalhos que tenham avaliado a infestação do bicho-mineiro por safras seguidas em campo nessa e em outras cultivares mais modernas disponíveis no mercado.

Pelo fato da cv. Siriema apresentar características de resistência ao bicho-mineiro, é de grande importância fenotipar suas progênies em campo e em condições controladas quanto à expressão da resistência, com o intuito de selecionar progênies candidatas com níveis diferentes de resistência para serem utilizadas em programas de melhoramento. Não há na literatura qualquer informação sobre os efeitos da cv. Siriema e de suas progênies em comparação com as cultivares comerciais mais utilizadas no mercado (cv. Mundo Novo, Catuaí Amarelo e Arara) na oviposição e desenvolvimento do bicho-mineiro em condições controladas. Essas informações são de grande importância para caracterizar a resistência da cv. Siriema (antixenose e antibiose) e os efeitos causados ao bicho-mineiro, bem como para desenvolver as melhores estratégias de uso das cultivares resistentes no manejo integrado de pragas.

A resistência por antixenose é relacionada com as características fenotípicas do genótipo da planta, quer sejam químicas ou morfológicas, e seus efeitos no comportamento de alimentação e oviposição do inseto, manifestada na não preferência de escolha e colonização da planta pela praga. Por outro lado, a resistência por antibiose é manifestada pela presença de características da planta desfavoráveis ao desenvolvimento do inseto, afetando de forma aguda ou crônica parâmetros biológicos como sobrevivência, duração do ciclo, ganho de peso, fecundidade e fertilidade em função de mecanismos químicos e/ou morfológicos da resistência (MITCHELL et al., 2016; SMITH, CLEMENT; 2012; STOUT, 2013). Em algumas situações, os efeitos da resistência por antixenose e antibiose podem sobrepor, e em outros casos as respostas da planta sobre os insetos podem ser devido a diferentes mecanismos que atuam de forma distinta na oviposição dos adultos e alimentação e desenvolvimento da progênie (EDUARDO et al., 2020; JAENIKE, 1978; ROJAS et al., 2018; STOUT, 2013).

A intensidade de infestação do bicho-mineiro varia de ano para ano em função das condições climáticas da região cafeeira, pois fatores meteorológicos como temperatura, umidade relativa e fotoperíodo podem afetar diretamente populações de pragas, influenciando as taxas reprodutivas e de mortalidade, e indiretamente através de efeitos nos inimigos naturais (LOMELÍ-FLORES; BARRERA; BERNAL, 2010) ou mesmo via planta por conta dos efeitos abióticos na expressão diferenciada da resistência aos insetos

(BOIÇA JÚNIOR et al., 2015; SILVA et al., 2019; SMITH, 2005). Em regiões favoráveis à ocorrência do bicho-mineiro, como as de alta temperatura e baixa umidade, e onde o café é produzido de forma mecanizada em maiores espaçamentos, *L. coffeella* ocorre em altas densidades populacionais, provocando grandes perdas econômicas (DANTAS et al., 2020). O desenvolvimento de programas de Manejo Integrado de Pragas depende de estudos de dinâmica populacional e do conhecimento da influência de fatores ambientais que regulam o crescimento populacional de insetos e intensidade de ataque à cultura hospedeira. Conhecer a influência de fatores climáticos sobre a flutuação populacional de pragas é importante pois permite antecipar quando e em que intensidade a praga pode surgir na lavoura, orientando a amostragem e a tomada de decisão do controle no momento mais adequado (PEREIRA et al., 2007a).

A expectativa é de que os resultados gerados neste trabalho contribuam para a difusão do conhecimento para uso de novas tecnologias pelos cafeicultores, resultando em maior adoção das novas cultivares. Além disso, a caracterização da resistência na cv. Siriema e em suas progênies ao bicho-mineiro contribuirão para o avanço de programas de melhoramento genético de café arábica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Avaliar em campo a resistência de cultivares de café arábica ao bicho-mineiro e correlacionar sua infestação com fatores climáticos, e caracterizar a resistência da cv. Siriema e de suas progênies à praga em laboratório.

2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar em campo nas condições da região Sul de Minas Gerais a infestação do bicho-mineiro e a resistência em 28 cultivares comerciais e 2 clones de café arábica por três safras consecutivas e a influência da temperatura e precipitação nos níveis de infestação;
- b) Caracterizar em laboratório os níveis de resistência, por antixenose e antibiose, da cv. Siriema e de suas progênies em comparação com a cultivar Arara ao bicho-mineiro.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Características gerais e importância econômica do bicho-mineiro no cafeeiro

A presença do bicho-mineiro foi reportada nos cafezais do Brasil a partir de 1851, porém, os primeiros registros do inseto como praga datam de 1860-1861 nos cafezais do Rio de Janeiro e do município de Juiz de Fora, Minas Gerais. A praga foi introduzida no Brasil provavelmente através de mudas de café importadas das Antilhas e da Ilha de Bourbon (MEDINA FILHO et al. 1977).

O bicho-mineiro é um inseto monófago, alimentando-se e reproduzindo apenas no cafeeiro. É um inseto holometabólico, passando pelas fases de ovo, larva, pupa e adulta. As injúrias nas plantas são causadas pelas lagartas que provocam minas nas folhas, reduzindo a área foliar, proporcionando queda prematura das folhas e consequente redução da capacidade fotossintética da planta, reduzindo a produção de grãos (SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998).

O adulto do bicho-mineiro é um microlepidóptero de coloração prateada, com cerca de 6,5 mm de envergadura. Na ponta das asas há uma mancha circular preta de halo amarelado, e asas posteriores franjadas. A oviposição ocorre na face adaxial das folhas do cafeeiro. Os ovos são achatados, brancos e brilhantes, com 0,30 mm de comprimento e 0,25 mm de largura (GALLO et al. 2002). O período embrionário pode durar de 5 a 21 dias (SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998).

Após esse período eclode a lagarta que penetra diretamente na folha, sem contato com o meio exterior. A lagarta começa a se alimentar do tecido do parênquima paliádico, iniciando a formação das minas que caracterizam os sinais de ataque da praga. As lagartas atingem comprimento de até 3,5 mm, e a fase larval é a que causa prejuízos ao cafeeiro. A fase larval pode durar de 9 a 40 dias, passados os quais a lagarta deixa de se alimentar, abandona a lesão e migra para as folhas do terço inferior do cafeeiro, geralmente na face abaxial, para transformar-se em crisálida. Para isso, o inseto constrói um casulo protegido de fios de seda em forma de “X”. Após uma média de 26 dias emerge o adulto. O ciclo da praga pode durar de 19 a 87 dias, de acordo com as condições climáticas (SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998).

Em regiões cafeeiras com altas infestações do bicho-mineiro é comum o início do controle nos meses de novembro e dezembro, realizado por meio do controle químico preventivo, uma vez que o primeiro ciclo do bicho-mineiro (março/abril, época favorável à emergência de adultos e de crisálidas em diapausa) deve ser controlado com eficiência

para prevenir ou pelo menos reduzir outros picos populacionais durante o ano. Dessa forma, os produtores geralmente fazem uma aplicação de um inseticida sistêmico em novembro e complementa com uma aplicação em fevereiro, também de um inseticida sistêmico. Com essas primeiras aplicações preventivas, se forem eficientes, o período de controle se estende até maio (REIS, 2017). A partir de maio, deve-se iniciar o monitoramento da infestação do bicho-mineiro, no terço superior do cafeeiro, e caso forem encontradas de 20 a 30% de folhas minadas em 200 folhas coletadas de cada talhão, novas pulverizações devem ser realizadas por meio de misturas de inseticidas com diferentes modos de ação, visando ao controle de ovos, lagartas dentro das minas e também de adultos do bicho-mineiro. Após o período de controle dessa última pulverização (realizada em fevereiro) é feito novo monitoramento e novas pulverizações podem ser necessárias em função da presença de minas intactas no cafeeiro (MESQUITA et al., 2016; PARRA; REIS, 2013; SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998).

3.2 Resistência de plantas de café ao bicho-mineiro

Medina Filho, Carvalho e Monaco (1977) estudaram materiais de *C. arabica* e outras espécies do gênero *Coffea* quanto à resistência ao bicho-mineiro, e verificaram que todas as cultivares comerciais de *C. arabica* foram suscetíveis, porém, nas espécies silvestres *C. racemosa*, *Coffea kapakata*, *Coffea eugenoides*, *Coffea dewevrei* e *Coffea stenophylla* foi constatada resistência. Para o início do desenvolvimento de cultivares comerciais resistentes ao bicho-mineiro foi escolhida a espécie *C. racemosa* devido à facilidade do cruzamento com *C. arabica* (CARVALHO; MONACO, 1968) e também por essa espécie tolerar a seca e ter amadurecimento precoce dos frutos (LEVY et al., 1989 citado por GUERREIRO FILHO, 2006). Após hibridação entre *C. racemosa* e *C. arabica* (cv. Blue Mountain), e retrocruzamento com a cv. Mundo Novo, foram selecionadas duas plantas por apresentarem alta resistência a *L. coffeella*, C1195-5-6-1 e C1195-5-6-2, com 45 e 44 cromossomos somáticos, respectivamente.

Na década de 1980, um programa de melhoramento do cafeeiro direcionado para a resistência ao bicho-mineiro começou a partir da planta C1195-5-6-2, fornecida pelo pesquisador Dr. Alcides Carvalho ao Dr. Kepler, do extinto IBC. Na FEX-Caratinga, MG, essa progênie foi cruzada com a cv. Catimor para incorporar resistência à ferrugem, porte baixo e aumento de produtividade. Em Varginha, MG, as plantas resultantes foram multiplicadas e melhoradas em ensaios localizados no Sul de Minas, Zona da Mata Mineira (Martins Soares) e Cerrado Mineiro (Coromandel e Varjão de Minas). O trabalho

de melhoramento visando ao desenvolvimento de uma cultivar foi orientado em duas linhas principais: desenvolver cultivares de propagação sexuada (sementes); e selecionar plantas matrizes com boas características para produzir clones por embriogênese somática visando à obtenção de uma cultivar clonal (GUERREIRO FILHO et al., 1990; MATIELLO et al., 2015; MATIELLO et al., 2014).

Guerreiro Filho, Silvarolla e Eskes (1999) após conduzirem vários testes para estudar a expressão e a transmissão da resistência ao bicho-mineiro em populações de melhoramento genético derivadas das terceira e quarta gerações de retrocruzamentos (*C. racemosa* x *C. arabica*) x (*C. arabica*), agruparam as plantas em duas categorias de resistência: suscetíveis ou resistentes. Como resistentes foram classificadas as plantas que apresentaram lesões pontuais (altamente resistentes) ou lesões filiformes pequenas (moderadamente resistentes), enquanto plantas com lesões grandes irregulares (moderadamente suscetíveis) ou lesões grandes arredondadas (altamente suscetíveis) foram classificadas como suscetíveis.

A resistência do cafeeiro ao bicho-mineiro possivelmente é devida à expressão de genes qualitativos, uma vez que nas plantas classificadas como altamente ou moderadamente resistentes os insetos foram incapazes de se reproduzir. Em relação ao modo de herança da resistência a *L. coffeella* na espécie *C. racemosa*, esses mesmos autores sugeriram a existência de dois genes complementares e dominantes, que foram denominados *Lm1* e *Lm2*. As segregações para a resistência obtida por autofecundação de plantas heterozigotas se aproximam das segregações esperadas de 9 indivíduos resistentes: 7 suscetíveis, e em progênes de polinização aberta ou retrocruzamentos para plantas heterozigotas com parentais suscetíveis, a proporção é de 1 resistente: 3 suscetíveis (GUERREIRO FILHO; SILVAROLLA; ESKES).

Pesquisas têm sido realizadas para obter informações sobre a expressão e o tipo da resistência de cultivares de café ao bicho-mineiro. As principais características investigadas nas diferentes espécies de café são anatomia foliar, morfologia das folhas, desenvolvimento fenológico e compostos fitoquímicos (GUERREIRO-FILHO, 2006). Com o intuito de conhecer a natureza da resistência a *L. coffeella*, Ramiro et al. (2004) observaram características anatômicas das folhas das espécies genitoras de *C. arabica* e *C. racemosa* e em plantas híbridas resistentes e suscetíveis oriundas desse cruzamento, e correlacionaram com o nível de resistência. Apesar da diferença na espessura dos tecidos foliares entre *C. arabica* e *C. racemosa*, não houve diferenças entre plantas híbridas

resistentes e suscetíveis, sugerindo que as características avaliadas não estão envolvidas no mecanismo de resistência a *L. coffeella*.

Medina Filho, Carvalho e Monaco (1977) avaliaram em condições de campo diversas cultivares, híbridos e retrocruzamentos do gênero *Coffea* quanto à resistência ao bicho-mineiro. Eles observaram que não houve diferenças de infestação em plantas com diferentes graus de ploidia, com espessura variável da lâmina foliar ou com folhas de tamanhos diferentes. Portanto, de acordo com esses pesquisadores, o tamanho, a espessura das folhas e o nível de ploidia das plantas avaliadas não têm relação com a expressão da resistência ao bicho-mineiro.

Segundo Guerreiro-Filho, Medina Filho e Carvalho (1991), a variação observada no crescimento das lesões causadas pelo bicho-mineiro nas espécies *C. racemosa*, *C. stenophylla* e *C. kapakata* é provavelmente devido à ação de compostos fitoquímicos produzidos por essas espécies que interferem no desenvolvimento das lagartas, sendo portanto um exemplo de resistência por antibiose. Investigando a resistência por antixenose nas espécies *C. arabica*, *C. congensis*, *C. canephora* e *C. racemosa*, Matos et al. (2011) avaliaram a preferência de fêmeas de *L. coffeella* para oviposição em mudas. As cultivares de *C. arabica*, Mundo Novo IAC-515-20, Tupi IAC 1669-33, Icatu Precoce IAC 3282 e Catuaí Amarelo IAC 62 foram mais preferidas para oviposição quando agrupadas com mudas de *C. canephora* cv. Apoatã IAC 2258. Por outro lado, Apoatã demonstrou ser mais preferida que *C. racemosa*. Nos testes utilizando folhas destacadas, foram encontrados resultados semelhantes, e *C. congensis* mostrou preferência de oviposição intermediária pelas fêmeas de *L. coffeella* entre *C. arabica* e *C. canephora*.

Segundo Cardenas (1981) citado por Matos (2011), a intensidade da cor verde pode influenciar a preferência de oviposição do bicho-mineiro. Folhas mais escuras são preferidas para oviposição do que folhas verdes claras. Assim, a cor verde clara, predominante nas folhas de *C. canephora*, pode ser a causa da baixa frequência de oviposição nas cultivares de *C. canephora*. Por outro lado, pesquisadores defendem a hipótese de que a diferença de concentração de um composto químico específico nas folhas tem um papel importante na preferência por cores (MATOS et al., 2011).

Alguns trabalhos permitiram observar que folhas jovens dos primeiros dois pares do ramo do cafeeiro são menos danificadas pelo bicho-mineiro em relação às folhas mais velhas (GUERREIRO FILHO, 2006; GUERREIRO FILHO; SILVAROLLA; ESKES, 1999). Estudos conduzidos por Salgado et al. (2008) evidenciaram que a concentração total de compostos fenólicos em folhas novas de plantas de café foi maior do que em

folhas mais velhas. Dessa forma, Guerreiro-Filho (2006) e Guerreiro-Filho, Silvarolla e Eskes (1999) sugeriram que os metabólitos secundários com efeito tóxico aos insetos sejam transportados para as folhas mais jovens que ainda estão parcialmente lignificadas, e essa combinação confere maior proteção contra as injúrias do bicho-mineiro.

3.3 Influência de fatores climáticos na infestação do bicho-mineiro

A intensidade de infestação do bicho-mineiro varia de ano para ano em função das condições climáticas da região cafeeicultora. Altas temperaturas e períodos secos prolongados favorecem o rápido crescimento das populações do bicho-mineiro, podendo atingir altas infestações. Em regiões favoráveis à ocorrência do bicho-mineiro e onde o café é produzido de forma mecanizada em maiores espaçamentos, *L. coffeella* ocorre em altas densidades populacionais, podendo reduzir em até 80% a produção de café da safra seguinte (SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998).

Silva et al. (2022), ao investigarem como fatores ambientais afetam o ataque de *Leucoptera coffeella* ao cafeeiro, observaram que a ocorrência de lagartas de *L. coffeella* é correlacionada com a temperatura, com grande incidência de lagartas durante os meses mais quentes do ano. E a predação de *L. coffeella* por vespas foi maior durante esses meses, pois foram atraídas para os cafeeiros devido à abundância de lagartas, que são utilizadas como fonte de alimento. A precipitação também foi um fator importante, pois reduziu a abundância desta praga mesmo nos períodos mais favoráveis à sua ocorrência.

Para a elaboração de programas de manejo integrado de pragas é preciso entender como os componentes abióticos e bióticos do agroecossistema interferem na intensidade de ataque de uma espécie de praga à cultura hospedeira. Entre esses componentes, os inimigos naturais, as condições meteorológicas e as características da planta hospedeira são os fatores mais importantes que afetam a dinâmica populacional das espécies de pragas (PEREIRA et al., 2007a). Fatores meteorológicos podem afetar diretamente populações de pragas, influenciando as taxas reprodutivas e de mortalidade, e indiretamente, através de influências em seus inimigos naturais (LOMELÍ-FLORES; BARRERA; BERNAL, 2010) ou mesmo via planta pela influência de fatores abióticos na expressão diferenciada da resistência aos insetos (SMITH, 2005; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015; SILVA et al., 2019).

Como exemplo de como os fatores climáticos afetam a infestação de pragas, recentemente uma infestação atípica do bicho-mineiro foi observada na cafeeicultura do sul de Minas, como resultado de uma longa estiagem ocorrida entre dezembro de 2013 e

outubro de 2014, e do grande veranico ocorrido em janeiro de 2015, com altas temperaturas e ausência de chuvas. Essa alteração climática favorável ao bicho-mineiro mudou o comportamento da praga na cafeicultura do Sul de Minas e também em outras regiões. Assim, ao final do período seco de 2014, em decorrência do ataque do bicho-mineiro, a presença de adultos e de crisálidas no terço inferior do café foi muito acentuada. Com o início do período chuvoso em novembro de 2014, as lagartas do bicho-mineiro remanescentes nas minas nas folhas transformaram-se em crisálidas, e em dezembro emergiram adultos em grande número. Em seguida, as fêmeas foram copuladas e reinfestaram inúmeras lavouras de café por meio do grande número de ovos na face superior das folhas. Essa reinfestação atípica resultou em lesões grandes nas folhas do cafeeiro. Com as altas temperaturas e ausência de chuvas em janeiro de 2015 associado a dias longos, a infestação do bicho-mineiro foi intensa, com grande número de lesões por folha, requerendo controle antecipado por meio da pulverização de inseticidas na parte aérea dos cafeeiros (SOUZA et al., 2015).

A mortalidade natural é um componente importante na dinâmica populacional de uma espécie de inseto, e compreender a ação dos agentes que atuam nessa mortalidade pode ajudar no desenvolvimento de estratégias de manejo de insetos-praga (PEREIRA et al., 2007b). Segundo Ghini et al. (2008), as mudanças climáticas podem modificar o cenário atual de pragas na agricultura brasileira, podendo diminuir, aumentar ou não afetar os diferentes problemas com pragas que ocorrem em cada região. Dessa forma, o diagnóstico rápido e o alerta de risco alto ou baixo para a infestação de pragas podem ser decisivos para uma estratégia de manejo eficiente (CHALFOUN et al., 2015).

REFERÊNCIAS

- BOIÇA JÚNIOR, A. L.; COSTA, E. N.; SOUZA, B. H. S.; SILVA, A. G.; CHIORATO, A. F. Infestation of *Caliothrips phaseoli* (Thysanoptera: Thripidae) on bean cultivars grown in the winter, rainy, and dry seasons in Brazil. **Environmental Entomology**, v. 44, p. 1108-1115, 2015.
- BETTENCOURT, A. J.; FAZUOLI, L. C. Melhoramento genético de *Coffea arabica* L.: Transferência de genes de resistência a *Hemileia vastatrix* do Híbrido de Timor para a cultivar Villa Sarchí de *Coffea arabica*. **Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, 2008.
- BONOMO, P. et al. Melhoramento genético vegetal. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 207–219, 2004.
- CALORE et al. Fatores climáticos na dinâmica populacional de *Anastrepha* spp. (DIPTERA: TEPHRITIDAE) e de *Scymnus* spp. (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) em um pomar experimental de goiaba (*Psidium guajava* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 067-074, 2013.
- CARDENAS R.M. Caracterización histo-morfológica de daño del minador de la hoja, *Leucoptera coffeella* em especies e híbridos de *Coffea* spp. y observaciones sobre resistencia. Tese, Universidad Nacional de Colombia, 1981. In: MATOS, J. W. et al. Antixenosis resistance to leaf miner *Leucoptera coffeella* in *Coffea* species. **Euphytica**, v. 181, n. 2, p. 253–260, 2011.
- CARVALHO, A; MONACO L. C. Relaciones genéticas de espécies selecionadas de *Coffea*, **Café**. v. 9, p. 1-19, 1968.
- CARVALHO, A.; MONACO, L. C. Transferência do fator caturra para o cultivar Mundo Novo de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v. 31, n. 2, p. 379–399, 1972.
- CARVALHO, C. H. S. Cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.). **EMBRAPA**, Brasília, p. 247, 2008.
- CARVALHO, C. H. S. et al. Desenvolvimento de cultivares de café com resistência ao bicho- mineiro. **VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Salvador, p. 35–38, 2013.
- CECAFÉ - Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. **Sobre o café: Produção**. 2016. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/sobre-o-cafe/producao/>. Acesso em: 14 out. 2022.
- CHALFOUN, S. M. et al. Avaliação passado, presente e futuro da influência de condições meteorológicas sobre o bicho-mineiro-do-cafeeiro. **IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Curitiba, 2015.
- DANTAS, J. et al. A comprehensive review of the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae), with special regard to neotropical impacts, pest management and control. **Preprints**, 1-25. 2020.

EDUARDO, W. I.; BOIÇA JÚNIOR, A. L.; MORAES, R. F. O.; SOUZA, B. H. S.; LOUVANDINI, H.; BARBOSA, J. C. Protocol for assessing soybean antixenosis to *Heliothis virescens*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 168, p. 911-927, 2020.

GALLO, D. et al. Entomologia Agrícola. Piracicaba; FEALQ, 2002. 920p.

GHINI, R. et al. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 187–194, 2008.

GUERREIRO-FILHO, O.; MEDINA-FILHO, H. P.; CARVALHO, A. Fontes de resistência ao bicho-mineiro *Perileuoptera coffeella*, em *Coffea* spp. **Bragantia**, v. 50, p. 45–55, 1991.

GUERREIRO FILHO, O. et al. Melhoramento Do Cafeeiro : XLIII . Seleção de Cafeeiros Resistentes ao Bicho-Mineiro. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. 2, p. 291–304, 1990.

GUERREIRO FILHO, O. Coffee Leaf Miner Resistance. **Plant Physiol.** Campinas, v. 18, n., p. 109–117, 2006.

GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B.; ESKES, A. B. Expression and mode of inheritance of resistance in coffee to leaf miner *Perileuoptera coffeella*. **Euphytica**, v. 105, n. 1, p. 7–15, 1999.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. (Ed.). Cafeicultura. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 317 p., 2002.

JAENIKE, J. On optimal oviposition behavior in phytophagous insects. **Theoretical Population Biology**, v. 14, p. 350-356, 1978.

KATIYAR, K. P.; FERRER, F. Technique biology and sterelization of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* Guér (lepidoptera-lyonetiidae). Viena: **Internacional Atomic Energy**, IAEA, p.165-175, 1968.

LEVY F.A. et al. Precocidade de maturação no cafeeiro. In: Congresso Brasileiro do Café, 15., Maringá, 1989. Resumos. Rio de Janeiro, IBC/GERGA, p.155-157, 1989. In: GUERREIRO FILHO, O. Coffee Leaf Miner Resistance. **Plant Physiol.** Campinas, v. 18, n., p. 109–117, 2006.

LOMELÍ-FLORES, J. R.; BARRERA, J. F.; BERNAL, J. S. Impacts of weather, shade cover and elevation on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) population dynamics and natural enemies. **Crop Protection**, v. 29, n. 9, p. 1039–1048, 2010.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil**. Brasília/DF, 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politicaagrica/cafes/caficultura-brasileira>. Acesso em 10 set. 2022.

MATIELLO, J.B. et al. Japi e Arara, duas novas variedades de café com resistência à ferrugem e boa produtividade. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 34. 2008, Caxambu. Rio de Janeiro: PROCAFÉ, p.4-5, 2008.

MATIELLO, J. B. et al. Siriema AS1, cultivar de cafeeiros com resistência múltipla, à ferrugem e ao bicho mineiro. **40º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, Serra Negra, v. 40, n. 321, p. 1, 2014.

MATIELLO, J. B. et al. Siriema AS1, cultivar de cafeeiro com resistência à ferrugem e ao bicho-mineiro. **IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Curitiba, 2015.

MATOS, J. W. et al. Antixenosis resistance to leaf miner *Leucoptera coffeella* in *Coffea* species. **Euphytica**, v. 181, n. 2, p. 253–260, 2011.

MEDINA FILHO, H. P.; CARVALHO, A.; MONACO, L. C. Melhoramento do cafeeiro xxxvii — observações sobre a resistência do cafeeiro ao bicho-mineiro. **Bragantia**, v. 36, n. 11, p. 131–137, 1977.

MELO, G. A.; SHIMIZU, M. M.; MAZZAFERA, P. Polyphenoloxidase activity in coffee leaves and its role in resistance against the coffee leaf miner and coffee leaf rust. **Phytochemistry**, v. 67, n. 3, p. 277–285, 2006.

MENDONÇA, A. P. et al. *Coffea arabica* clones resistant to coffee leaf miner. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 1, p. 42–47, 2016.

MESQUITA, C. M. et al. Manual do café: distúrbios fisiológicos, pragas e doenças do cafeeiro. **EMATER-MG**, Belo Horizonte, p. 62, 2016.

MITCHELL, C.; BRENNAN, R. M.; GRAHAM, J.; KARLEY, A. J. Plant defense against herbivorous pests: exploring resistance and tolerance traits for sustainable crop protection. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 1132, 2016.

OIC- Organização Internacional do Café. **Coffee Market Report**. 2017 Disponível em: <http://www.ico.org/>. Acesso em 13 set. 2018.

PARRA, J. R. P.; REIS, P. R. Manejo integrado para as principais pragas da cafeicultura no Brasil. **Visão Agrícola**, n. 12, p. 47–50, 2013.

PEREIRA, E. J. G. et al. Seasonal mortality factors of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*. **Bulletin of Entomological Research**, v. 97, n. 4, p. 421–432, 2007. a.

PEREIRA, E. J. G. et al. Natural mortality factors of *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) on *Coffea arabica*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 17, n. 5, p. 441–455, 2007. b.

RAMIRO, D. A. et al. Caracterização anatômica de folhas de cafeeiros resistentes e suscetíveis ao bicho-mineiro. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 363–372, 2004.

REIS, P.R., Métodos de controle do bicho-mineiro no café. **Artigo da revista Cultivar Grandes Culturas**. Edição 217. Junho de 2017. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/metodos-de-controle-do-bicho-mineiro-no-cafe>.

Acesso em: 05/10/2022.

ROJAS, J. C.; KOLOMIETS, M. V.; BERNAL, J. S. Nonsensical choices? Fall armyworm moths choose seemingly best or worst hosts for their larvae, but neonate larvae make their own choices. **PloS One**, v. 13, e0197628, 2018.

SALGADO, P. R. **Compostos fenólicos relacionados à resistência do cafeeiro ao bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) e à ferrugem (*Hemileia vastatrix*)**. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade de São Paulo/Esalq, Piracicaba, 2009.

SALGADO P.R. et al. Total phenol concentrations in coffee tree leaves during fruit development. **Scientiae Agricola.**, Piracicaba, v. 65, n.4, p. 354-359, 2008.

SILVA, A. G.; BOIÇA JÚNIOR, A. L.; FARIAS, P. R. S.; SOUZA, B. H. S.; RODRIGUES, N. E. L.; CARBONELL, S. A. M. Common bean resistance expression to whitefly in winter and rainy seasons in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 76, p. 389-397, 2019.

SILVA, R.A. et al. Long-term study in *Leucoptera coffeella* population from southern Minas Gerais, Brasil. **International Journal of Biodiversity**. Lundiana, Vol, 15 (1), 1-6. 2022.

SMITH, C. M.; CLEMENT, S. L. Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annual Review in Entomology**, v. 57, p. 309-328, 2012.

SMITH, C. M. **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer, 2005. 423 p.

SOUZA, J. C. de. Café: Controle do bicho-mineiro precisa ser feito a partir de agora para garantir grande safra em 2018. **Notícias Agrícolas**. 2017 <https://www.noticiasagricolas.com.br>. Acesso em: 01/08/2022.

SOUZA, J. C. De et al. Seca induz ocorrência atípica de bicho-mineiro na cafeicultura do Sul de Minas. **EPAMIG. Circular Técnica**, Belo Horizonte, Seção 206, p. 1–4, 2015.

SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIGITANO, R. L. de O. Bicho-mineiro do cafeeiro: biologia, danos e manejo integrado. **EPAMIG, Boletim Técnico**, n. 54, 1998.

STOUT, M. J. Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant resistance. **Insect Science**, v. 20, p. 263-272, 2013.

VALE, F. X. R. et al. QUANT: a software plant disease severity assessment. **International Congress of Plant Pathology**. Christchurch: Plant Pathology Society, 2003.p.105

VASCONCELOS, C. Mundo Novo e Catuaí: as cultivares do IAC que mudaram a cafeicultura brasileira nos últimos cinquenta anos. **Revista Cafeicultura**, 2012. Disponível em: <http://revistacafeicultura.com.br/?mat=46932>. Acesso em 27 out. 2022.

VIEIRA JÚNIOR, J. R. V. et al. Elaboração de escala diagramática de severidade para o bicho-mineiro do cafeeiro. **EMBRAPA-RO**, Porto Velho, 2011.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

CHARACTERIZATION OF RESISTANCE BY ANTIXENOSIS AND ANTIBIOSIS IN *Coffea arabica* × *Coffea racemosa* HYBRIDS TO *Leucoptera coffeella*

Este artigo foi escrito com os padrões da revista Journal of Pest Science (Versão preliminar)

**Characterization of resistance by antixenosis and antibiosis in *Coffea arabica* ×
Coffea racemosa hybrids to *Leucoptera coffeella***

Daniel C. M. Costa¹, Bruno H. S. Souza^{1*}, Carlos H. S. Carvalho²,
Oliveiro Guerreiro Filho³

¹Universidade Federal de Lavras, Departamento de Entomologia, 37200-900, Lavras, MG, Brazil. *Corresponding author: brunosouza@ufla.br.

²Embrapa Café, Alameda do Café, 37026-400, Varginha, MG, Brazil.

³Instituto Agronômico de Campinas, Centro de Café, 13020-902, Campinas, SP, Brazil.

Abstract

Among the key pests of arabica coffee plants, the coffee leaf miner (CLM) *Leucoptera coffeella* stands out for its wide occurrence and economic losses to the producers. Research aiming to develop cultivars resistant to CLM has been long conducted using traditional and molecular selection techniques, but no study has yet characterized the categories and levels of resistance in these cultivars to CLM under controlled conditions. The present study aimed to characterize the resistance, by antixenosis and antibiosis, of segregating progenies of ‘Siriema’ plants resistant to *L. coffeella* in the laboratory. The assays were conducted under controlled environmental conditions with CLM artificial infestation in cages, where dual-choice oviposition preference were conducted for assessment of antixenosis, comparing each of tested ‘Siriema’ progeny with the commercial cultivar Arara. In addition, no-choice biological performance assay was conducted for evaluation of the levels of antibiosis. As results, CLM females showed oviposition preference to the resistant ‘Siriema’ progenies in comparison with cv. Arara. Despite this preference, there was high mortality in the larval stage on these selected ‘Siriema’ genotypes, indicating the expression of high levels of antibiosis to CLM. The lesions observed in plants of these ‘Siriema’ progenies were mostly punctate and filiform. The findings of this study further the understanding of the categories and levels of resistance expressed in ‘Siriema’, contributing to genetic breeding programs aiming to develop commercial coffee cultivars with both high-yield potential and resistance traits to CLM.

Keywords: Coffee leaf miner; Host plant resistance; Antixenosis; Antibiosis; IPM

1 Introduction

The coffee leaf miner (CLM) *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville & Perrottet) (Lepidoptera: Lyonetiidae) is recognized as the primary pest in major coffee-producing regions of Brazil (Righi et al., 2013; Souza et al., 1998), which is the largest producer and exporter worldwide (EMBRAPA, 2022). CLM is a monophagous and holometabolic insect that feeds and reproduces on coffee leaves, passing through the egg, larva, pupa, and adult stages. Injury to plants is caused by the larvae, which cause leaf area reduction, premature leaf fall, and reduced photosynthetic capacity, compromising the production of coffee beans (Crowe 1964; Parra 1985; Mendonça et al. 2016). CLM is considered a major pest of coffee plants because of its widespread occurrence in producing countries and its negative impact on coffee yield (Righi et al. 2013).

Chemical control is the most commonly used tactic to reduce CLM populations and damage. However, intense use of insecticides causes negative effects on the mortality of natural enemies, accumulation of toxic residues in the environment, and the selection of resistant pest populations (Guedes et al. 2017; Leite et al. 2020). The emergence of resistant CLM populations has led conventional insecticides such as organophosphates and pyrethroids to become inefficient. Repeated insecticide applications for CLM and the high prices of modern insecticides increase the production costs of coffee crop, leaving farmers with few options (Leite et al, 2020).

The use of resistant coffee cultivars is one of the most promising alternatives for CLM management. Host plant resistance is advantageous as control tactic in integrated pest management systems since arthropod pest populations can be reduced below economic injury levels without causing ecological imbalances, negative effects on beneficial arthropods, and toxic residues in the environment as compared to chemical control. In addition, cultivation of resistant cultivars is compatible with most pest control methods of integrated pest management (Smith 2005; Boiça Júnior et al. 2013; Vendramim and Rosales 2019).

Host plant resistance to insects can be expressed as antixenosis and antibiosis. Antixenosis category is related with phenotypic plant traits, which can be physical, chemical, and morphological, affecting insect feeding and oviposition behaviors, and manifested as non-preference to that genotype. Antibiosis-type resistance is governed by the presence of plant traits that are unfavorable to insect development, acutely or chronically impairing biological parameters as the survival, life cycle duration, weight

gain, fecundity and fertility by chemical and/or morphological mechanisms underlying the plant resistance (Smith and Clement 2012; Stout 2013; Mitchell et al. 2016).

Resistant cultivars have been developed using traditional and molecular selection techniques, using *C. racemosa* as gene donor for *C. arabica* (Carvalho and Monaco 1968; Guerreiro Filho et al. 1999). Although several studies have focused on the improvement of arabica coffee resistance to CLM, all commercial cultivars exhibited susceptibility. Recently, cv. Siriema AS1 was launched by the Procafé Foundation, which is considered the only resistant cultivar to CLM, in addition to being resistant to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), another important biotic threat to coffee production.

Coffee seedlings of progenies used in this study originated from a cross between *C. arabica* and *C. racemosa*, where hybridization was initially done at the Instituto Agronômico de Campinas (Agronomic Institute of Campinas). In addition to being resistant to CLM, this genotype is drought-tolerant and resistant to coffee leaf rust, and these characteristics were acquired by crossing with the variety Catimor. This population received the name 'Siriema'. The genotype has been improved by the genetic breeding program of Procafé Foundation and is the core of the research line that has made most progress in obtaining materials resistant to CLM (Carvalho et al. 2013).

Although field tests have shown very low infestations of CLM in 'Siriema AS1' plants, no study has yet characterized the resistance effects on the oviposition behavior and biological development of *L. coffeella* under controlled conditions. Such knowledge on the effects of 'Siriema' progenies on CLM oviposition and biology will help acquire subsidies to support genetic breeding programs of arabica coffee to obtain cultivars with high resistance levels to CLM. Additionally, defining the categories of resistance, either antixenosis or antibiosis, in 'Siriema' plants will aid in the deployment of integrated pest management strategies using this cultivar for CLM. Therefore, this study aimed to characterize the levels of resistance, by antixenosis and antibiosis, to *L. coffeella* in segregating progenies of 'Siriema' in the laboratory.

2 Materials and methods

2.1 Rearing of coffee leaf miner in the laboratory

The resistance by antixenosis and antibiosis of cv. Siriema progenies was evaluated in the Laboratory of Plant Resistance and Integrated Pest Management of Universidade Federal de Lavras, UFLA (Federal University of Lavras). The adults of *L. coffeella* were multiplied in acrylic cages (100 × 60 × 100 cm), similar to the method described by Katiyar and Ferrer (1968). The cages were kept in a climatized room in the laboratory under 29 ± 3°C temperature, 70 ± 10% relative humidity, and 14:10 L:D photoperiod to shorten the insect cycle and obtain more individuals. The adults were fed 10% sucrose solution impregnated in a filter paper that was kept in the upper part of cages. For reproduction of CLM, coffee seedlings of susceptible cultivars were used inside the cages as substrates for adult oviposition and larval development.

2.2 Obtaining the coffee seedlings of ‘Siriema’ progenies

Coffee seedlings of ‘Siriema’ progenies (via seed) tested were obtained from the Procafé Foundation. The seedlings were sent to the Department of Entomology of UFLA and kept in a greenhouse free of insects and pathogens. The seedlings used in the trials were approximately 7 months old. The progenies of ‘Siriema’ evaluated in this study are described in Table 1. As a standard genotype, the commercial cultivar Arara was used, which is resistant to coffee leaf rust and susceptible to CLM.

Table 1 ‘Siriema’ progenies obtained from the Procafé Foundation germplasm bank

Genotype	‘Siriema’ progeny
T70	3-86 (30) (30-3)
T71	3-86 (41-1)
T72	3-86 (62)
T73	3-86 (63)
T66	3-86 (09)
T67	3-86 (13)
T65	3-86 (06)
T69	3-86 (20)
T68	3-86 (20)

2.3 Evaluation of antixenosis in ‘Siriema’ progenies to coffee leaf miner

To evaluate antixenosis resistance in the laboratory, dual-choice oviposition preference assays were performed, contrasting each tested ‘Siriema’ progeny with ‘Arara’. Completely expanded leaves of the coffee seedlings were cut at petioles and placed in phenolic foam soaked with water, which was transferred to plastic cages (60 × 60 × 70 cm). Each cage contained two equidistant phenolic foam stands, each holding five leaves of a tested ‘Siriema’ progeny or five leaves of cv. Arara. In each cage, ~150 adults of CLM collected from the rearing colony were released to lay eggs on the leaves. For each binary combination, six replicates represented by six cages were used.

Before infestation, the relative chlorophyll index of the leaves was recorded using the SPAD-502 chlorophyll meter (Konica Minolta Sensing Inc., Tecnal, Piracicaba, Brazil). After 72h exposure of the leaves to CLM adults, they were removed from the cage, and the eggs laid were quantified under a stereoscope (40× magnification). After counting the eggs, the leaves were photographed using a digital camera, and the images were processed in the ImageJ software (National Institutes of Health, Bethesda, USA) to determine the number of eggs/10 cm² to minimize the interference of differences in leaf area between the coffee genotypes.

The oviposition preference index (OPI) was also determined: $OPI = [(T-S)/(T+S)] \times 100$, where T = number of eggs counted in the treatment assessed and S = number of eggs counted on the pattern cultivar (Arara). OPI varies from +100 (very stimulant), 0 (neutral) to -100 (total deterrence) (Fenemore, 1980; Silva et al. 2014). Classification of coffee genotypes (stimulant/ neutral/ deterrent) was done from comparison of the mean numbers of eggs on treatments with the pattern cultivar, taking into account the mean standard error (\pm SE) in order to allow differentiation among genotypes.

2.4 Evaluation of antibiosis in ‘Siriema’ progenies to coffee leaf miner

The treatments of this assay consisted of the following genotypes based on the results of the antixenosis assay: T68, T66, T70, T69, T71, and Arara. In this no-choice bioassay, each cage (60 × 60 × 70 cm) received only one coffee genotype. The leaves were placed by the petioles in trays containing vermiculite moistened with water to maintain turgidity of the leaves. Approximately 150 adults were released in each cage and allowed to oviposit for 48h. Next, the trays with leaves were removed from the cages,

and the excess eggs were eliminated using a fine paintbrush and kept three eggs per leaf. The experimental design was completely randomized, with six treatments and four replicates. Each replicate consisted of four trays each with 15 leaves, totaling 60 leaves.

From eggs laid on the leaves, the biological cycle of *L. coffeella* on different genotypes was monitored to record the durations and survival of the egg, larva, and pupal stages, allowing us to determine the duration of the life cycle. After the pupae had developed, they were individually stored in flat-bottom tubes (2 x 8 cm) for the emergence of adults and recording their longevity.

After 17 days of oviposition, a qualitative injury score was assigned to leaves mined by CLM, according to a score scale proposed by Guerreiro Filho (1999) based on the type of lesion: 1 = punctate lesions; 2 = small, filiform lesions; 3 = large, irregular lesions; and 4 = large, rounded lesions (Figure 1).

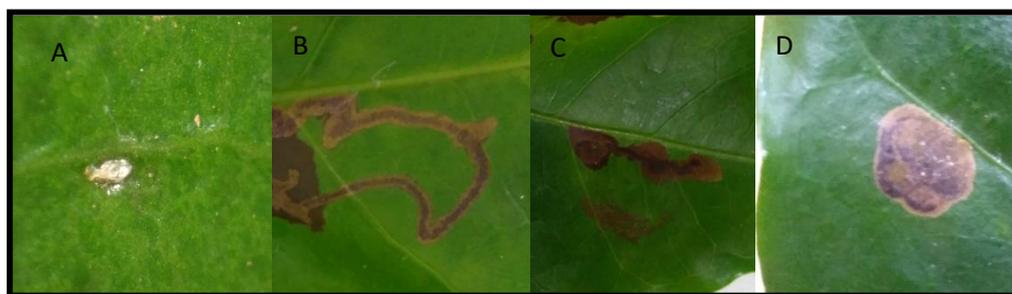


Fig 1 Types of lesions caused by *L. coffeella* on leaves of coffee genotype with different levels of resistance. (A) Punctate lesions; (B) small, irregular filiform lesion; (C) large, irregular lesion; (D) large, rounded lesion (Source: Costa, D.C.M. 2020).

Consequently, the ‘Siriema’ progenies were classified according to their levels of antibiosis-resistance based on the qualitative injury scores on the leaves (Table 2).

Table 2 Injury scores for qualitative evaluation of the type lesions caused by coffee leaf miner and corresponding host-plant resistance levels

Injury score	Resistance level	Description
1	Highly resistant	Punctate lesions
2	Moderately resistant	Small and irregular filiform lesions
3	Moderately susceptible	Large and irregular lesions
4	Highly susceptible	Large and rounded lesions

Score scale proposed by Guerreiro Filho (1999).

2.5 Statistical analysis

Data obtained for CLM biological parameters in the laboratory experiments were checked for the normality of residuals (Shapiro-Wilk) and homogeneity of variances (Bartlett test). Data were analyzed by ANOVA. When significant, the means of treatments were compared by Student's t test ($\alpha=0.05$) and by Tukey's test ($\alpha=0.05$) for the oviposition preference assay and for the biology data. Data of pupal survival, egg stage duration, and injury scores were transformed to $\arcsin\sqrt{x+1}$ for analysis to meet assumptions of ANOVA, and then back transformed for presenting in tables. Analyses were performed in the software IBM® SPSS® Statistics v. 21 (IBM Corp., Armonk, N. Y., USA).

3 Results

In the dual-choice oviposition assay, before the release of CLM adults for oviposition, there was no significant difference in the SPAD relative chlorophyll index between the resistant 'Siriema' genotypes and the commercial cultivar Arara. The readings were very similar regardless of the genotype, with values ranging from 51.0 to 58.6 SPAD units (Table 3).

Table 3 Mean values (\pm SE) of SPAD indices in 'Siriema' genotypes and cv. Arara

Genotype	'Siriema' genotype	'Arara'	<i>P</i> -value
T70	54.1 \pm 1.7 a	56.7 \pm 1.3 a	0.255
T71	56.0 \pm 1.2 a	53.7 \pm 1.4 a	0.219
T72	58.6 \pm 1.5 a	54.6 \pm 1.6 a	0.080
T73	56.2 \pm 1.5 a	53.6 \pm 1.5 a	0.244
T66	58.5 \pm 1.7 a	55.3 \pm 1.6 a	0.191
T67	58.6 \pm 1.6 a	56.4 \pm 1.3 a	0.323
T65	57.6 \pm 1.4 a	54.7 \pm 1.4 a	0.167
T69	56.0 \pm 1.2 a	57.2 \pm 1.0 a	0.450
T68	51.0 \pm 1.2 a	52.7 \pm 1.2 a	0.352

Means followed by the same letter in rows do not differ by t test ($P<0.05$)

In the dual-choice oviposition assay, no significant differences were observed among treatments. However, with the calculation of the OPI, the T70, T71, T72, T73,

T67, T69 and T68 genotypes were classified as stimulants and the T66 and T65 genotypes as neutral. None of the evaluated genotypes were classified as deterrent (Table 4).

Table 4 Mean numbers (\pm SE) of eggs of *Leucoptera coffeella* per 10 cm² in ‘Siriema’ genotypes and cv. Arara

Genotype	Eggs/10 cm ²	IPO	Classification
T70	2.1 \pm 0.5 a	29.9 \pm 5.6	Stimulant
T71	2.2 \pm 0.9 a	31.0 \pm 5.6	Stimulant
T72	2.0 \pm 0.6 a	25.7 \pm 5.6	Stimulant
T73	2.8 \pm 1.3 a	41.2 \pm 5.6	Stimulant
T66	1.3 \pm 0.3 a	6.0 \pm 5.6	Neutral
T67	1.6 \pm 0.4 a	16.8 \pm 5.6	Stimulant
T65	1.3 \pm 0.3 a	5.3 \pm 5.6	Neutral
T69	3.0 \pm 1.1 a	44.7 \pm 5.6	Stimulant
T68	3.7 \pm 2.0 a	52.4 \pm 5.6	Stimulant
Arara	1.2 \pm 0.2 a	0,0 \pm 5.6	Pattern

Means followed by the same letter in column do not differ by Tukey’s test ($P < 0.05$). For analysis, data were transformed in $\sqrt{(x + 0,5)}$. OPI = [(T-P)/(T+P)] x 100.

The survival of *L. coffeella* larvae was lower ($P < 0.0001$) in the ‘Siriema’ progenies T66, T70, T69, and T71. In these genotypes, the survival of the larval stage varied between 35.9% in the T69 progeny and 58.4% in T71. Genotypes Arara and T68 did not differ statistically for larval survival, and exhibited higher viability rates, with 99% (Arara) and 97% (T68) (Table 5). No significant difference was observed among genotypes for CLM pupal survival. The percentage of survival of pupae varied from 82.8% to 100% (Table 5).

Table 5 Means (\pm SE) of survival of the larval and pupal stages of *Leucoptera coffeella* on ‘Siriema’ genotypes and cv. Arara

Genotype	Larval survival (%)	Pupal survival (%)*
Arara	99.0 \pm 0.9 a	96.4 \pm 2.1 a
T68	97.0 \pm 3.0 a	98.6 \pm 1.3 a
T66	44.5 \pm 8.3 b	98.0 \pm 1.9 a
T70	38.6 \pm 5.2 b	100.0 \pm 0.0 a
T69	35.9 \pm 7.7 b	100.0 \pm 0.0 a
T71	58.4 \pm 9.7 b	82.8 \pm 9.9 a
P-value	<0.0001	0.078

Means followed by the same letter in columns do not differ by Tukey’s test ($P < 0.05$). *Data were transformed by $\arcsin\sqrt{x + 1}$ for analysis

Regarding the duration of CLM stages on the genotypes, the egg stage had no significant differences, with mean incubation period of 7.45 days. The durations of the larvae, pupae, and adult stages were also similar between genotypes, with means of 12.41, 6.2, and 9.33 days, respectively. For the total life cycle of CLM, no significant differences were found between genotypes, with average duration of 26.0 days (Table 6).

Table 6 Mean (\pm SE) duration of the egg, larva, pupa, and adult stages and the total cycle of *Leucoptera coffeella* on ‘Siriema’ progenies and cv. Arara

Genotype	Egg*	Larva	Pupa	Adult	Total cycle
Arara	7.3 \pm 0.2 a	12.25 \pm 0.2 a	6.75 \pm 0.2 a	9.25 \pm 0.2 a	26.3 \pm 0.2 a
T68	7.2 \pm 0.1 a	12.25 \pm 0.2 a	6.25 \pm 0.2 a	9.50 \pm 0.5 a	25.7 \pm 0.2 a
T66	7.7 \pm 0.1 a	12.75 \pm 0.2 a	6.25 \pm 0.2 a	8.75 \pm 0.6 a	26.7 \pm 0.4 a
T70	7.5 \pm 0.2 a	12.00 \pm 0.0 a	6.25 \pm 0.2 a	9.25 \pm 0.2 a	25.7 \pm 0.3 a
T69	7.6 \pm 0.1 a	12.50 \pm 0.2 a	6.25 \pm 0.2 a	9.00 \pm 0.4 a	26.3 \pm 0.2 a
T71	7.2 \pm 0.3 a	12.75 \pm 0.2 a	5.50 \pm 0.2 a	10.25 \pm 0.4 a	25.5 \pm 0.3 a
<i>P</i> -value	0.463	0.198	0.075	0.281	0.137

Means followed by the same letter in columns do not differ by Tukey’s test ($P < 0.05$). *Data were transformed by $\arcsin\sqrt{x + 1}$ for analysis

For the evaluation of type and size of injury formed on the leaves after 17 days of CLM larval development, there was significant difference between genotypes. T68 and cv. Arara showed similar injury scores and higher than the other genotypes, presenting predominantly large irregular and large rounded lesions (Table 7).

Table 7 Mean (\pm SE) injury scores for qualitative evaluation of lesions caused by *Leucoptera coffeella* on ‘Siriema’ genotypes and cv. Arara

Genotype	Injury scores (1-4)*
Arara	2.9 \pm 0.04 a
T68	3.1 \pm 0.08 a
T66	1.8 \pm 0.1 b
T70	1.5 \pm 0.1 b
T69	1.6 \pm 0.2 b
T71	2.0 \pm 0.2 b
<i>P</i> -value	<0.0001

Means followed by the same letter in column do not differ by Tukey’s test ($P < 0.05$). *Data were transformed by $\arcsin\sqrt{x + 1}$ for analysis

4 Discussion

This study is the first to characterize the types and levels of resistance in ‘Siriema’ progenies to CLM, a primary pest of arabica coffee in major producing regions of Brazil. By performing dual-choice oviposition assays contrasting each ‘Siriema’ genotype with the commercial cultivar Arara, in most binary comparisons CLM adults preferred ‘Siriema’ leaves to lay eggs. It was evident that leaf size, indicated by the results of numbers of eggs per 10 cm² of leaf, and contents of photosynthesizing pigments, estimated through the relative chlorophyll index by SPAD, are not traits underpinning susceptibility of ‘Siriema’ genotypes to CLM oviposition. Therefore, it is clear that ‘Siriema’ genotypes do not express antixenosis-resistance.

Although there are no studies in the literature on the effects of ‘Siriema’ genotypes on CLM oviposition, much work has been done with the progenitors of this genotype and other species of *Coffea*. Studying the antixenosis-resistance in the species *C. arabica*, *C. congensis*, *C. canephora*, and *C. racemosa*, Matos et al. (2011) evaluated CLM oviposition preference in seedlings of these species. The cultivars of *C. arabica* Mundo Novo IAC-515-20, Tupi IAC 1669-33, Icatu Precoce IAC 3282, and Catuaí Amarelo IAC 62 were preferred for oviposition when grouped with *C. canephora* cv. Apoatã IAC 2258, while Apoatã proved to be preferred over *C. racemosa*. In tests using detached leaves, similar results were found, being *C. congensis* intermediately preferred for oviposition as compared to *C. arabica* and *C. canephora*.

The results of this study contradict others obtained in studies involving oviposition preference tests performed with the species *C. racemosa*, hybrids of *C. racemosa* × *C. arabica*, *C. arabica*, and *C. canephora*. In these studies, *C. racemosa* has been the least preferred for egg laying of *L. coffeella*. However, in none of these laboratory studies was the cultivar Arara used in the tests, and the level of attractiveness of this cultivar to CLM adults when compared with other genotypes is scarcely known. Recently, Aparecida and Fernandes (2021) found in the field that cv. Arara had lower CLM infestation than the commercial cultivars Catuaí, Catucaí, and Mundo Novo.

A body of research that warrants further investigation is on the plant traits and corresponding physical, morphological, and chemical mechanisms the resistance in the ‘Siriema’ genotypes, which information is still lacking. According to Cardenas (1981) cited by Matos et al. (2011), the intensity of green color may influence the CLM oviposition preference such that darker leaves are preferred over light-green leaves. Thus,

the predominantly light-green color of *C. canephora* leaves may explain the low frequency of *L. coffeella* oviposition. There is evidence that the difference in concentrations of a specific chemical compound in the leaves plays an important role in color preference (Matos et al. 2011). Magalhães et al. (2008) found a positive correlation between the caffeine levels in coffee leaves and CLM oviposition; although caffeine is not a volatile compound, its effect on egg laying was aided by the volatile compound *p*-cymene. Due to successive crosses between coffee species aiming at transferring resistance genes for the development of commercial cultivars, some traits can be acquired and others lost, such as the ability of plants to synthesize volatile and non-volatile secondary compounds associated with the resistance.

In the current study there was no difference in the foliar concentrations of photosynthesizing pigments between plants of the ‘Siriema’ genotypes and cv. Arara as measured by SPAD before CLM oviposition in dual-choice preference assays. The SPAD values of coffee plants are highly correlated with the total nitrogen (N) content in the leaves and are also a tool for diagnosing the integrity of photosynthetic system (Torres Netto et al. 2005; França and Carvalho 2016). In studies evaluating the incidence of CLM on coffee plants as a function of leaf N content and color intensity, high levels of N and more intense green color have been more attractive to the adults (Matos et al. 2011; Theodoro et al. 2014; Sabino et al. 2018). Because the ‘Siriema’ progenies and cv. Arara did not differ for the chlorophyll contents, the greater preference of *L. coffeella* for laying eggs on the resistant genotypes should be due to other plant traits and mechanisms, for instance the release of volatile compounds that are attractant to the adults. According to Ramiro et al. (2004), there was no difference in the anatomical characterization between leaves of coffee plants resistant and susceptible to CLM, corroborating our results with ‘Siriema’ genotypes and ‘Arara’.

The qualitative evaluation of injury scores and larval survival indicated significant differences between the resistant and susceptible coffee genotypes. Given the results found herein, an antibiosis-related mechanism in the resistant progenies to *L. coffeella* can be suggested because there was high mortality of first instars and the presence of most injury as punctate and filiform lesions, which are characteristic of high and moderate levels of this resistance category. Similar results were found by Guerreiro Filho et al. (1999) and Ramiro et al. (2004). According to Guerreiro Filho et al. (1991), regarding the types of resistance, the variation observed in the growth of lesions caused by CLM between the species *C. racemosa*, *C. stenophylla*, and *C. kapakata*, is probably due to the

action of phytochemical compounds produced by these species that interfere with the development of larvae, an example of antibiosis resistance.

The high larval mortality of CLM observed in the resistant progenies was expected, since this insect stage is the one in direct contact with the plant and feeding on it. According to Rodriguez and Vendramim (1996) the negative effect of host plants on the survival of insects due to toxic compounds is more significant in the larval stage than in the pupal stage, because it is the larvae that ingest the chemical compounds in the leaves. Pupae viability was not affected by the resistant genotypes, although they caused high mortality of larvae. The individuals that could develop on the resistant materials might have dealt to accumulate enough energy for metamorphosis. This also indicates that there was no chronic toxicity that compromised the other stages of insect development. The durations of the egg, larva, pupa, and adult stages of CLM were similar between the resistant and susceptible genotypes. One possible hypothesis would be that the surviving larvae become healthy pupae through compensatory mechanisms such as food retention in the gut and, in some cases lengthening the larval stage to obtain the nutrient reserves necessary for accomplish metamorphosis (Reynolds et al. 1985).

As in the case of the underlying mechanisms of antixenosis, much work has been attempted to correlate the plant traits and mechanisms governing the levels of antibiosis-resistance in genotypes and species of *Coffea* on the negative effects on CLM immature development. The main characteristics studied in several resistant coffee species are leaf anatomy, leaf morphology, phenological development, and phytochemical compounds (Guerreiro Filho 2006). To understand the nature of resistance to *L. coffeella*, Ramiro et al. (2004) observed the anatomical leaf characteristics of the parental species *C. arabica* and *C. racemosa*, as well as in resistant and susceptible hybrid plants from this cross and correlated with the level of resistance to *L. coffeella*. Although leaf tissue thickness differed between *C. arabica* and *C. racemosa*, it did not between resistant and susceptible hybrid plants, suggesting that the characteristics evaluated are not involved in the resistance. Medina Filho et al. (1977) evaluated under field conditions several cultivars, hybrids, and backcrosses of *Coffea* spp. for the resistance to CLM. They found no differences in infestation of plants with different degrees of ploidy, with different thickness of leaf blade, or different sized leaves. According to these authors, leaf size and thickness, and plant ploidy level have no relationship with the resistance to CLM.

Some studies have shown that young leaves of the first two pairs of coffee branches are less damaged by CLM than older leaves (Guerreiro Filho et al. 1999;

Guerreiro Filho 2006). Salgado et al. (2008) showed that the total concentrations of phenolic compounds in new leaves of coffee plants was higher than that in older leaves. Guerreiro Filho (2006) and Guerreiro Filho et al. (1999) suggested that secondary metabolites with toxic effects to insects should be transported to the younger leaves of the coffee plant, which are still partially lignified, and this combination of toxins in young leaves provides greater protection against damage caused by CLM.

The production of secondary compounds is costly to plants, because instead of allocating resources to increase growth, they invest in the production of defense compounds, which implies in the reduction of plant growth rates. Thus, by allocating the production of defense substances to younger leaves, the plant ensures protection of the most valuable tissues in terms of fitness and at the same time allows growth and reproduction, since defense mechanisms to be deployed there are energy and nutrient demands that cannot be used for other functions. This is in accordance with the Optimal Defense Theory that dictates that the plant will allocate more energy for defense whenever the benefits of protection exceed the costs of defense (Herms & Mattson, 1992; Mckey, 1979; Rhoades 1979).

Assessments of induced resistance allow us to understand how the plant will respond to insect attack, the consequences on plant growth, and the negative effects on insect biology, feeding, and oviposition. Specialized pest insects, such as *L. coffeella*, however, may use chemical compounds produced by plants as cues to find or identify favorable feeding and oviposition sites. These insects have adapted to the plant's defense system, being able to use the defense compounds for their own benefit against natural enemies and as stimulants for oviposition and feeding. On the other hand, generalist insects are harmed by high concentrations of defense substances (Meijden, 1996). The results obtained in the work of Souza et al (2021), where they tested whether the levels of antibiosis for specialist and generalist insects on resistant and susceptible soybean genotypes are related to leaf age and plant stage, showed that fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*), a generalist pest, was more affected when fed on older leaves and reproductive-stage soybean leaves compared to velvetbean caterpillar (*Anticarsia gemmatalis*), a specialist herbivore, due to the greater allocation of defense substances on these leaves. Thus, according to the authors, the more specialist an insect is to a host plant, the less impact the variation in allelochemicals and nutrients contents in the plant will have on its development.

Plant resistance can be expressed through antixenosis and antibiosis (Smith, 2005; Stout, 2013; Mitchell et al., 2016). Plants that express antixenosis affect the behavior of insects during host selection. Antibiosis, on the other hand, negatively affects insect biology (Painter, 1951; Smith, 2005). Plants with high levels of antixenosis can cause adverse effects on insect biology as well, with some similar effects to those caused by antibiosis (Smith, 2005; Baldin, 2015). The high larval mortality and filiform-type lesions on resistant genotypes in our study indicate the expression of antibiosis-resistance. The small tapered lesions in the resistant cultivars and not rounded as observed in susceptible genotypes suggest that *L. coffeella* larva searched for a substrate suitable for feeding. According to Painter (1951), genotypes that express antixenosis and antibiosis can affect the immature stages of insects. With antixenosis, delayed developmental stages may be a result of reduced feeding on plant hosts that present deterrent substances. When antibiosis is expressed, the delay in insect cycle or mortality is due to feeding on a plant genotype possessing substances harmful to insect development, causing high mortality rates in the immature stages, weight reduction, and deformities (Smith, 2005).

Although resistant coffee genotypes showed high mortality of *L. coffeella* larvae, they were preferred by females for oviposition. According to the preference-performance hypothesis, females should prefer to lay their eggs on host plants that increase the performance and survival of their offspring (Gripenberg et al., 2010). According to Renwick & Chew (1994), polyphagous insects have a greater opportunity to choose among several potential plant hosts that offer high-quality food. On the other hand, monophagous insects, such as *L. coffeella*, have limited options for host choice.

In some cases, female's choice is not always beneficial for the offspring. As explained by the natural enemy-free space hypothesis (Thompson, 1988), female oviposition preference is not determined by the need to provide high-quality food source but rather to provide natural enemy-free plant sites where the potential plant host could be less visited by predators and parasitoids of the pest. In a hypothesis formulated by Harvey and Fortuna (2012), invasive plants may affect the ability of herbivorous insects to find potential hosts by producing attractive odors that may serve as a trap for the insects, when in fact the new host has antinutritional properties. Thus, a possible hypothesis for the results found in our study is the similarity between the hybrids of *C. arabica* x *C. racemosa* with the susceptible cultivars of *C. arabica*, which may produce volatiles attractive to *L. coffeella* females or the surface of leaf tissue is suitable for

oviposition; however, the composition of the plant tissues are not suitable to sustain larvae feeding and development. Thus, the plant represents a "trap" for CLM.

As main conclusions, the 'Siriema' genotypes tested in this study do not affect the oviposition of *L. coffeella*. Pupal and adult longevity are not negatively affected by resistant genotypes. There is high mortality in the larval stage of CLM insects exposed to the Siriema progenies, and the surviving individuals are not affected in the duration of their egg, larval, pupal, or adult stage.

Acknowledgments

The authors thank the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES), the National Council for Scientific and Technological Development (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq), the Minas Gerais Research Foundation (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG), the Procafé Foundation, and the Federal University of Lavras (Universidade Federal de Lavras). The research was funded by the MCTIC/CNPq Universal CNPq Edital N° 28/2018 (Process no. 436302/2018-7).

Contributions of the authors

DCM: experiments, data analysis, and drafting the article. BRSS: experimental design, data analysis, and review and editing of the article. CHSC: information for conducting the research and supplying the seedlings for the experiment.

Declaration

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Aparecida C., Fernandes S., 2021 Incidência de *Leucoptera coffella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) em diferentes variedades e sistemas de manejo do cafeeiro. *Rev Iberoamericana Ciências Ambient* 12:105115 <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0011>
- Baldin, E. L. L., E. C. Schlick-Souza, A. L. Lourenção, e R. S. Camargo., 2015. Resistance of collard greens to *Ascia monuste orseis* (Lepidoptera: Pieridae). *Arthropod. Plant. Interact.* 9: 67–74.
- Cardenas R.M. , 2011. Caracterización histo-morfológica de daño del minador de la hoja, *Leucoptera coffeella* em especies e híbridos de *Coffea* spp. y observaciones sobre resistencia. Tese, Universidad Nacional de Colombia, 1981. In: MATOS, J. W. et al. Antixenosis resistance to leaf miner *Leucoptera coffeella* in *Coffea* species. *Euphytica*, v. 181, n. 2, p. 253–260.
- Carvalho A, Monaco LC., 1968 Relaciones geneticas de especies seleccionadas de *Coffea*. *Cafe* 9:1–19
- Carvalho, C.H.S., Matiello, J.B., Almeida, S.R., et al., 2013 Desenvolvimento de cultivares de café com resistência ao bicho- mineiro. VIII Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil 35–38
- Crowe, T.J., 1964 Coffee leaf miners in Kenya: II Causes of outbreaks. *Kenya Coffee* 29:223–231
- EMBRAPA., 2022 – Exportações de cafés em nível mundial totalizam 78 milhões de sacas de outubro de 2021 a abril de 2022. Relatório sobre o mercado de café, Maio/2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71439018/exportacoes-de-cafes-em-nivel-mundial-totalizam-78-milhoes-de-sacas-de-outubro-de-2021-a-abril-de-2022>. Acesso em 13/12/2022.
- França A.C, Carvalho F.P., 2016. Correlations Between Spad Readings, Chlorophyll and Leaf Nitrogen in Coffee Cultivars During Fruiting Stage. *Agrarian* 9:319–325
- Freitas, M. M. et al., 2018. Soybean defense induction to *Spodoptera cosmioides* herbivory is dependent on plant genotype and leaf position. *Arthropod-Plant Interactions*, v. 12, n. 1, p. 85–96.
- Guedes, R.N.C, Walse, S.S., Throne, J.E., 2017. Sublethal exposure, insecticide resistance, and community stress. *Curr Opin Insect Sci* 21:47–53. <https://doi.org/10.1016/J.COIS.2017.04.010>
- Guerreiro Filho, O., Medina-Filho, H.P., Carvalho A., 1991. Fontes de resistência ao Bicho-mineiro *Perileucoptera coffeella*, em *Coffea* spp. *Bragantia* 50:45–55
- Guerreiro Filho, O., .2006. Coffee Leaf Miner Resistance. 18:109–117
- Guerreiro Filho, O., Silvarolla, M.B, Eskes AB., 1999. Expression and mode of

- inheritance of resistance in coffee to leaf miner *Perileucoptera coffeella*. *Euphytica* 105:7–15. <https://doi.org/10.1023/A:1003427613071>
- Gripenberg, S. et al., A meta-analysis of preference–performance relationships in phytophagous insects *Ecology Letters*, 13 (3) (2010), pp. 383-393, 2010.
- Herns, D. A., and W. J. Mattson., 1992. The dilemma of plants: to grow or defend. *Quarterly Review in Biology* 67: 283–335.
- IBM Corp. Released. 2021. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Leite, S.A, Guedes, R.N.C., Santos, M.P., 2020. Profile of Coffee Crops and Management of the Neotropical Coffee Leaf Miner, *Leucoptera coffeella*. *Sustain* 2020, Vol 12, Page 8011 12:8011. <https://doi.org/10.3390/SU12198011>
- Leite, S. A., Dos Santos et al., 2020. Area-Wide Survey of Chlorantraniliprole Resistance and Control Failure Likelihood of the Neotropical Coffee Leaf Miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Journal of Economic Entomology*, 113 1399-1410.
- Magalhães, S. T. V., Guedes, R.N.C., Lima, E.R., Demuner, A.J., 2008. Coffee leaf volatiles and egg laying by the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. *Crop Prot* 27:1038–1041. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.12.005>
- Matos, J.W. , Guerreiro-Filho O, Gonçalves ,W., et al.,2011 Antixenosis resistance to leaf miner *Leucoptera coffeella* in *Coffea* species. *Euphytica* 181:253–260. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0418-x>
- Medina Filho, H.P., Carvalho, A., Monaco, L.C.,1977. Melhoramento do cafeeiro xxxvii — observações sobre a resistência do cafeeiro ao bicho-mineiro. *Bragantia* 36:131–137
- Mendonça, AP, Nonato JVA, Andrade VT, et al (2016) *Coffea arabica* clones resistant to coffee leaf miner. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 16:42–47. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n1a7>
- McKey, D., 1979. Distribution of secondary compounds in plants. Pages 56–133 in G. A. Rosenthal and D. H. Janzen, editors. *Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites*. Academic Press, New York, New York, USA.
- Mitchell, C.; Brennan, R. M.; Graham, J.; Karley, A. J. (2016) Plant Defense Against Herbivorous pests: exploring resistance and tolerance traits for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, 1132.
- Netto, A.T., Campostrini, E., De Oliveira, J.G., Bressan-Smith, R.E. (2005) Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Sci Hortic (Amsterdam)* 104:199–209. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.013>

- Parra, J.R.P. 1985, Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin–Meneville, 1842) (Lepidoptera, Lyo- netiidae) visando ao seu zoneamento ecológico no estado de São Paulo. Rev Bras Entomol 29:45–76
- Ramiro DA, Guerreiro-Filho O, Queiroz-Voltan RB, Chebabi Matthiesen S (2004) Caracterização anatômica de folhas de cafeeiros resistentes e suscetíveis ao bicho-mineiro. Bragantia 63:363–372. <https://doi.org/10.1590/s0006-87052004000300006>
- Reynolds SE, Nottingham SF, Stephens AE (1985) Food and Water Economy and Its Relation Growth in Fifth-Instar Larvae of the Tobacco Hornworm , *Manduca Sexta*. J Insect Physiol 31:119–127
- Renwick, J.A.A. & Chew, F.S. (1994) Oviposition behavior in Lepidoptera. Annual Review of Entomology, 39, 377– 400.
- Rhoades, D. F. 1979. Evolution of plant chemical defense against herbivores. Pages 3–54 in G. A. Rosenthal and D. H. Janzen, editors. Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites. Academic Press, New York, New York, USA.
- Righi CA, Campoe OC, Bernardes MS, et al (2013) Influence of rubber trees on leaf-miner damage to coffee plants in an agroforestry system. Agrofor Syst 2013 876 87:1351–1362. <https://doi.org/10.1007/S10457-013-9642-9>
- Rodriguez, C. H. & Vendramim JD (1996) Toxicidad de extractos acuosos de Meliaceae en *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Manejo Integr PLagas 42:14–22
- Sabino PH, Reis Júnior FA, Carvalho GA, Mantovani JR (2018) NITROGEN FERTILIZERS AND OCCURRENCE OF *Leucoptera coffeella* (Guérin–Meneville & Perrottet) IN TRANSPLANTED COFFEE SEEDLINGS. Coffee Sci 13:410–414. https://doi.org/10.17990/axi/2018_9789726972976_xiii
- Salgado P, Favarin J, Leandro R, Filho O (2008) Total phenol concentrations in coffee tree. Sci Agric (Piracicaba, Braz) 65:354–359. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000400005>
- Silva, R. A. et al. Bicho-mineiro-do-cafeeiro. In: Informe Agropecuário, Belo Horizonten v. 35, n. 280, p. 14-22, maio/junho. 2014.
- Smith, C. M. 2005. Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches. Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 1–423.
- Souza, B. H. S. et al. 2021. Soybean leaf age and plant stage influence expression of resistance to velvetbean caterpillar and fall armyworm. Chemoecology, v. 31, n. 6, p. 377–390.
- Stout, M. J. 2013. Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant resistance. Insect Science, v. 20, p. 263-272.

- Theodoro VC de A, Guimarães RJ, Mendes ANG (2014) Infestação por bicho-mineiro e teores foliares de açúcares solúveis totais e proteína em cafeeiros orgânicos. *Coffee Sci* 9:300–311
- Thompson, J.N. (1988) Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 47, 3– 14.
- Vendramim JD, Rosales EACR. 2019 Resistência de Plantas a Insetos - Fundamentos e Aplicações. In: Baldin ELL, Vendramim JD, Luorenção AL (eds) Resistência de Plantas a Insetos - Fundamentos e Aplicações, I. FEALQ, Piracicaba, p 493.

ARTIGO 2

**RESISTÊNCIA DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA A INFESTAÇÕES DO
BICHO-MINEIRO NAS CONDIÇÕES DO SUL DE MINAS GERAIS**

Este artigo será submetido na revista Pest Management Science

(Não está nas normas da revista)

RESISTÊNCIA DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA A INFESTAÇÕES DO BICHO-MINEIRO NAS CONDIÇÕES DO SUL DE MINAS GERAIS

Resumo

O bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) é considerado a principal praga de *Coffea arabica* em diversas regiões produtoras do Brasil em função de sua ocorrência generalizada e perdas econômicas aos cafeicultores. A intensidade de infestação do bicho-mineiro varia de ano para ano em função das condições climáticas da região cafeeicultora. A Fundação Procafé disponibilizou aos produtores a cv. Siriema AS1. A cultivar possui genes que codificam características de resistência ao bicho-mineiro; no entanto, há limitado número de trabalhos que avaliaram a resistência dessa cultivar em experimentos de campo, por um longo período. Assim, este trabalho objetivou avaliar em condições de campo em Lavras, região sul de Minas Gerais, a resistência de 28 cultivares e 2 clones de *C. arabica* à infestação do bicho-mineiro. O experimento foi conduzido de agosto de 2018 a junho de 2021 junto ao painel de cultivares de café do INCT-Café, Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As avaliações da infestação do bicho-mineiro foram realizadas mensalmente, onde foram avaliados ao acaso três folhas do terço superior e três folhas do terço médio do terceiro/quarto pares de folhas nas seis plantas centrais de cada parcela, totalizando 36 folhas/parcela em cada mês de avaliação. Os parâmetros avaliados foram a incidência (%) de folhas minadas, o número de minas/folha e a intensidade de injúria do bicho-mineiro. Os dados obtidos foram analisados por ANOVA com modelos lineares generalizados mistos e análise de componentes principais. A cultivar Siriema e Clone 312 apresentaram as menores incidências (%) de folhas minadas. O terço superior das plantas foi mais infestado que o terço médio. Para a intensidade de injúria, o terço superior apresentou minas maiores em relação ao terço médio. Para o número médio de minas/folha, houve diferenças significativas entre cultivares e terços das plantas. Verificou-se que nos meses de setembro e outubro ocorreram as maiores infestações do bicho-mineiro, nas condições do estudo.

Palavras-chave: Siriema; *Coffea arabica*; *Coffea racemosa*; *Leucoptera coffeella*

1 INTRODUÇÃO

O bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) é considerado a principal praga de *Coffea arabica* em diversas regiões produtoras do Brasil em função de sua ocorrência generalizada e perdas econômicas aos cafeicultores (RIGHI et al., 2013; MENDONÇA et al., 2016). A intensidade de infestação do bicho-mineiro varia de ano por conta das condições climáticas da região cafeeira. Altas temperaturas e períodos secos prolongados favorecem o rápido crescimento das populações do bicho-mineiro, podendo atingir altas infestações e causar grandes perdas na produção de café da safra seguinte (DANTAS et al., 2020).

O controle químico com inseticidas é a tática de controle mais utilizada no manejo do bicho-mineiro. No entanto, aplicações excessivas de inseticidas podem causar efeitos adversos, como mortalidade de inimigos naturais, resíduos tóxicos no produto e meio ambiente, e seleção de populações resistentes da praga. Assim, o grande número de aplicações necessárias para o controle do bicho-mineiro e os altos valores dos inseticidas mais modernos aumentam o custo de produção, restando aos produtores poucas opções para o manejo da praga (CASTELLANI; MELO; MENEZES, 2016; FRAGOSO; GUEDES; LADEIRA, 2003).

A utilização de cultivares resistentes é uma das principais táticas de controle em programas de Manejo Integrado de Pragas (KOUL et al., 2004). O método de controle por resistência de plantas é caracterizado pelo uso de cultivares que apresentam características físicas, químicas e/ou morfológicas que atuam na redução das infestações e danos causados por insetos-praga. O uso de cultivares resistentes torna-se vantajoso porque contribui com a manutenção das populações de pragas abaixo do nível de dano econômico e com reduções do custo de produção e dos desequilíbrios associados ao uso excessivo de inseticidas químicos sintéticos (BOIÇA JÚNIOR et al., 2013; BALDIN et al., 2019; LARA, 1991; SMITH, 2005).

A resistência de plantas é uma das alternativas de controle mais promissoras para o manejo do bicho-mineiro. O desenvolvimento de cultivares de café arábica no Brasil tem sido realizado por programas de melhoramento genético em instituições de pesquisa por meio de técnicas clássicas e moleculares de seleção (GUERREIRO FILHO; SILVAROLLA; ESKES, 1999). A Fundação Procafé disponibilizou aos produtores a cv. Siriema AS1, um híbrido oriundo do cruzamento entre *Coffea arabica* e *Coffea racemosa*. A cultivar possui resistência aos dois principais problemas fitossanitários do cafeeiro, a

ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) e o bicho-mineiro, e é a única cultivar tida como resistente à esse inseto-praga (MATIELLO et al., 2014, 2015). No entanto, há escassez de trabalhos que tenham avaliado a infestação do bicho-mineiro em condições de campo por safras seguidas entre essa e as outras cultivares comerciais disponíveis no Brasil.

Conceição, Guerreiro-Filho e Gonçalves (2005) verificaram a flutuação populacional de *L. coffeella* nas cultivares Obatã IAC 1669-20, Tupi IAC 1669-33 e Ouro Verde Amarelo IAC 4397 e o estudo mostrou maiores porcentagens de folhas minadas nas cultivares Tupi IAC 1669-33 e Obatã IAC 1669-20 em relação à Ouro Verde Amarelo IAC 4397. No entanto, segundo os autores, a elevada porcentagem de folhas minadas nessas cultivares não é evidência de maior suscetibilidade à praga, mas uma resposta à maior retenção foliar das cultivares Tupi IAC 1669-33 e Obatã IAC 1669-20, que são resistentes à ferrugem. Por outro lado, a suscetibilidade da cultivar Ouro Verde Amarelo IAC 4397 à ferrugem tem como consequência a queda acentuada de folhas logo após o primeiro pico de ocorrência de ferrugem e bicho-mineiro. Assim, a maior porcentagem de folhas minadas nas cultivares Tupi IAC 1669-33 e Obatã IAC 1669-20 é consequência da maior retenção foliar proporcionada pela resistência que possuem a *H. vastatrix*.

Em estudo realizado por Magalhães et al. (2004), visando determinar as variáveis mais importantes para resistência a *L. coffeella* e os genótipos mais promissores, avaliou os materiais comerciais Catuaí e Mundo Novo e a espécie selvagem *C. racemosa*, além de quatro híbridos do cruzamento *C. racemosa* x *C. arabica* cv. 'Catuaí'. Os híbridos originados de *C. racemosa* diminuíram o tempo de vida das lagartas de *L. coffeella* devido à alta mortalidade no início do desenvolvimento, com significativa redução na eclosão de larvas; os materiais comerciais Catuaí e Mundo Novo foram classificados como os mais suscetíveis e os híbridos de *C. racemosa* x *C. arabica* tiveram desempenho muito próximo ao de *C. racemosa*, considerado como padrão de resistência.

Para a elaboração de programas de manejo integrado de pragas é preciso entender como os componentes abióticos e bióticos do agroecossistema interferem na intensidade de ataque de uma praga à cultura hospedeira. Os inimigos naturais, as condições meteorológicas e as características da planta hospedeira são os fatores mais importantes que afetam a dinâmica populacional das espécies de pragas (SILVA et al., 2022). Fatores meteorológicos podem afetar diretamente populações de pragas influenciando as taxas reprodutivas e de mortalidade, e indiretamente através de influências em seus inimigos naturais (LOMELÍ-FLORES; BARRERA; BERNAL, 2010). Além disso, também podem

ocorrer efeitos indiretos via planta por conta dos efeitos abióticos na expressão diferenciada da resistência aos insetos (SMITH, 2005; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015; SILVA et al., 2019). O estudo da influência de fatores edafo-climáticos sobre a flutuação populacional de pragas pode auxiliar a prever o momento e em qual intensidade a praga pode surgir na lavoura, orientando a amostragem e tomada de decisão do controle no momento mais adequado (CALORE et al., 2013; PEREIRA et al., 2007a).

Nas lavouras brasileiras de café arábica estimam-se que aproximadamente 90% da área são cultivadas com as cultivares IAC Mundo Novo e IAC Catuaí (GIOMO, 2015; GOMES; GALDINO, 2017). A falta de informações sobre os níveis de resistência das cultivares, bem como sobre sua interação com fatores climáticos contribui para o atraso da transferência de conhecimento e tecnologia aos produtores, refletindo na não adoção das novas cultivares. Assim, este trabalho objetivou avaliar em condições de campo na região Sul de Minas Gerais a resistência de cultivares de café arábica ao bicho-mineiro e correlacionar sua infestação com os fatores climáticos temperatura e precipitação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e condições experimentais

O experimento foi conduzido junto ao painel de cultivares do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT-Café), em uma área experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada a 21° 22' 68" Sul e 044° 95' 89" Oeste, com altitude de 910 m. A região apresenta classificação climática de Köppen de Cwa, com inverno seco e verão chuvoso, e temperatura média anual de 23,5°C (SÁ JUNIOR, et al., 2012). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argissólico (EMBRAPA, 2018).

Foram avaliados 30 genótipos de café arábica, sendo 28 cultivares e dois clones (Tabela 1). Entre os genótipos foram avaliadas a cv. Siriema, considerada resistente ao bicho-mineiro e dois clones não comerciais oriundos de suas progênes. As plantas apresentavam aproximadamente três anos de idade no início das avaliações. O experimento foi conduzido por três safras seguidas, com início em agosto de 2018 e término em junho de 2021.

A área experimental com os genótipos foi dividida em três blocos casualizados. As parcelas foram constituídas por 10 plantas em linha, espaçadas em 3,5 x 0,7 m, sendo a área útil das parcelas representada pelas seis plantas centrais. A área não possuiu

irrigação, e a adubação e os tratos culturais foram os mesmos utilizados no manejo convencional. Não houve aplicação de inseticidas durante o período do estudo.

Tabela 1. Cultivares de café arábica avaliadas quanto à resistência ao bicho-mineiro.

RESISTENTES À FERRUGEM		SUSCETÍVEIS À FERRUGEM
MGS Aranãs RH	Oeiras	IPR 100
MGS Aranãs RV	Siriema	Catuaí Amarelo IAC 62
Araponga	Clone 224 ¹	Catuaí Vermelho IAC 99
Acauã	Clone 312 ¹	Catuaí Vermelho IAC 144
Acauã Novo	Guará	Rubi MG-1192
Arara	Sáira II	Topázio 1190
Asa Branca	IPR 102	Mundo Novo IAC 379-19
Iapar 59	IPR 103	Travessia
Paraíso	Catuaí Amarelo 2SL	
Catiguá MG-1	CatiguáMG-3	
Catiguá MG-2	Pau Brasil	

¹Genótipos não comerciais oriundos de plantas progênes da cv. Siriema.

2.2 Avaliação da infestação do bicho-mineiro nas cultivares de café

As amostragens da infestação do bicho-mineiro foram realizadas mensalmente, onde em cada uma das seis plantas foram coletadas ao acaso três folhas do terceiro/quarto par de folhas de diferentes ramos do terço superior das plantas, procedendo-se da mesma forma para o terço médio. As folhas coletadas foram armazenadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Resistência de Plantas e Manejo Integrado de Pragas (LARP-MIP) da UFLA para avaliações. As variáveis avaliadas foram o número de folhas minadas, o número de minas por folha e a intensidade de injúria.

A intensidade de injúria foi determinada por meio de uma escala diagramática de notas para a severidade de injúria do bicho-mineiro, proposta por Vieira Júnior et al. (2011), com seis níveis de severidade, variando de 0,5% a 25%. A escala de seis níveis foi baseada na severidade do ataque, isto é, a porcentagem de área foliar com lesão provocada pelo bicho-mineiro, onde: nota 1 = 0,5% de área foliar danificada; 2 = 2%; 3 = 5%; 4 = 10%; 5 = 15%; e 6 = 25% de área foliar minada (Figura 1).

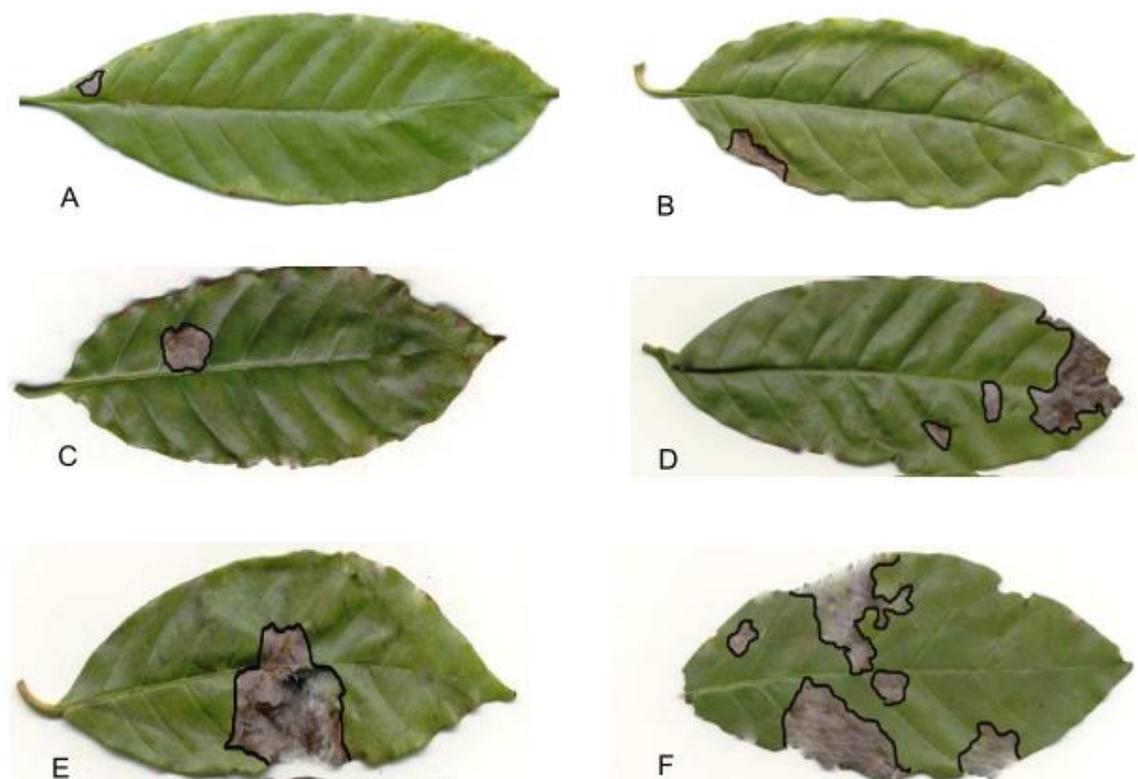


Figura 1. Escala diagramática de notas de severidade do bicho-mineiro: A) 0,5%; B) 2%; C) 5%; D) 10%; E) 15%; e F) 25% (Adaptado de JÚNIOR et al., 2011).

2.3 Coleta de dados dos fatores climáticos

As variáveis de injúria do bicho-mineiro avaliadas mensalmente nas cultivares foram correlacionadas com dados climáticos coletados da estação meteorológica da UFPA localizada próxima à área experimental. Os fatores climáticos correlacionados com as infestações do bicho-mineiro foram as temperaturas máxima, mínima e média mensal e a precipitação acumulada mensal.

Para as variáveis intensidade de injúria, número de minas por folha e número de folhas minadas coletadas no mês de outubro, período em que houve maior incidência de *L. coffeella*, foram realizadas correlações a fim de verificar relação significativa entre esses parâmetros.

2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados por ANOVA com modelos lineares generalizados mistos, por análise multivariada por meio da análise de componentes principais (PCA) e análise de correlação linear de Pearson.

As análises foram realizadas nos programas Statistica v.10 (STATSOFT, 2011) e Past v.4.11 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

3 RESULTADOS

Com relação à flutuação populacional do bicho-mineiro, verificou-se que as infestações ocorreram na área durante todo o período experimental (36 meses), considerando todas as cultivares avaliadas. Constatou-se que ocorreram pelo menos dois picos de infestação com alta porcentagem de folhas minadas: um pico de infestação moderada nos meses mais secos, em junho e julho, e um pico maior nos meses de setembro e outubro (Figuras 2-31).

Para a intensidade de injúria e o número de minas por folha, os valores dessas variáveis aumentaram gradativamente a partir do início do período mais seco, em maio/junho, atingindo as maiores intensidades de injúria em setembro/outubro, com tendência à redução da severidade após esse período (Figuras 32-61).

Salienta-se que as cultivares suscetíveis à ferrugem, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuai Vermelho IAC 99, Catuai Vermelho IAC 144, Rubi MG-1192, Topázio MG 1190, Travessia e Mundo Novo IAC 379-19, apresentaram elevada queda de folhas em função da incidência da ferrugem e do ataque do bicho-mineiro (Figuras 32-61). Dessa forma, essas cultivares apresentaram baixa intensidade de injúria de *L. coffeella* em função da queda de folhas, não permitindo observar na planta a formação de minas de tamanho maior, uma vez que a infecção da ferrugem e a alta incidência do bicho-mineiro contribuíram substancialmente para a queda prematura de folhas durante as avaliações.

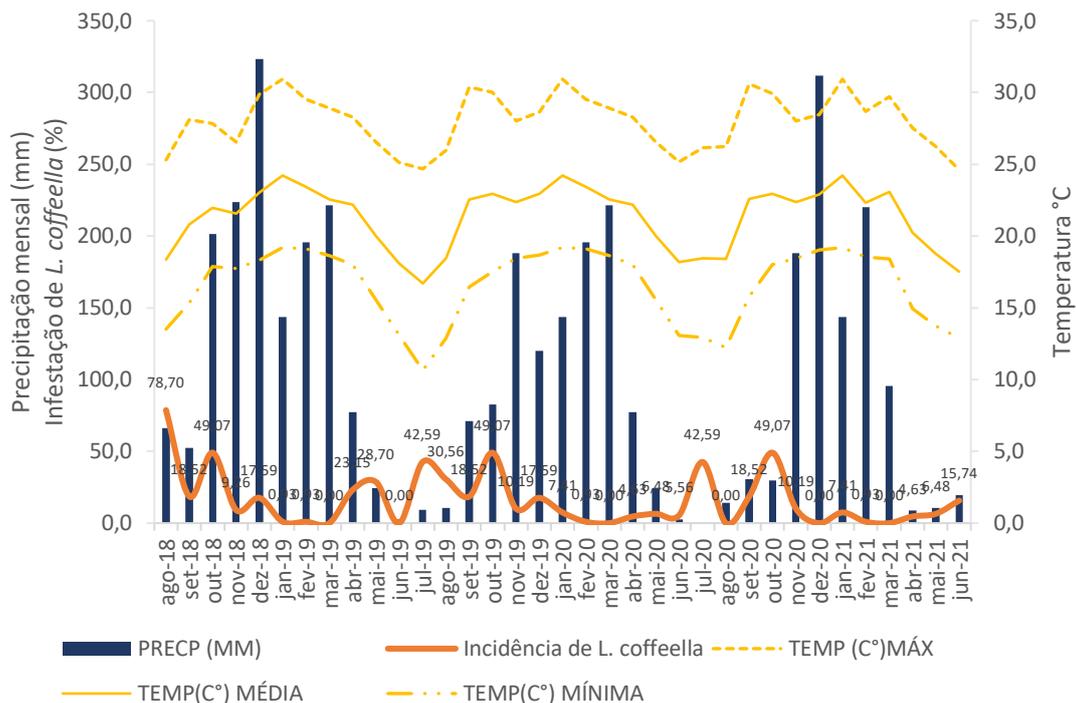


Figura 2. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Aranãs RH.

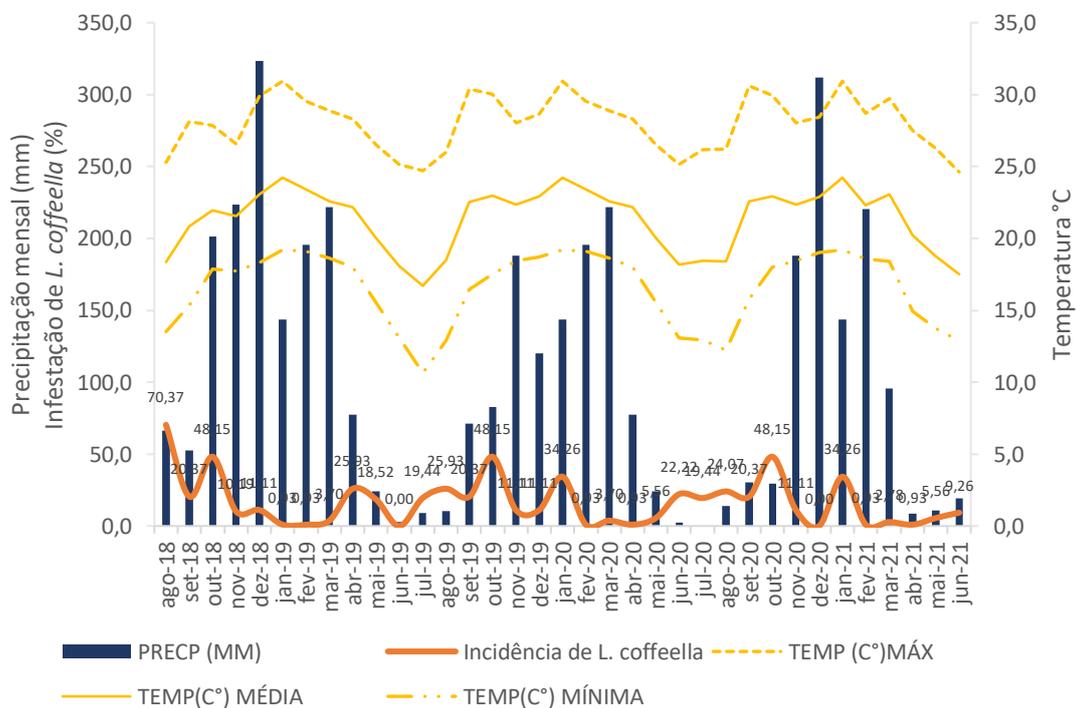


Figura 3. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Aranãs RV.

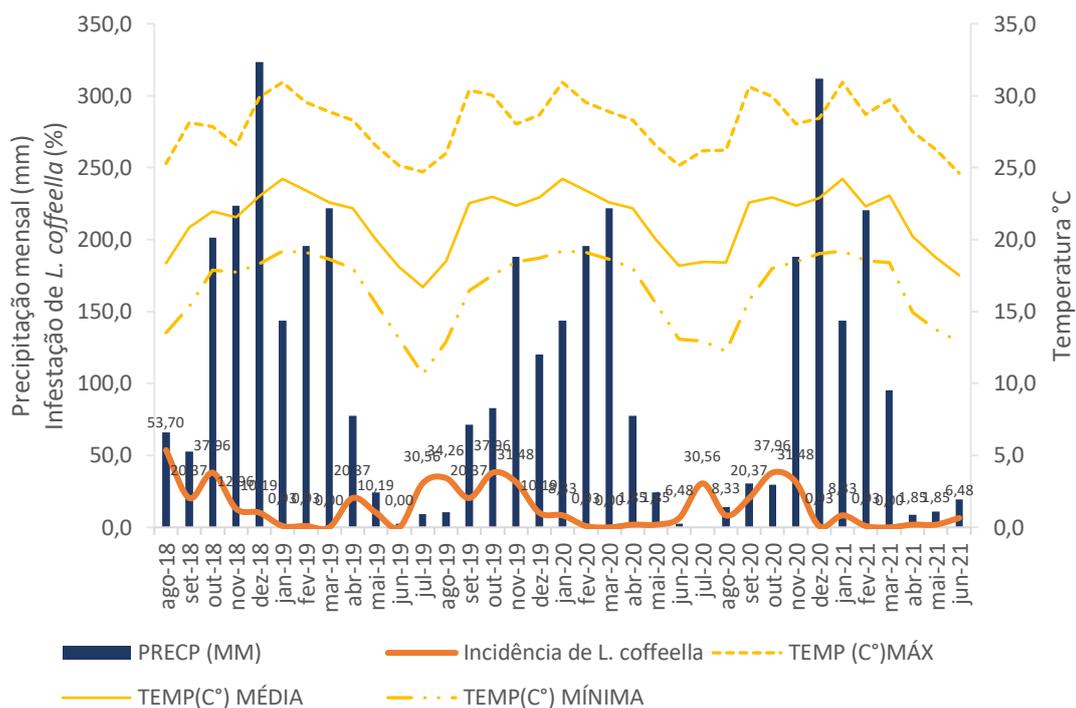


Figura 4. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Araponga.

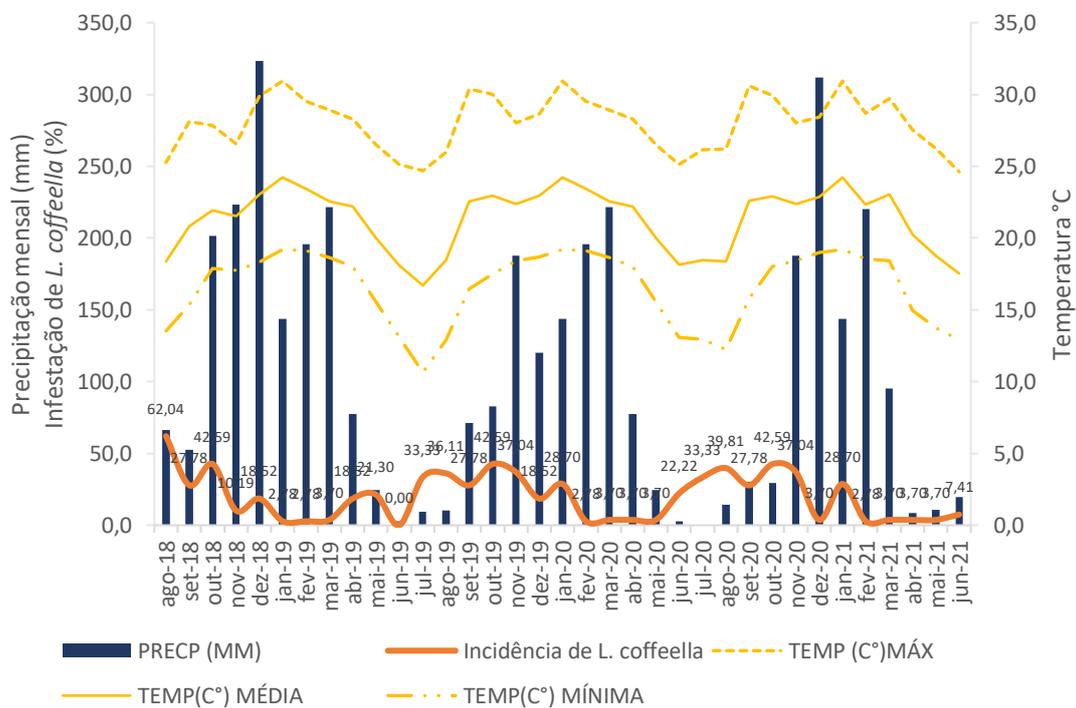


Figura 5. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Catiguá MG-1.

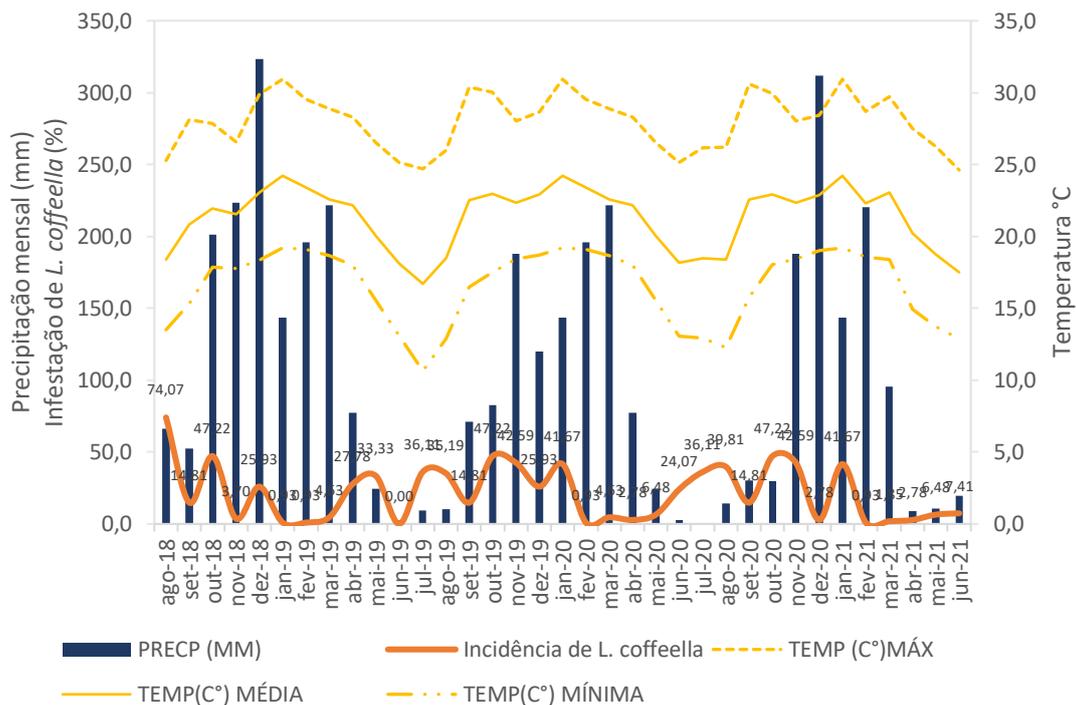


Figura 6. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Catiguá MG-2.

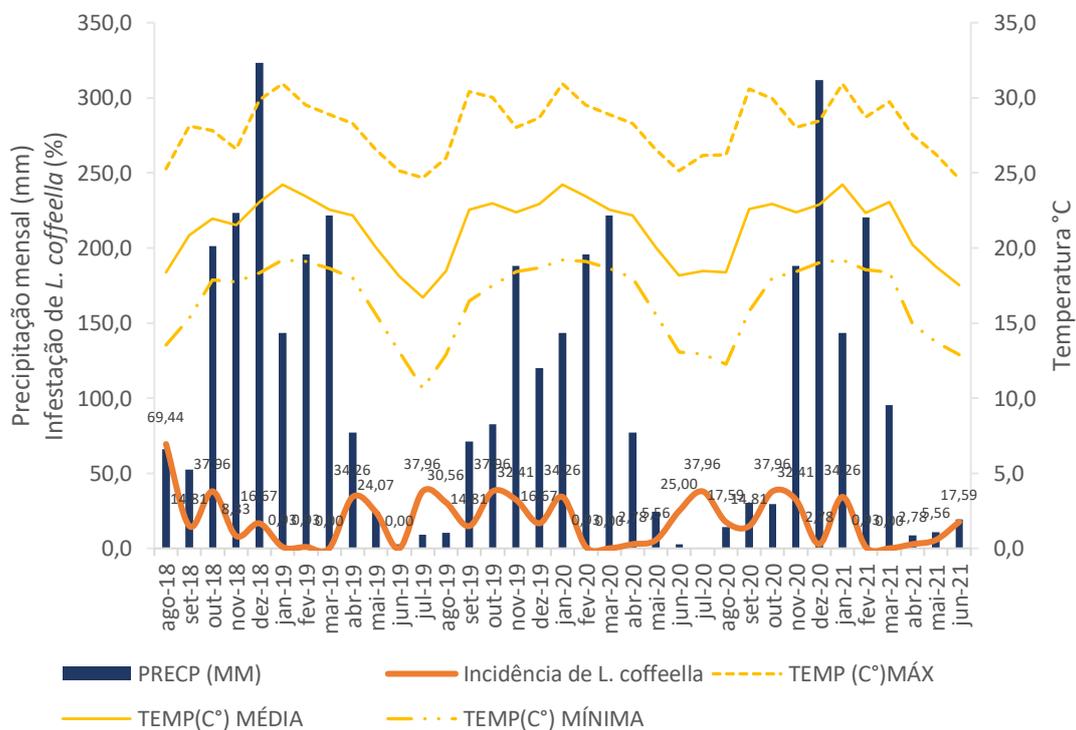


Figura 7. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Catiguá MG-3.

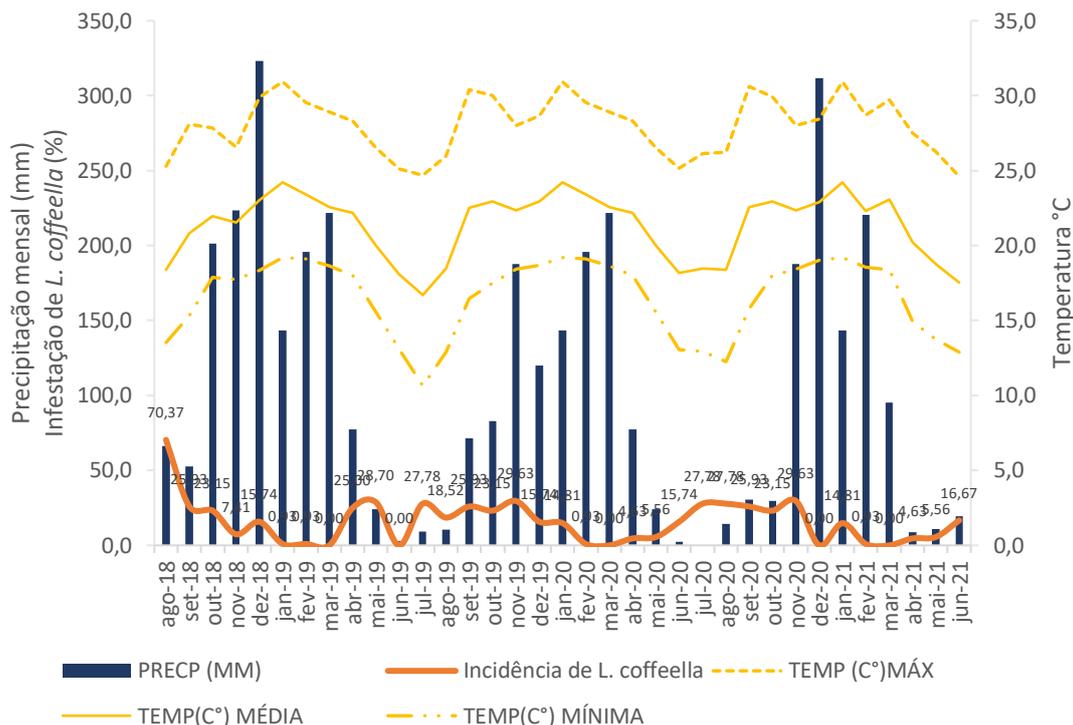


Figura 8. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Oeiras.

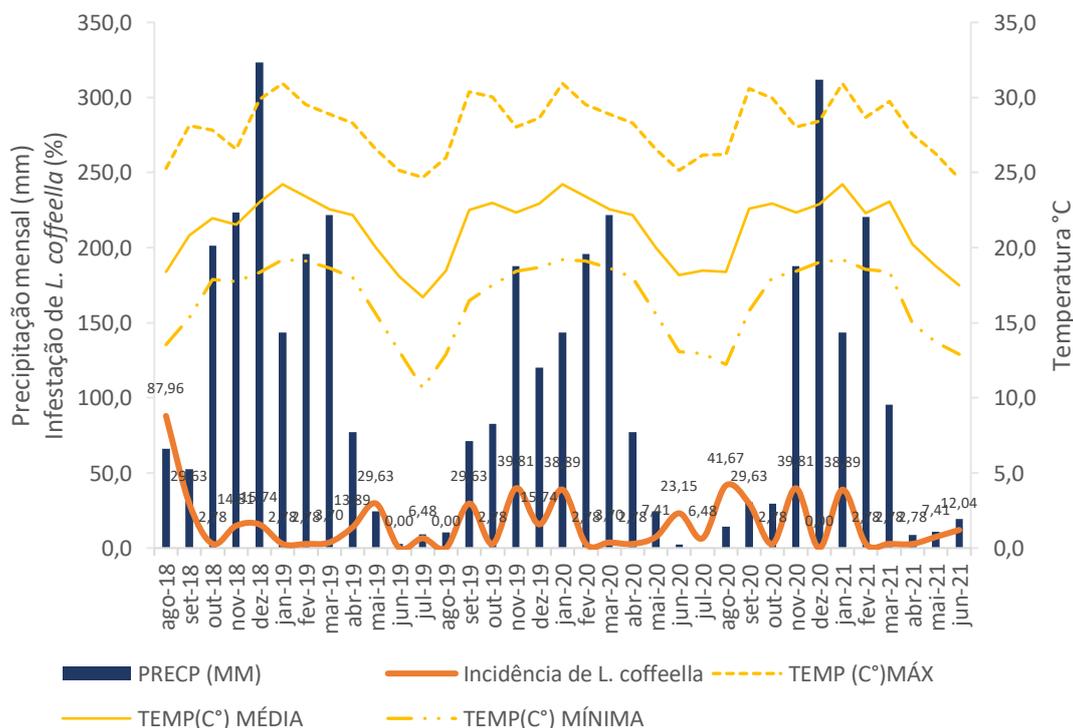


Figura 9. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Paraíso.

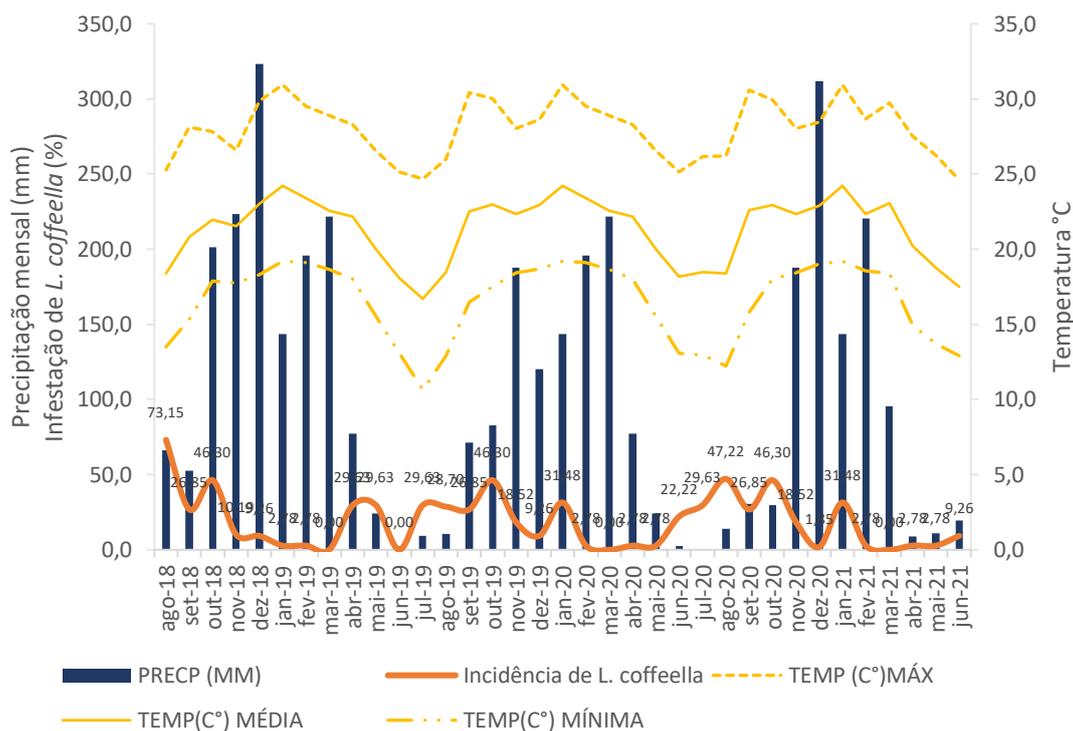


Figura 10. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Pau Brasil.

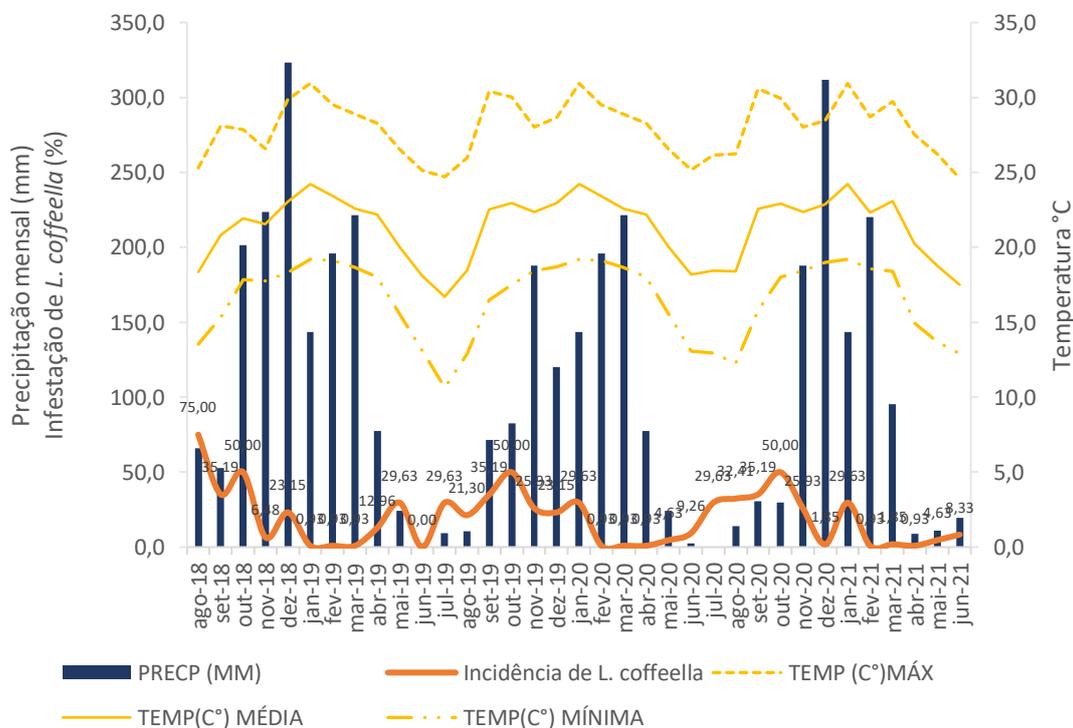


Figura 11. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Acauã.

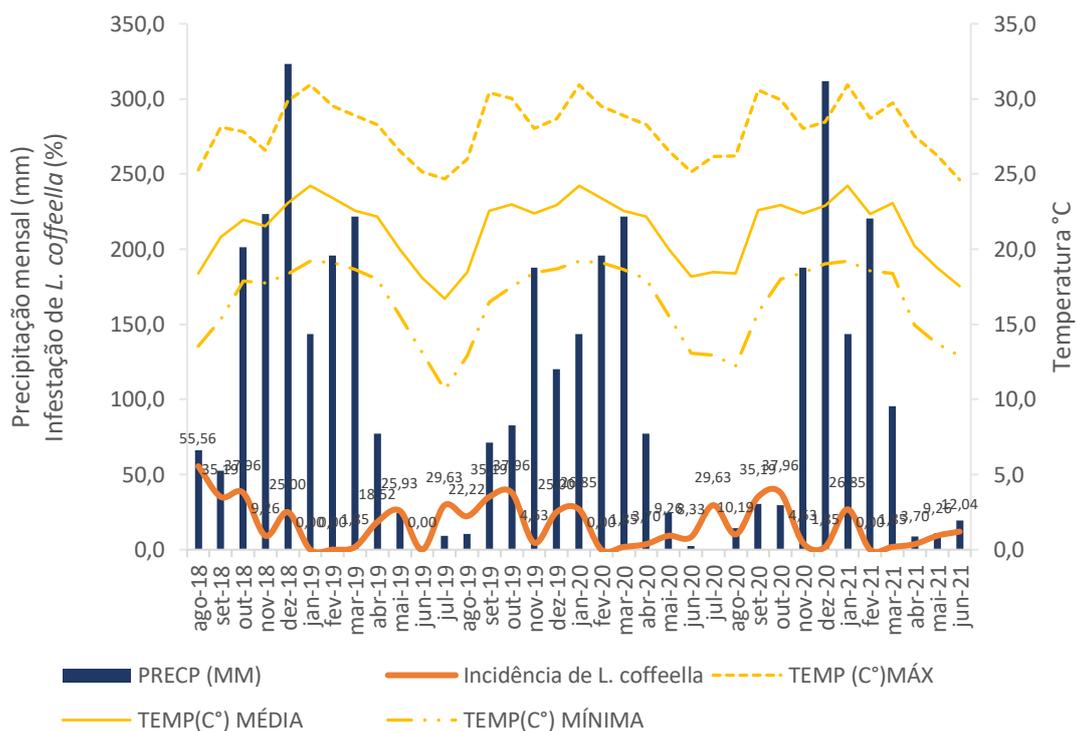


Figura 12. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Acauã Novo.

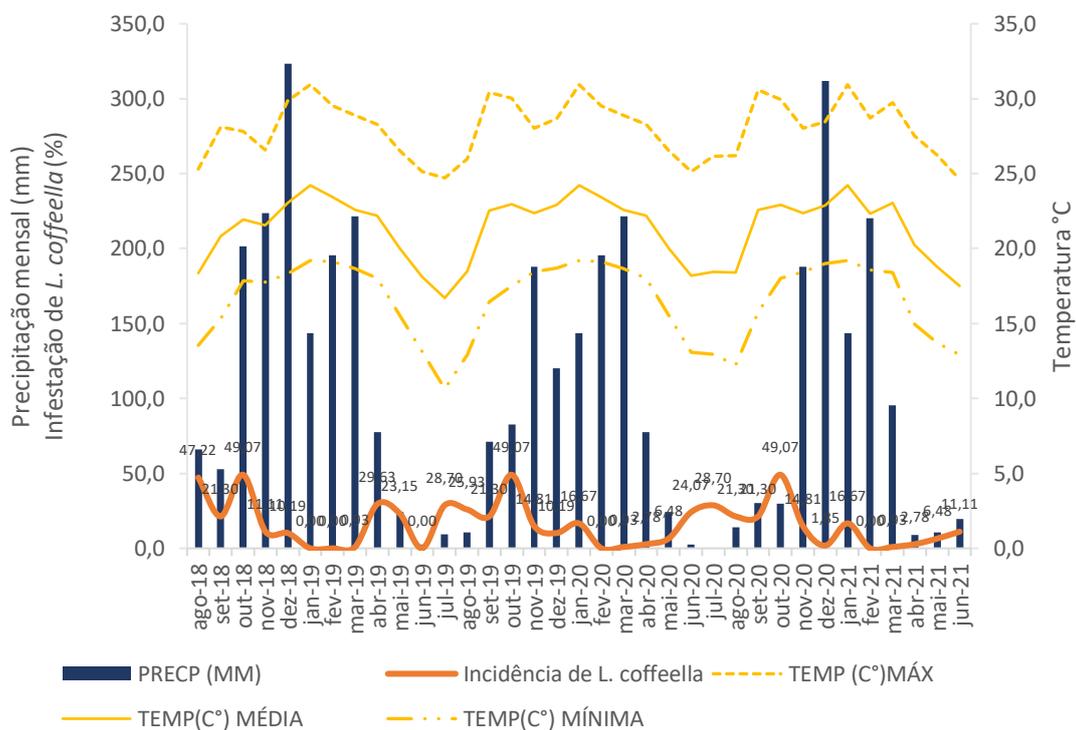


Figura 13. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Arara.

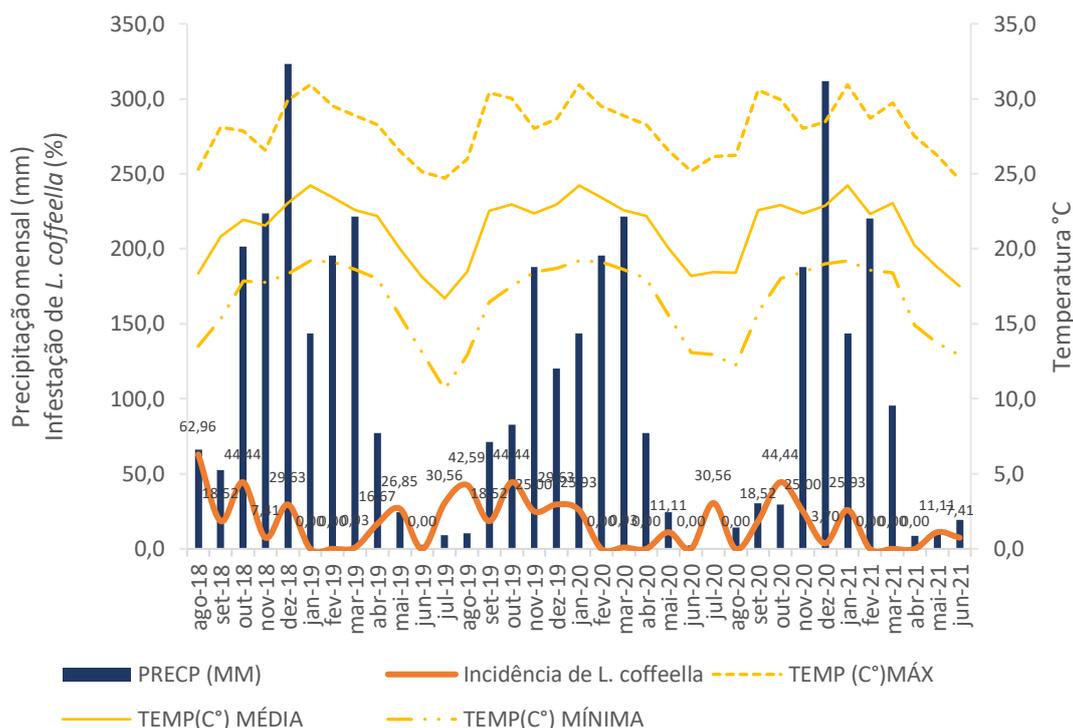


Figura 14. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Asa Branca.

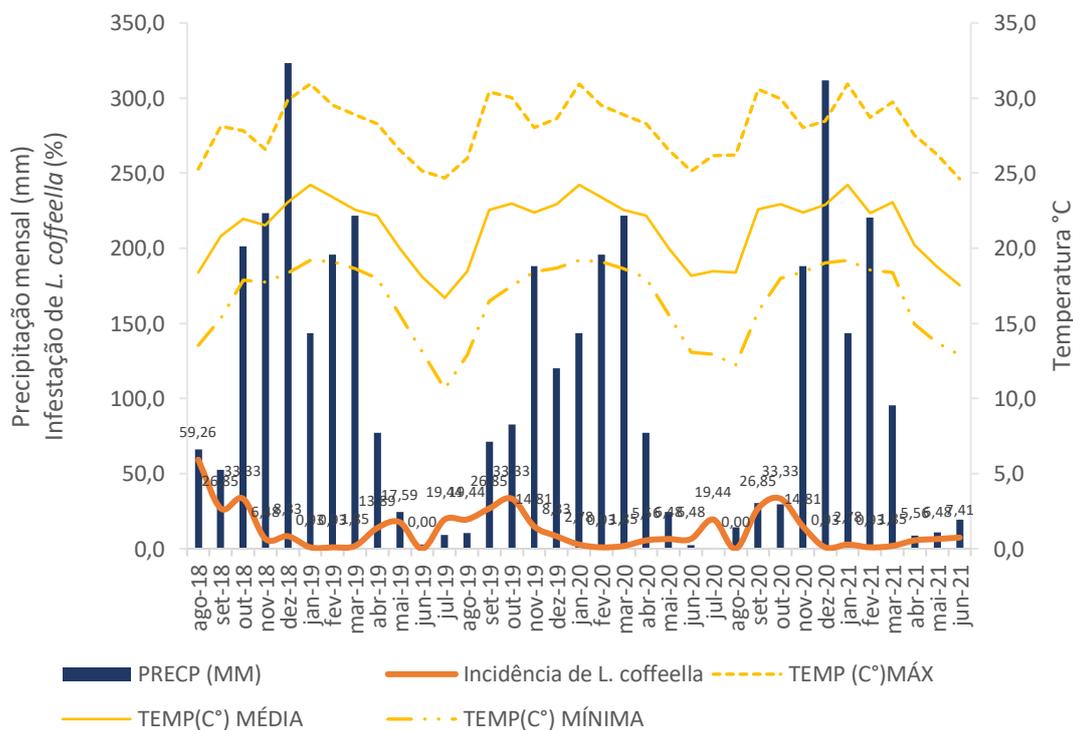


Figura 15. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) no Clone 224.

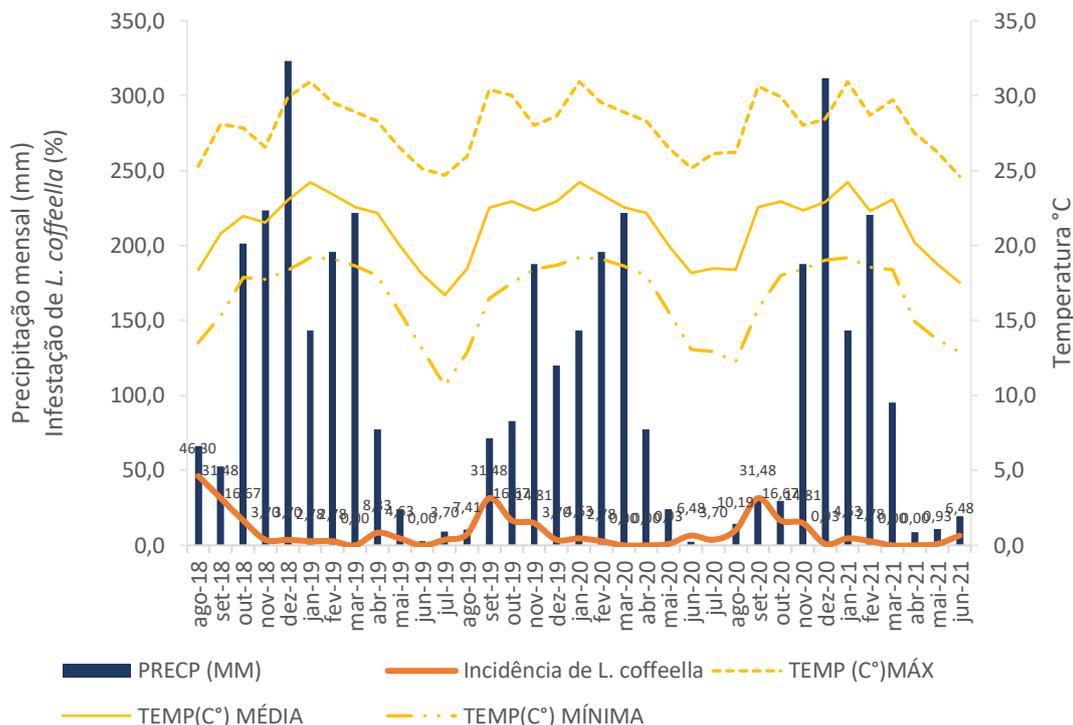


Figura 16. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) no Clone 312.

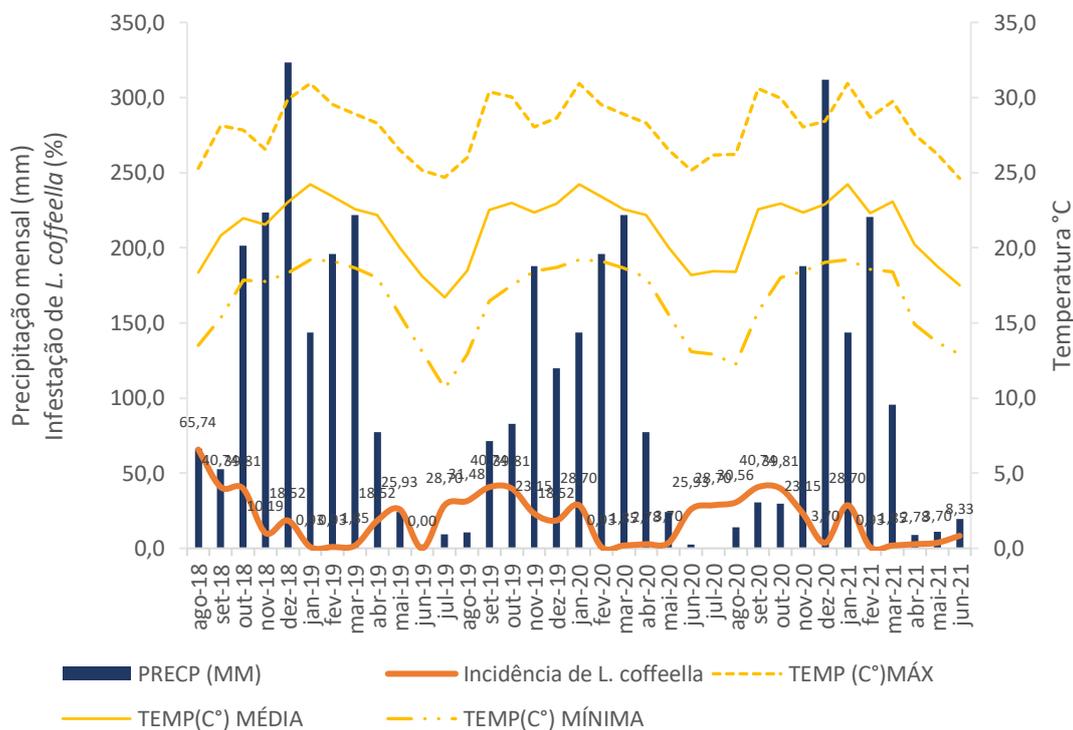


Figura 17. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Guará.

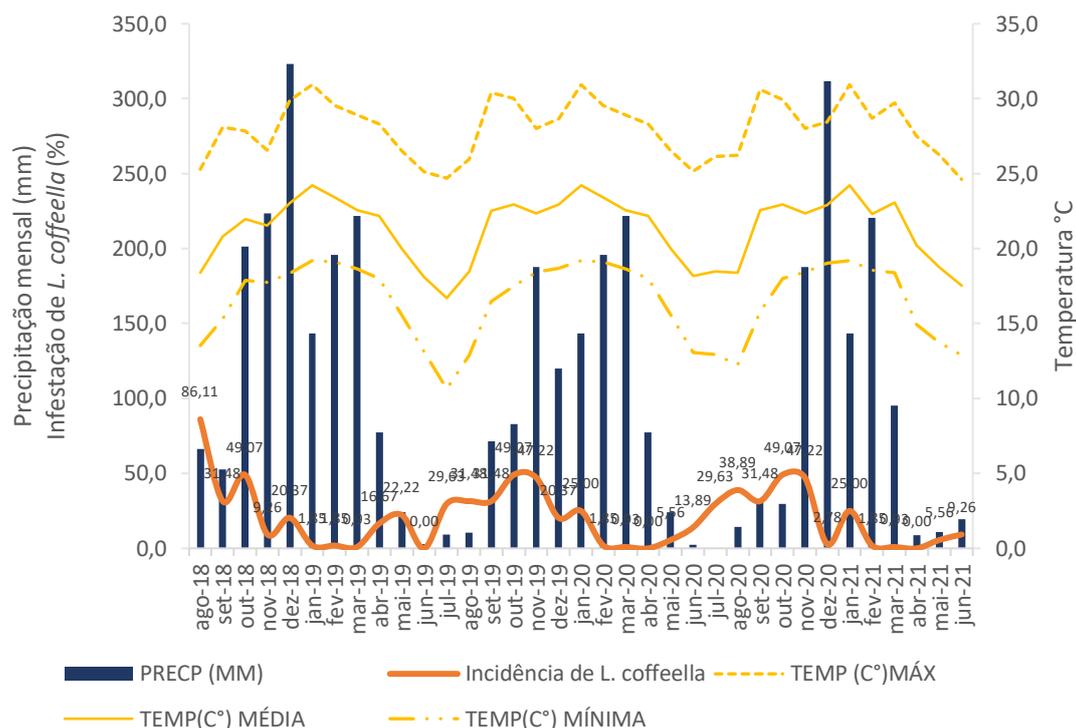


Figura 18. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Saíra II.

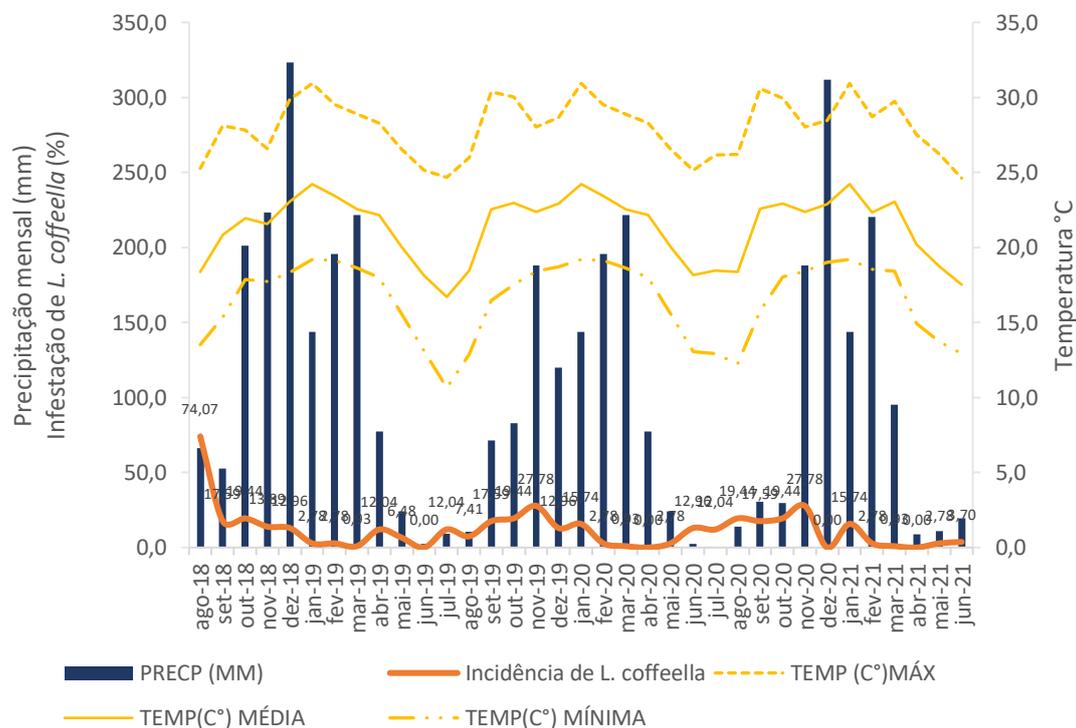


Figura 19. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Siriema.

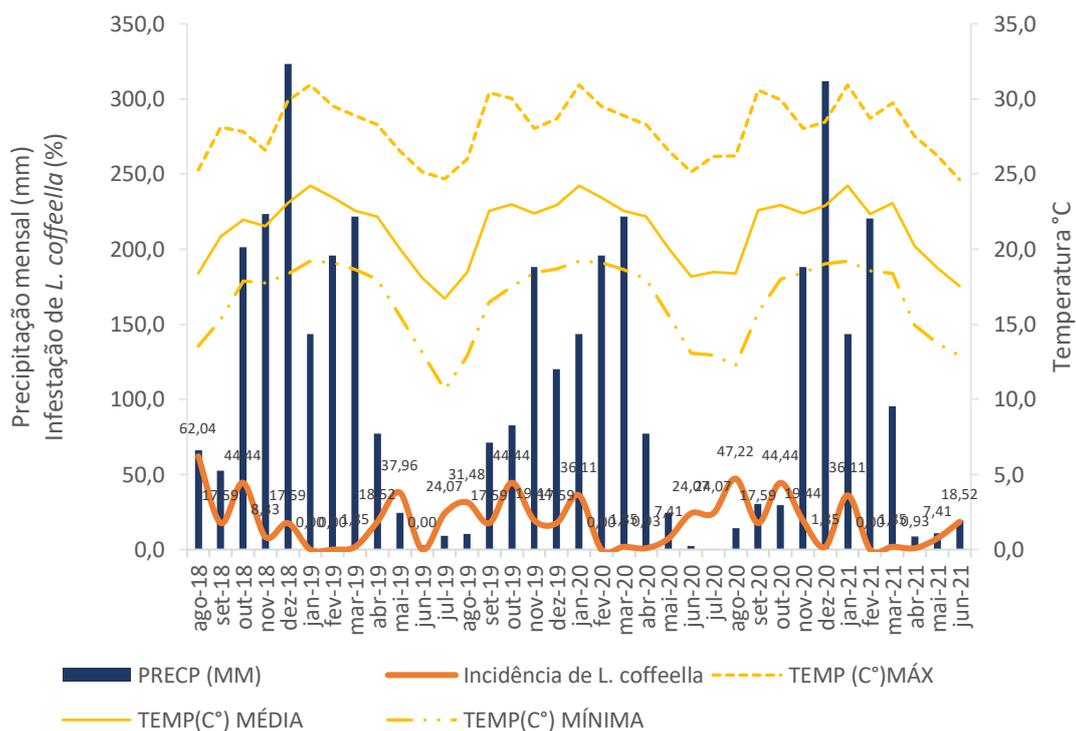


Figura 20. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Catucaí Amarelo 2 SL.

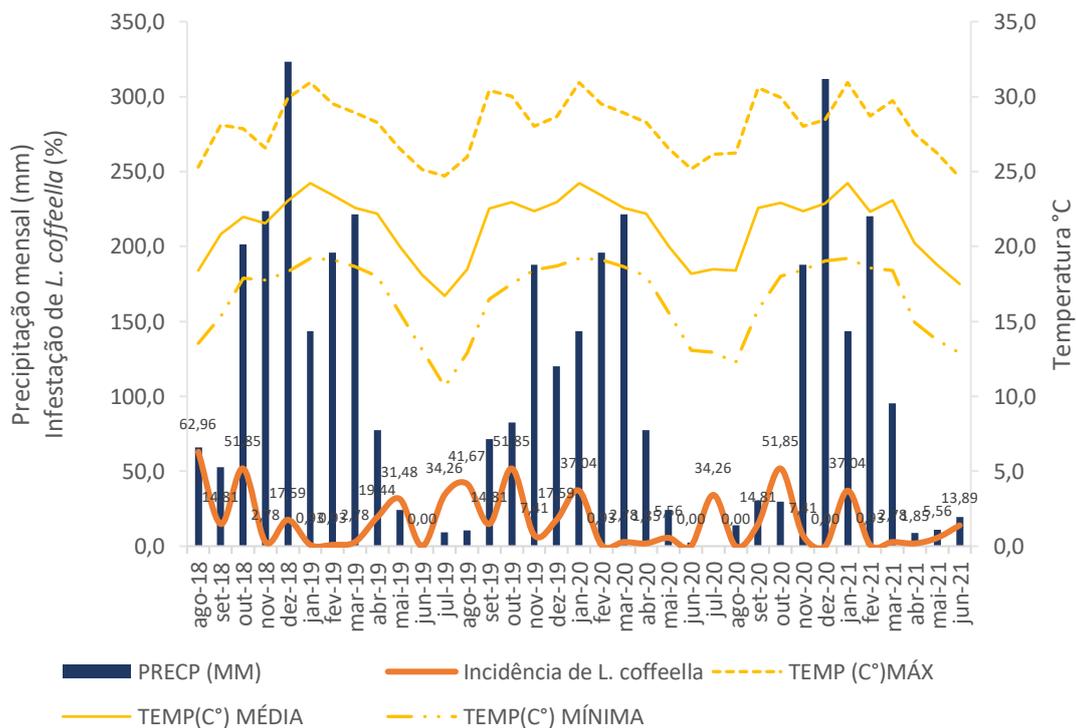


Figura 21. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. IAPAR 59.

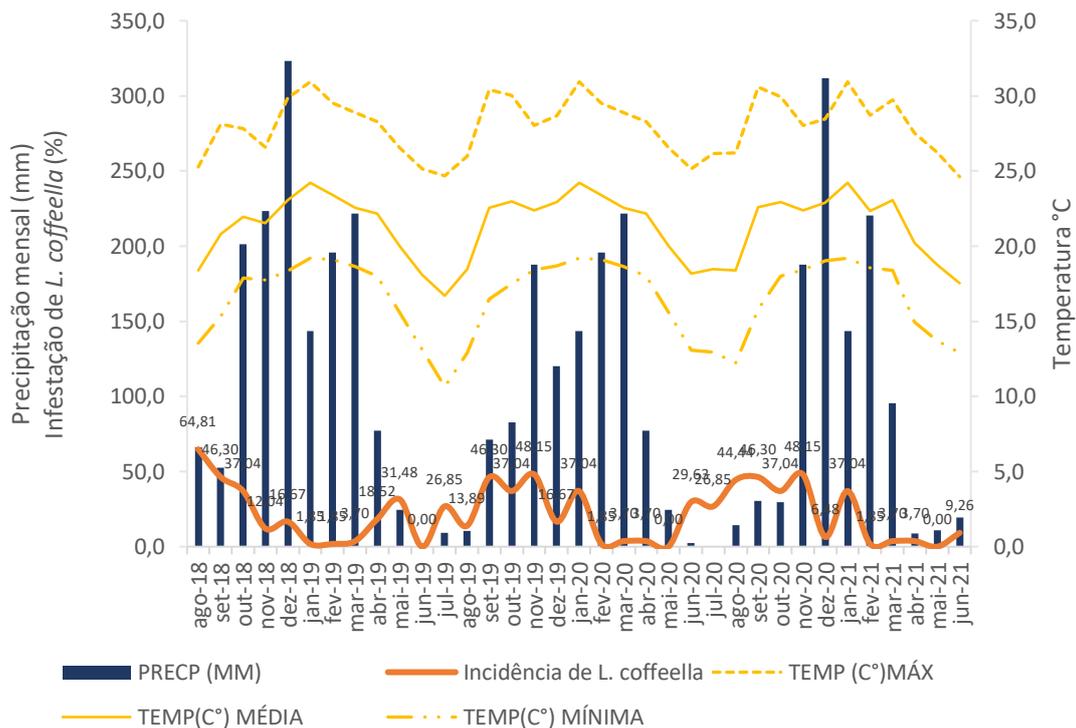


Figura 22. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. IPR 100.

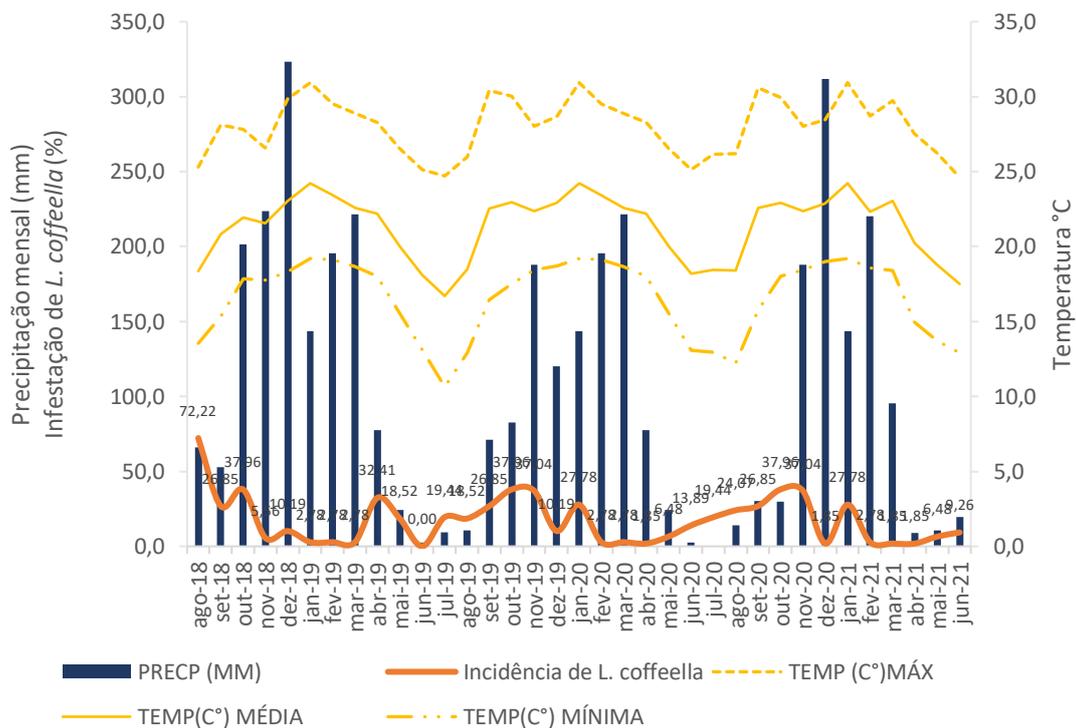


Figura 23. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. IPR 102.

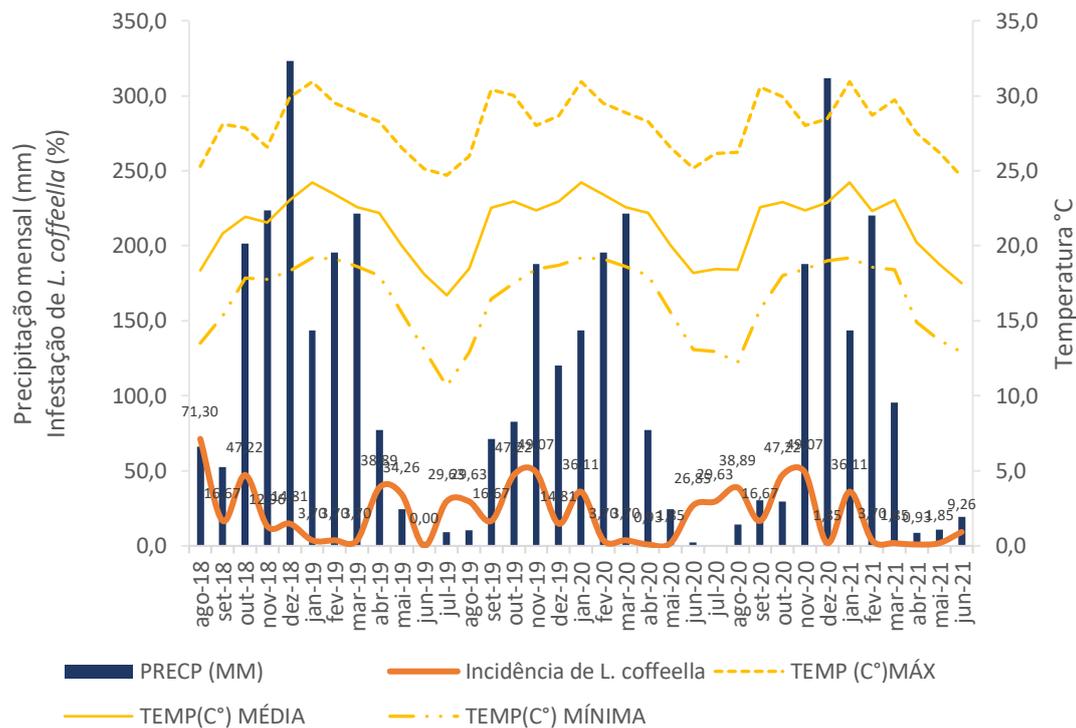


Figura 24. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. IPR 103.

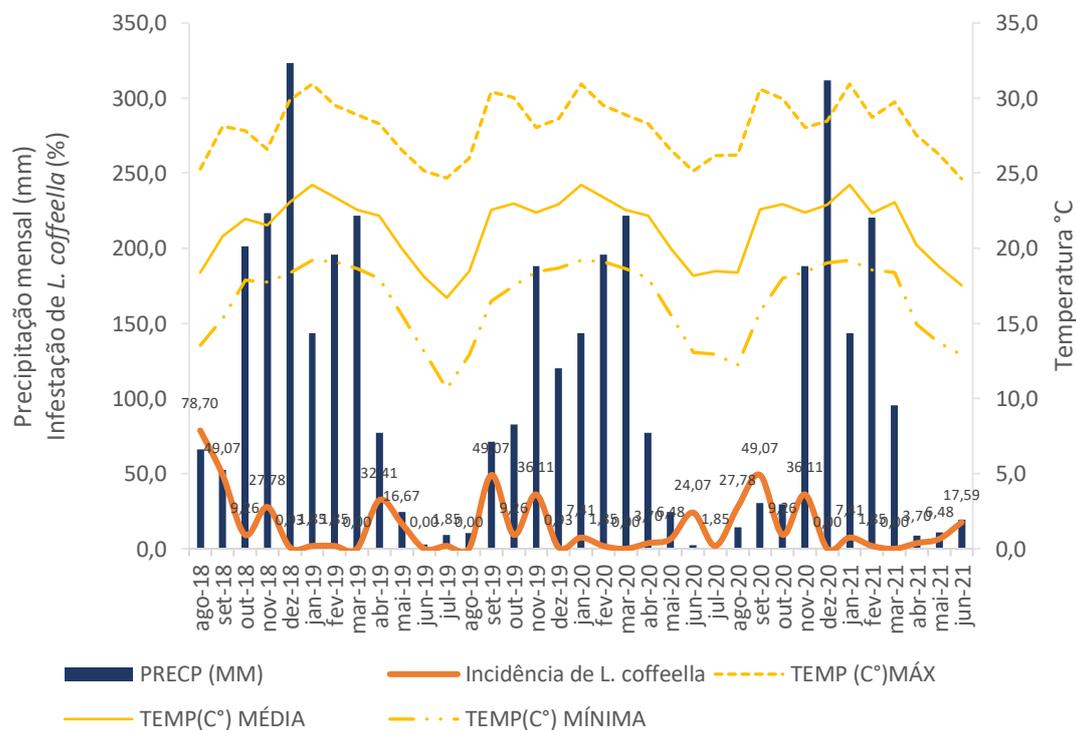


Figura 25. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Catuaí Amarelo IAC 62.

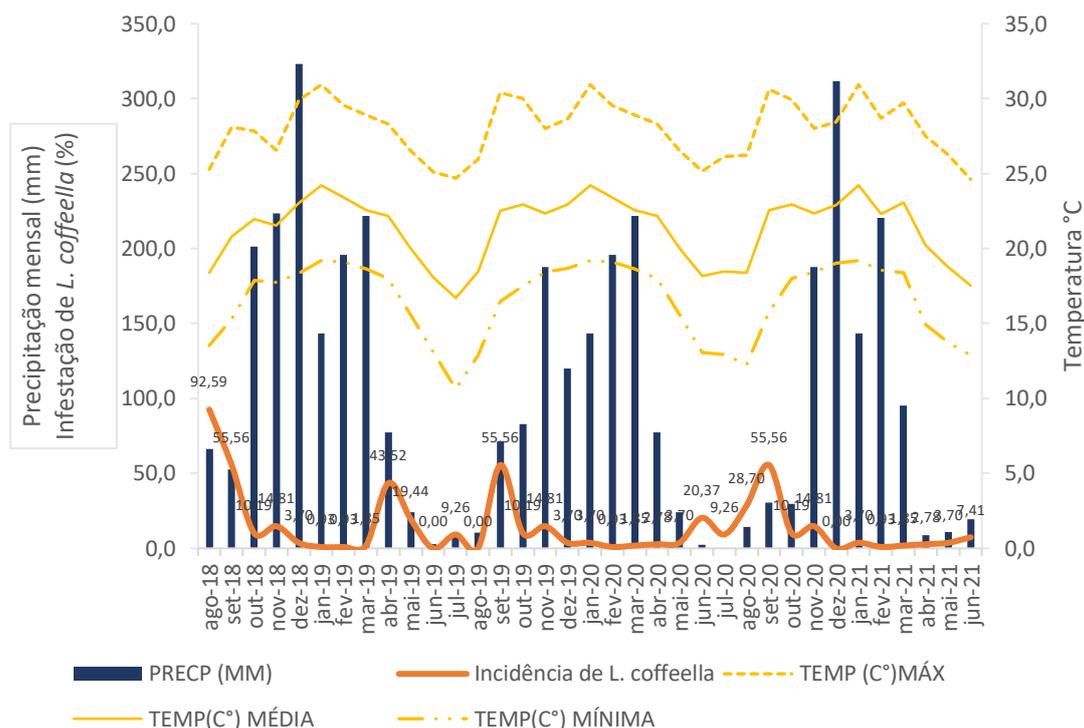


Figura 26. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Catuaí Vermelho IAC 99.

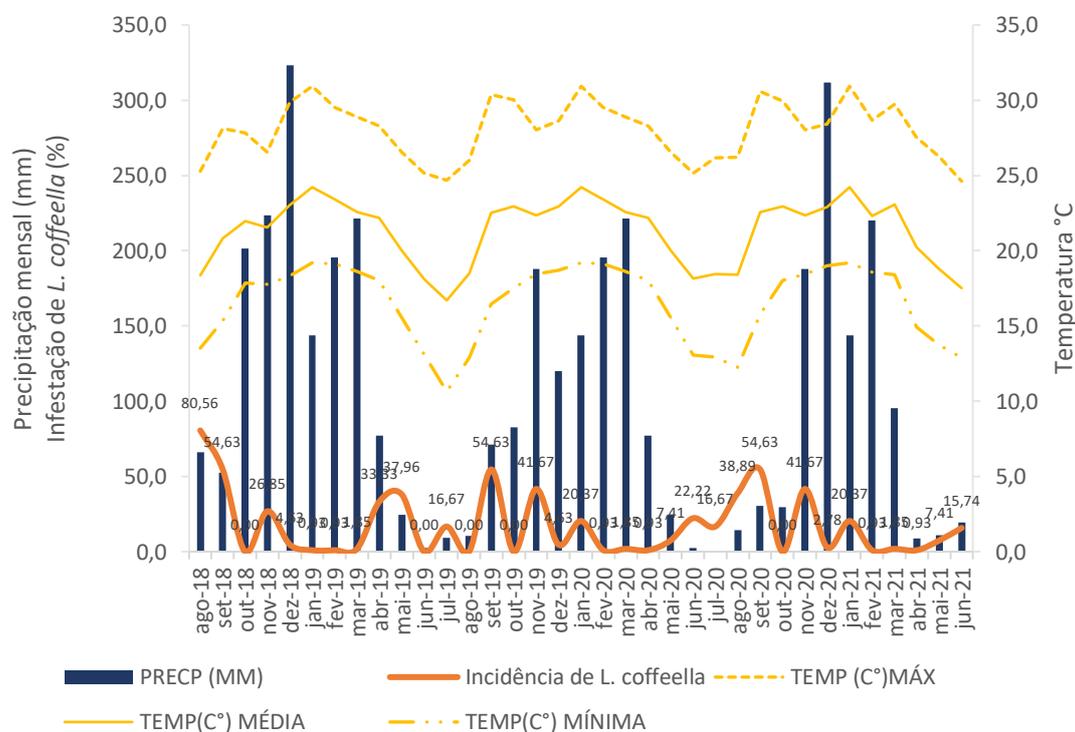


Figura 27. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Catuaí Vermelho IAC 144.

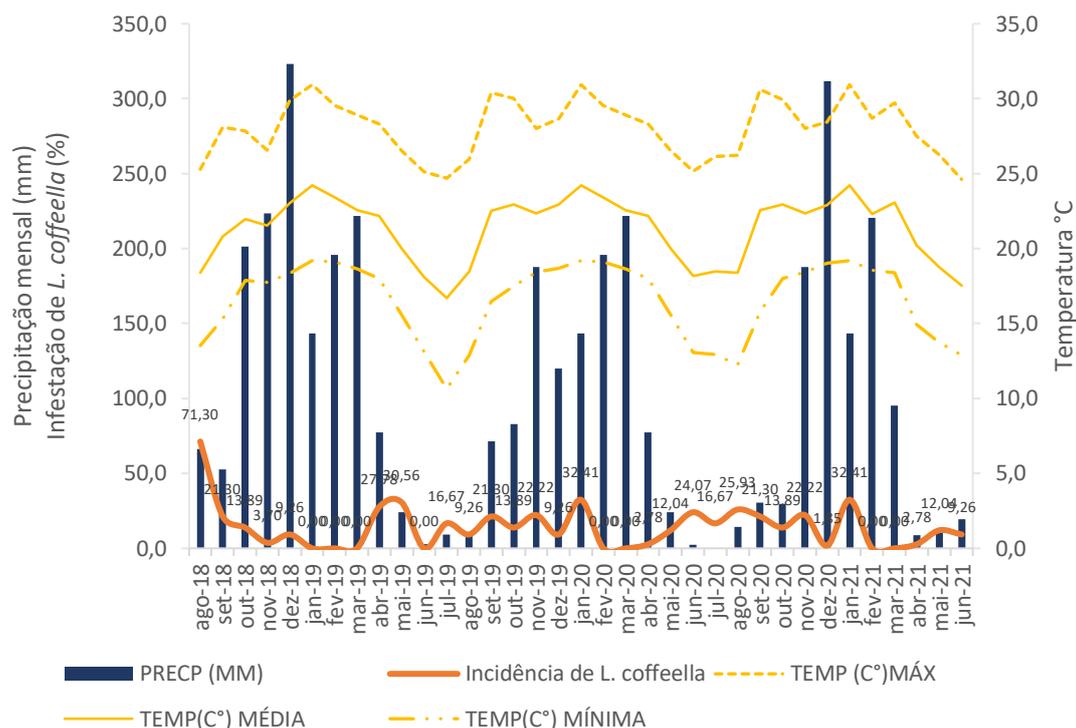


Figura 28. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Rubi MG-1192.

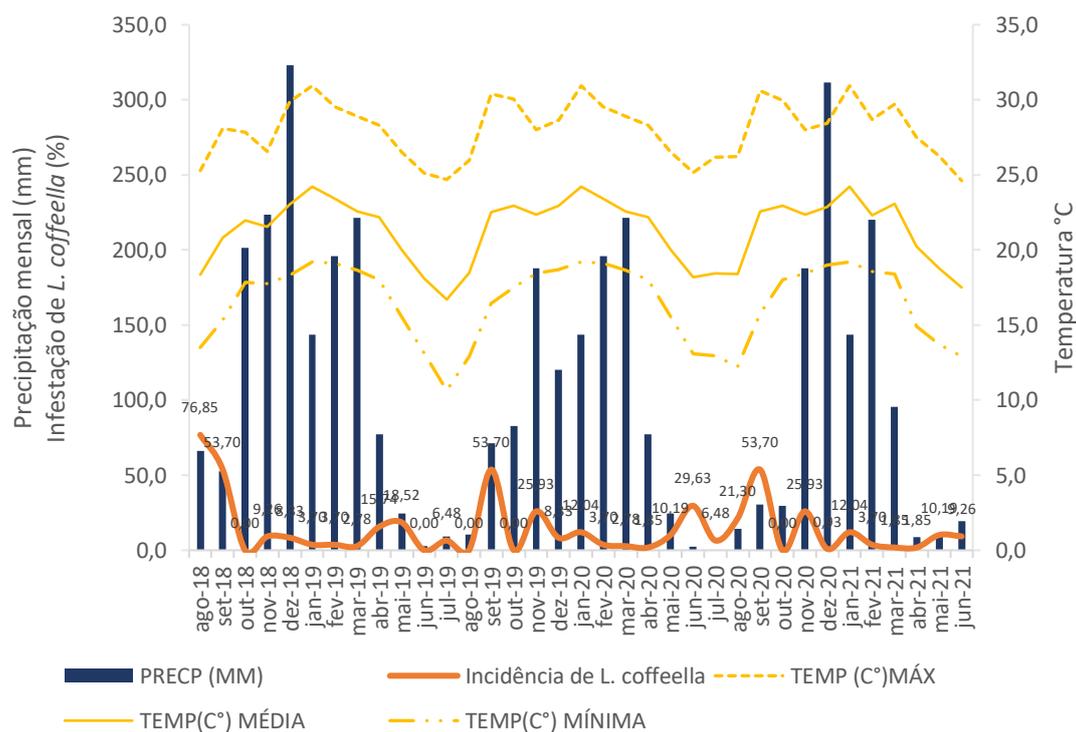


Figura 29. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Topázio MG 1190.

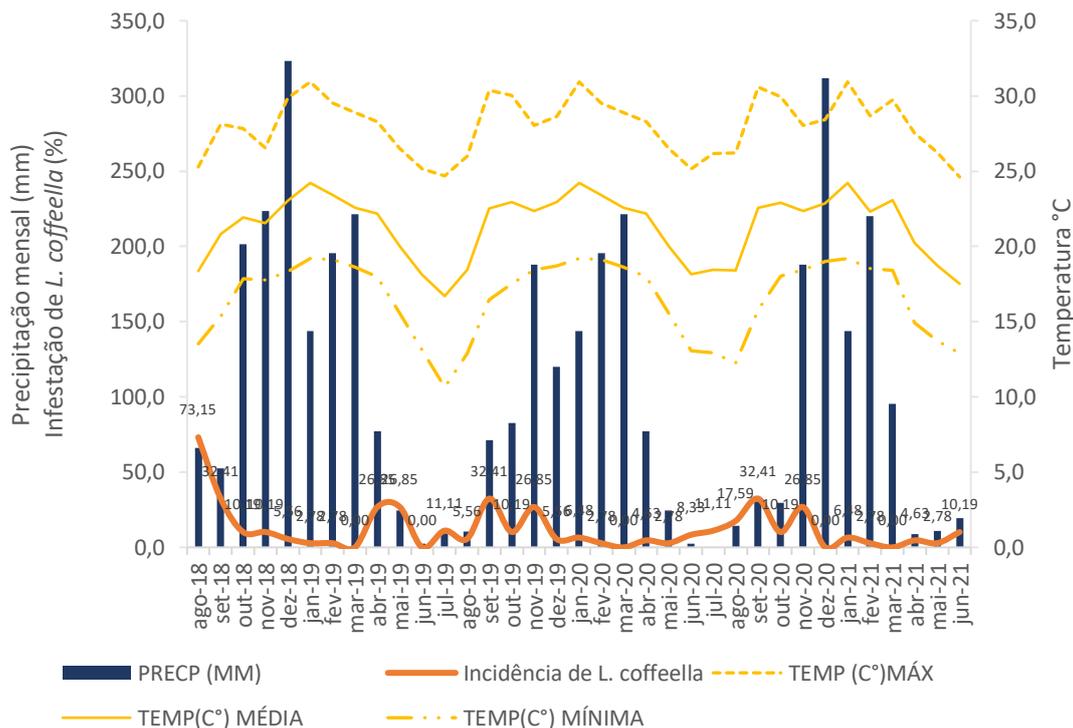


Figura 30. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Traversia.

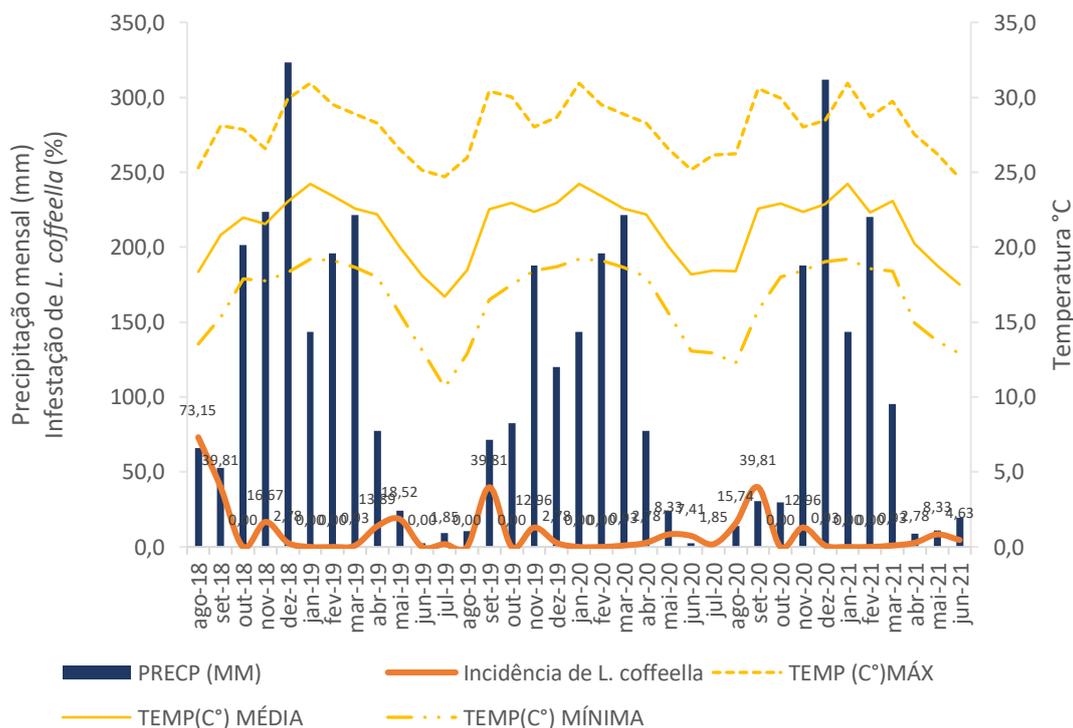


Figura 31. Infestação do bicho-mineiro (porcentagem de folhas minadas) na cv. Mundo Novo IAC 379-19.

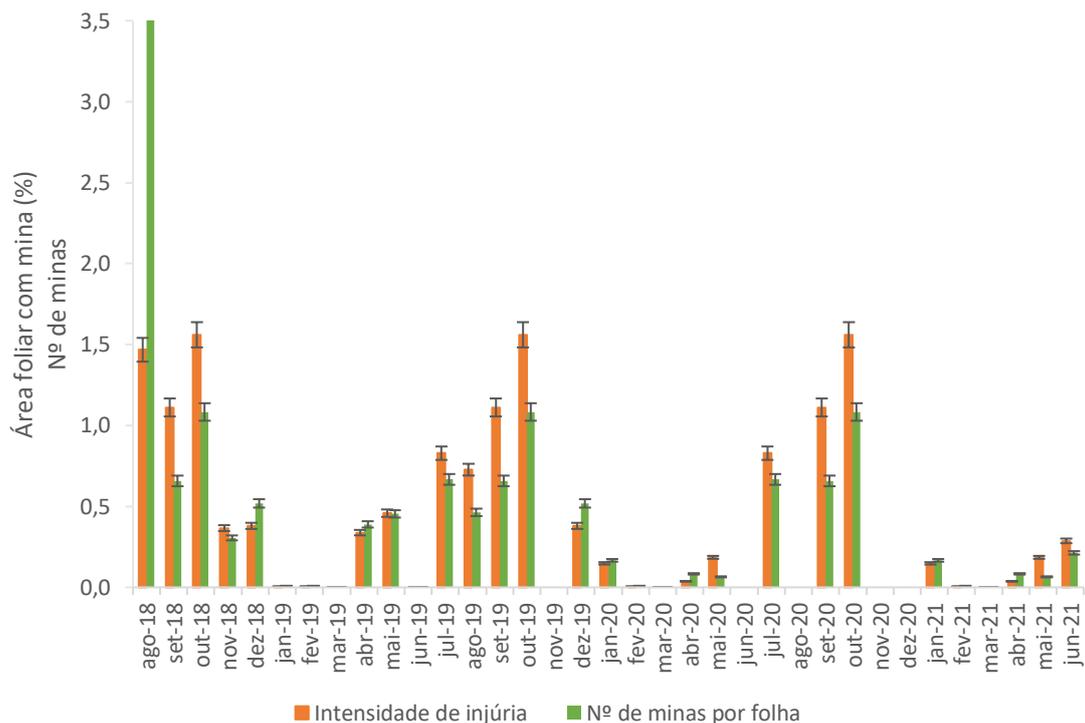


Figura 32. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Aranãs RH.

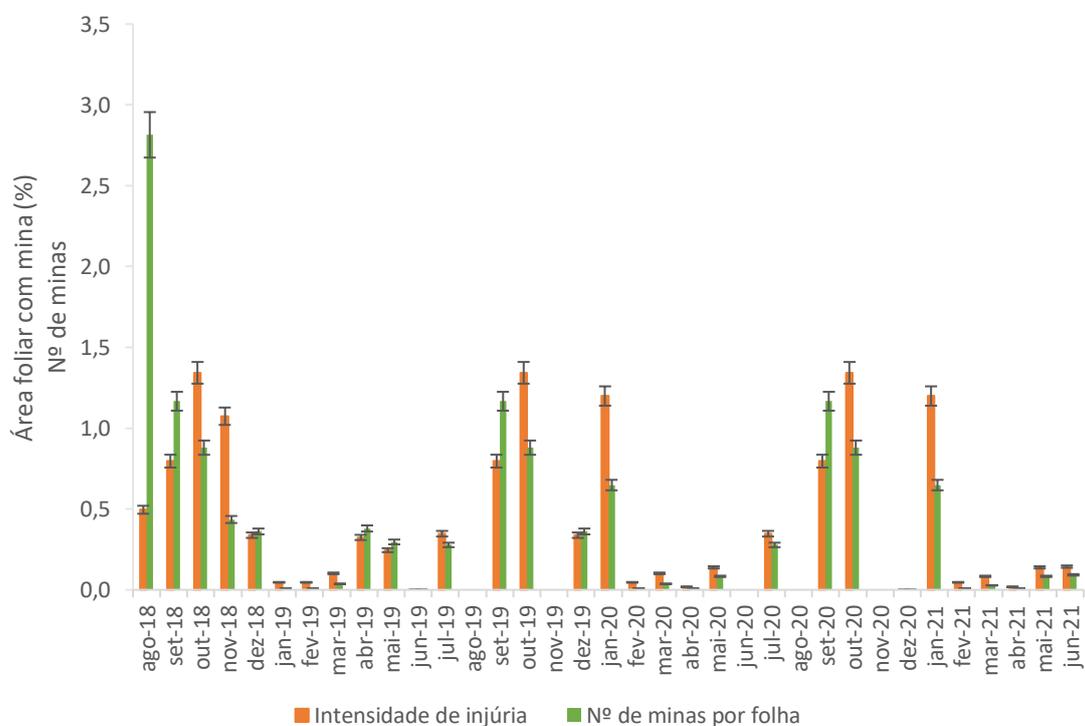


Figura 33. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Aranãs RV.

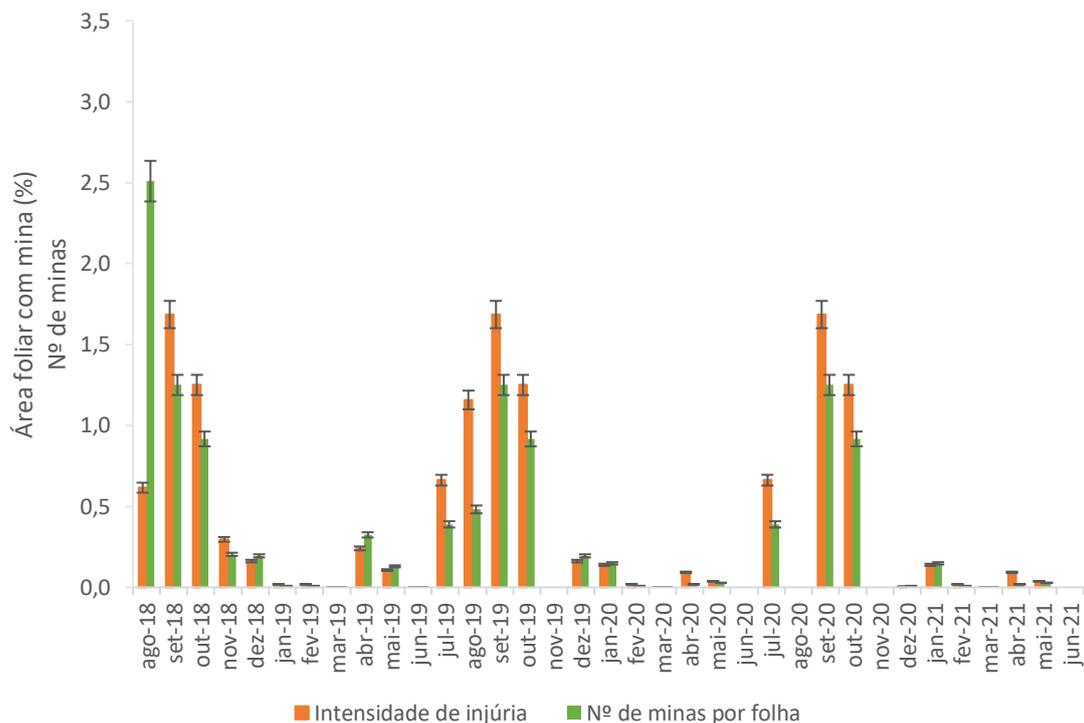


Figura 34. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Araponga.

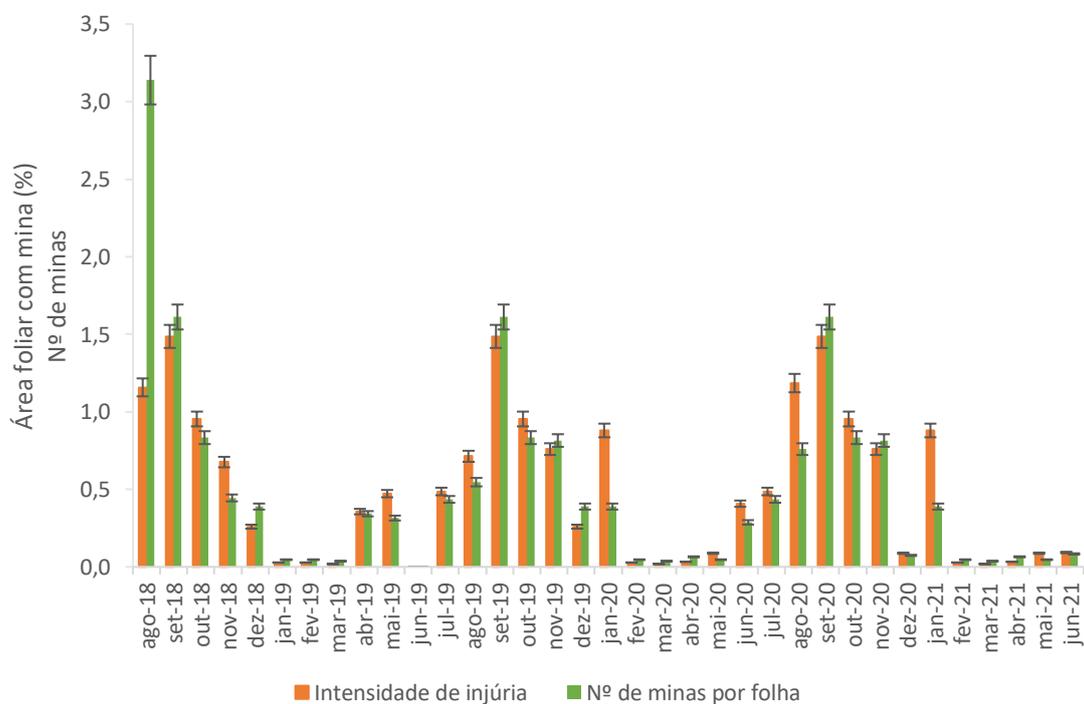


Figura 35. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Catiguá MG-1.

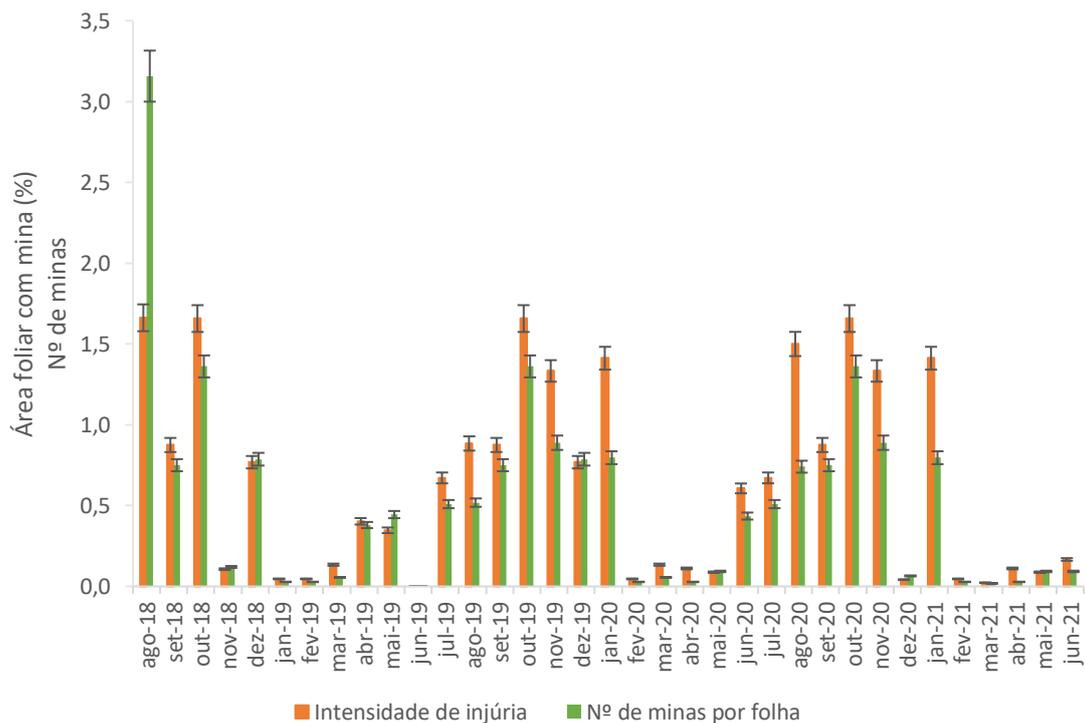


Figura 36. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Catiguá MG-2.

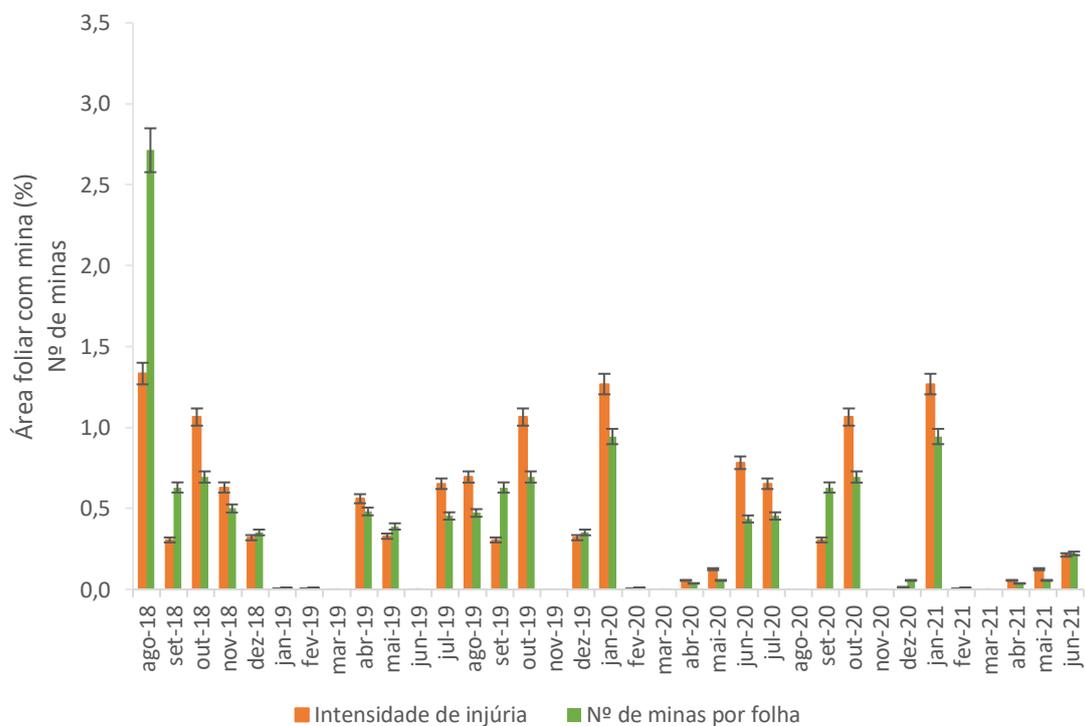


Figura 37. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Catiguá MG-3.

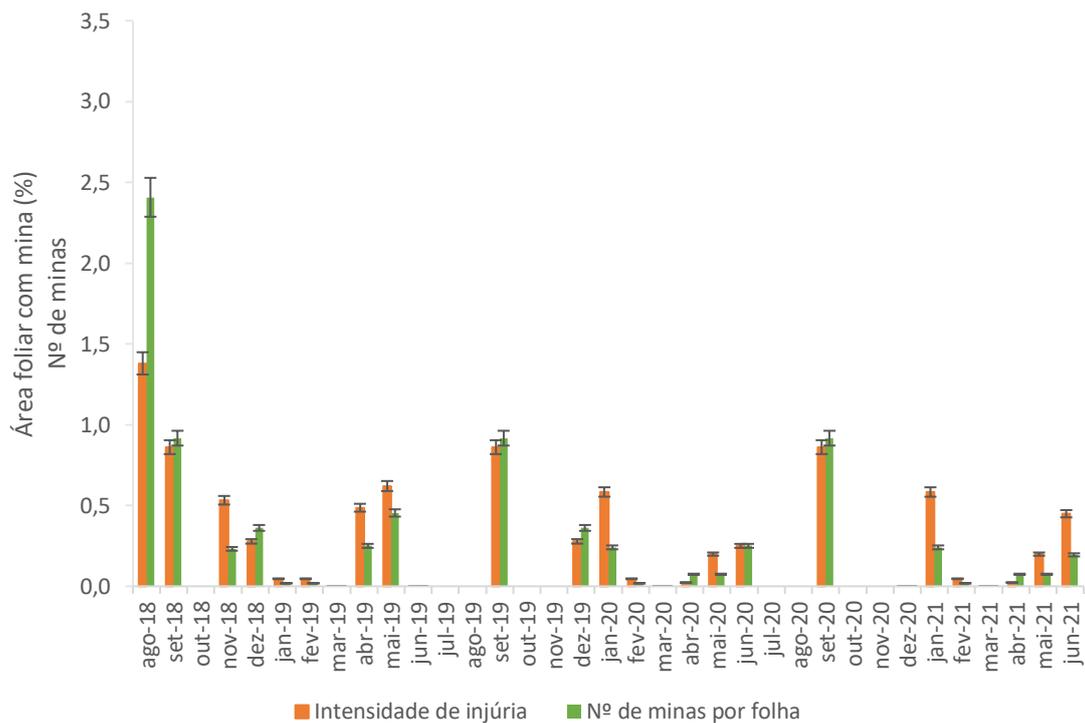


Figura 38. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Oeiras.

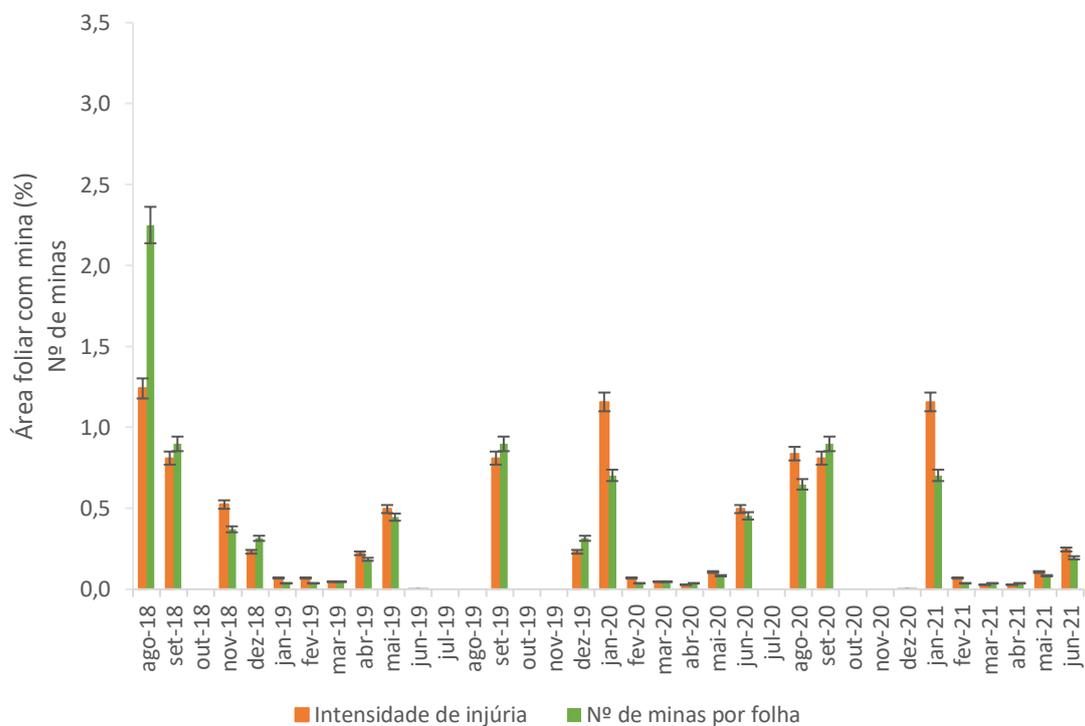


Figura 39. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Paraíso.

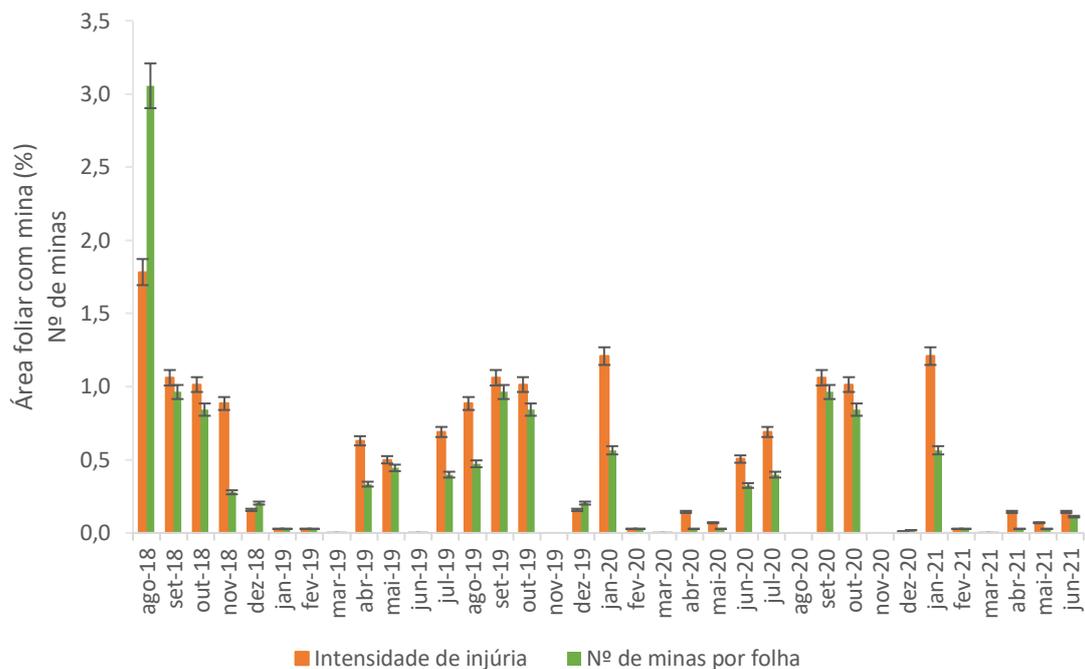


Figura 40. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Pau Brasil.

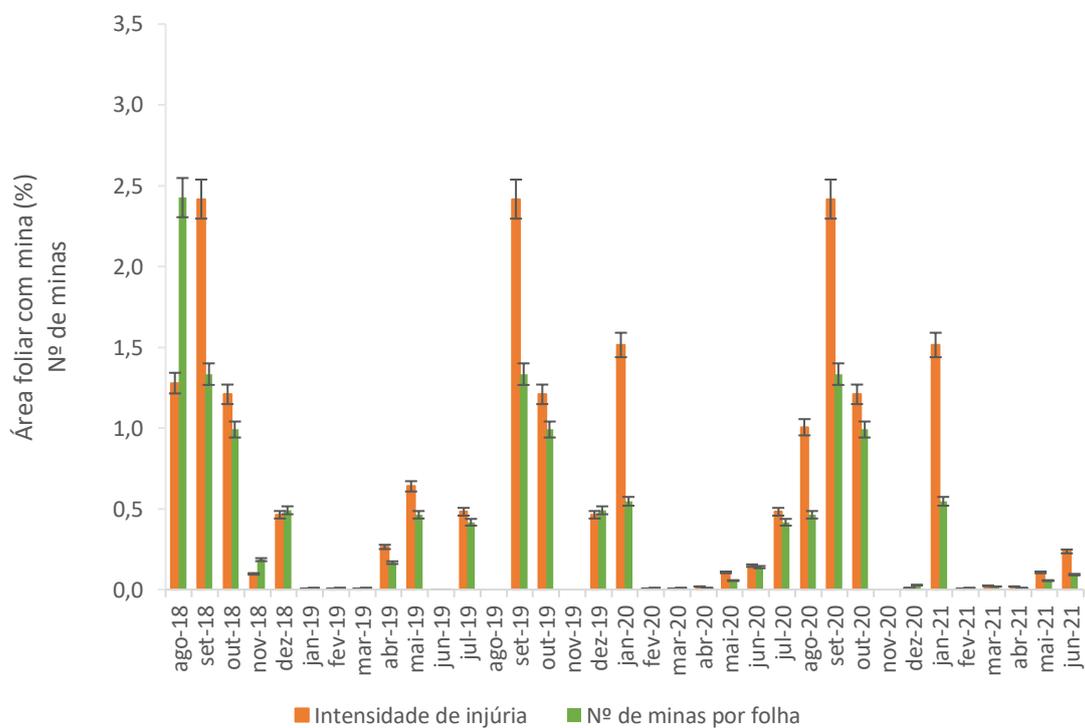


Figura 41. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Acauã.

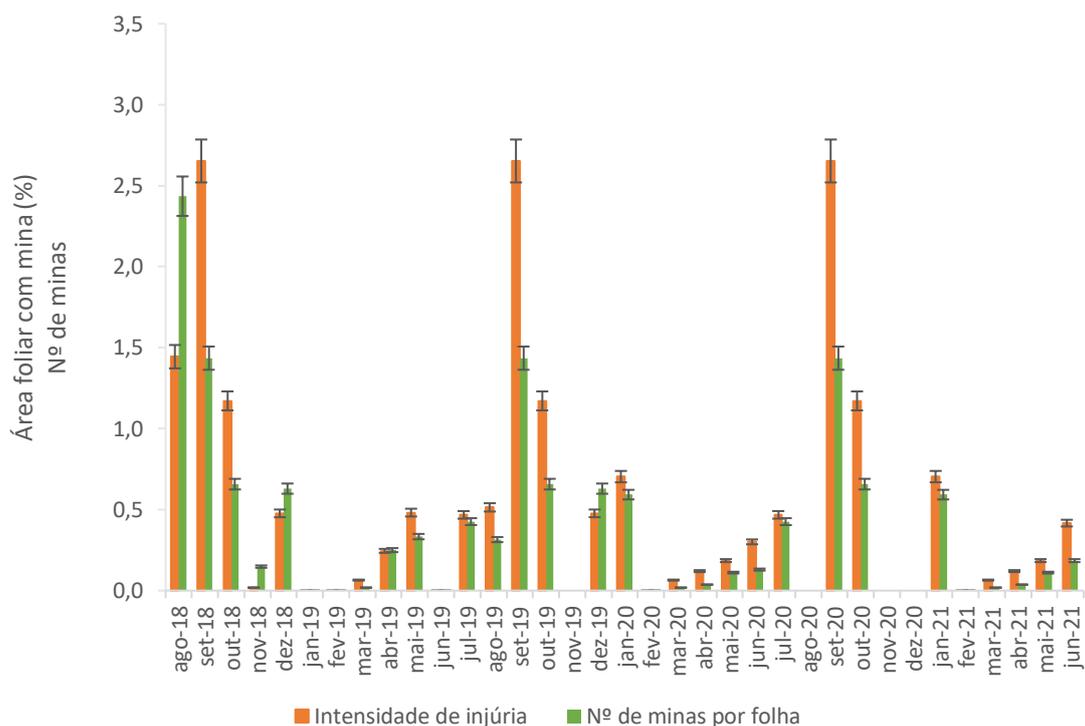


Figura 42 Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Acauã Novo.

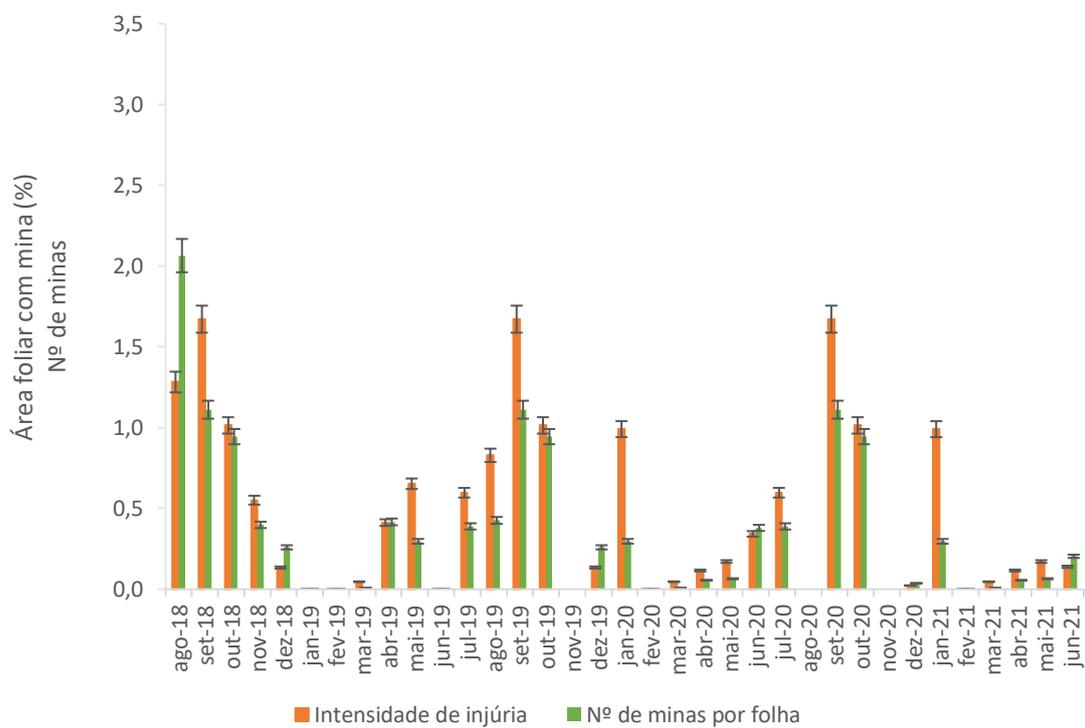


Figura 43. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Arara.

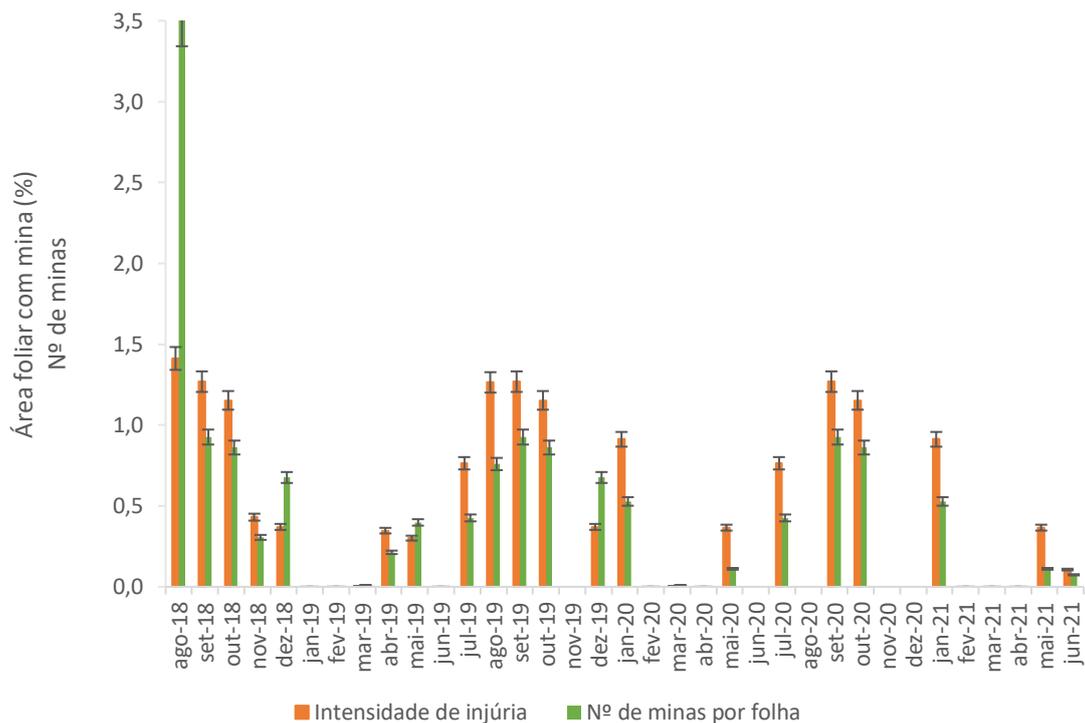


Figura 44. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Asa Branca.

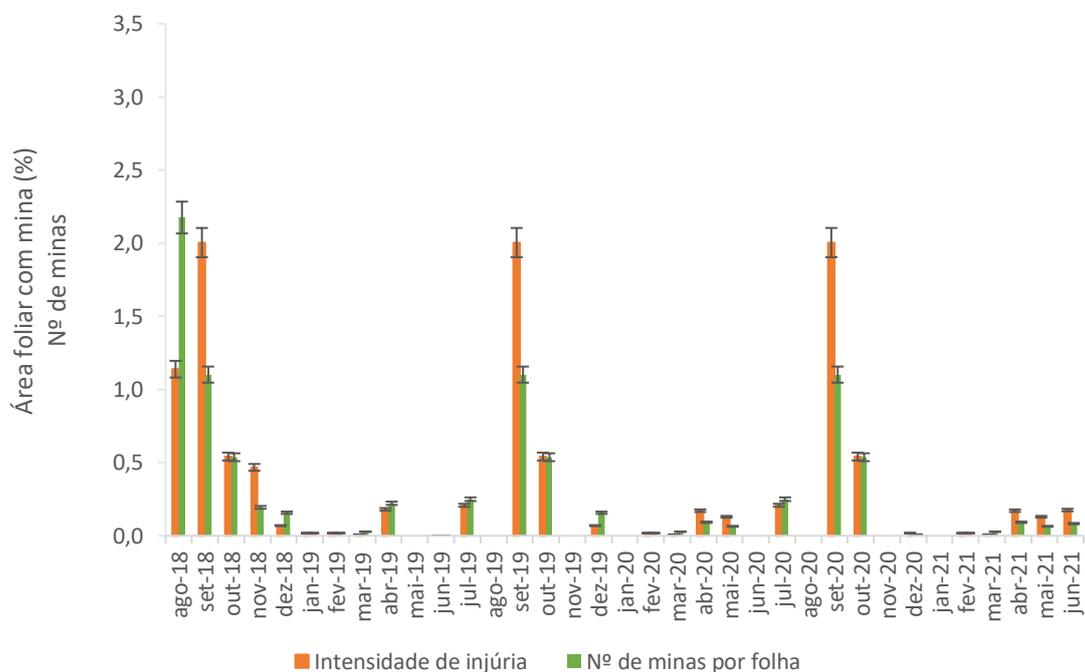


Figura 45. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro no Clone 224.

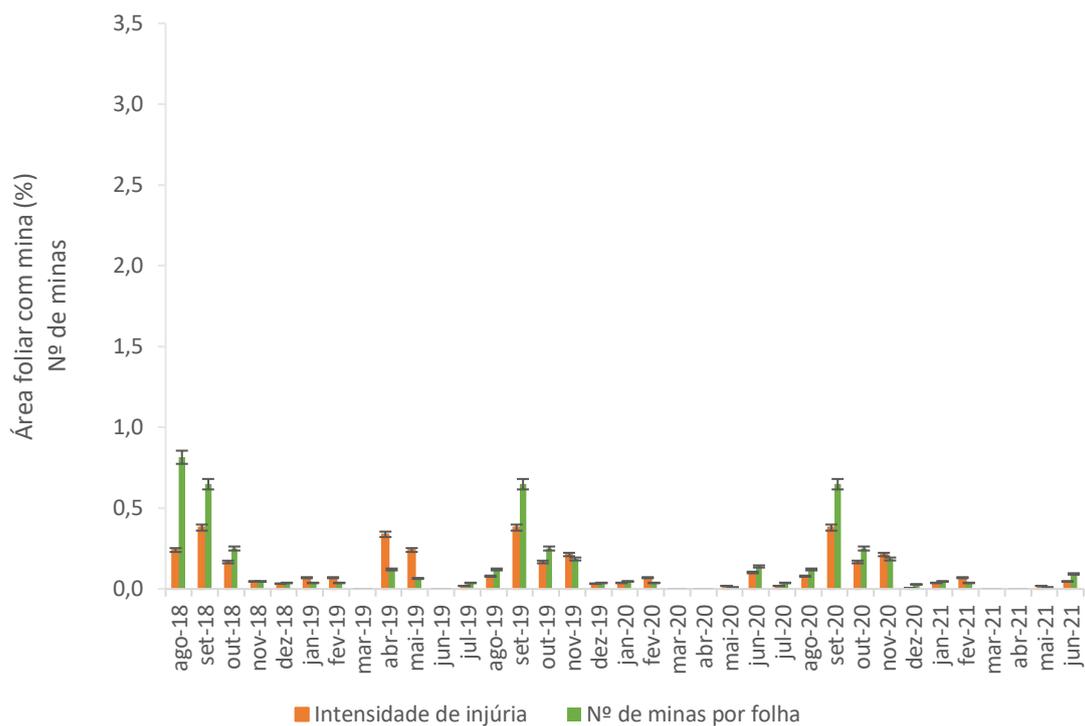


Figura 46. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro no Clone 312.

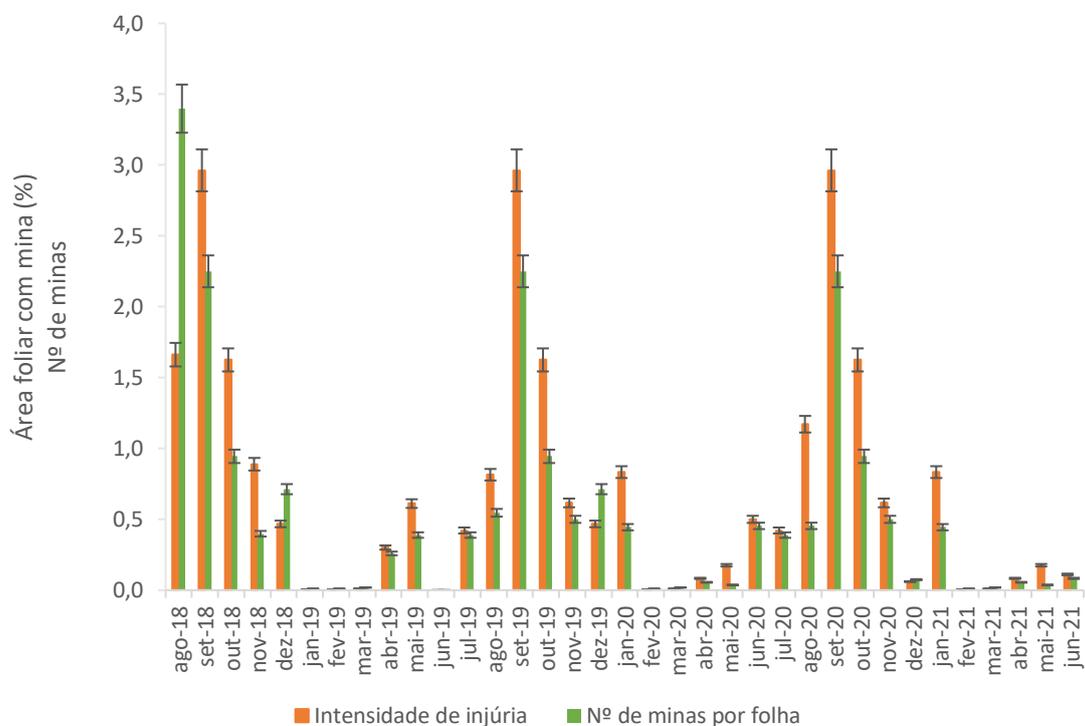


Figura 47. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Guará.

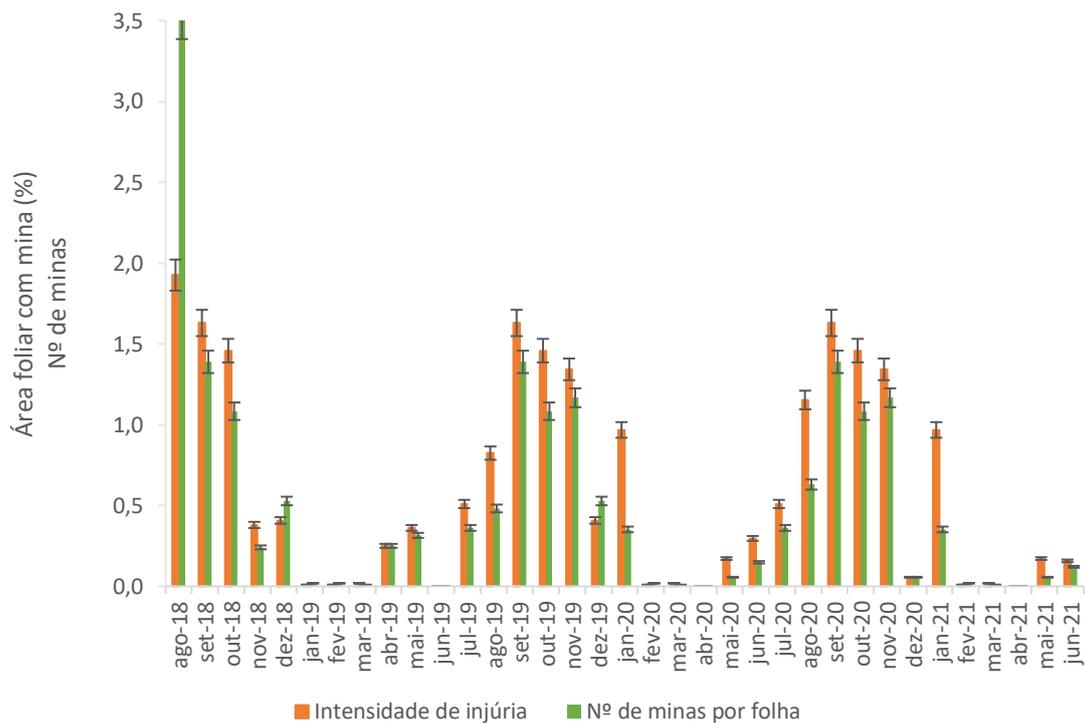


Figura 48. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Saíra II.

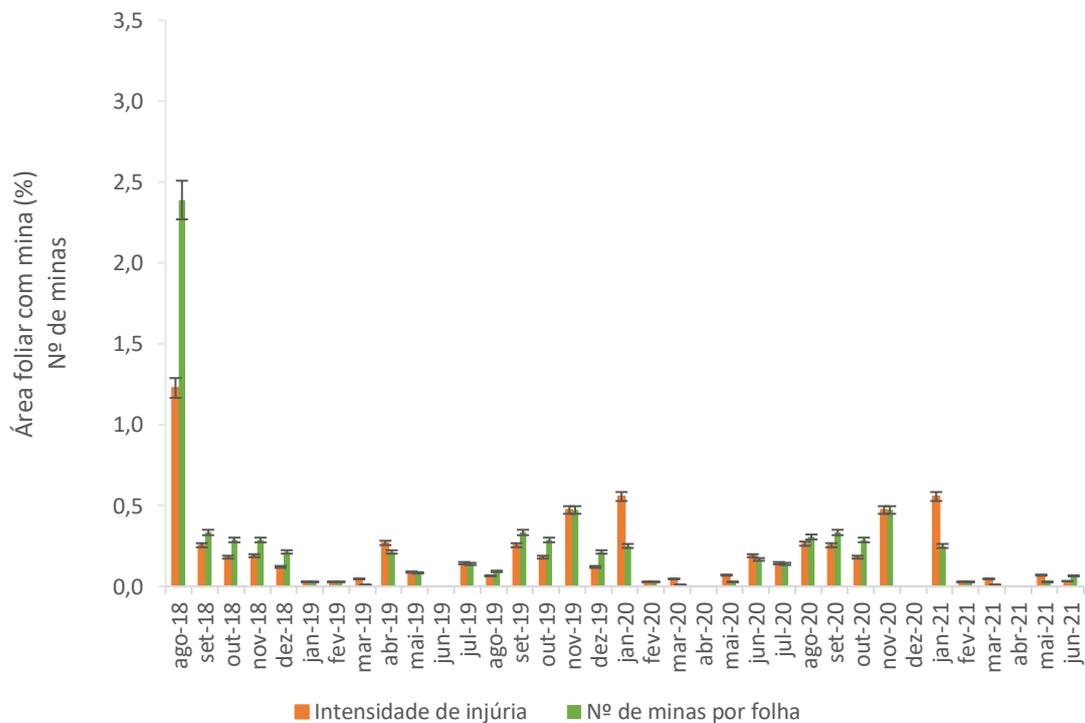


Figura 49. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Siriema.

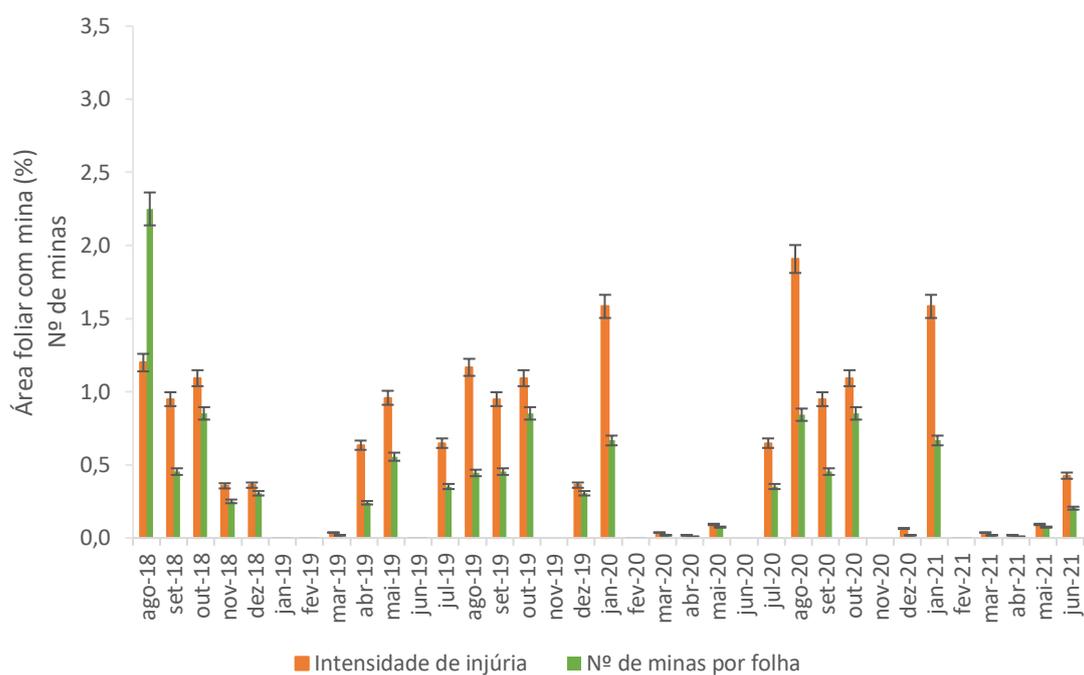


Figura 50. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Catucaí Amarelo 2 SL.

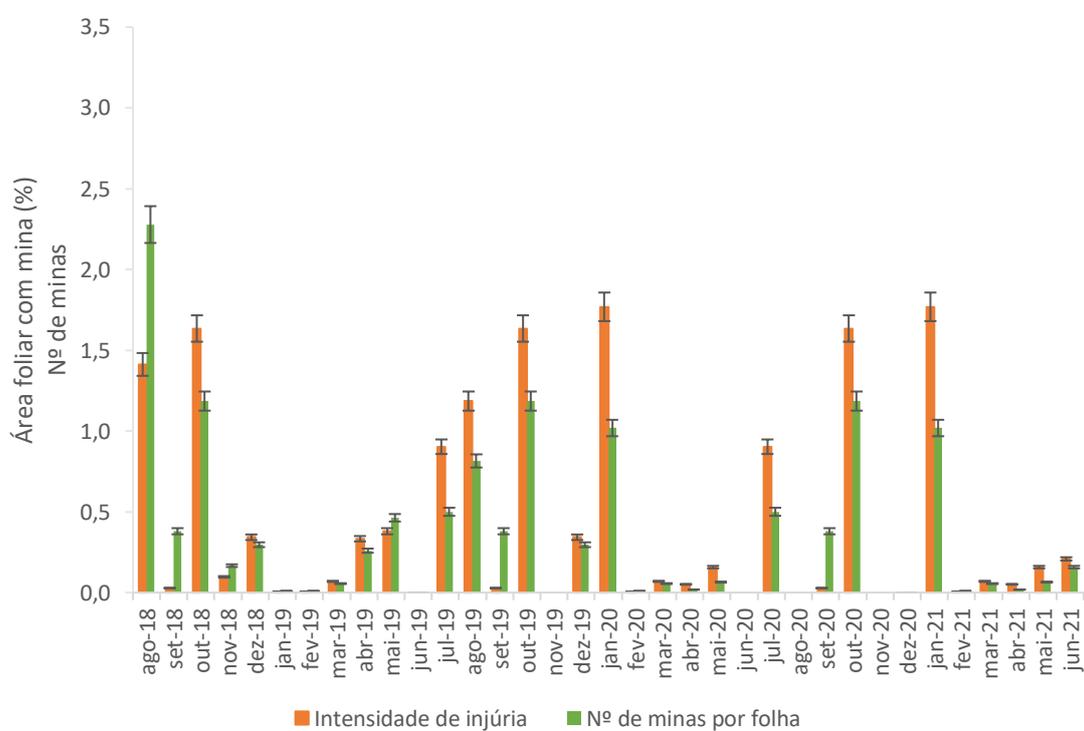


Figura 51. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. IAPAR 59.

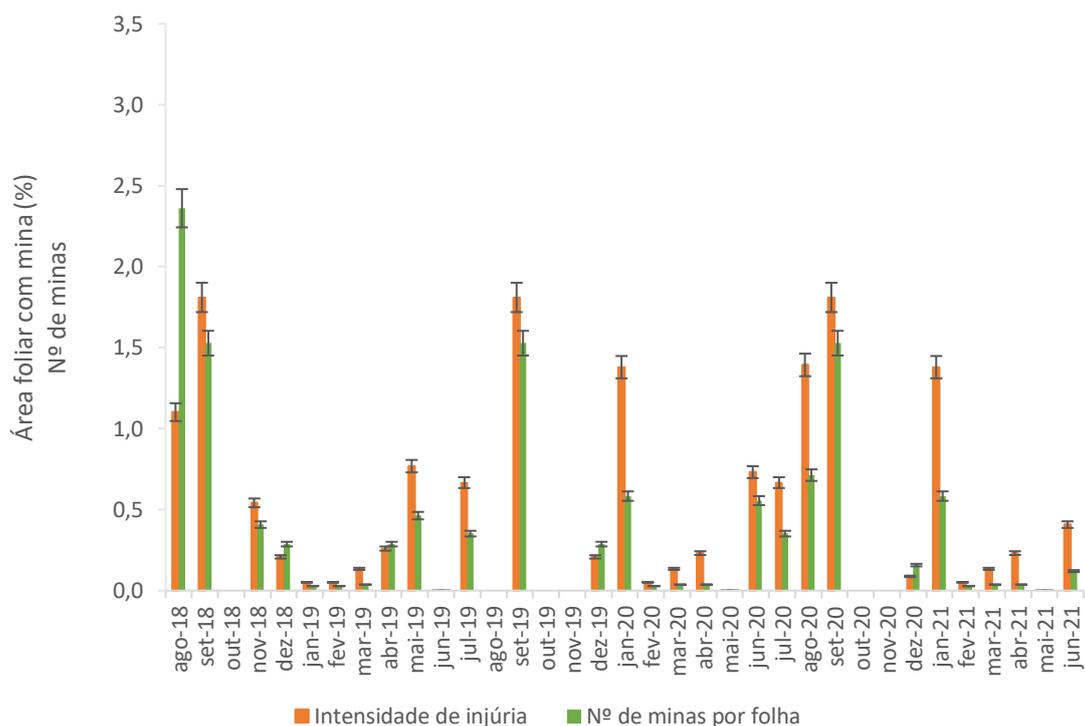


Figura 52. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. IPR 100.

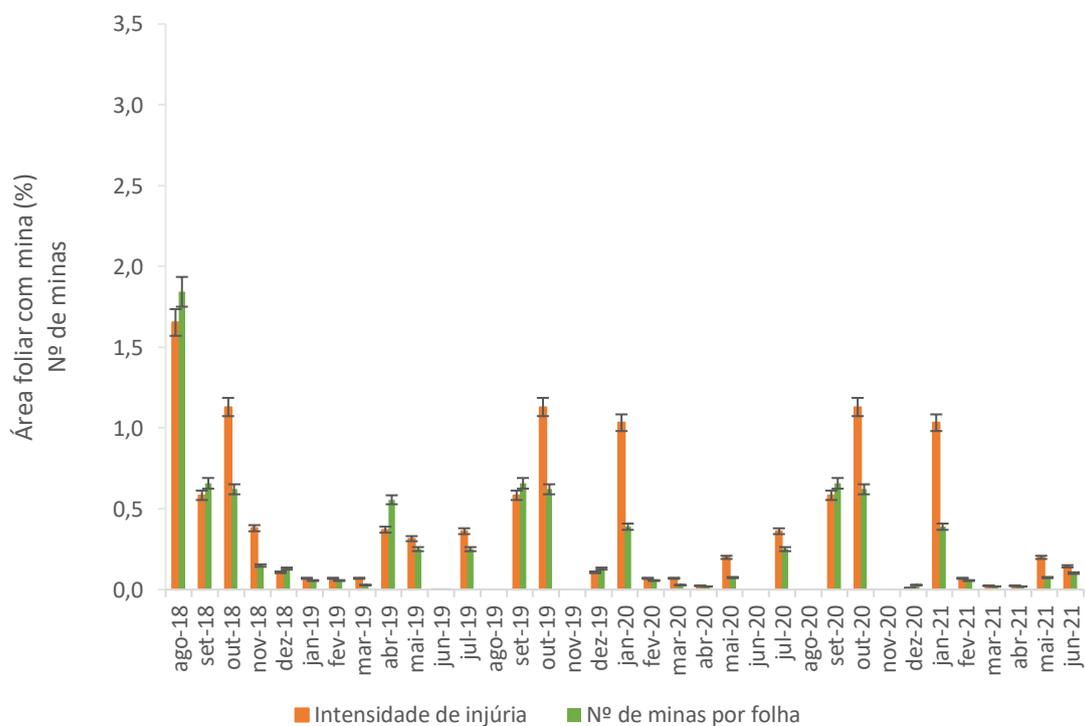


Figura 53. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. IPR 102.

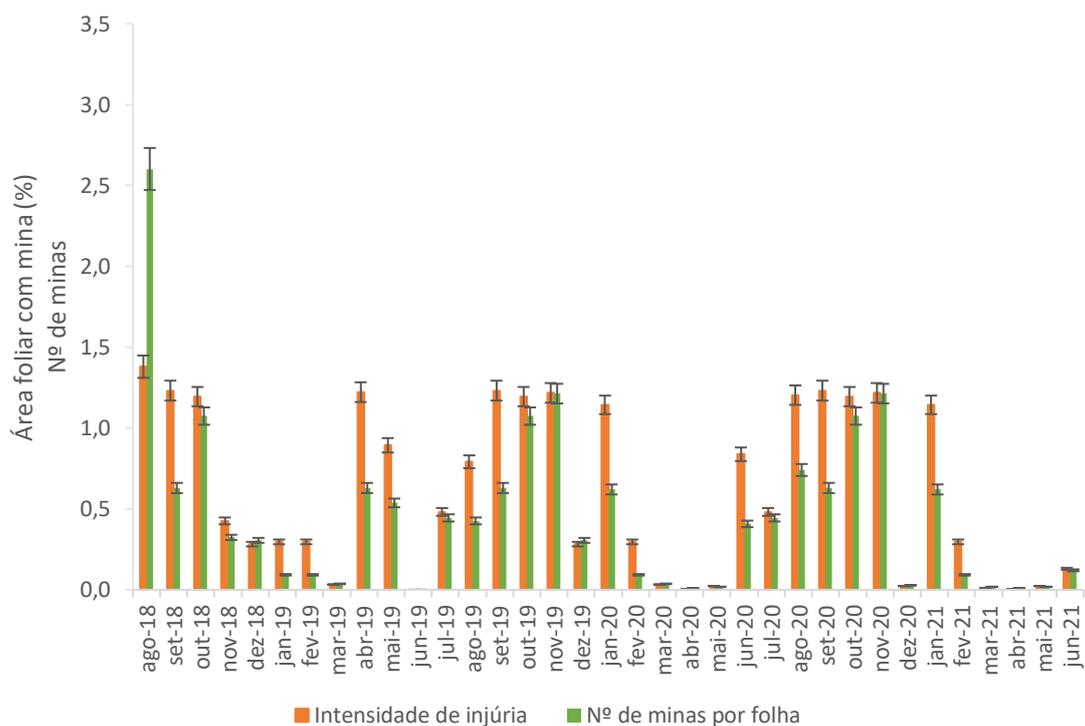


Figura 54. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. IPR 103.

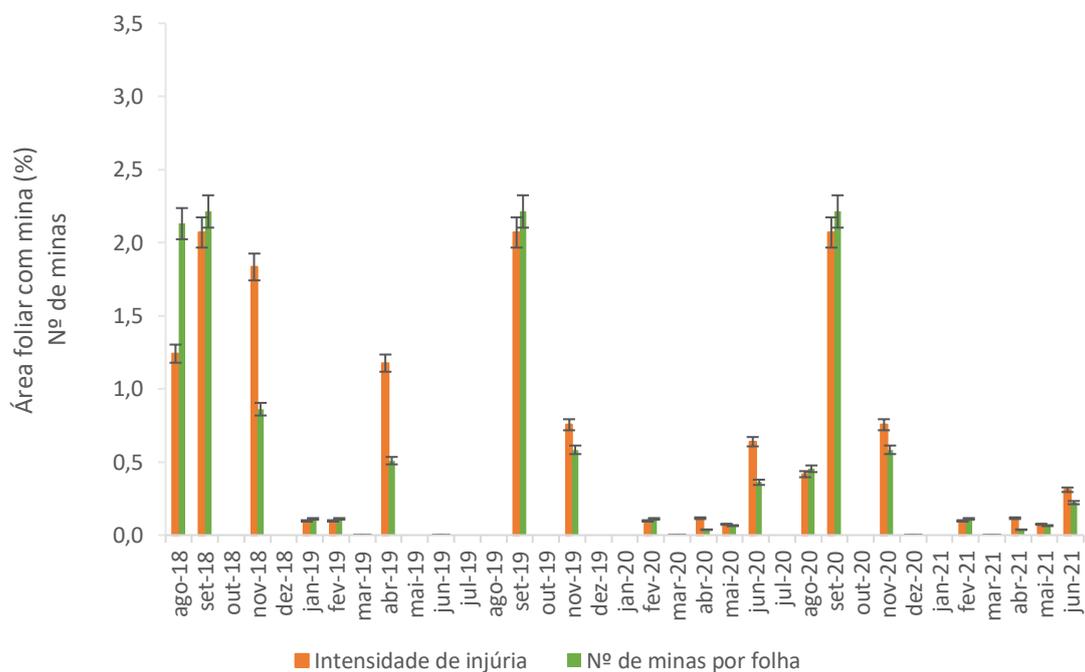


Figura 55. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Catuaí Amarelo IAC 62.

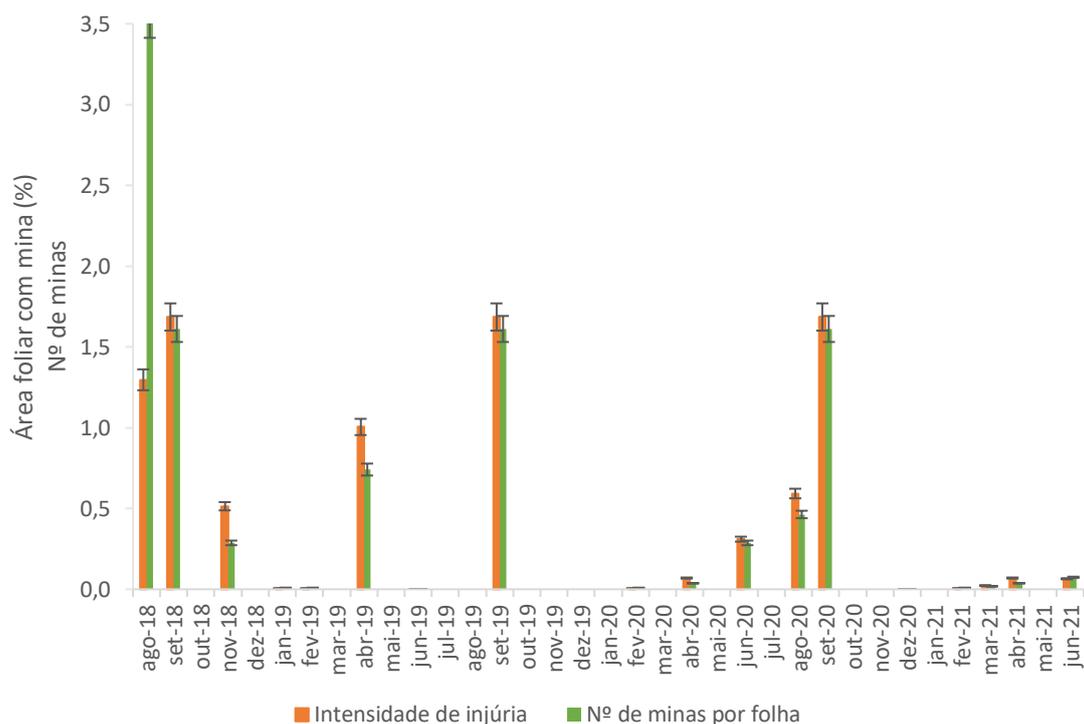


Figura 56. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Catuaí Vermelho IAC 99.

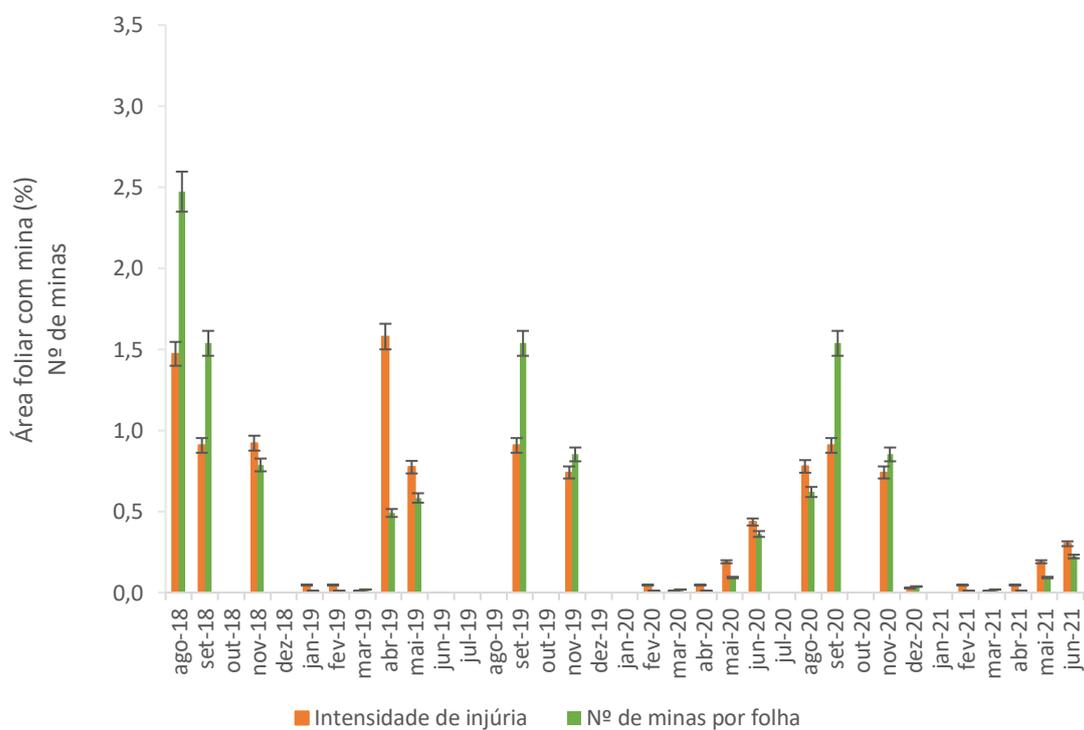


Figura 57. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Catuaí Vermelho IAC 144.

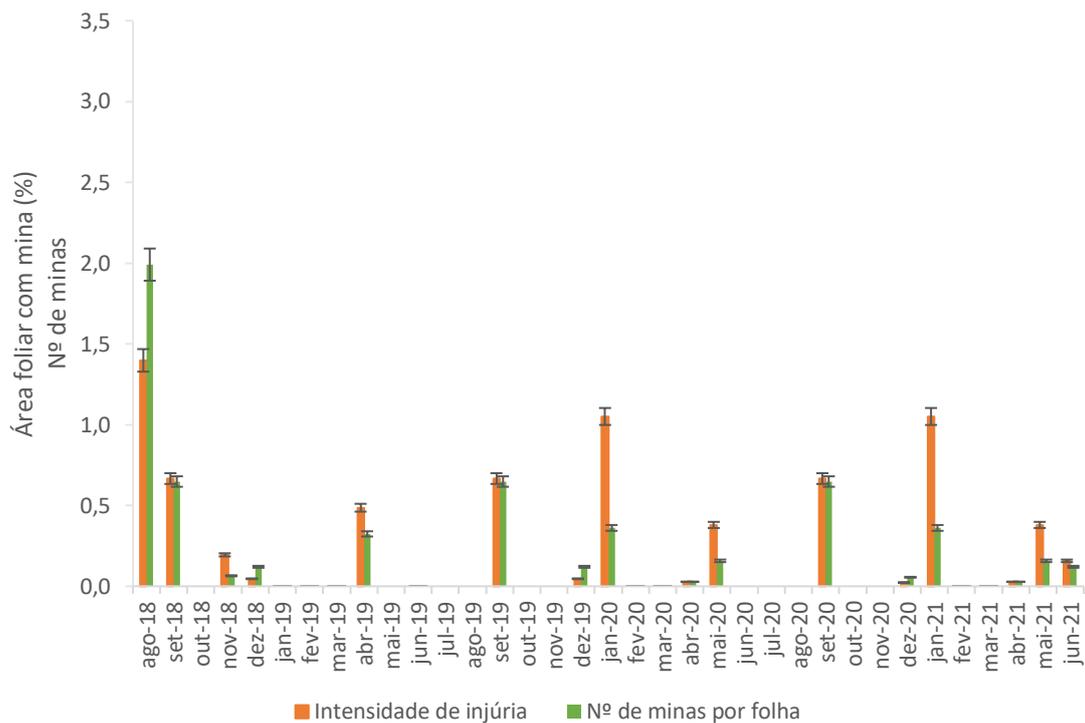


Figura 58. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Rubi MG-1192.

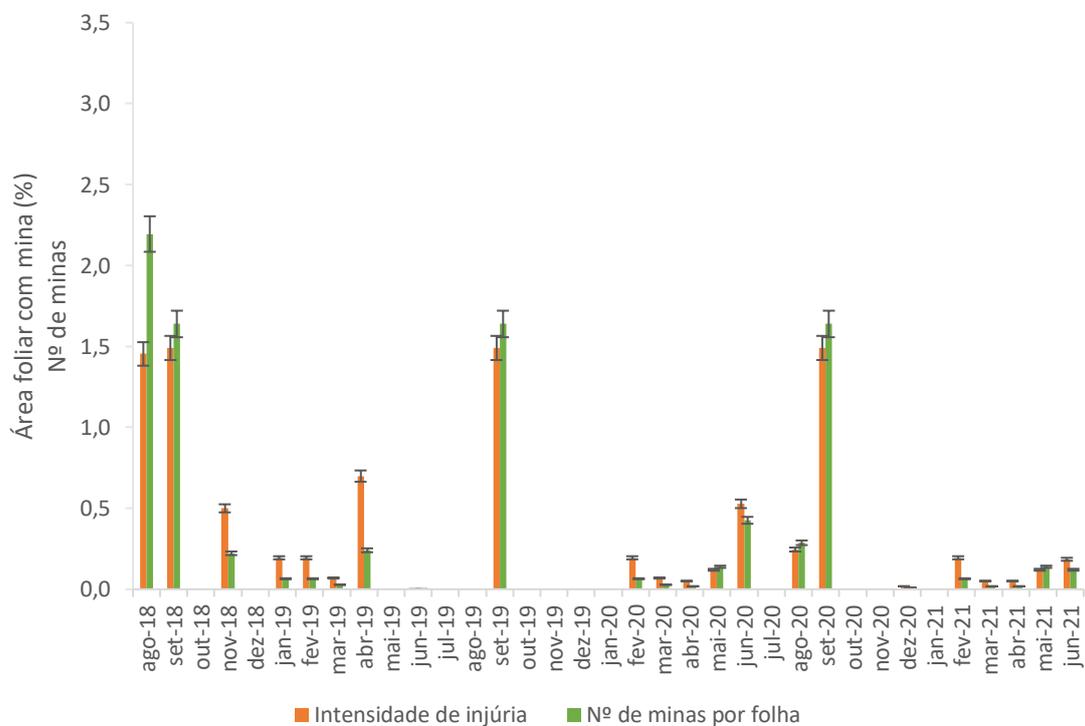


Figura 59. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Topázio MG 1190.

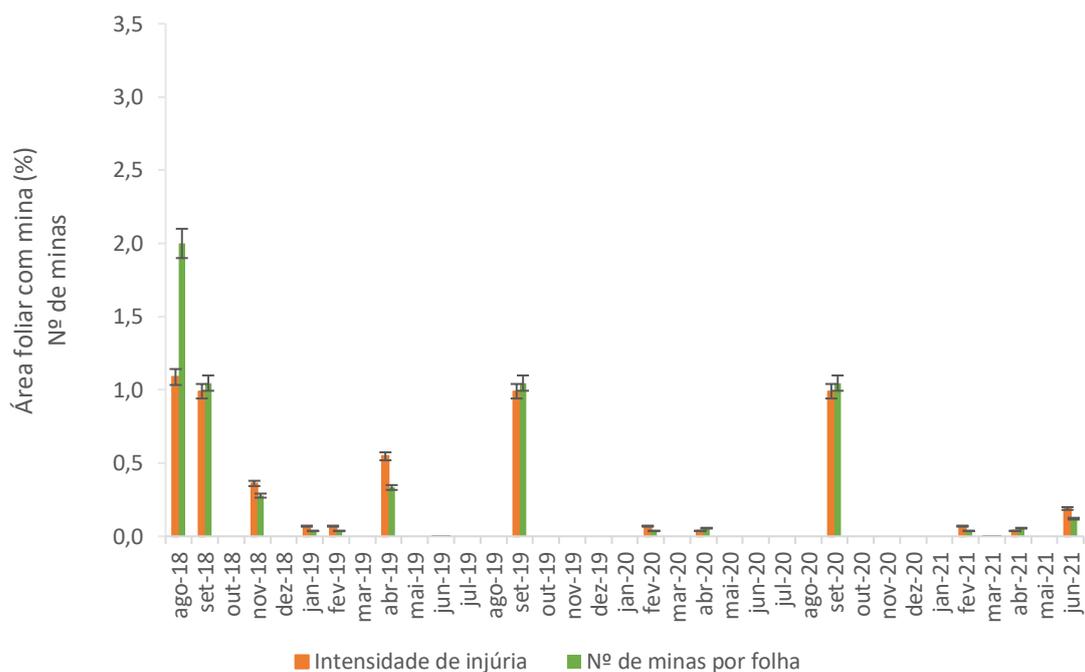


Figura 60. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Travessia.

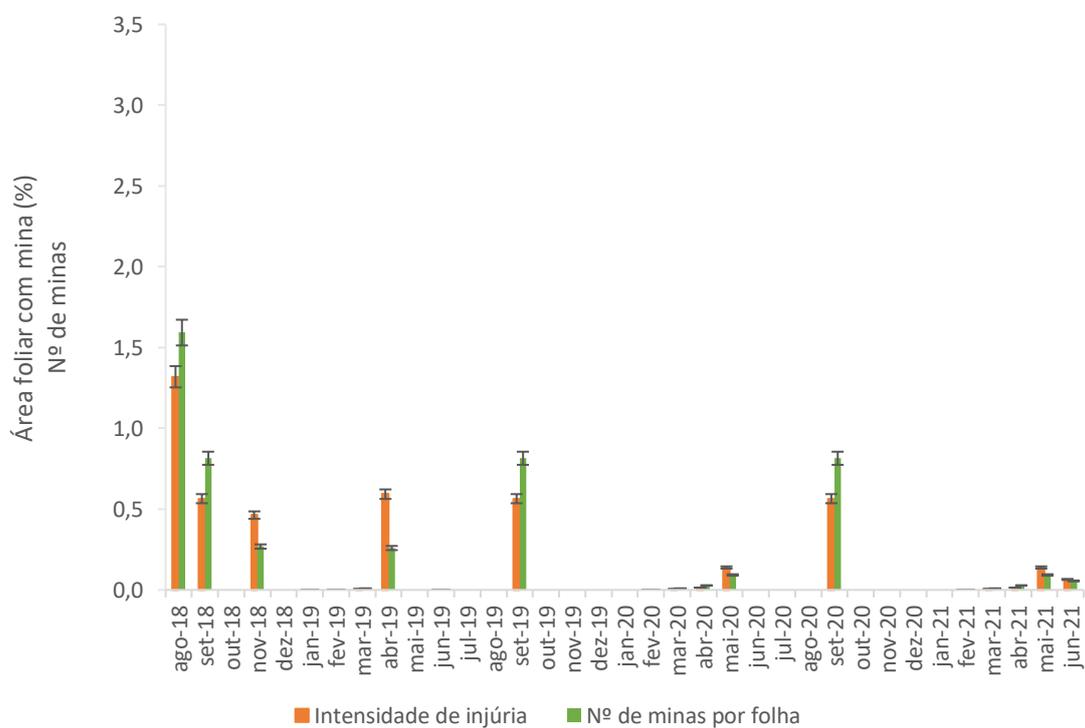


Figura 61. Intensidade de injúria e número de minas por folha em função do ataque do bicho-mineiro na cv. Mundo Novo IAC 379-19.

A partir dos dados de infestação do bicho-mineiro nas cultivares durante todo o período avaliado, realizou-se análise de componentes principais (PCA) com o objetivo de separar ou agrupar os meses de avaliação independentemente da cultivar de acordo com a incidência, o número de minas e a severidade. Pelo gráfico da PCA, o componente principal 1 contribuiu com 90,6% da variabilidade dos dados e explicação da distribuição dos meses nos quadrantes em relação às variáveis avaliadas (Figura 62).

Os meses de setembro e outubro ficaram agrupados no primeiro quadrante, à direita e superior do gráfico, apresentando altas infestações e intensidade de injúria, enquanto os meses de fevereiro e março ficaram agrupados no terceiro quadrante, do lado esquerdo e inferior, com os menores valores de infestação e intensidade de injúria. Os meses de janeiro, julho e novembro apresentaram valores intermediários de infestação e foram agrupados na parte central do gráfico (Figura 62).

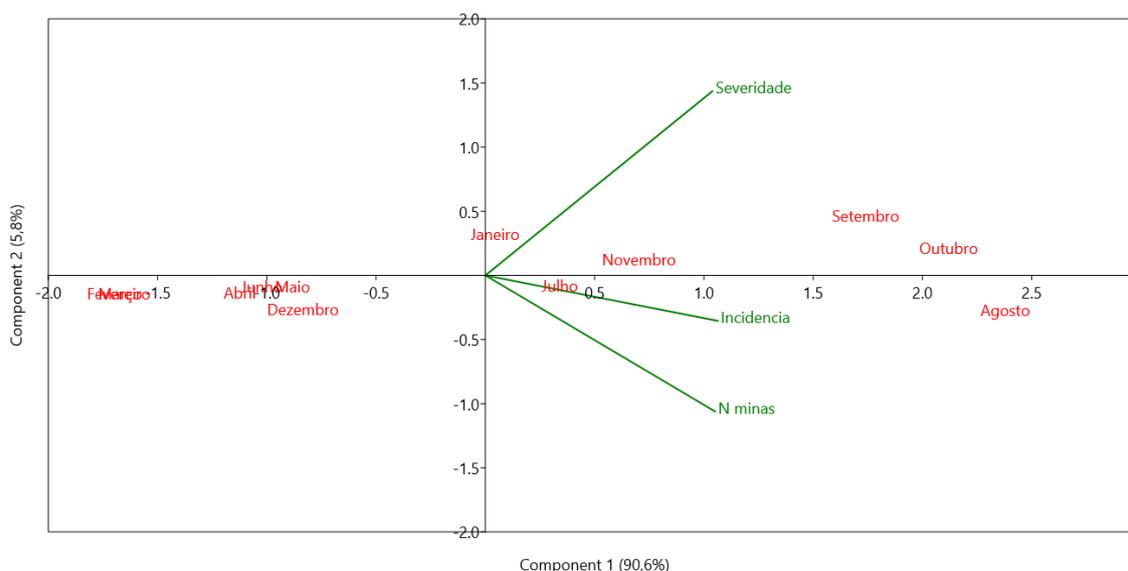


Figura 62. Análise de componentes principais (PCA) dos meses de avaliação em função da porcentagem de folhas com infestação de *L. coffeella*, severidade e número de minas.

Para a PCA realizada para separar ou agrupar por similaridade as cultivares de acordo com a incidência, número de minas e severidade do bicho-mineiro, verificou-se que o componente principal 1 explicou 92,6% da variabilidade dos dados e distribuição dos materiais nos quadrantes em função dos parâmetros avaliados (Figura 63). O Clone 312 e a cv. Siriema ficaram isolados no lado esquerdo do gráfico, apresentando baixas infestações e intensidade de injúria. O Clone 224 ficou alocado no mesmo terceiro

quadrante que essas duas cultivares, porém, com posição intermediária devido aos maiores valores em relação ao Clone 312 e cv. Siriema.

As cultivares Araponga, IAPAR 59, Catiguá MG-2 Saíra II, Acauã e Arara ficaram distribuídas à direita e parte intermediária do gráfico, apresentando maiores valores de infestação e intensidade de injúria. As demais cultivares ficaram alocadas na parte central do gráfico da PCA e distribuídas entre os quatro quadrantes (Figura 63).

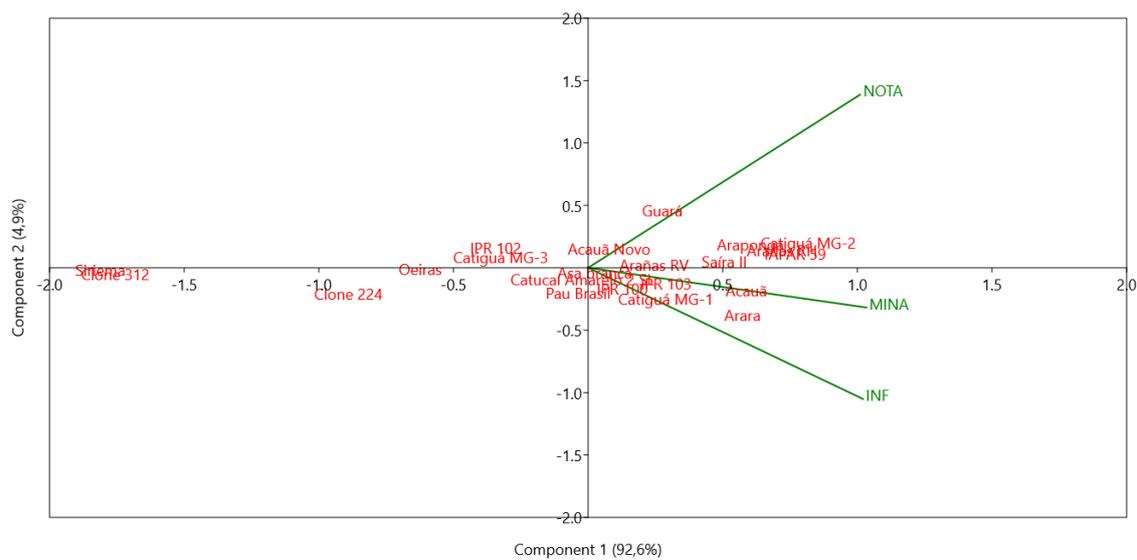


Figura 63. Análise de componentes principais (PCA) dos 30 genótipos em função da porcentagem de folhas com infestação de *L. coffeella*, nota de injúria e número de minas.

Dos 30 genótipos avaliados, foram obtidos dados de repetições suficientes para analisar por ANOVA 20 cultivares e 2 clones, devido à alta desfolha por incidência de ferrugem e bicho-mineiro em algumas cultivares. As análises foram realizadas para a média das infestações obtidas no mês de outubro nas três safras agrícola, por se tratar do mês de maior pico populacional da praga durante as avaliações realizadas.

Para a porcentagem de folhas minadas, houve diferenças significativas entre as cultivares (Wald $X^2=39,63$; $P=0,0083$) e terços das plantas (Wald $X^2=136,24$; $P<0,0001$). A cultivar Siriema e Clone 312 apresentaram as menores incidências de folhas minadas, de modo que as infestações ficaram abaixo do nível de controle de 20%, diferindo dos demais genótipos (Figura 64). O terço superior das plantas foi $>2,5x$ infestado que o terço médio, com índices de 60 e 22,9%, respectivamente (Figura 66).

Para as notas de injúria, houve diferenças significativas apenas para terço das plantas (Wald $X^2=76,00$; $P<0,0001$). O terço superior apresentou nota média de injúria de 1,73 e o terço médio, nota de injúria de 0,48 (Figura 66).

Para o número médio de minas/folha, houve diferenças significativas entre cultivares (Wald $X^2=702,22$; $P<0,0001$) e terços das plantas (Wald $X^2=2745,5$; $P<0,0001$). A cultivar Siriema (0,29) e o Clone 312 (0,25) apresentaram menores números de minas/folha, diferindo dos demais genótipos, que apresentaram de 0,54 a 1,36 minas/folha (Figura 65). O terço superior das plantas apresentou número médio de 1,36 minas/folha e o terço médio, 0,33 minas/folha, isto é, uma diferença de 4x (Figura 66).

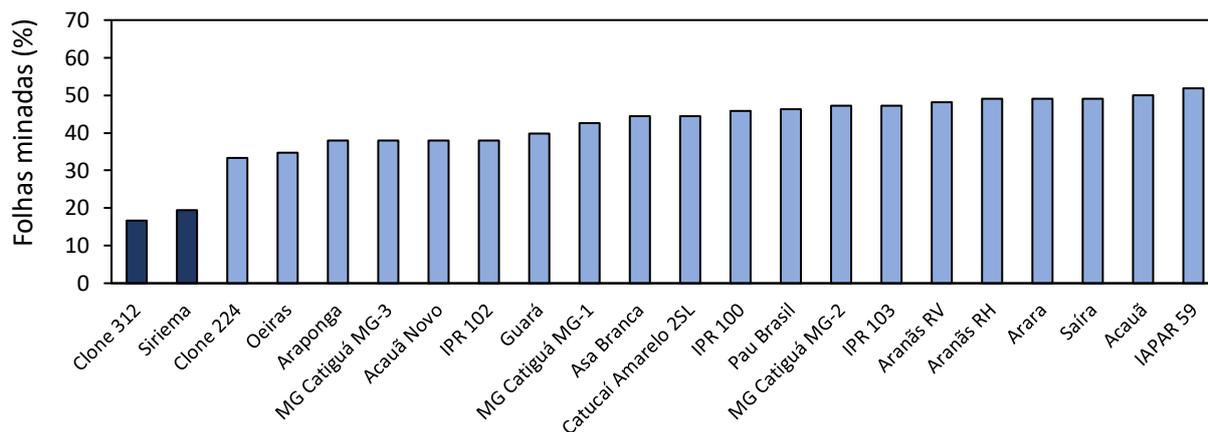


Figura 64. Incidência (%) do bicho-mineiro em genótipos de *Coffea arabica*. Barras com cores diferentes indicam diferenças significativas.

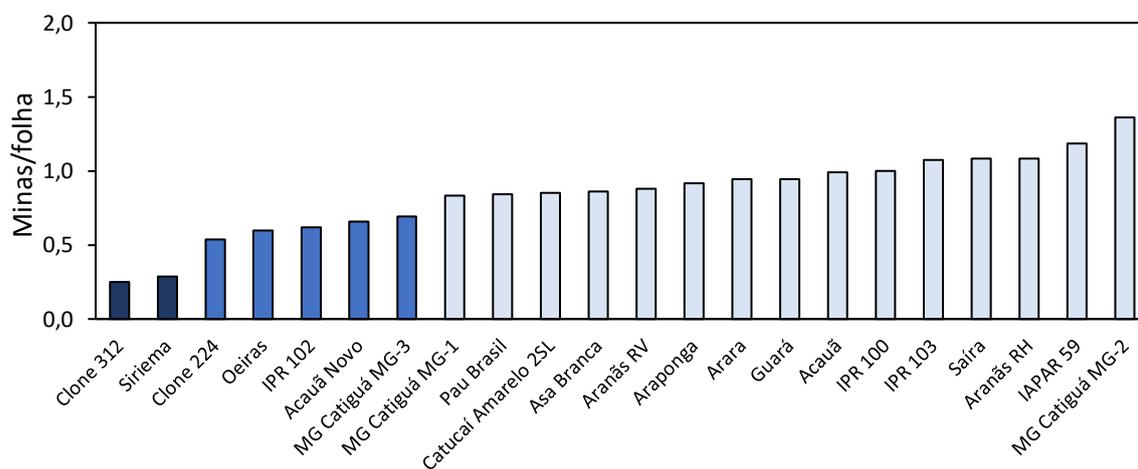


Figura 65. Número de minas/folha em genótipo de *Coffea arabica*. Barras com cores diferentes indicam diferenças significativas.

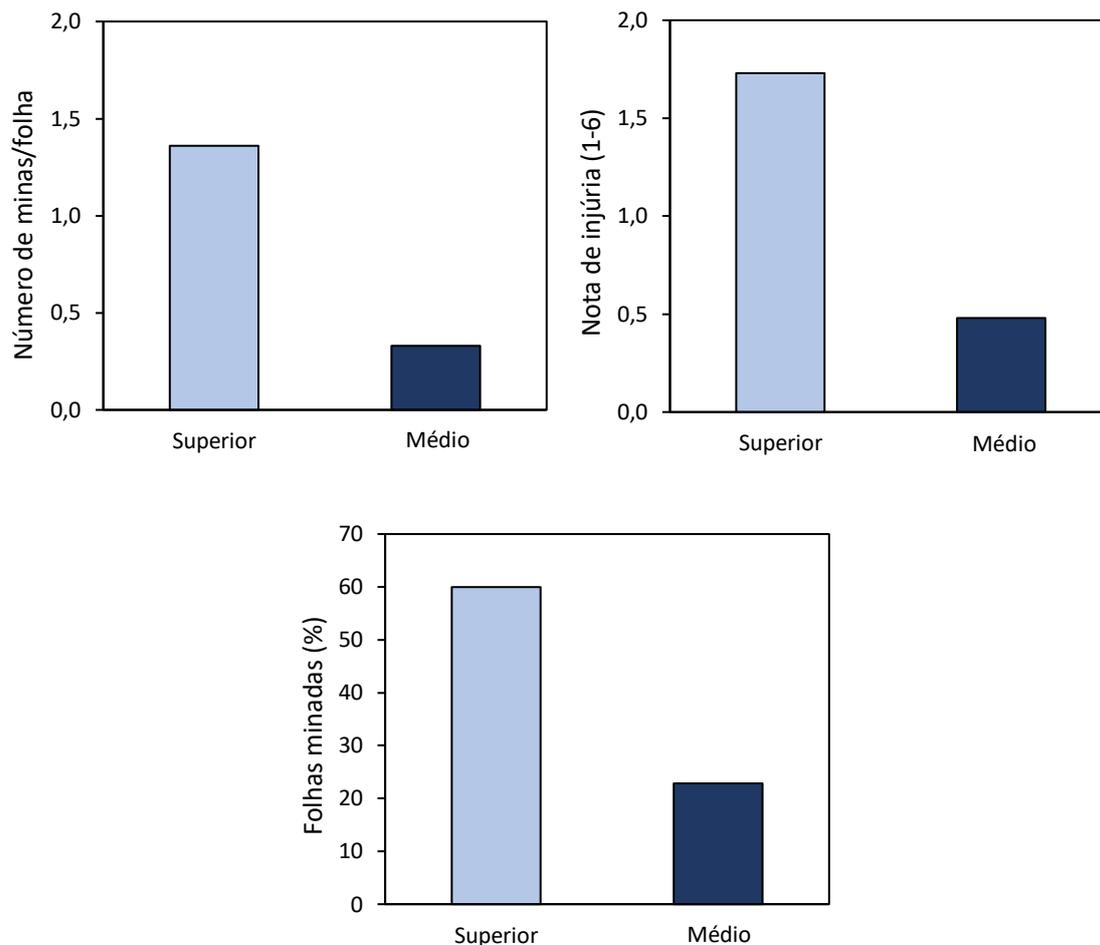


Figura 66. Incidência de *Leucoptera coffeella* em função do terço das plantas de *Coffea arabica*. Barras com cores diferentes indicam diferenças significativas.

A partir da coleta dos dados de intensidade de injúria e de número de minas por folha, nota-se uma relação positiva ($R^2=0,80$) entre essas duas variáveis (Figura 67).

Para a incidência do ataque de *L. coffeella* expresso em porcentagem de folhas minadas, houve uma relação positiva tanto com o número de minas por folha ($R^2= 0,91$) (Figura 68), quanto com a intensidade de injúria ($R^2= 0,80$) (Figura 69).

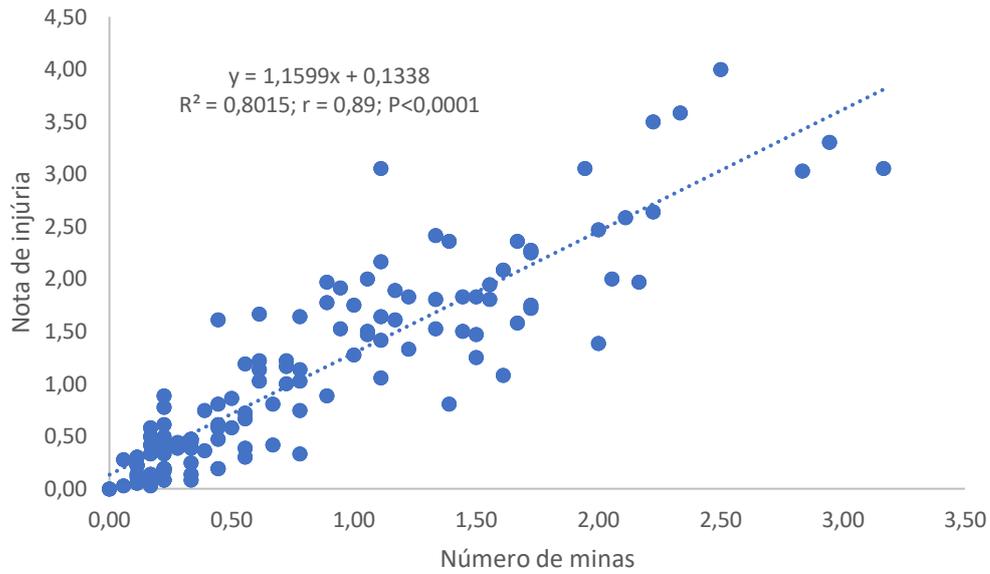


Figura 67. Curva ajustada para a relação entre nota de injúria e número de minas por folha.

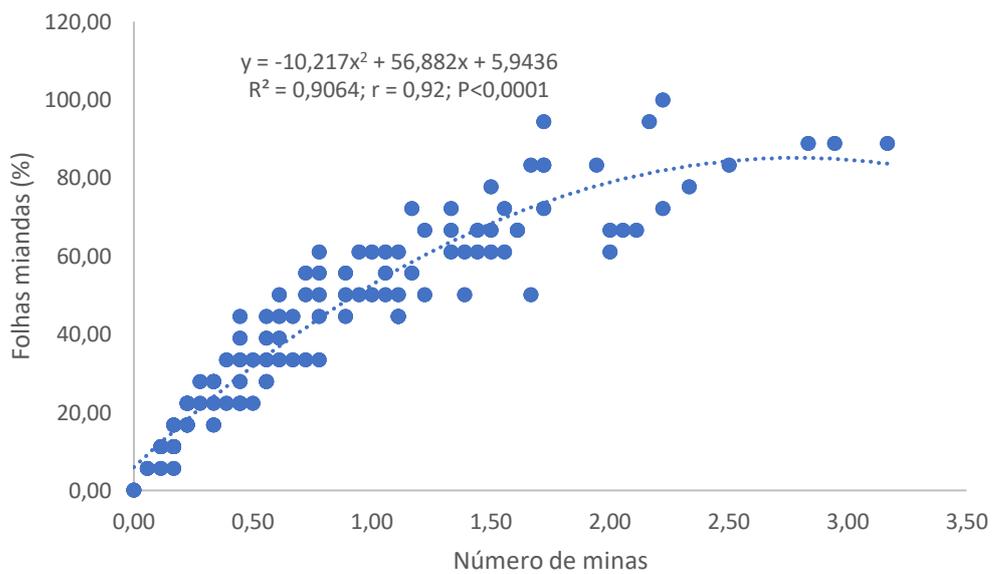


Figura 68. Curva ajustada para a relação entre folhas minadas e número de minas por folha.

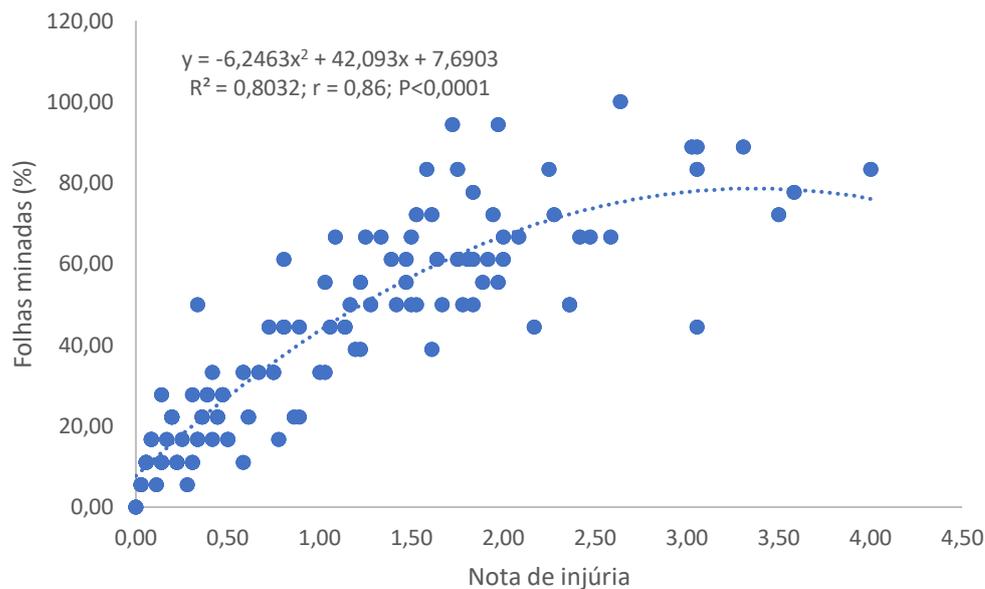


Figura 69. Curva ajustada para a relação entre folhas minadas e notas de injúria.

4 DISCUSSÃO

No presente estudo de campo ocorreram pelo menos dois picos de infestação de *L. coffeella*, sendo um pico moderado nos meses de junho e julho e um pico principal nos meses de setembro e outubro, com tendência à redução após esse período. Observou-se que o aumento na porcentagem de folhas minadas ocorreu durante o período de estiagem, sendo reduzido logo após o início do período chuvoso. Com as informações obtidas e apresentadas nos gráficos de incidência de *L. coffeella* em função dos meses de avaliação e influência dos fatores climáticos, o fator precipitação pluvial afetou a flutuação populacional da praga, onde o número e a intensidade das lesões foram correlacionados negativamente com a precipitação, isto é, foram reduzidos com o aumento das chuvas.

Os resultados indicam que a temperatura até certo ponto apresentou correlação positiva na incidência de *L. coffeella*; à medida que a temperatura aumentou, o número de folhas com lesões também aumentou. No entanto, verificou-se que nos períodos em que a temperatura superou 20°C, as chuvas também aumentaram, assim diminuindo as populações do bicho-mineiro. Esperava-se que a infestação fosse maior sob temperaturas mais altas, porém, os fatores climáticos não atuam isoladamente, ocorrendo interação entre eles. O conhecimento desses efeitos abióticos na dinâmica populacional do bicho-mineiro torna-se de grande importância para a agricultura moderna, uma vez que pode fornecer subsídios para o desenvolvimento de modelos matemáticos embutidos em

tecnologias como softwares e aplicativos que auxiliem na previsão e sistema de alerta de ocorrência da praga acima de níveis críticos para a tomada de decisão do seu controle.

Na cafeicultura do Sul de Minas, a época de maior incidência de *L. coffeella* ocorre entre os meses de setembro e outubro, cujos meses que antecedem são caracterizados por longos períodos de estiagem (SOUZA et al., 2015; SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998). Estudos de flutuação populacional do bicho-mineiro em diferentes regiões produtoras indicam que sua incidência está diretamente correlacionada a fatores climáticos, ao manejo adotado na lavoura e também à cultivar utilizada (CONCEIÇÃO; GUERREIRO-FILHO; GONÇALVES, 2005; SILVA; SOUZA, 2016). Alguns trabalhos mostraram que a chuva tem correlação negativa na incidência da praga, havendo necessidade de um período prolongado de estiagem para que haja aumento significativo no número de folhas minadas (FERNANDES et al., 2009; GERAIS; CAMILLE; LUZ, 2015; PEREIRA et al., 2007b; SOUZA et al., 2014). Segundo Martinat (1987), os fatores climáticos podem afetar a locomoção, orientação e dispersão do inseto, e dessa forma sua população também poderá ser afetada. Além disso, a planta hospedeira e os inimigos naturais também podem ser afetados, o que indiretamente influencia nas populações da praga.

A cultivar Siriema e o Clone 312 mostraram-se altamente resistentes a *L. coffeella*, de modo que as infestações ficaram muito abaixo do nível de controle estipulado em 20% de folhas minadas (SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998) durante os três anos de avaliação, diferindo dos demais genótipos. Esses dois genótipos, cv. Siriema e Clone 312, são híbridos de *C. arabica* x *C. racemosa*. Sabe-se que a espécie *C. racemosa* apresenta características de resistência ao bicho-mineiro, sendo há muito tempo utilizada como fonte dos genes de resistência em programas de melhoramento genético de cafeeiro no Brasil.

Nota-se que nesses dois genótipos resistentes os níveis populacionais de *L. coffeella* foram baixos mesmo nos períodos do ano com condições favoráveis à ocorrência da praga, que aumentou de maneira geral sob maiores temperaturas e baixa precipitação de chuvas nos demais genótipos. Durante a condução do experimento ocorreram mudanças nas condições ambientais, como variações de temperatura, chuvas e estiagens. Segundo Ward e Singh (1980), essas interações da planta com fatores abióticos podem aumentar, bem como reduzir o grau de resistência da planta à praga. As condições ambientais onde a planta se encontra, como temperatura, umidade do solo, chuva, déficit hídrico, intensidade de luz, bem como fatores que envolvem o manejo, como a fertilidade do solo, uso de defensivos e também o ataque de outras pragas e doenças, podem

influenciar os mecanismos de defesa das plantas diante o ataque dos insetos (SMITH, 2005; BOIÇA JÚNIOR et al., 2013; BALDIN; BENTIVENHA, 2019). No presente trabalho, constatou-se que os materiais Siriema e Clone 312, que são híbridos de *C. arabica* x *C. racemosa*, superaram a influência direta das variáveis ambientais. Por ser uma cultura perene e sujeita às intempéries ambientais e de manejo de forma contínua, é fundamental que as mudanças no ambiente não reduzam o grau de resistência ao inseto-praga.

Na literatura há informações da resistência em algumas cultivares comerciais de café arábica ao bicho-mineiro. Porém, são trabalhos realizados com cultivares mais antigas, avaliando um número mais restrito de materiais, e geralmente sob condições controladas de laboratório ou semi-controladas de casa de vegetação. O presente trabalho é um dos raros da literatura que avaliou em condições de campo por safras seguidas a infestação de *L. coffeella* no Sul de Minas Gerais, região que representa cerca de 30% de todo o café produzido no Brasil (CONAB, 2022).

Trabalhos de avaliação da flutuação populacional do bicho-mineiro relacionaram a ocorrência da praga com fatores climáticos em cultivares comerciais em regiões cafeeiras do estado de São Paulo (CONCEIÇÃO, GUERREIRO-FILHO E GONÇALVES, 2005; PARRA et al., 1974), Paraná (GUIMARÃES et al., 1983), Ceará (MACHADO et al., 1977), Pernambuco (DANTAS et al., 1983), Bahia (LIMA et al., 1977), Mato Grosso do Sul (SEIXAS et al., 1980) e Minas Gerais (AVILÉS, 1991; REIS; LIMA; SILVA et al., 2022; SOUZA, 1975; REIS; LIMA; SOUZA, 1976). As informações obtidas nas diferentes regiões cafeeicultoras são fundamentais para o posicionamento no manejo de *L. coffeella*. Porém, com o lançamento de novas cultivares de café com diferentes características como porte, vigor e resistência a doenças e pragas, e a fatores abióticos como estresse hídrico e temperatura, torna-se fundamental atualizar informações como a de flutuação populacional de *L. coffeella* nesses novos materiais e avaliar as respostas dessas cultivares quanto ao ataque do bicho-mineiro.

Trabalhos de campo avaliando a flutuação populacional de bicho-mineiro em cultivares comerciais mostraram maior incidência de *L. coffeella* em materiais com resistência à ferrugem-do-cafeeiro quando comparados ao material suscetível, em função da retenção foliar (CONCEIÇÃO; GUERREIRO FILHO; GONÇALVES, 2005). Verificou-se que o terço superior das plantas de café apresentou os maiores níveis de infestação e maior tamanho de lesões de *L. coffeella*. Segundo Villacorta (1980), o bicho-mineiro prefere atacar folhas do topo das plantas e formar pupas na parte inferior. Isso se

dá em razão da parte superior ser mais arejada e fornecer condições ótimas para o desenvolvimento do inseto. Fidelis et al (2003), verificaram que maiores concentrações de cafeína nas folhas do cafeeiro ocorreram no período de setembro e outubro em folhas do terço superior com e sem infestação da praga, em folhas medianas sem infestação e nas folhas do terço inferior com infestação da praga. Também encontraram maiores concentrações de ácido clorogênico em folhas do terço superior sem e com infestação.

Após sofrerem injúria por herbivoria, as plantas investem em defesas induzidas para aumentar a concentração de compostos tóxicos e provocar efeito negativo no crescimento e reprodução da praga (BARBEHENN et al., 2007). Embora esses compostos do metabolismo secundário das plantas tenham função de defesa química contra herbivoria, alguns trabalhos comprovaram o aumento no teor foliar dessas substâncias nas plantas de café e o aumento significativo na oviposição de *L. coffeella*, sugerindo que a praga está bem adaptada ao café. Magalhães et al. (2008) encontraram correlação positiva entre o aumento do teor de cafeína nas folhas de café e o aumento da oviposição do bicho-mineiro.

Guerreiro Filho e Mazzafera (2000) verificaram aumento na concentração de cafeína em folhas infestadas com larvas de *L. coffeella*. Uma das principais características de *L. coffeella* é seu alto grau de especialização para se alimentar das folhas do café, sendo considerada uma praga especialista. Insetos-praga especializados em plantas hospedeiras usam compostos químicos produzidos pelas plantas como pista para encontrar ou identificar locais de alimentação e oviposição. Esses insetos adaptaram-se ao sistema de defesa das plantas, conseguindo utilizar esses compostos para sua própria defesa contra inimigos naturais e como estimulantes para oviposição e alimentação. Por outro lado, herbívoros generalistas são prejudicados por altas concentrações de substâncias de defesa (MEIJDEN, 1996).

Nesse contexto, Silva et al. (2019) avaliaram diferentes genótipos de feijão-comum para a resistência à mosca-branca (*Bemisia tabaci*), uma praga generalista. As folhas da parte superior do feijoeiro apresentaram maiores números de adultos e ovos de *B. tabaci*, enquanto, que as folhas da parte inferior abrigaram maior número de ninfas. De acordo com a hipótese da preferência e desempenho (Preference-performance hypothesis), as fêmeas devem preferir colocar seus ovos em plantas hospedeiras que aumentem o desempenho e a sobrevivência dos seus descendentes (GRIPENBERG et al., 2010). Segundo Renwick e Chew (1994), insetos polívoros têm maior oportunidade de escolher entre os vários hospedeiros potenciais que ofereçam alimentos de alta qualidade,

enquanto insetos monófagos, como *L. coffeella*, têm opções limitadas de escolha. Assim, no presente trabalho, a preferência de oviposição das fêmeas de *L. coffeella* nas folhas do terço superior das plantas de café pode ser em função dessa região da planta ter um microclima mais adequado à praga e oferecer condições ótimas para o desenvolvimento da prole, uma vez que a praga está bem adaptada à espécie *C. arabica*.

Fonseca et al. (2012) avaliaram o efeito da planta hospedeira na reprodução de *L. coffeella*, sendo oferecidos aos casais folhas de plantas hospedeiras (*C. arabica*) e de não hospedeiras (*Genipa americana* L.). Verificou-se um número extremamente baixo de ovos depositados pelas fêmeas em folhas da planta não hospedeira em teste sem chance de escolha. Além disso, os voláteis emitidos pela planta hospedeira parecem não ser relevantes para localização pelas fêmeas; por outro lado, esses voláteis aumentaram consideravelmente o comportamento de acasalamento de *L. coffeella*, iniciando a cópula mais cedo e com mais sucesso do que casais expostos à planta não hospedeira.

Houve relação positiva entre a porcentagem de folhas minadas e a intensidade de injúria quantificada por meio de uma escala diagramática de notas de severidade elaborada por Vieira Júnior (2011), bem como com o número de minas por folha. A avaliação da severidade da infestação e injúria de insetos com um sistema padronizado, como por exemplo uma escala diagramática, permite comparar os resultados de pesquisa conduzidos em diferentes locais. Além disso, o gradiente de severidade observado entre os genótipos resistentes e suscetíveis pode ser avaliado por meio de escalas de severidade, permitindo classificar as plantas em altamente resistentes, moderadamente resistentes, moderadamente suscetíveis e altamente suscetíveis (DAVIS; NG; WILLIAMS, 1992; NUTTER; SCHULTZ, 1995). Essas informações têm implicações práticas, uma vez que nas amostragens do bicho-mineiro pode-se utilizar com alta confiabilidade ($R^2 > 0,8-0,9$) qualquer um dos parâmetros para avaliação da infestação da praga em campo. No caso da avaliação da resistência, sugere-se o uso complementar das variáveis para confirmar a presença dessa característica nos genótipos de cafeeiro.

5 CONCLUSÕES

- A cultivar Siriema e o Clone 312 apresentam alta resistência ao ataque do bicho-mineiro, com baixas infestações mesmo nos meses de maiores picos populacionais da praga;
- Ocorrem dois picos de infestação do bicho-mineiro, sendo um menor em abril/maio, e outro maior em setembro/outubro nas condições de Lavras, região Sul de Minas Gerais;
- A incidência do bicho-mineiro ocorre durante todos os meses do ano, de modo que as populações aumentam após longos períodos de estiagem, superando o nível de controle na maioria dos genótipos de café arábica;
- A infestação de *L. coffeella* é correlacionada negativamente com a precipitação acumulada e positivamente com a temperatura média até aproximadamente 20°C;
- A intensidade de injúria foliar é positivamente correlacionada com o número de minas por folha.

REFERÊNCIAS

- BALDIN, E. L. L.; BENTIVENHA, J. P. F. Fatores que afetam a expressão da resistência. In: BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D.; LOURENÇÃO, A. L. (Eds.). . **Resistência de Plantas a Insetos - Fundamentos e Aplicações**. Piracicaba: [s.n.]. p. 323–363. 2019.
- BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D.; LOURENÇÃO, A. L. **Resistência de Plantas a Insetos: Fundamentos e Aplicações**. Piracicaba: FEALQ, 2019. 493p.
- BARBEHENN, R. V. et al. Limited impact of elevated levels of polyphenol oxidase on tree-feeding caterpillars: Assessing individual plant defenses with transgenic poplar. **Oecologia**, v. 154, n. 1, p. 129–140, 2007.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L.; SOUZA, B. H. S.; LOPES, G. S.; COSTA, E. N.; MORAES, R. F. O.; EDUARDO, W. I. Atualidades em resistência de plantas a insetos. In: BUSOLI, A. C.; ALENCAR, J. R. D. C. C.; FRAGA, D. F.; SOUZA, L. A.; SOUZA, B. H. S.; GRIGOLLI, J. F. J. (Eds.). **Tópicos em entomologia agrícola – VI**. Jaboticabal: Gráfica Multipress, 2013. p. 207-224.
- CASTELLANI, M. A.; MELO, T. L.; MENEZES, M. A. P. Desafios para o manejo do bicho-mineiro. **Aiba Rural**, Barreiras, n. 5, ano II, p. 40-41, 2016.
- CONCEIÇÃO, C. H. C.; GUERREIRO-FILHO, O.; GONÇALVES, W. Flutuação populacional do bicho-mineiro em cultivares de café arábica resistentes á ferrugem. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 625–631, 2005.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café. 3º Levantamento. Safra 2022.p 1-65, setembro 2022.
- DANTAS, J. et al. A comprehensive review of the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae), with special regard to neotropical impacts, pest management and control. **Preprints**, 1-25. 2020.
- DAVIS, F. M.; NG, S. S.; WILLIAMS, W. P. **Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm** Agricultural and Forest Experiment Station. Mississippi: [s.n.].
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Brasília**, 1999. 412 p.
- FERNANDES, F. L. et al. Effects of Irrigation, Environmental Variability and Predatory Wasp on *Leucoptera coffeella* (Guerin-Meneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), in Coffee Plants. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 410–417, 2009.
- FIDELIS, E. G. et al. Aleloquímicos nas folhas dos cafeeiros influenciando a predação do bicho-mineiro por vespidae. **III Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, n. I, p. 321, 2002.
- FREITAS, M. M. DE et al. Soybean defense induction to *Spodoptera cosmioides*

herbivory is dependent on plant genotype and leaf position. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 85–96, 2018.

GERAIS, S. U. L. D. E. M.; CAMILLE, E.; LUZ, A. Influência do clima na flutuação populacional do bicho-mineiro- do-cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville , 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) NO INFLUENCE OF CLIMATE ON THE FLOATING POPULATION OF THE COFFEE LEAF MINER *Leucoptera coffeella* (G. v. 2015, p. 24–27, 2015.

GIOMO, G. S. **90% das cultivares de café arábica plantadas no Brasil são desenvolvidas pelo IAC.** Revista Cafeicultura, 2015. Disponível em: <<http://revistacafeicultura.com.br/?mat=59994>>.

GOMES, C.; GALDINO, M. **Novas cultivares de café têm produtividade acima de 70%. Compre Rural.** Disponível em: <<https://www.comprerural.com/novas-cultivares-de-cafe-tem-produtividade-acima-de-70/>>.

GRIPENBERG et al., 2010 S. Gripenberg, P.J. Mayhew, M. Parnell, T. Roslin A meta-analysis of preference–performance relationships in phytophagous insects **Ecology Letters**, 13 (3) (2010), pp. 383-393.

GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B.; ESKES, A. B. Expression and mode of inheritance of resistance in coffee to leaf miner *Perileucoptera coffeella*. **Euphytica**, v. 105, n. 1, p. 7–15, 1999.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, AND P. D. National knowledge resource consortium -a national gateway of S&T on-line resources for CSIR and DST laboratories. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos.** 2. ed. São Paulo: Ícone, 1991. 336 p.

LOMELÍ-FLORES, J. R.; BARRERA, J. F.; BERNAL, J. S. Impacts of weather, shade cover and elevation on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) population dynamics and natural enemies. **Crop Protection**, v. 29, n. 9, p. 1039–1048, 2010.

MAGALHÃES, S. T. V. DE et al. Interação entre bicho-mineiro e híbridos de *Coffea arabica* x *Coffea racemosa*, em condições controladas. interaction between the coffee leaf-miner and *Coffea arabica* x *Coffea racemosa* hybrids, in controlled conditions. **Biosci. J**, v. 20, n. 1, p. 9–14, 2004.

MARTINAT, P. J. The role of climatic variation and weather in forest insect outbreaks. **Insect outbreaks**, p. 241–268, 1987.

MEIJDEN, E. VAN DER. Plant defence, an evolutionary dilemma: Contrasting effects of (specialist and generalist) herbivores and natural enemies. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 80, n. 1, p. 307–310, 1996.

MENDONÇA, A. P. et al. *Coffea arabica* clones resistant to coffee leaf miner. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 1, p. 42–47, 2016.

NUTTER, F. W.; SCHULTZ, P. M. Improving the accuracy and precision of disease assessments: Selection of methods and use of computer-aided training programs. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 17, n. 2, p. 174–184, 1995.

PEREIRA, E. J. G. et al. Seasonal mortality factors of the coffee leafminer, *Leucoptera coffeella*. **Bulletin of Entomological Research**, v. 97, n. 4, p. 421–432, 2007a.

PEREIRA, E. J. G. et al. Natural mortality factors of *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) on *Coffea arabica*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 17, n. 5, p. 441–455, 2007b.

Renwick, J.A.A. & Chew, F.S. (1994) Oviposition behavior in Lepidoptera. **Annual Review of Entomology**, **39**, 377– 400.

RIGHI, C. A. et al. Influence of rubber trees on leaf-miner damage to coffee plants in an agroforestry system. **Agroforestry Systems** **2013 87:6**, v. 87, n. 6, p. 1351–1362, 5 out. 2013.

SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, S. S.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.108, p.1-7, 2012.

SILVA, R.; SOUZA, J. C. DE. INFLUÊNCIA DO CLIMA NA DENSIDADE POPULACIONAL DO BICHO-MINEIRO DO CAFEEIRO *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville , 1842) (Lepidoptera : Lyonetiidae) NO SUL DE. n. Figura 1, p. 2010–2011, 2016.

SILVA, A. G.; BOIÇA JÚNIOR, A. L.; FARIAS, P. R. S.; SOUZA, B. H. S.; RODRIGUES, N. E. L.; CARBONELL, S. A. M. Common bean resistance expression to whitefly in winter and rainy seasons in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 5, p. 389–397, 2019.

SILVA, R.A. et al. Long-term study in *Leucoptera coffeella* population from southern Minas Gerais, Brasil. **International Journal of Biodiversity**. Lundiana, Vol, 15 (1), 1-6. 2022.

SMITH, C. M. **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer, 2005. 423 p.

SOUZA, J. C. DE et al. Seca induz ocorrência atípica de bicho-mineiro na cafeicultura do Sul de Minas. **EPAMIG. Circular Técnica**. Belo Horizonte, Brasil, 2015.

SOUZA, J. C. DE; REIS, P. R.; RIGITANO, R. LUÍS DE O. Bicho-mineiro do cafeeiro: biologia, danos e manejo integrado. **Boletim Técnico EPAMIG**. Belo Horizonte EPAMIG, 1998.

SOUZA, T. P. et al. Ocorrência sazonal, predação e parasitismo de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em cafeeiros associados a

grevíleas. **Coffee Science**, v. 9, n. 1, p. 34–50, 2014.

STAT SOFT. **STATISTICA (data analysis software system)**, 2011. Disponível em: <www.statsoft.com>

VIEIRA JÚNIOR, J. R. et al. **Elaboração de escala diagramática de severidade para o bicho-mineiro do cafeeiro**. Porto Velho, RO: [s.n.].

VILLACORTA, A. Alguns fatores que afetam a população estacional de *Perileuoptera coffeella* Guérin-Méneville 1842 (Lepidoptera: Lyonetiidae) no norte do Paraná. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 9, p. 23–32, 1980.

WARD, M. T.; SINGH, S. R. Environmental factor influencing the magnitude and expression of resistance. In: MAXWELL, F. G.; JENNINGS, P. R. (Eds.). . **Breedings plants resistant to insects**. New York: [s.n.]. p. 87–113.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de cultivares resistentes a *L. coffeella* poderá ser uma medida econômica e segura do ponto de vista ambiental para o controle do bicho-mineiro. A diversificação de cultivares pode reduzir a pressão de infestação, principalmente em regiões que sofrem maiores ataques do bicho-mineiro, e com consequente redução de aplicação de inseticidas. No entanto, o desenvolvimento e o uso de novas cultivares resistentes a *L. coffeella* devem ser investigadas quanto ao desempenho agrônomico na região onde se deseja plantar, principalmente quanto à produtividade.