



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA**

**BICHO-MINEIRO X PARASITISMO: DINÂMICA**  
**ESPAÇO-TEMPORAL, DIVERSIDADE DE**  
**PARASITOIDES E MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE**  
*Closterocerus coffeellae* (IHERING, 1914)

**MATEUS PEREIRA DOS SANTOS**

**VITÓRIA DA CONQUISTA**  
**BAHIA – BRASIL**  
**2022**

**MATEUS PEREIRA DOS SANTOS**

**BICHO-MINEIRO X PARASITISMO: DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL,  
DIVERSIDADE DE PARASITÓIDES E MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE  
*Closterocerus coffeellae* (IHERING, 1914)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Castellani

Coorientadora: Dra. Suzany Aguiar Leite

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
2022

C237b

Santos, Mateus Pereira dos.

Bicho-mineiro X parasitismo: dinâmica espaço-temporal, diversidade de parasitoides e morfometria geométrica de *Closterocerus coffeellae* (IHERING, 1914). / Mateus Pereira dos Santos, 2022.

147f.

Orientador (a): Dr<sup>a</sup>. Maria Aparecida Castellani.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2022.

Inclui referência F. 127 – 145.

1. Manejo integrado de pragas. 2. Hymenoptera Parasítica. 3. Geoestatística – Pragas agrícolas – Controle integrado. 4. Morfologia de insetos. I. Castellani, Maria Aparecida. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 632.9

**Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista - BA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA  
BAHIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA**

**Área de Concentração em Fitotecnia**

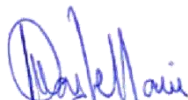
*Campus de Vitória da Conquista, BA*

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**Título:** BICHO-MINEIRO X PARASITOIDES: DIVERSIDADE, DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL E MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE *Closterocerus coffeellae* (IHERING, 1914)

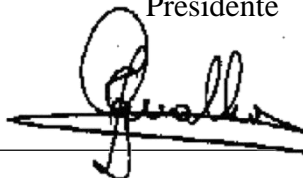
**Autora:** Mateus Pereira dos Santos

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:



---

Maria Aparecida Castellani, D.Sc., UESB  
Presidente



---

Geraldo Andrade Carvalho, D.Sc., UFLA



---

Alberto Soares Correa, D.Sc., ESALQ/USP

Data de realização: 31 de janeiro de 2022.

## DEDICATÓRIA

E se eu tive sede, me deu água, na sombra  
me sentou...Deu-me a vida, pediu nada.

Mãe, Pai e meus irmãos...Obrigado.

Pelo amor que tenho a vocês.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A gratidão deve ser, antes de mais nada, pela saúde, alegria, esperança e, sobretudo, pela fé na vida, por isso, obrigado a quem criou nossa existência.

Agradeço aos mais importantes protagonistas da minha vida, minha mãe Maria, meus irmãos Regina, Rejane, Zenaide, Josy, Gean, Elivan, Cris, Marta e Maria Heloísa, por todo o apoio, amor, admiração, incentivo, pela fé em mim nos momentos mais sombrios e pelos descansos aconchegantes que encontrei nos nossos momentos de união.

Minha gratidão à Professora Maria Aparecida Castellani, pelo apoio incondicional, pela confiança, pela crença em minhas capacidades e pelas grandes oportunidades de crescimento pessoal e profissional durante esse tempo. Serei reconhecidamente e eternamente grato pelas valiosas lições de responsabilidade, ética, compromisso e dedicação, ensinadas não só pelas palavras, mas pelo exemplo.

À Suzany Aguiar Leite, pela parceria estabelecida, por não medir esforços em ajudar com os experimentos, pelas dicas e aconselhamentos, pela amizade e parceria que tivemos desde que eu estava na graduação, ainda aprendendo o que seria fazer ciência e pesquisa. Obrigado, Suzy!

Agradeço à Professora Aldenise Alves Moreira, pelos conselhos, pelos momentos de descontração e pelas conversas agradáveis que tivemos, sempre com muita alegria e bom humor.

Ao Professor Daniell Rodrigo Rodrigues Fernandes do INPA, por ter realizado a identificação das espécies de parasitoides coletados.

A Eloito Caires de Mates, pela disponibilidade e ajuda essencial para a realização dos estudos de morfometria geométrica, pela paciência, pelas contribuições e explicações, o cara da morfometria.

Minha gratidão à Virgiane Amaral, pela ajuda, pelos cafés (que agora nunca mais serão os mesmos depois do curso de degustação), pelas conversas, conselhos, e por todo cuidado a mim dispensado.

Nas palavras de Steve Jobs, “Coisas incríveis no mundo nunca são feitas por uma única pessoa, e sim por uma equipe”, então, agradeço aos integrantes do Laboratório de Entomologia da UESB: Adriano dos Santos, Ana Carolina Plácido, Beatriz Coelho, Beatriz Magalhães, Benício Neto, Daniela Costa, Henrique Juan, Iuri dos Santos, Jaqueline Rocha, Jáslem Silva, Lilian Araújo, Micaela Matos, Tainara Germano e Willian

do Vale, pela ajuda incondicional, pelos momentos de aprendizado e trabalho duro para que tudo pudesse ser realizado. Obrigado, time!

À Professora Raquel Pérez-Maluf, por disponibilizar o LABISA e sua orientada Zilda Cristina Malheiros, pela ajuda no manuseio e aquisição das imagens dos parasitoides.

Aos amigos Hiane, Jirly, Kelliane, Dena e aos mais antigos, desde a época da PJ e JASC que prevaleceram, meus agradecimentos pelas conversas e minhas desculpas pela “amizade ausente”. Vamos nos encontrar em breve!

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB pela estrutura disponibilizada.

Aos Professores, amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, especialmente àqueles que tive mais contato durante nossos estudos sobre o R e os “Geofriends”.

Ao Setor de Transporte da UESB, pelo apoio nas viagens à Chapada Diamantina.

Ao Professor Hugo Andrade e aos gerentes agrícolas: Amenor, Claudimar, Renato e Sinando, pela colaboração nos experimentos.

Minha gratidão a todos que contribuíram indiretamente para o sucesso deste trabalho. Muito obrigado!

*Acho que as coisas  
verdadeiramente naturais  
são os sonhos, os quais a  
natureza não pode tocar  
com decadência.*

Bob Dylan



## RESUMO GERAL

SANTOS, M. P. **BICHO-MINEIRO X PARASITISMO: DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL, DIVERSIDADE DE PARASITOIDES E MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE *Closterocerus coffeellae* (IHERING, 1914)**. Vitória da Conquista, BA, UESB, 2022. 147p. (Dissertação: Mestrado em Agronomia, Área de Concentração: Fitotecnia) \*

Conhecimentos acerca das interações bicho-mineiro x parasitismo podem auxiliar no aperfeiçoamento do manejo dessa praga. Os objetivos deste estudo foram: 1) determinar o tipo de distribuição espaço-temporal das infestações de *Leucoptera coffeella* e do seu parasitismo natural, a relação de dependência de densidade entre infestação e parasitismo, os efeitos dos fatores climáticos e de inseticidas nas relações tritróficas; 2) conhecer a estrutura das comunidades de parasitoides do bicho-mineiro e a influência dos fatores climáticos, irrigação e inseticidas na abundância de parasitoides; e 3) detectar variações no tamanho e forma de asas de *Closterocerus coffeellae*, provenientes de diferentes cafezais (*Coffea arabica* L.) da região do Planalto, Bahia, Brasil. O estudo foi conduzido entre dezembro de 2020 e novembro de 2021. Foram selecionadas duas lavouras em Barra do Choça (com inseticida e sem irrigação), três em Mucugê (com inseticida e com irrigação) e uma em Vitória da Conquista (sem inseticida e irrigação). Instalaram-se quatro malhas de 30 pontos georreferenciados, equidistantes 30 metros, totalizando 360 pontos em cada propriedade. Os pontos consistiram em cinco plantas de café num raio de 5 metros. Mensalmente, foram coletadas folhas minadas para avaliação das taxas de infestação e parasitismo. A distribuição espacial foi analisada por meio de geoestatística. Selecionaram-se 30 fêmeas de *C. coffeellae* para estudo do tamanho e forma das asas através da morfometria geométrica. As taxas de infestação e parasitismo foram variáveis entre os cafezais com maiores valores no período seco e frio do ano. Existe relação de dependência de densidade entre as infestações e parasitismo que varia conforme as condições de irrigação e inseticidas. Os padrões de distribuição espacial das infestações e do parasitismo variaram entre os cafezais. Agregação forte foi encontrada nos cafezais com inseticidas, durante todo o ciclo da cultura. No cafezal sem inseticidas, verificou-se agregação apenas durante o estágio de granação, tanto para as infestações como para o parasitismo. Quanto maior a intensidade de uso de inseticidas, maior é a agregação das infestações e do parasitismo. Relata-se a ocorrência de duas espécies de parasitoides das famílias Braconidae (0,6%) [*Stiropius reticulatus* (0,4%) e *Stiropius* sp. (0,2%)]; e nove de Eulophidae (99,4%) [*C. coffeellae* (48,4%), *Proacrias coffeae* (36,2%), *Neochrysocharis* sp. 01 (2,2%), *Neochrysocharis* sp. 02 (11,1%), *Cirrospilus* sp. (1,3%) *Horismenus* sp. (0,2%) e *Zagrammosoma* sp. (0,04%)], sendo *C. coffeellae* e *P. coffeae* predominantes na região, registrando-se, pela primeira vez na Bahia, *Stiropius reticulatus* e *Zagrammosoma* sp. A abundância de *C. coffeellae*, *P. coffeae*, *Neochrysocharis* sp. 01 e *Neochrysocharis* sp. 02 variou entre os cafezais. Houve variação no tamanho e forma das asas das fêmeas de *C. coffeellae* entre os cafezais com uso de inseticidas e sem o uso dos compostos. Os resultados deste estudo contribuem para aperfeiçoar os planos de amostragem, considerando a distância de alcance espacial entre as amostras. Os parasitoides do bicho-mineiro prestam serviços importantes no controle biológico e práticas, como o uso de inseticidas seletivos, devem ser integradas ao manejo da praga na região, a fim de conservar o parasitismo e sua diversidade.

**Palavras-chave:** Hymenoptera Parasítica, Geoestatística, Morfologia de Insetos, Manejo Integrado de Pragas.

---

\*Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Castellani, UESB.  
Coorientadora: Dra. Suzany Aguiar Leite, UESB.

## GENERAL ABSTRACT

SANTOS, M. P. **COFFEE LEAF-MINER X PARASITISM: SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION, DIVERSITY OF PARASITIDS, AND GEOMETRIC MORFOMETRIC OF *Closterocerus coffeellae* (IHERING, 1914)**. Vitória da Conquista, BA, UESB, 2021. 147p. (Dissertation: Master Science in Agronomy, Area of concentration: Crop Science)\*

Knowledge about coffee leaf miner interactions x parasitism can help improve the management of this pest. The objectives of this study were: 1) to determine the spatio-temporal distribution of *Leucoptera coffeella* infestations and their natural parasitism, the density dependence relationship between infestation and parasitism, the effects of climatic factors and insecticides on tritrophic relationships; 2) to know the structure of coffee leaf miner parasitoid communities and the influence of climatic factors, irrigation and insecticides on the abundance of parasitoids; and 3) to detect variations in the size and shape of wings of *Closterocerus coffeellae*, from different coffee crops (*Coffea arabica* L.) in the Highland Coffee Production region, Bahia, Brazil. The study was conducted between December 2020 and November 2021. Two coffee crops were selected in Barra do Choça (with insecticide and without irrigation), three in Mucugê (with insecticide and with irrigation) and one in Vitória da Conquista (without insecticide and irrigation). Four grids of 30 georeferenced points were installed, 30 meters apart, totaling 360 points in each property. The points consisted of five coffee plants within a radius of 5 meters. Mined leaves were collected monthly to evaluate infestation and parasitism rates. The spatial distribution was analyzed using geostatistics. Thirty females of *C. coffeellae* were selected to study the size and shape of the wings through geometric morphometry. The infestation and parasitism rates were variable among the coffee plantations with higher values in the low rainfall and low temperatures period of the year. There is a density dependence relationship between infestations and parasitism that varies according to irrigation and insecticide conditions. The patterns of spatial distribution of infestations and parasitism varied among the coffee crops. Strong aggregation was found in coffee crops with insecticides throughout the crop cycle. In the coffee crop without insecticides, aggregation was observed only during the graining stage, both for infestations and for parasitism. The greater the intensity of insecticide use, the greater the aggregation of infestations and parasitism. We report the occurrence of two species of parasitoids from the families Braconidae (0.6%) [*Stiropius reticulatus* (0.4%) and *Stiropius* sp. (0.2%)]; and nine from Eulophidae (99.4%) [*C. coffeellae* (48.4%), *Proacrias coffeae* (36.2%), *Neochrysocharis* sp. 01 (2.2%), *Neochrysocharis* sp. 02 (11.1%), *Cirrospilus* sp. (1.3%) *Horismenus* sp. (0.2%) and *Zagrammosoma* sp. (0.04%)], with *C. coffeellae* and *P. coffeae* being predominant in the region, with *Stiropius reticulatus* and *Zagrammosoma* sp. The abundance of *C. coffeellae*, *P. coffeae*, *Neochrysocharis* sp. 01 and *Neochrysocharis* sp. 02 varied among the coffee crops. There was variation in the size and shape of the wings of *C. coffeellae* females between the coffee crops with the use of insecticides and without the use of compounds. The results of this study contribute to improve the sampling plans, considering the spatial reach distance between the samples. The coffee leaf miner parasitoids provide important services in biological control and practices, such as the use of selective insecticides, must be integrated into the pest management in the region, in order to conserve the parasitism and its diversity.

**Keywords:** Parasitic Hymenoptera, Geostatistics, Insect Morphology, Integrated Pest Management.

---

\* **Advisor:** Profa. Dra. Maria Aparecida Castellani, UESB.  
**Co-advisor:** Dra. Suzany Aguiar Leite

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

Tabela 1. Sistema de irrigação e frequência média anual de aplicação de inseticidas utilizados em cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil... 56

Tabela 2. Modelos de Semivariogramas ajustados para taxa de infestação e parasitismo de *Leucoptera coffeella* nos estádios fenológicos do cafeeiro no Planalto da Conquista, Bahia, Brasil. ....57

Tabela 3. Índice Global de Moran para taxas de infestação e parasitismo em função dos estádios fenológicos do cafeeiro na região do Planalto, Bahia.....58

### ARTIGO II

Tabela 1. Sistema de irrigação e número de aplicações de inseticidas utilizados em cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil. ....100

Tabela 2. Test t (student) para comparação dos valores dos Índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') estimados em função das propriedades cafeeiras da região do Planalto, Bahia. ....101

### ARTIGO III

Tabela 1. Teste de validação cruzada. Percentual (%) de espécimes de *Closterocerus coffeellae* alocadas corretamente por propriedade de acordo com a forma da asa.....136

Tabela 2. Distância de Mahalanobis entre asas de *Closterocerus coffeellae* procedentes de diferentes propriedades localizadas em Vitória da Conquista (VDC), Barra do Choça (BCH1 e BCH2) e Mucugê (MUC1, MUC2 e MUC3). (Lado inferior esquerdo) e p-valor do teste de 10.000 permutações (Lado superior direito) .....137

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

Figura 1. Grids amostrais instalados em cada cafezal para estudos de distribuição espacial das infestações e parasitismo. Os símbolos indicam os pontos amostrais. Sistema de Coordenadas (UTM, Zona 24 S). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê.....61

Figura 2. Taxas de infestação (%) (A) e parasitismo (%) (B) de *Leucoptera coffeella* em cafezais durante os estádios fenológicos do cafeeiro. NA = Nível de Ação. Barras acompanhadas de erro padrão seguidas de mesma letra, não diferem entre si ( $p < 0.05$ ). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê.....62

Figura 3. Estimativa da dependência de densidade entre as taxas de infestação e parasitismo de *Leucoptera coffeella* nas propriedades VDC – sem uso de inseticidas (A), BCH – com uso de inseticidas (B) e MUC – com uso de inseticidas (C). Ajuste de regressão ( $p < 0.05$ ). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê. ....63

Figura 4. Mapas de contorno para a distribuição espacial das taxas de infestação e parasitismo de *Leucoptera coffeella* em cafezais em função dos estádios fenológicos da cultura do cafeeiro na região do Planalto, Bahia, Brasil. Sistema de Coordenadas (UTM, Zona 24 S). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê. ..64

Figura 5. Médias mensais de temperatura do ar (máxima, média e mínima) ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitação pluviométrica (mm) (A), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e umidade relativa (%) (B) dos municípios de Barra do Choça e Mucugê no Planalto, Bahia, Brasil. Linhas e barras seguidas de mesma letra não diferem entre si (GLM, family: gaussian (link = identity),  $p < 0.05$ ). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê. ....65

Figura 6. Análise de Componentes Principais (PCA) para as variáveis N° de aplicações de inseticidas, temperaturas máxima, média e mínima do ar, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e velocidade do vento e grau de dependência espacial das taxas de infestação e parasitismo de *Leucoptera coffeella*. VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê. ....66

### ARTIGO II

Figura 1. Localização das propriedades selecionadas na região produtora de café arábica do Planalto, Bahia. Os símbolos indicam as propriedades do estudo. Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000 .....104

Figura 2. Abundância de parasitoides (A) e número de folhas com lagartas vivas (B) coletados em cafezais do Planalto, Bahia. (Modelo Linear Generalizado – GLM; Distribuição de Poisson;  $p < 0.05$ ). (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê) .....105

Figura 3. Curva de rarefação de espécies em função da abundância de parasitoides coletados nas propriedades cafeeiras na região do Planalto, Bahia. As elipses representam os Intervalos de Confiança de 95%. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê) .....106

Figura 4. Estrutura das comunidades de parasitoides de *Leucoptera coffeella* coletados nas propriedades VDC (A), BCH1 (B), BCH2 (C), MUC1 (D), MUC2 (E), MUC3 (F) da Região do Planalto, Bahia. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê) .....107

Figura 5. Dendrograma de similaridade (Índice de Jaccard) das comunidades de parasitoides de *Leucoptera coffeella* coletados nos cafezais da Região do Planalto, Bahia. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê) .....108

Figura 6. Diagrama de ordenação de Componentes Principais (1º e 2º Componentes) para fatores de tempo e abundância de parasitoides em propriedades cafeeiras da Região do Planalto, Bahia. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê.) .....109

Figura 7. Diagrama de Curva de Resposta Principal (PRC) em função do manejo diferenciado dos cafezais na comunidade de parasitoides do bicho-mineiro na região do Planalto ao longo do tempo de coleta. As linhas representam as propriedades cujos valores próximos a linha 0 indicam pouca variação sofrida na comunidade (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê) .....110

### ARTIGO III

Figura 1. Localização geográfica das propriedades onde foram coletadas as populações de *Closterocerus coffeellae* na região do Planalto, Bahia, Brasil. Os pontos indicam a localização geográfica das propriedades. Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000.....140

Figura 2. Conjunto de marco e semimarcos adicionados e selecionados para análise de morfometria geométrica na asa direita de *Closterocerus coffeellae*. O ponto 1 indica o marco anatômico e os pontos 2 a 10 são semimarcos anatômicos (Bookstein, 1991). .141

Figura 3. Tamanho do centroide (CS) de asas de fêmeas de *Closterocerus coffeellae* coletadas em diferentes cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil. Barras acompanhadas de erro padrão e seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si (GLM, AIC = 151,7 p < 0.001 (Gaussian family (link = identity)). (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1= Mucugê; MUC2= Mucugê; MUC3= Mucugê) .....142

Figura 4. Análise de Variáveis Canônicas (CVA) da forma da asa de fêmeas de *Closterocerus coffeellae* provenientes de cafezais do Planalto, Bahia, Brasil. (10000 permutações, p < 0.05). CV1 = primeira variável canônica e CV2 = segunda variável canônica. As elipses representam intervalo de confiança de 90%. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1= Mucugê; MUC2= Mucugê; MUC3= Mucugê) .....143

Figura 5. Grade de deformação das mudanças na forma das asas de *Closterocerus coffeellae* nos eixos CV1 e CV2 em direções positivas. Os círculos representam os marcos e semimarcos anatômicos e os palitos indicam as mudanças em relação aos marcos e semimarcos. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1= Mucugê; MUC2= Mucugê; MUC3= Mucugê) .....144

Figura 6. Análise de cluster para as variações na forma da asa direita de fêmeas de *Closterocerus coffeellae* de populações coletadas em propriedades região do Planalto, Bahia, Brasil. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1= Mucugê; MUC2= Mucugê; MUC3= Mucugê) .....145

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\beta$	Beta
°	Graus
°C	Graus Celsius
=	Igual
>	Maior
%	Porcentagem
±	Mais ou menos
$\mu\text{m}$	Micrômetros
”	Minutos
A <sub>0</sub>	Alcance
AIC	Critério de Informação de Akaike
C	Patamar Parcial
C <sub>0</sub>	Efeito Pepita
C <sub>0</sub> +C	Patamar
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CS	<i>Centroid Size</i>
CVA	<i>Canonical Variate Analysis</i>
DW	Teste <i>Durbin-Watson</i>
ESRI	<i>Environmental System Research Institute</i>
FAPESB	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia
GL	<i>Gay-Lussac</i>
GLM	Modelos Lineares Generalizados
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ha	Hectares
I <sub>0</sub>	Índice Global de Moran
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JPEG	<i>Joint Photographics Experts Group</i>
kg	Quilogramas

km	Quilômetros
MIP	Manejo Integrado de Pragas
mm	Milímetros
m s <sup>-1</sup>	metros por segundo
NDE	Nível de Dependência Espacial
PCA	<i>Principal Components Analysis</i>
PRC	<i>Principle Response Curve</i>
QMR	Quadrado Médio do Resíduo
R <sup>2</sup>	Coefficiente de Determinação
SEI	Superintendência de Estudos Econômicos da Bahia
SINDA	Sistema Integrado de Dados Ambientais
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
USA	Estados Unidos da América
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24
ARTIGO I – Distribuição espaço-temporal de <i>Leucoptera coffeella</i> e do seu parasitismo, dependência de densidade e efeitos de inseticidas nas relações tritróficas .....	31
RESUMO .....	32
1. INTRODUÇÃO.....	33
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1. Caracterização do local de estudo .....	34
2.2. Fatores climáticos .....	36
2.3. Malha amostral e monitoramento das infestações e parasitismo.....	36
2.4. Análises estatísticas e geoestatísticas .....	37
3. RESULTADOS .....	39
3.1. Taxas de infestação e de parasitismo e relação de dependência de densidade entre ambas.....	39
3.2. Padrões de distribuição espaço-temporal das taxas de infestação e parasitismo durante os estádios fenológicos do cafeeiro .....	41
3.3. Efeito dos fatores climáticos e da aplicação de inseticidas na dependência espacial das infestações e parasitismo.....	44
4. DISCUSSÃO.....	45
5. AGRADECIMENTOS .....	49
REFERÊNCIAS .....	50
ARTIGO II – Parasitismo natural do bicho-mineiro: fatores climáticos e manejo dos cafezais afetam a diversidade e abundância de espécies .....	68
RESUMO .....	69
1. Introdução.....	70
2. Material e Métodos.....	72
2.1. Locais de estudo, manejo de irrigação e uso de inseticidas nos cafezais .....	72
2.2. Amostragem, avaliação do parasitismo e identificação dos parasitoides.....	74
2.3. Monitoramento dos fatores climáticos nos cafezais .....	75
2.4. Análises estatísticas .....	75
3. Resultados.....	76
3.1. Estrutura das comunidades de parasitoides e flutuação populacional do bicho-mineiro .....	76
3.2. Interação entre os fatores climáticos e a abundância de parasitoides .....	80
3.3 Impacto do uso de inseticidas nos cafezais na abundância dos parasitoides.....	80
4. Discussão.....	81
5. Agradecimentos.....	89
Referências .....	89
ARTIGO III – Variação morfométrica em populações de <i>Closterocerus coffeellae</i> (Ihering) (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide do bicho-mineiro do cafeeiro .....	112
RESUMO .....	113

1. INTRODUÇÃO.....	114
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	116
2.1. Local e áreas de estudo.....	116
2.2. Coleta das populações dos parasitoides.....	118
2.3. Preparo das lâminas e aquisição das imagens .....	119
2.4. Marcação anatômica das asas de <i>C. coffeellae</i> .....	120
2.5. Análises estatísticas .....	120
2.6. Resultados.....	121
2.7. Discussão.....	123
2.8. Agradecimentos .....	126
Referências .....	127
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	146

## INTRODUÇÃO GERAL

Considerada a segunda bebida mais consumida do mundo, o café tem conquistado, ao longo dos anos, o paladar de grande parte da população mundial (Samoggia *et al.*, 2020). O impacto que o café proporciona nas pessoas varia desde o simples prazer e apreciação de seu consumo, até estilos de vida e posição social de pessoas que são verdadeiras conhecedoras da bebida. Essa informação se traduz em números, quando se observa um aumento no consumo mundial em cerca de 1,9% em 2021, em relação a 2020, sendo que mais de 167 milhões de sacas (60 kg) de café foram consumidas na forma de bebida (ICO, 2021).

O Brasil é responsável pelo elevado volume da produção de café no mundo, liderando o *ranking* de produção cafeeira com 47,72 mil sacas beneficiadas na safra de 2021 (CONAB, 2022). O café, em termos de cadeia produtiva, também é responsável por gerar mais de oito milhões de empregos no Brasil, tornando-se uma atividade importante para o agronegócio do país (MAPA, 2018). Os maiores produtores de café são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia. A cafeicultura baiana tem se destacado pelo alto rendimento e pela qualidade da bebida produzida, sendo as regiões Oeste, Planalto e Atlântico os principais polos cafeeiros do estado (CONAB, 2022).

Embora esse cenário seja promissor, a produção cafeeira brasileira poderia ser ainda maior se não existissem os entraves de ordem fitossanitária, os quais, no Brasil, devem-se, em grande parte, aos prejuízos econômicos causados pelo bicho-mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella* Guérin-Mèneville & Perrotet, 1842), principal praga da cultura que tem se tornando cada vez mais comum nos cafezais da América Neotropical (Pantoja-Gomez *et al.*, 2019; Ramírez-Valerio e García-Jiménez, 2021).

O bicho-mineiro, durante a fase de lagarta, consome o parênquima paliçádico das folhas do cafeeiro e, conforme se alimenta, todo o espaço consumido é necrosado, formando as minas, característica pelo qual é reconhecido (Souza *et al.*, 1998; Parra e Reis, 2013; Jaramillo *et al.*, 2019; Motta *et al.*, 2021), reduzindo significativamente a área fotossintética ativa da folha e, posteriormente, levando à sua queda.

Em condições de intensos ataques, as desfolhas são drásticas e podem comprometer a produtividade de grãos das plantas, devido à redução da fotossíntese (Neves *et al.*, 2006). As perdas podem comprometer até 50% da produção (Ramiro *et al.*, 2004).

Vários fatores podem regular a intensidade do ataque do bicho-mineiro, porém, os climáticos são os que assumem maior participação na flutuação populacional da praga, já que se trata de uma espécie que é favorecida pelas altas temperaturas e períodos secos do ano (Souza *et al.*, 1998; Fernandes *et al.*, 2009). Em contrapartida, a precipitação pluviométrica tem associação negativa com as populações da praga, haja vista que, nos meses mais chuvosos do ano, há redução na intensidade de ataque (Custódio *et al.*, 2009).

Além dos fatores abióticos, os inimigos naturais são importantes agentes de controle biológico do bicho-mineiro, que ocorrem naturalmente nas lavouras de café, e podem desempenhar papéis importantes na modulação populacional deste (Reis Júnior *et al.*, 2000; Pereira *et al.*, 2007; Parra e Reis, 2013). Dentre esses inimigos naturais, os himenópteros parasitoides assumem um protagonismo essencial, constituindo um complexo de espécies que interagem com *L. coffeella*, prestando valorosos serviços ecossistêmicos.

A eficiência dos parasitoides no controle do bicho-mineiro é variável, em média, as taxas de parasitismo ocorrem em cerca de 13 a 20% (Parra e Reis, 2013), por outro lado, há registros de até 80% de parasitismo em cafezais conduzidos sob condições orgânicas em Minas Gerais (Ecole *et al.*, 2013). Na Bahia, as taxas de parasitismo ocorrem entre 20 até 69%, a depender das condições de manejo e clima do local de cultivo do café (Melo, 2005; Melo *et al.*, 2007; Melo *et al.*, 2019). O monitoramento do parasitismo é crucial para conhecer sua eficiência, contudo, tem sido pouco praticado pelos produtores (Avilés, 1991).

O monitoramento, tanto das pragas como dos parasitoides, é uma etapa essencial para a tomada de decisão sobre a necessidade de adoção das estratégias de controle, no entanto, em algumas regiões, tem sido negligenciado ou não utilizado pelos cafeicultores (Leite *et al.*, 2020a), o que dificulta a adoção de programas de manejo integrado do bicho-mineiro e limita as informações sobre as taxas parasitismo.

Uma forma de otimizar o monitoramento do bicho-mineiro e do seu parasitismo é o uso de ferramentas geoestatísticas para amostragem populacional (Bacca *et al.*, 2006). Tais tecnologias já têm sido uma realidade para diversas culturas agrícolas (Pereira *et al.*, 2019; Carvalho *et al.*, 2020). Entretanto, as implicações da geoestatísticas na cafeicultura ainda têm sido incipientes e pouco aplicadas no manejo do bicho-mineiro, principalmente devido à ausência de conhecimentos sobre a distribuição espacial das infestações e do parasitismo, sendo essa uma limitação para tal.

Os padrões de espacialização das infestações do bicho-mineiro, até então relatados, têm procurado verificar como é o comportamento de distribuição espacial no tempo, contudo, ainda há lacunas de conhecimento sobre essa questão (Scalon *et al.*, 2013). Segundo Scalon *et al.* (2011a), a distribuição de *L. coffeella* ocorre de forma aleatória e independente do tempo. De maneira semelhante, as vespas predadoras tendem a seguir o mesmo padrão de aleatoriedade de distribuição espacial do bicho-mineiro e, também, parece não ter correlação com o tempo (Costa *et al.*, 2015). No entanto, para os parasitoides do bicho-mineiro, essas informações ainda não são conhecidas.

No Brasil, há cerca de 28 espécies descritas de parasitoides do bicho-mineiro (Reis *et al.*, 2002), distribuídas nas famílias Braconidae e Eulophidae (Parra *et al.*, 1977; Ferreira *et al.*, 2013), que parasitam o inseto na fase de lagarta. Dentre as espécies de braconídeos registradas, destacam-se: *Mirax* sp., *Orgillus niger* (Penteado-Dias, 1999), *Orgillus* sp., *Stiropius letifer* (Mann, 1872), *Stiropius reticulatus* (Penteado-Dias, 1999) e *Stiropius* sp. (Parra *et al.*, 1977; Reis *et al.*, 1984; Penteado-Dias, 1999; Melo *et al.*, 2007).

As espécies de eulofídeos parasitoides do bicho-mineiro mais importantes são: *Cirrospilus neotropicus* (Diez e Fidalgo, 2003), *Cirrospilus* sp., *Closterocerus coffeellae* (Ihering, 1914), *Proacrias coffea* Ihering (1914), *Horismenus aeneicollis* (Ashmead, 1904), *Horismenus* sp. (descritor do gênero e ano) e *Neochrysocharis coffeae* (Ihering, 1913) (Parra *et al.*, 1977; Gravena, 1983; Reis *et al.*, 1984; Melo *et al.*, 2007). Essas espécies são as que mais ocorrem em vários países da América Neotropical (Lomelí-Flores *et al.*, 2009), entretanto, existem espécies de parasitoides que foram associadas ao bicho-mineiro, porém, com participação mais modesta, como é o caso das espécies do gênero *Zagrammosoma*, de ocorrência relatada apenas no Brasil e Colômbia (Gravena, 1983; David-Rueda *et al.*, 2016).

Dentre os eulofídeos, a espécie *C. coffeae* tem ampla distribuição geográfica, ocorrendo em vários países da América Neotropical (Melo *et al.*, 2007; Lomelí-Flores *et al.*, 2009; David-Rueda *et al.*, 2016), inclusive em regiões da Bahia onde são realizadas intensas aplicações com inseticidas para controle do bicho-mineiro (Castellani *et al.*, 2016).

As interações entre os parasitoides e o bicho-mineiro são complexas e pouco estudadas, visto que são fortemente dependentes de condições ambientais, como a temperatura, umidade e precipitação, e também das condições de condução e manejo das lavouras, principalmente quanto ao uso de inseticidas (Tuelher *et al.*, 2003; Mendonça *et*

*al.*, 2006; Amaral *et al.*, 2010; Lomelí-Flores *et al.*, 2010; Rosado *et al.*, 2021). Nesse sentido, conservar os parasitoides nos cafezais é uma estratégia para manter as populações do bicho-mineiro abaixo dos níveis de dano econômico (Parra e Reis, 2013).

Muitos fatores podem influenciar na distribuição da praga e na comunidade de seus inimigos naturais, como temperatura, paisagem agrícola e regime pluviométrico (Scalon *et al.*, 2011b), além das condições de manejo adotadas para controle do bicho-mineiro, já que a pressão da seleção exercida pelo uso de inseticidas, seja no tempo ou no espaço, pode alterar a distribuição dos insetos.

Os efeitos negativos do uso intensivo de inseticidas refletem na eliminação dos parasitoides da área, pois o reestabelecimento desses indivíduos requer um tempo significativo, o que prejudica a sua eficácia no controle biológico das pragas (Morgan *et al.*, 2017). Os parasitoides do bicho-mineiro apresentam maior sensibilidade aos efeitos deletérios causados pelos inseticidas do que as vespas predadoras (Gusmão *et al.*, 2000; Carvalho *et al.*, 2004; Bacci *et al.*, 2006), desaparecendo rapidamente da área após a aplicação dos produtos.

Para condições de campo, inseticidas organofosforados, neonicotinoides e alguns piretroides, com cipermetrina como ingrediente ativo, mostraram-se tóxicos aos parasitoides (Carvalho *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2005). Em contrapartida, alguns compostos à base de aldicarb e betaciflutrina revelam-se menos tóxicos aos indivíduos, indicando possível seletividade fisiológica desses produtos. O cloridrato de cartape também exibiu baixa toxicidade ao parasitismo, para as condições do Oeste da Bahia, onde foram estudadas as aplicações do inseticida em associação com adjuvantes e volume de calda reduzido (Melo *et al.*, 2019).

Alguns dos impactos causados pelo uso de inseticidas sobre inimigos naturais podem ser percebidos pela presença de variações morfológicas nos indivíduos, sendo as asas um dos caracteres mais importantes para os estudos em populações de insetos (Debat *et al.*, 2006; Büyükgüzel *et al.*, 2020), já que as respostas sobre a sensibilidade do inseto a estresses podem ser facilmente percebidas nessas estruturas.

A morfometria geométrica tem sido um campo de estudo muito explorado, no que diz respeito ao conhecimento das variações morfológicas em insetos, outros organismos e até comunidades ecológicas que estão sob condições ambientais estressantes ou sofrendo algum tipo de impacto não natural, como o uso de inseticidas (Parsons, 1990; Benítez *et al.*, 2018; Graham, 2021a, 2021b).

Variações nas estruturas do corpo dos insetos podem alterar os aspectos comportamentais dos indivíduos, como a capacidade de aquisição de recursos, seleção sexual, competição, adaptação e as interações tróficas na comunidade ecológica (Oliveira *et al.*, 2020; Vilaseca *et al.*, 2021).

No caso de parasitoides e predadores presentes em agroecossistemas, tais aspectos podem fornecer uma ideia de suas performances em campo e como os indivíduos podem superar os efeitos estressantes aos quais podem estar submetidos (Baylac *et al.*, 2003; Benítez *et al.*, 2018). Para a espécie *Achrysocharoides zwoelferi* (Dellucchi 1954) (Hymenoptera: Eulophidae), por exemplo, foi comprovado que indivíduos maiores tendem a apresentar uma maior aptidão biológica em campo (West *et al.*, 1996).

Os estudos de morfometria geométrica e alometria de insetos benéficos, expostos a inseticidas em cultivos agrícolas, têm demonstrado efeitos variados em algumas espécies de inimigos naturais. Por exemplo, para *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), não foram detectadas modificações causadas por inseticidas na assimetria dos indivíduos estudados (Souza *et al.*, 2018), enquanto que, para *Phaedon cochleariae* (F., 1792) (Chrysomelidae: Coleoptera), inseticidas do grupo químico dos piretroides causaram assimetria nas antenas, prejudicando a percepção de sinais químicos importantes (Müller *et al.*, 2017).

Na Bahia, recentemente foram constatadas populações do bicho-mineiro resistentes a inseticidas (Leite *et al.*, 2020b, 2021). O uso intensivo de inseticidas para controle do bicho-mineiro tem sido frequente, contudo, é necessário conhecer o impacto dos inseticidas utilizados para o controle do bicho-mineiro sobre a comunidade dos seus parasitoides, no que diz respeito à sua dinâmica espacial e temporal, bem como alterações nos caracteres morfológicos.

Portanto, os objetivos deste estudo foram: 1) determinar a distribuição espaço-temporal das infestações e do parasitismo de *L. coffeella* em cafezais conduzidos com uso de inseticidas e irrigação ou sem essas tecnologias, a dependência de densidade entre taxas de infestação e parasitismo nesses cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil; 2) conhecer a estrutura das comunidades de parasitoides de *L. coffeella* em cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil; verificar os efeitos dos fatores climáticos e do manejo empregado nos cafezais (*C. arabica*) na abundância das espécies; e 3) determinar prováveis variações no tamanho e forma das asas de fêmeas de *Closterocerus coffeellae* provenientes de cafezais conduzidos em diferentes sistemas de manejo dos cultivos, quanto ao uso da irrigação e de inseticidas, na região cafeeira do Planalto, Bahia, Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, D. S.; Venzon, M.; Pallini, A.; Lima, P. C.; SOUZA, O. Does vegetational diversification reduce coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) attack? **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 4, p. 543-548, 2010.
- Avilés, D. P. **Avaliação das populações do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) e de seus parasitóides e predadores: metodologia de estudo e flutuação populacional**. 1991. 126 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- Bacca, T.; Lima, E. R.; Picanço, M. C.; Guedes, R. N. C.; Viana, J. H. M. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 119, n. 1, p. 39-45, 2006.
- Bacci, L.; Fernandes, F.; Picanço, M.; Crespo, A.; Campos, M. Seletividade fisiológica de inseticidas a vespas predadoras (Hymenoptera: Vespidae) de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **BioAssay**, 1, 2006.
- Baylac, M.; Villemant, C.; Simbolotti, G. Combining geometric morphometrics with pattern recognition for the investigation of species complexes. **Biological Journal of the Linnean Society**, v.80, n.1, p.89-98, 2003.
- Benítez, H. A.; Lemic, D.; Püschel, T. A.; Gašparić, H. V.; Kos, T.; Barić, B.; Bazok, R.; Živković, I. P. Fluctuating asymmetry indicates levels of disturbance between agricultural productions: An example in Croatian population of *Pterostichus melas* *Pterotics* (Coleoptera: Carabidae). **Zoologischer Anzeiger**, v.276, p.42-49, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcz.2018.07.003>
- Büyükgüzel, K.; Büyükgüzel, E.; Chudzińska, E.; Lewandowska-Wosik, A.; Gaj, R.; Adamski, Z. *Drosophila melanogaster* Response to Feeding with Neomycin-Based Medium Expressed in Fluctuating Asymmetry. **Insects**, v.11, n. 6, p.378, 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11060378>
- Carvalho, G. A.; Miranda, J. C.; Vilela, F. Z.; Moura, A. P.; Moraes, J. C. Impacto de inseticidas sobre vespas predadoras e parasitóides e sua eficiência no controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v.71, n.1, p.63-70, 2004.
- Carvalho, G. A.; Miranda, J. C.; Moura, A. P.; Rocha, L. C. D.; Reis, P. R.; Vilela, F. Z. Controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) com inseticidas granulados e seus efeitos sobre vespas predadoras e parasitóides. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.72; n.1, p.63-72, 2005.
- Carvalho, S. C.; Junior, P. A. S.; Pereira, P. S.; Sarmiento, R. A.; Farias, E. S.; Lima, C. H. O.; Santos, G. R.; Picanço, M. C. Spatial distribution of *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) in open-field yellow melon, with emphasis on the role of



- surrounding vegetation as a source of initial infestation. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 6, p. 2997-3003, 2020. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa219>
- 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.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (202). **Acompanhamento da safra brasileira de café**, DF, Brasília, v8, n4. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cafes>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- Consolação Rosado, M.; Araújo, G. J., Pallin, A., Venzon, M. Cover crop intercropping increases biological control in coffee crops. **Biological Control**, v. 160, p. 104675, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104675>
- Costa, F. M. D.; Alves, G. D. F.; Scalon, J. D.; Zacarias, M. S. Análise estatística das distribuições espaciais do bicho-mineiro do cafeeiro e das vespas predadoras. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 149 - 157, 2015b.
- Custódio, A. A. P.; Moraes, J. C.; Custódio, A. A. P.; Lima, L. A.; Faria, M. A.; Gomes, N.M. Incidência do bicho-mineiro do cafeeiro em lavoura irrigada sob pivô central. **Coffee Science**, v.4, n.1, p.16-26, 2009.
- David-Rueda, G.; Constantino, L. M.; Cecilia Montoya, E.; Ortega, O. E.; Nancy Gil, Z.; Benavides-Machado, P. Diagnostic of *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) and its parasitoids in the department of Antioquia, Colombia. **Revista Colombiana de Entomología**, v.42, n.1, p.4-11, 2016.
- Debat, V.; Milton, C. C.; Rutherford, S.; Klingenberg, C. P.; Hoffmann, A. A. Hsp90 and the quantitative variation of wing shape in *Drosophila melanogaster*. **Evolution**, v. 60, n. 12, p.2529-2538, 2006. <https://doi.org/10.1554/06-045.1>
- Ecole, C. C.; Vilela, M.; Moraes, J. C.; Silva, R. A. Dinâmica populacional do bicho-mineiro e de seus inimigos naturais em cafeeiros orgânico e convencional adensados. **Brazilian Journal of Agriculture-Revista de Agricultura**, v.88, n.1, p.44-52, 2013.
- Fernandes, F. L.; Mantovani, E. C.; Bonfim Neto, H.; Nunes, V. D. V. Efeitos de variáveis ambientais, irrigação e vespas predadoras sobre *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) no cafeeiro. **Neotropical Entomology**, v. 38, n.3, p. 410-417, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000300018>
- Fernandes, F. L.; Silva, P. R. da; Gorri, J. E. R.; Pucci, L. F.; Silva, I. W. Selectivity of Old and New Organophosphate Insecticides and Behaviour of Vespidae Predators in Coffee Crop. **Sociobiology**, v.60, n.4, p.471-476, 2013. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v60i4.471-476>
- Graham, J. H. Fluctuating Asymmetry and Developmental Instability, a Guide to Best Practice. **Symmetry**, n.13, v.1, p. 9, 2021a. <https://doi.org/10.3390/sym13010009>

- Graham, J. H. Nature, Nurture, and Noise: Developmental Instability, Fluctuating Asymmetry, and the Causes of Phenotypic Variation. **Symmetry**, v. 13, n.7, p.1204, 2021b. <https://doi.org/10.3390/sym13071204>
- Gravena, S. Táticas de manejo integrado do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileuoptera coffeella* (Guérin-Menèville, 1842). II-Amostragem da praga e de seus inimigos naturais. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 12, n. 2, p. 273-281, 1983.
- Gusmão, M. R.; Picanço, M.; Gonring, A. H. R.; Moura, M. F. Seletividade fisiológica de inseticidas a Vespidae predadores do bicho-mineiro-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.681-686, 2000.
- ICO. International Coffee Organization. **Statistics**, International Coffee Organization, London, England. 2021. Disponível em: [https://ico.org/trade\\_statistics.asp?section=Statistics](https://ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics). Acesso em: 26 out. 2021.
- Jaramillo, M. G.; Garcia-Gonzalez, J.; Rugno, J. B. Fertility Life Table of *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) at Seven Temperatures in Coffee. **American Journal of Entomology**, v. 3, n. 4, p. 70, 2019. <https://doi.org/10.11648/j.aje.20190304.12>
- Leite, S. A.; Guedes, R. N. C.; Santos, M. P.; Costa, D. R.; Moreira, A. A.; Matsumoto, S. N.; Lemos, O. L.; Castellani, M.A. Profile of coffee crops and management of the neotropical coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*. **Sustainability**, v.12, n.19, p. 8011, 2020a. <https://doi.org/10.3390/su12198011>
- Leite, S. A.; Santos, M. P.; Resende-Silva, G. A.; Costa, D. R.; Moreira, A. A.; Lemos, O. L.; Guedes, R. N. C.; Castellani, M. A. Area-wide survey of chlorantraniliprole resistance and control failure likelihood of the neotropical coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Journal of Economic Entomology**, v.113, n.3, p. 1399-1410, 2020b. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa017>
- Leite, S. A.; Santos, M. P.; Costa, D. R.; Moreira, A. A.; Guedes, R. N. C.; Castellani, M. A. Time-concentration interplay in insecticide resistance among populations of the Neotropical coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 22, p. 232-241, 2021. <https://doi.org/10.1111/afe.12425>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.03.007>
- Lomelí-Flores, J. R.; Barrera, J.F.; Bernal, J. S. Impact of natural enemies on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) population dynamics in Chiapas, Mexico. **Biological control**, v. 51, n. 1, p. 51-60, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.03.021>.
- Melo, T. L. **Flutuação populacional, predação e parasitismo do bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville e Perrotet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em duas regiões cafeeiras do Estado da Bahia**. 2005. 134 f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2005.

Melo, T. L.; Castellani, M.A.; Nascimento, M de L. do; Menezes Júnior, A. de O.; Ferreira, G. P. F.; Lemos, O. L. Comunidades de parasitoides de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Meneville & Perrotet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em cafeeiros nas regiões Oeste e Sudoeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 966-972, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000400004>

Melo, T. L.; Raetano, C. G.; Nery, M. S.; Cardoso, A. D.; Moreira, A. A.; Leite, S. A.; Jesus, T.F.; Silva, W.G.O. e Castellani, M. A. Management of coffee leaf miner: spray volume, efficacy of cartap hydrochloride and impact on parasitism. **Coffee Science**, v.14, n.2, p. 250-260, 2019.

Mendonça, J. M. A. D.; Carvalho, G. A.; Guimarães, R. J.; Reis, P. R.; Rocha, L. C. D. Natural and synthetic products in the control of *Leucoptera coffeella* (Guérin-Meneville & Perrotet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) and their effects on predation for wasps. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.5, p.892-899, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000500011>

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Café no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 12 nov. 2021.

Morgan, W. H.; Thébault, E.; Seymour, C. L.; Van Veen, F. F. Density dependence and environmental factors affect population stability of an agricultural pest and its specialist parasitoid. **BioControl**, v.62, n.2, p.175-184, 2017.

Motta, I.; Dantas, J.; Vidal, L.; Bilio, J.; Pujol-Luz, J.R.; Albuquerque, E.V.S. The coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae): identification of the larval instars and description of male and female genitalia. **Revista Brasileira de Entomologia**, n.65, v.3, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9665-RBENT-2020-0122>

Müller, T.; Prosche, A.; Müller, C. Sublethal insecticide exposure affects reproduction, chemical phenotype as well as offspring development and antennae symmetry of a leaf beetle. **Environmental Pollution**, v.230, p.709-717, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.018>

Neves, A. D.; Oliveira, R. F.; Parra, J.R.P. A new concept for insect damage evaluation based on plant physiological variables. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p. 821-835, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400015>

Oliveira, T. C. T. D.; Monteiro, A. B.; Faria, L. D. B. Can multitrophic interactions shape morphometry, allometry, and fluctuating asymmetry of seed-feeding insects? **PLoS One**, v.15, n. 11, p. e0241913, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241913>

Pantoja-Gomez, L. M.; Corrêa, A. S.; Oliveira, L. O. de; Guedes, R. N. C. Common Origin of Brazilian and Colombian Populations of the Neotropical Coffee Leaf Miner, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Journal of Economic Entomology**, v.112, n.2, p. 924-931, 2019. <https://doi.org/10.1093/jee/toy416>.

Parra, J. R. P.; Gonçalves, W.; Gravena, S.; Marconato, A. R. Parasitos e predadores do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) em São Paulo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.6, p.138-143, 1977.

Parra, J. R. P.; Reis, P. R. Manejo integrado para as principais pragas da cafeicultura, no Brasil. **Visão Agrícola**. Piracicaba, v. 12, p. 47-50, 2013.

Parsons, P. A. Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of stress. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v.65, n. 2, p.131-145, 1990. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1990.tb01186.x>

Pentead-Dias, A. M. New species of parasitoids on *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera, Lyonetiidae) from Brazil. **Zoologische Mededeelingen**, v. 73, p. 189-197, 1999.

Pereira, E. J. G.; Picanço, M. C.; Bacci, L.; Crespo, A. L. B.; Guedes, R. N. C. Seasonal mortality factors of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*. **Bulletin of Entomological Research**, v. 97, n. 4, p. 421, 2007. <https://doi.org/10.1017/S0007485307005202>

Pereira, P. S.; Sarmiento, R. A.; Lima, C. H. O.; Pinto, C. B.; Silva, G. A.; Santos, G. R. dos; Picanço, M. C. Geostatistical assessment of *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) spatial distribution in commercial watermelon crops. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 1, p. 489-495, 2020. <https://doi.org/10.1093/jee/toz253>

Ramírez-Valerio, D; García-Jiménez, F. Manejo del minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) en el cultivo de café en Costa Rica. **Agronomía costarricense: Revista de Ciencias Agrícolas**, v. 45, n. 2, p. 143-153, 2021. <https://doi.org/10.15517/RAC.V45I2.47775>

Ramiro, D. A., Guerreiro-Filho, O., Queiroz-Voltan, R. B.; Matthiesen, S. C. Caracterização anatômica de folhas dos cafeeiros resistentes e suscetíveis ao bicho-mineiro. **Bragantia**, v.63, n. 3, p. 363-372, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000300006>

Reis JR., R.; Souza, O.; Vilela, E. F. Predadores prejudicando parasitoides no controle biológico natural. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 3, p. 507-514, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0301-80592000000300013>

Reis, P. R.; Souza, J. C de; Melles, C. C. A. **Pragas do cafeeiro**. Informe agropecuário, v. 10, n. 109, p. 3-72, 1984.

Reis, P. R.; Souza, J.C de; Venzon, M. Manejo ecológico das principais pragas do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v. 23, p. 201-215, 2002.

Samoggia, A.; Del Prete, M.; Argenti, C. Functional needs, emotions, and perceptions of coffee consumers and non-consumers. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5694, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12145694>

Scalon, J. D.; Alves, G. de F.; Avelar, M.B.L.; Zacarias, M.S. Spatial distribution of the coffee-leaf-miner (*Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) in an organic coffee (*Coffea arabica* L.) field in formation. **Coffee Science**, v.6, n.3, p.226-232, 2011b.

Scalon, J. D.; Avelar, M. B. L.; Alves, G. D. F.; Zacarias, M. S. Spatial and temporal dynamics of coffee-leaf-miner and predatory wasps in organic coffee field in formation. **Ciência Rural**, v. 41, n. 4, p. 646-652, 2011a. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000037>

Scalon, J. D.; Mateus, A. L. S. S.; Zacarias, M. S. Análise espaço-temporal do nível de infestação do bicho-mineiro *Leucoptera coffeella*, (Guérin-Menèville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em cafezal orgânico (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 347-353, 2013.

Souza, J. C.; Reis, P. R.; Rigitano, R. L. **O bicho- mineiro do cafeeiro: biologia, danos e manejo integrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998. 48p. (Boletim Técnico, 54).

Tuelher, E.S.; Oliveira, E. E. de; Guedes, R. N. C.; Magalhães, L. C. Ocorrência de bicho-mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) influenciada pelo período estacional e pela altitude. **Acta Scientiarum. Agronomy**, n. 25, v.1, 119-124, 2003. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v25i1.2458>

Vilaseca, C.; Méndez, M. A.; Pinto, C. F.; Lemic, D.; Benítez, H. A. Unraveling the Morphological Variation of *Triatoma infestans* in the Peridomestic Habitats of Chuquisaca Bolivia: A Geometric Morphometric Approach. **Insects**, v.12, n. 2, p.185, 2021. <https://doi.org/10.3390/insects12020185>

West, S. A.; Flanagan, K. E.; Godfray, H. C. J. The relationship between parasitoid size and fitness in the field, a study of *Achrysocharoides zwoelferi* (Hymenoptera: Eulophidae). **Journal of Animal Ecology**, v. 65, n.5, p.631-639, 1996. <https://doi.org/10.2307/5742>.

**ARTIGO I**

Distribuição espaço-temporal de *Leucoptera coffeella* e do seu parasitismo, dependência de densidade e efeitos de inseticidas nas relações tritróficas \*

---

\* Situação: não-submetido

1 Crop Protection

2 Original Research Paper

3

4

5

6

7

8

9 **Distribuição espaço-temporal de *Leucoptera coffeella* e do seu**  
10 **parasitismo, dependência de densidade e efeitos de inseticidas nas**  
11 **relações tritróficas**

12

13 Mateus P. dos Santos<sup>a\*</sup>, Suzany A. Leite<sup>a</sup>, Maria A. Castellani<sup>a</sup>

14

15 <sup>a</sup> *Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da*  
16 *Bahia, Vitória da Conquista, BA, 45.083-300, Brasil.*

17

18 Título curto: Distribuição espaço-temporal do bicho-mineiro do cafeeiro e seu

19 parasitismo

20

21 Autor Correspondente:

22 Mateus Pereira dos Santos

23 Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia)

24 Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB

25 Vitória da Conquista, BA, 45083-300, Brazil

26 Phone: +5577988774252

27 E-mail: mateus.santos.0712@gmail.com

28 **RESUMO**

29 O monitoramento do bicho-mineiro-do-cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville  
30 & Perrottet, 1842), e de seus parasitoides é uma etapa essencial para o manejo integrado  
31 da praga. Além disso, a busca por conhecimentos acerca dos seus padrões de distribuição  
32 espacial pode contribuir para aperfeiçoar os sistemas de amostragens. Os objetivos deste  
33 trabalho foram determinar o tipo de distribuição espaço-temporal das infestações do  
34 bicho-mineiro e do seu parasitismo natural, bem como a relação de dependência de  
35 densidade entre infestação e parasitismo, efeitos dos fatores climáticos e de inseticidas  
36 nas relações tritróficas, em cafeeiro arábica na região do Planalto, Bahia, Brasil. O estudo  
37 foi conduzido entre dezembro/2020 a novembro/2021 em três cultivos, com manejos  
38 diferenciados em relação ao uso de inseticidas e irrigação, localizados nos municípios de  
39 Barra do Choça (BCH), Mucugê (MUC) e Vitória da Conquista (VDC). Em cada cafezal,  
40 foram demarcadas quatro malhas regulares de 30 pontos, totalizando 360 pontos  
41 amostrais, os quais foram georreferenciados. Os pontos consistiram em um conjunto de  
42 cinco plantas de café próximas num raio de 5 m, equidistantes 30 m. Mensalmente,  
43 coletaram-se folhas minadas em cada ponto amostral para determinação das taxas de  
44 infestação e de parasitismo, e a relação de dependência de densidade entre ambas. A  
45 distribuição espacial foi analisada por geoestatística, através de semivariogramas, e pelo  
46 Índice Global de Moran. Maiores taxas de infestação e parasitismo ocorreram de abril a  
47 agosto. A relação de dependência de densidade entre infestação e parasitismo variou entre  
48 os cultivos, o mesmo ocorrendo para a dependência espacial, sendo forte tanto para as  
49 infestações quanto para o parasitismo nas propriedades com uso de inseticidas, indicando  
50 comportamento de agregação. Para VDC (sem uso de inseticida), a agregação espacial  
51 foi forte apenas durante a fase de granação dos frutos para o parasitismo e infestação. Os  
52 conhecimentos gerados se aplicam no aperfeiçoamento dos planos de amostragem do  
53 bicho-mineiro, levando em conta a distância espacial entre as amostras, o tipo de manejo  
54 empregado e épocas de amostragem, contribuindo para o aprimoramento do  
55 monitoramento da praga e de seus parasitoides.

56  
57 **Palavras-chave:** *Coffea arabica* (L.), Controle Biológico, Geoestatística, Manejo  
58 Integrado de Pragas.

59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70



## 71 **1 INTRODUÇÃO**

72 O bicho-mineiro tem causado grandes prejuízos para os cafeicultores da América  
73 Neotropical (Pantoja-Gomez *et al.*, 2019). O controle químico tem sido o método mais  
74 utilizado na supressão populacional do bicho-mineiro, todavia, a seleção de populações  
75 resistentes tem sido relatada para essa praga no Brasil desde 1990 (Alves *et al.*, 1992;  
76 Fragoso *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2016; Leite *et al.*, 2020a; 2020b).

77 Na contramão do controle químico, os himenópteros parasitoides do bicho-mineiro  
78 ocorrem naturalmente nos cafezais e têm contribuído significativamente com o controle  
79 biológico da praga (Gravena, 1983; Melo *et al.*, 2007; Lomelí-Flores *et al.*, 2009; David-  
80 Rueda *et al.*, 2016). A combinação do controle biológico e controle químico, através de  
81 inseticidas seletivos, é uma estratégia fundamental, porém um desafio dentro do Manejo  
82 Integrado de Pragas (MIP) (Torres & Bueno, 2018). Entretanto, para que tal prática possa  
83 ser aplicada, é necessário um sistema de monitoramento populacional eficiente da praga  
84 e de seus parasitoides, sendo uma etapa básica e importante para os programas de MIP  
85 (Bacca *et al.*, 2008).

86 No caso do bicho-mineiro, os planos de amostragem têm se baseado em estimativas  
87 da porcentagem de folhas minadas, presentes no campo, ou pelas lesões causadas na folha  
88 (Vieira Neto *et al.*, 1999; Bacca *et al.*, 2006; Villacorta *et al.*, 2006). Contudo, tal prática  
89 apresenta algumas limitações de ordem operacional, necessitando, muitas vezes, de  
90 esforços grandiosos ou sendo necessário um número grande de amostragens para ter  
91 estimativas precisas, o que acaba levando ao desinteresse por parte dos cafeicultores, além  
92 do fato de que a grande maioria não tem realizado o monitoramento de maneira adequada  
93 (Leite *et al.*, 2020b).

94 Conhecimentos sobre a distribuição espacial do bicho-mineiro por meio de análises  
95 geoestatísticas têm sido gerados nos últimos anos (Alves *et al.*, 2011; Scalon *et al.*, 2011;  
96 Scalon *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2015), indicando resultados promissores sobre os padrões

97 de distribuição da praga e sua aplicação no monitoramento (Bacca *et al.*, 2008). No  
98 entanto, os trabalhos têm se preocupado em conhecer os padrões espaciais do bicho-  
99 mineiro sem considerar os padrões de distribuição do parasitismo.

100 As lacunas de conhecimento sobre essas questões precisam ser preenchidas, no  
101 sentido de aperfeiçoar os sistemas de amostragem, como, por exemplo, a distância entre  
102 os pontos de amostragem e o tipo de caminhamento mais adequado para cafezais  
103 manejados de forma diferenciada.

104 Na prática, é preciso investigar como as condições do clima e heterogeneidade  
105 ambiental afetam a distribuição espacial e a dinâmica das populações do bicho-mineiro e  
106 de seus parasitoides em campo (Tuelher *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2007a; 2007b;  
107 Fernandes *et al.*, 2009), bem como o tipo de manejo empregado nos cafezais. Os trabalhos  
108 de distribuição espaço-temporal desenvolvidos por Scalon *et al.* (2011 e 2013) foram  
109 realizados em cafezais orgânicos, havendo a necessidade de se conhecer os padrões de  
110 distribuição em cafezais que são manejados de maneira convencional ou com outras  
111 formas de manejo.

112 O objetivo deste trabalho foi determinar a distribuição espaço-temporal das  
113 infestações e do parasitismo de *L. coffeella*, por meio de geoestatísticas, em cafezais,  
114 conduzidos no sistema convencional com uso de inseticidas e irrigação, ou sem essas  
115 tecnologias, a dependência de densidade entre taxas de infestação e parasitismo nesses  
116 cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil.

117

## 118 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

119

### 120 **2.1 Caracterização do local de estudo**

121

122 O estudo foi realizado na região produtora de café arábica da Bahia, conhecida  
123 como região do Planalto (CONAB, 2021), no período de dezembro de 2020 a novembro

124 de 2021. Foram selecionadas três propriedades, sendo cada uma localizada nos  
125 municípios de Barra do Choça (BCH), Mucugê (MUC) e Vitória da Conquista (VDC).

126 O clima predominante nos municípios de Barra do Choça e Vitória da Conquista é  
127 do tipo Cwb, segundo Köppen, definido como subúmido a seco (SEI, 1998). Os cafezais  
128 estão localizados numa área de transição entre Mata Atlântica e Caatinga, sendo a  
129 vegetação predominante classificada como Floresta Estacional Semidecidual (Mata de  
130 cipó) (SEI, 2015).

131 As características climáticas do município de Barra do Choça são: temperatura  
132 média anual de 19,9°C, precipitação pluviométrica média anual de 900 mm e altitude de  
133 900 m. O município de Vitória da Conquista possui 20,0°C de temperatura média anual,  
134 precipitação pluviométrica média anual de 723 mm e altitude de 923 m (SEI, 1998;  
135 Conceição *et al.*, 2016).

136 No município de Mucugê, pertencente ao território da Chapada Diamantina, o clima  
137 é definido como Am' (Köppen), com condição de semiárido, tendo a Caatinga como  
138 bioma predominante e a vegetação do tipo Caatinga arbustiva (SEI, 2015). A temperatura  
139 média anual de Mucugê é de 23,6°C, precipitação pluviométrica de 579 mm ao ano e  
140 altitude de 1.000 metros (SEI, 1998).

141 A estacionalidade de distribuição das chuvas, que se concentra entre os meses de  
142 outubro a abril, é característica dos municípios selecionados, coincidindo com a fase de  
143 floração, granação e maturação dos frutos de café. A época de menor precipitação ocorre  
144 entre maio e setembro do ano, durante o período de colheita e pós-colheita dos grãos (SEI,  
145 1998; CONAB, 2021).

146 A distância geográfica entre as propriedades de Mucugê e aquelas de Barra do  
147 Choça e Vitória da Conquista é de 225 e 236 km, respectivamente; enquanto que as

148 lavouras localizadas em Barra do Choça distam aproximadamente 36 km da propriedade  
149 de Vitória da Conquista.

150 O critério de seleção das propriedades foi definido de acordo com os estudos  
151 prévios realizados por Leite *et al.* (2020b), baseados em levantamento sobre o perfil de  
152 uso de inseticidas e de manejo das lavouras de café na Bahia. Os cafezais escolhidos  
153 apresentam histórico diferenciado de uso de inseticidas para controle do bicho-mineiro e  
154 de sistemas de irrigação (Tabela 1), sendo o cafezal de Vitória da Conquista considerado  
155 controle, devido a não utilização de inseticidas para o manejo do bicho-mineiro há pelo  
156 menos 15 anos.

157

## 158 **2.2 Fatores climáticos**

159 Os dados de temperatura máxima, média, mínima (°C), umidade relativa (%),  
160 precipitação pluviométrica (mm) e velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) foram registrados  
161 diariamente durante todo o período experimental. Os registros foram armazenados em  
162 banco de dados de estações meteorológicas (Vantage Pro2 Davis e TFA Nexus),  
163 instaladas a 6 km da propriedade MUCG1, em Mucugê, e na sede da propriedade BCH,  
164 em Barra do Choça. Os dados dos fatores climáticos referentes à Vitória da Conquista  
165 foram obtidos através de consulta ao banco de dados do SINDA (INPE, 2021).

166

## 167 **2.3 Malha amostral e monitoramento das infestações e parasitismo**

168 Para o estudo da distribuição das infestações e do parasitismo do bicho-mineiro,  
169 foram estabelecidas quatro grids com malha regular de 2,7 hectares (180x150 m) em cada  
170 propriedade (Figura 1). Em cada grid, foram estabelecidos 30 pontos posicionados de  
171 forma regular, equidistantes 30 m. A quantidade de pontos amostrais por cafezal foi de  
172 120, totalizando 360 pontos no estudo.

173 Os pontos amostrais consistiram num conjunto de cinco plantas de café (cv. Catuaí  
174 144) com mais de 10 anos de idade e próximas entre si em um raio de 5 m. As coordenadas  
175 geográficas (latitude e longitude) de cada ponto foram determinadas com um receptor  
176 GPS (Global Positioning System) (Garmin® eTrex® 20, Garmin International, Inc.,  
177 Kansas, USA). As coletas foram realizadas mensalmente, totalizando 12 amostragens no  
178 período experimental.

179 A amostragem das infestações e do parasitismo foi realizada através da coleta de  
180 folhas minadas no terço superior das plantas, selecionando-se um ramo plagiotrópico  
181 desse terço e coletando-se o 3º ou 4º par de folhas contadas, no sentido de fora para dentro  
182 da planta, totalizando oito folhas por planta (Melo *et al.*, 2007; Rosado *et al.*, 2021).

183 Após as coletas, as folhas foram colocadas em sacos de papel tipo Kraft (capacidade  
184 de 1,5 kg) e levadas para laboratório. Com o auxílio de um estereomicroscópio  
185 (LABOMED, CZM6, Labo America Inc., California, USA), as minas foram visualizadas  
186 e abertas cuidadosamente, com o auxílio de um bisturi, quantificando o número de minas  
187 com lagartas vivas e o número de minas contendo pupas em seu interior.

188 A partir desses dados, foram determinadas as taxas de infestação ( $INF (\%) = (N^\circ$   
189  $folhas\ com\ lagartas\ vivas\ nas\ minas / número\ total\ de\ folhas) \times 100$ ) e de parasitismo  
190 ( $PAR (\%) = (N^\circ\ de\ minas\ parasitadas / N^\circ\ total\ de\ minas) \times 100$ ) (Melo *et al.*, 2019).

191

## 192 **2.4 Análises estatísticas e geoestatísticas**

193

194 A fim de verificar variações significativas nos fatores climáticos entre os locais  
195 onde os cafezais estão implantados, os dados de temperatura (máxima, média e mínima),  
196 precipitação (mm), velocidade do vento ( $m\ s^{-1}$ ) e umidade relativa (%) foram analisados  
197 por meio de GLM, com distribuição gaussian (link = identity).

198 O mesmo procedimento estatístico foi empregado para verificar as diferenças nas  
199 taxas de infestação e parasitismo, alterando apenas a distribuição, que foi a de Poisson  
200 (link = identity). As análises de GLM foram executadas pelo pacote ‘*lme4*’ (Bates *et al.*,  
201 2014) e ‘*emmeans*’ (Lenth, 2020) do *software* R 4.0.4 (R Development Core Team, 2020).

202 A relação de dependência de densidade entre as taxas de infestação e parasitismo  
203 foram analisadas por meio de regressão, selecionando-se o modelo com base no critério  
204 da parcimônia, altos valores de F-stat e de R<sup>2</sup>. As regressões foram estimadas no programa  
205 *Table Curve 2D* (Systat, San Jose, California, USA).

206 Os padrões de distribuição espacial foram analisados por meio de geoestatísticas no  
207 *software* GS+ (v. 10, Gamma Design Software, Plainwell, MI, USA). As coordenadas  
208 geográficas dos pontos georreferenciados foram convertidas em UTM (*Universal*  
209 *Transverse Mercator*).

210 No intuito de verificar a independência dos resíduos em função do número e  
211 tamanho das unidades amostrais, os dados foram submetidos aos testes de *Durbin-Watson*  
212 ( $p < 0.05$ ) (Lee, 2016) e, para verificar a normalidade, utilizou-se o teste de *Shapiro-Wilk*  
213 ( $p < 0.05$ ).

214 Os modelos teóricos de semivariogramas (esférico, exponencial e gaussiano) foram  
215 ajustados, estimando-se os parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar parcial (C), patamar  
216 ( $C_0 + C$ ) e alcance ( $A_0$ ) de cada modelo. Os modelos ajustados foram selecionados com  
217 base nos parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  da validação cruzada do modelo para a predição (Martins *et*  
218 *al.*, 2018; Carvalho *et al.*, 2020), maior valor de coeficiente de regressão (R<sup>2</sup>) e baixos  
219 valores de Quadrado Médio do Resíduo (QMR).

220 A dependência espacial foi determinada pelo Grau de Dependência Espacial  
221 (GDE), proposto por Cambardella *et al.* (1994):  $GDE = (C_0 / C_0 + C)$ , sendo considerada  
222 forte, quando  $GDE > 0.75$ , moderada -  $0.75 > GDE > 0.50$  e fraca –  $GDE < 0.25$ .

223 Após o ajuste dos modelos de semivariogramas, utilizou-se o método de  
224 interpolação por krigagem ordinária para estimar os valores das taxas de infestação e  
225 parasitismo em áreas não amostradas dos cafezais.

226 A autocorrelação espacial foi determinada pelo Índice Global de Moran ( $I_0$ ), por  
227 meio do *software* ArcGIS Pro 10.8 (ESRI - *Environmental System Research Institute*,  
228 California, USA), considerando os seguintes padrões de distribuição: regular (valores de  
229  $I$  negativos e significativos –  $p < 0.05$ ), ao acaso ( $p$ -valor de  $I$  não significativo) e agregado  
230 (valores de  $I$  positivos e significativos -  $p < 0.05$ ).

231 As possíveis associações entre o número de aplicações de inseticidas, fatores  
232 climáticos e os graus de dependência espacial (GDE) das taxas de infestação e parasitismo  
233 foram exploradas por meio de Análise de Componentes Principais (PCA), pelo pacote  
234 ‘*factoextra*’ (Kassambara & Mundt, 2020) do *software* R 4.0.4.

235

### 236 **3 RESULTADOS**

237

#### 238 **3.1 Taxas de infestação e de parasitismo e relação de dependência de densidade**

##### 239 **entre ambas**

240 As taxas de infestação e parasitismo foram variáveis entre as propriedades ao longo  
241 do período de coleta (Figura 2). Em relação às taxas de infestação, foram encontradas  
242 diferenças significativas entre as propriedades, durante todos os meses ( $p < 0.05$ ),  
243 havendo variação de 3,33 a 64,8%, encontrados para VDC e MUC, respectivamente  
244 (Figura 2A).

245 Verificou-se que os picos de infestação para VDC ocorreram nos meses de abril  
246 (GLM; AIC: 34,88;  $p < 0.0001$ ), maio (GLM; AIC: 35,29;  $p < 0.0001$ ) e junho (GLM;  
247 AIC: 35,23;  $p < 0.0001$ ), sendo que, no mês de maio, a taxa de infestação foi de 53,8%,  
248 a maior infestação registrada para essa propriedade.

249 Para BCH, nos meses de janeiro (GLM; AIC: 33,48;  $p < 0.0001$ ), setembro (GLM;  
250 AIC: 34,26;  $p < 0.0001$ ) e outubro (GLM; AIC: 35,76;  $p < 0.0001$ ), foram encontrados  
251 os picos das infestações na propriedade, chegando a atingir 63,70% (Figura 2A).

252 A maior taxa de infestação registrada foi de 64,8%, durante o mês de junho (GLM;  
253 AIC: 35,23;  $p < 0.0001$ ), para o cafezal de MUC. Também foram observados picos de  
254 infestação nos meses de janeiro (GLM; AIC: 33,48;  $p < 0.0001$ ), julho (GLM; AIC: 35,73;  
255  $p < 0.0001$ ) e agosto (GLM; AIC: 35,99;  $p < 0.0001$ ).

256 Considerando as taxas de parasitismo, verificaram-se diferenças significativas ( $p <$   
257 0.05) entre as propriedades durante todos os meses de coleta, com exceção do mês de  
258 janeiro ( $p > 0.05$ ). A variação nas taxas de parasitismo foi de 5,83 a 72,6%, ambas  
259 encontradas para a propriedade VDC (Figura 2B).

260 Os picos de parasitismo foram registrados nos meses de junho (GLM; AIC: 35,27;  
261  $p < 0.0001$ ), julho (GLM; AIC: 36,96;  $p < 0.0001$ ) e agosto (GLM; AIC: 37,36;  $p <$   
262 0.0001) para VDC (Figura 2B). No mês de julho, foi observada a maior taxa de  
263 parasitismo, 72,6%.

264 Em relação à BCH, os meses de abril (GLM; AIC: 35,89;  $p < 0.0001$ ), maio (GLM;  
265 AIC: 35,09;  $p < 0.0001$ ) e junho (GLM; AIC: 35,27;  $p < 0.0001$ ) corresponderam aos  
266 períodos de maiores taxas de parasitismo ocorridas no cafezal (Figura 2B).

267 Os picos de parasitismo na propriedade de MUC ocorreram em fevereiro (GLM;  
268 AIC: 36,45;  $p < 0.0001$ ), agosto (GLM; AIC: 37,36;  $p < 0.0001$ ) e setembro (GLM; AIC:  
269 35,51;  $p < 0.0001$ ), sendo encontrada a taxa de 70,6% no mês de agosto.

270 Quanto aos resultados da análise de regressão, foi possível ajustar modelos  
271 quadráticos significativos ( $p < 0.05$ ) para explicar a relação da dependência de densidade  
272 entre infestação e parasitismo de *L. coffeella* para as três propriedades em estudo (Figura



273 3). Em VDC, o parasitismo cresceu até um ponto máximo de 31,28%, correspondendo a  
274 69,99% de infestação e estabilizando a partir desse ponto (Figura 3A).

275 O comportamento da curva para BCH foi inversa àquele verificado para VDC, pois  
276 à medida que ocorrem aumentos nas taxas de infestação, a taxa de parasitismo tende a  
277 reduzir, entretanto, essa redução não ocorre de forma linear (Figura 3B).

278 Na propriedade de MUC (Figura 3C), a relação entre as taxas de infestação e  
279 parasitismo seguiu um modelo similar àquele observado em BHC, ocorrendo redução do  
280 parasitismo com o aumento da infestação, atingindo mínimo de 32,99% de parasitismo,  
281 no valor de 49.99% de infestação, passando a se estabilizar a partir desse ponto.

282

### 283 **3.2 Padrões de distribuição espaço-temporal das taxas de infestação e parasitismo** 284 **durante os estádios fenológicos do cafeeiro**

285

286 Os resultados dos testes de Durbin-Watson e Shapiro-Wilk ( $p < 0.05$ ) indicaram  
287 que os resíduos foram independentes em relação à amostragem, podendo ser utilizados  
288 nas análises geoestatísticas ( $DW_{\text{infestação}}: 1,51^{\text{ns}}$  e  $DW_{\text{parasitismo}}: 1,32^{\text{ns}}$ ).

289 Os ajustes de semivariogramas resultaram em nove modelos gaussianos, sete  
290 modelos esféricos e oito modelos apresentaram efeito pepita puro (Tabela 2). Os valores  
291 de alcance dos modelos, no geral, variaram de 23,38 até 450,67 metros, para a propriedade  
292 de MUC.

293 Para as infestações, os graus de dependência espacial (GDE) encontrados variaram  
294 entre as propriedades em função do estágio fenológico da planta (Tabela 2). A  
295 dependência espacial foi moderada em apenas uma situação, para MUC, durante o  
296 período de colheita, atingindo valor de 0,53. Altos valores de GDE ( $> 0,75$ ) foram  
297 verificados para BCH em todos os estádios fenológicos do cafeeiro na região, indicando  
298 forte dependência espacial (agregação) das infestações. Para VDC, apenas na fase de

299 granação é que foi verificada forte dependência espacial das infestações, nos demais  
300 períodos, a infestação foi do tipo ao acaso (Tabela 3).

301 Em relação ao parasitismo, verificou-se forte dependência espacial ( $GDE > 0,75$ )  
302 para as três propriedades durante a fase de granação, contudo, durante os períodos de  
303 maturação dos grãos e colheita, apenas a propriedade MUC apresentou dependência  
304 espacial (Tabela 2). A distribuição do tipo ao acaso foi verificada para VDC e BCH pelos  
305 valores do Índice Global de Moran (Tabela 3), já que, pelos ajustes de semivariogramas,  
306 encontrou-se efeito pepita puro para as propriedades durante esse período. A dependência  
307 espacial foi forte para BCH e MUC durante o estágio de pós-colheita e floração, e  
308 distribuição ao acaso para VDC.

309 Pelos valores do Índice Global de Moran ( $I_0$ ), verificou-se que a distribuição  
310 espacial foi idêntica àquela determinada pela análise de semivariogramas, indicando  
311 autocorrelação espacial com distribuição agregada e ao acaso para as propriedades  
312 (Tabela 3).

313 Pelos mapas de contorno gerados após interpolação, observou-se que, em VDC,  
314 apenas durante a fase de granação, as infestações ocorreram em maiores taxas ( $> 59\%$ )  
315 em pequenas manchas circulares nos pontos amostrados, com maior ocorrência nos locais  
316 mais ao norte da área (Figura 4). Para o parasitismo, verificaram-se os agregados ( $>$   
317  $52,1\%$ ) espalhados em todos os pontos da área amostral, não coincidindo com os pontos  
318 de alta infestação.

319 As infestações na propriedade BCH ocorreram em pequenas manchas circulares  
320 com altas taxas de infestação ( $> 62,7\%$ ) em toda a área, com uma agregação maior em  
321 taxas de  $51,8\%$ , nos pontos mais ao norte da área, na fase de granação (Figura 4). Durante  
322 a maturação, observaram-se aumentos das infestações em toda a área representada por

323 manchas de cor amarela (43,9%) e pequenas reboleiras de cor vermelha e laranja,  
324 distribuídas na área, indicando as maiores infestações nesses pontos.

325 As infestações reduziram durante a fase de colheita em toda a área, com pequenos  
326 círculos e manchas com alta infestação (>58,5%) em alguns pontos, contudo, durante a  
327 fase de pós-colheita/floração, verificaram-se aumentos nas taxas de infestação em toda a  
328 área, com as maiores taxas de infestação (69,9%) concentradas ao leste.

329 Em relação ao parasitismo em BCH, a formação de algumas agregações com altas  
330 taxas de parasitismo (72,9%) concentrou-se nos pontos mais ao norte da área durante a  
331 granação (Figura 4). Entretanto, durante a fase de pós-colheita/floração, um número  
332 maior de reboleiras com altas taxas (> 51,3%) foram observadas na parte mais ao sul da  
333 área.

334 Na propriedade MUC, na granação, as infestações ocorreram em pequenas manchas  
335 circulares nos pontos amostrados (>88,4%) e, em grande parte da área, as infestações  
336 apresentaram taxas em torno de 38% (Figura 4). Houve uma redução das infestações na  
337 fase de maturação, porém, com altas infestações concentrando-se em pequenas manchas  
338 (63,4%), sendo que, na maior parte da área, a infestação alcançou 26,9%.

339 As infestações voltaram a aumentar durante a colheita, com uma mancha  
340 relativamente grande, concentrando as infestações mais altas (>86,5%) nos pontos mais  
341 ao sul da área; além disso, em uma região considerável da área, as infestações atingiram  
342 56,8%. Durante a fase de pós-colheita/floração, verificou-se que as infestações  
343 diminuíram, com altas taxas (>51,3%) concentrando-se em reboleiras ao norte da área e  
344 uma pequena mancha mais ao sul.

345 Para o parasitismo, as reboleiras com altas taxas de parasitismo (>76,5%) foram  
346 encontradas na região sul da área, durante a fase de granação, sendo a maior parte da área  
347 amostral com parasitismo em torno de 30,3% (Figura 4). Entretanto, ocorreram aumentos

348 nas taxas de parasitismo durante a maturação, em grande parte da área, as taxas de  
349 parasitismo atingiram 43%; e as maiores taxas (>95,1%) em manchas concentradas mais  
350 ao leste da área. Durante a fase de colheita, foi possível observar a formação de duas  
351 grandes manchas com altas taxas de parasitismo (>67,2%), uma mais ao sul e outra ao  
352 leste, sendo que, na maior parte das áreas, o parasitismo esteve presente, com taxa de  
353 40,4%.

354 Na fase de colheita e pós-colheita, não houve uma variação muito grande nas taxas  
355 de parasitismo, no entanto, verificou-se maior distribuição das reboleiras com altas taxas  
356 de parasitismo (>67,0%); na maior parte da área amostral, o parasitismo apresentou taxas  
357 em torno de 41,1%.

358

### 359 **3.3 Efeito dos fatores climáticos e da aplicação de inseticidas na dependência** 360 **espacial das infestações e parasitismo**

361

362 Os resultados referentes aos fatores climáticos estão apresentados na Figura 5.  
363 Foram encontradas diferenças significativas entre os municípios para todos os fatores  
364 climáticos estudados ( $p < 0.05$ ). Verificou-se a ocorrência de variações nos fatores  
365 climáticos entre os municípios, com registros de maiores temperaturas nos meses de  
366 fevereiro (GLM; AIC: 105,2;  $p < 0.001$ ), agosto (GLM; AIC: 22.86;  $p < 0.001$ ) e setembro  
367 (GLM; AIC: 50,6;  $p < 0.001$ ). Em relação à precipitação pluviométrica, de maneira geral,  
368 os menores valores foram registrados para o período de maio a agosto (Figura 5A).  
369 Considerando os fatores umidade relativa e velocidade do vento, houve variações entre  
370 as propriedades, sendo que, nos meses de julho e agosto, foram constatadas as maiores  
371 médias (Figura 5B).

372 A análise de Componentes Principais indicou que os dois primeiros componentes  
373 foram responsáveis por explicar pouco mais que 75,20% da variação dos dados (Figura

374 6). A dispersão de scores no diagrama mostra que as propriedades VDC e BCH tiveram  
375 alguns valores de score próximos entre si, enquanto que os scores de MUC ficaram mais  
376 concentrados e distantes de VDC e BCH (Figura 6).

377 Os autovetores no componente principal 1 (54,6%) indicaram a existência de uma  
378 correlação positiva e significativa entre o número de aplicações de inseticidas com o grau  
379 de dependência espacial das infestações, com formação de ângulos mais próximos entre  
380 essas duas variáveis. É possível observar a fraca correlação de todos os fatores climáticos  
381 com os níveis de dependência espacial, formando ângulos maiores entre os autovetores e  
382 distantes dessas variáveis (Figura 6). Correlação positiva, porém, fraca, foi encontrada  
383 para o parasitismo, tanto para o número de aplicações de inseticidas como também para  
384 os fatores climáticos estudados.

385

#### 386 **4 DISCUSSÃO**

387

388 A dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro e de seus parasitoides é  
389 influenciada pelas condições climáticas (Lomelí-Flores *et al.*, 2010). Para as condições  
390 deste trabalho, as diferenças entre os fatores climáticos mostraram que existem duas  
391 épocas mais chuvosas e com temperaturas mais altas, durante os meses de dezembro a  
392 março e de setembro a novembro; e uma época mais seca e com temperaturas mais baixas  
393 encontradas nos meses de abril a agosto. A temperatura e precipitação são fatores  
394 climáticos mais importantes que exercem efeito na dinâmica populacional do bicho-  
395 mineiro e de seus parasitoides (Tuelher *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2007), desse modo, é  
396 possível que as infestações da praga e de parasitoides apareçam com intensidades  
397 diferentes durante alguns períodos do ano.

398 Isso foi verificado, pois as taxas de infestação e parasitismo foram variáveis entre  
399 as propriedades ao longo do período de coleta; contudo, as maiores taxas, tanto de

400 infestação quanto de parasitismo, foram encontradas durante os meses mais frios  
401 (temperatura média de 16 °C) e secos (ausência de precipitação ou no máximo 30mm),  
402 divergindo do que se tem relatado na literatura, que mostram que as infestações são  
403 maiores durante períodos com temperaturas mais elevadas e baixos índices  
404 pluviométricos (Tuelher *et al.*, 2003; Fernandes *et al.*, 2009). Essas diferenças  
405 encontradas podem estar associadas à altitude e vegetação local que afetam o clima da  
406 região onde se cultiva o cafeeiro.

407       As taxas de parasitismo relatadas no Brasil variam em torno 13 a 20% (Parra &  
408 Reis, 2013) em campo, entretanto, essas proporções podem ser variáveis, dependendo das  
409 condições do clima e manejo. Para o estado da Bahia, por exemplo, as taxas de  
410 parasitismo podem chegar a 30% (Melo *et al.*, 2019) e, em Minas Gerais, já foram  
411 encontradas taxas de até 80,5% de parasitismo (Ecole *et al.*, 2013). Menores taxas de  
412 infestação e parasitismo tendem a ocorrer durante os meses de outubro a dezembro na  
413 região cafeeira do Planalto e aumentar durante os meses de janeiro a abril (Souza *et al.*,  
414 2014). Todavia, as variações nos fatores climáticos podem levar a aumentos nas taxas de  
415 infestação e parasitismo, visto que, para as três propriedades estudadas, os maiores  
416 valores foram encontrados no período de abril a agosto. Dessa maneira, é possível que a  
417 diminuição da temperatura na região, juntamente com as baixas precipitações, possibilite  
418 condições adequadas para o desenvolvimento, tanto da praga como de seus parasitoides,  
419 nesse período do ano. Essa variação sazonal que ocorre no ano deve ser levada em conta  
420 no momento das amostragens, pois pode implicar em diferentes estratégias de tomada de  
421 decisão para manejar a praga.

422       Além disso, durante esse período, é realizada a colheita nos cafezais e a frequência  
423 de aplicação de inseticidas é reduzida, no intuito de respeitar o período de carência dos  
424 produtos, levando ao crescimento das populações do bicho-mineiro e do seu parasitismo.

425 A dependência entre infestação e parasitismo na população de VDC, propriedade  
426 na qual não se usa inseticidas por longo período de tempo, indicou relação positiva, até  
427 certo ponto, a partir do qual praticamente se estabilizou; e o contrário foi verificado para  
428 BCH e MUC (Figura 4). Essa divergência ocorreu, possivelmente, em função do uso de  
429 inseticidas nos cafezais, uma vez que essa relação de dependência de densidade entre  
430 infestação e parasitismo é instável e pode sofrer efeito das condições do manejo  
431 empregadas nos cultivos. Geralmente, onde o uso de agrotóxicos é maior, menor tende a  
432 ser a dependência de densidade de parasitoides (Morgan *et al.*, 2017), dessa maneira, é  
433 possível que, com o uso de inseticidas seletivos, essa relação de dependência de densidade  
434 pode ser diferente desse comportamento relatado.

435 A distribuição agregada, verificada para as propriedades em relação às taxas de  
436 infestação e parasitismo, sugere que as práticas de manejo, principalmente o uso de  
437 inseticidas, contribuem com maior peso para essa agregação (Tabela 2 e Figura 5). Isso  
438 pode ser um indicativo da localização dos indivíduos resistentes a inseticidas, que formam  
439 reboleiras iniciais e depois se dispersam para o cafezal.

440 Na propriedade de VDC, a dependência espacial foi forte, tanto para as infestações  
441 quanto para o parasitismo, apenas durante a fase de granação. Pelo Índice de Moran, as  
442 populações de VDC estão apresentando tendência de distribuição ao acaso na área  
443 (Tabela 3 e Figura 5). Em cafezais orgânicos, a distribuição espacial do bicho-mineiro e  
444 de suas vespas predadoras ocorre ao acaso (Scalon *et al.*, 2011; Scalon *et al.*, 2013; Costa  
445 *et al.*, 2015). As infestações da praga, geralmente, ocorrem nos locais mais ao norte ou  
446 centrais da área amostral (Alves *et al.*, 2011), semelhantemente ao resultado apresentado  
447 neste trabalho, no entanto, esse fato merece maiores investigações.

448 Sendo assim, a forte agregação encontrada para as propriedades que aplicam  
449 inseticidas para controle do bicho-mineiro indica padrões de distribuição espacial

450 diferentes e esses padrões precisam ser considerados na construção dos planos de  
451 amostragem da praga (Vieira Neto, 1999).

452 O efeito do uso de inseticidas nos padrões de agregação encontrados foi  
453 significativo pela Análise de Componentes Principais (Figura 6). Uma hipótese para  
454 explicar essa condição é de que os inseticidas eliminam os indivíduos suscetíveis da área,  
455 selecionando os indivíduos resistentes, que se reproduzem, inicialmente, em reboleiras e  
456 se dispersam para outras partes da área. O bicho-mineiro, contudo, não apresenta boa  
457 habilidade para voar, podendo se deslocar voluntariamente em voos curtos por apenas 9  
458 metros (Box, 1923), o que justifica a sua distribuição ser agregada e em pontos próximos  
459 entre si. A dispersão da praga ocorre em grandes distâncias, através do vento, que carrega  
460 os indivíduos (Souza *et al.*, 1998).

461 A dispersão é um dos fatores importantes na seleção e evolução da resistência a  
462 inseticidas do bicho-mineiro (Fragoso *et al.*, 2003), dessa maneira, os estudos de  
463 espacialização dessa praga também são de relevância para estratégias de manejo de  
464 resistência.

465 Dessa forma, a distância espacial de alcance da dependência espacial para os  
466 cafezais com pressão de seleção de inseticidas tem grande importância para a amostragem  
467 eficiente do bicho-mineiro e de seus parasitoides. Há necessidade de se levar em conta  
468 esse aspecto nos planos de amostragem, que devem ser repensados quanto à forma de  
469 execução para essas condições, a fim de evitar erros de estimativas populacionais  
470 generalizadas para uma área em que as taxas estejam ocorrendo em menor percentual, por  
471 exemplo.

472 As informações levantadas neste trabalho evidenciam que um mesmo plano de  
473 amostragem pode não ser eficaz para todas as situações de condução dos cafezais. Para  
474 cultivos tradicionais com uso intensivo de inseticidas, o sistema de amostragem deve estar



475 baseado no modelo da binomial negativa e devem ser consideradas a distância em que as  
476 amostragens estão correlacionadas, o tipo de manejo e a fase fenológica do cafeeiro. Para  
477 propriedades que não controlam o bicho-mineiro com inseticidas, a distância máxima  
478 entre amostragens, recomendada para as infestações, deve ser de 28 metros e de 25 metros  
479 para o parasitismo durante o período de granação, recomendando-se 25 metros para  
480 amostragem concomitante da infestação e parasitismo. Nos demais estádios fenológicos,  
481 a amostragem da infestação e parasitismo pode ser feita a partir de distâncias aleatórias.  
482 Em cafezais que utilizam inseticidas, a distância de amostragens deve ser de, no máximo,  
483 40 metros na fase de granação; 23 metros na fase de granação; 42 m na colheita; e 29  
484 metros na fase de pós-colheita. Para amostragem dos parasitoides, as distâncias  
485 recomendadas são de 25, 18, 180 e 40 metros, correspondendo aos estádios de granação,  
486 maturação, colheita e pós-colheita, respectivamente. De modo geral, recomenda-se  
487 utilizar a menor distância encontrada para o estabelecimento dos planos de amostragem  
488 (Ferraz *et al.*, 2017).

489 Ressalta-se a importância de ampliar os conhecimentos sobre o efeito do uso de  
490 inseticidas nos padrões de distribuição espacial do bicho-mineiro e do seu parasitismo  
491 natural, no sentido de contribuir para o aperfeiçoamento dos planos de amostragem para  
492 cafezais com manejos ou sistemas de cultivo diferenciados.

493

## 494 **5 AGRADECIMENTOS**

495

496 À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB; à CAPES, FAPESB e  
497 CNPq, pelo suporte financeiro para a condução dos experimentos; às Fazendas Progresso,  
498 Ceci, Primavera e à Empresa Café Bahia, pela disponibilização das áreas experimentais.

499

500

501 **REFERÊNCIAS**

502

503 Alves, P.M.P., Lima, J.O.G. & Oliveira, L.M. (1992) Monitoramento da resistência do  
504 bicho-mineiro-do-café, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetidae), a  
505 inseticidas em Minas Gerais. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 21, 77-  
506 91.

507 Alves, M. C., Silva, F. M., Moraes, J. C., Pozza, E. A., Oliveira, M. S., Souza, J. C., &  
508 Alves, L. S. (2011). Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry  
509 borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. Precision Agriculture, 12(1),18-  
510 31.

511 Bacca, T., Lima, E. R., Picanço, M. C., Guedes, R. N. C., & Viana, J. H. M. (2006).  
512 Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the coffee leaf miner  
513 *Leucoptera coffeella*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 119(1), 39-45.

514 Bacca, T., Lima, E. R., Picanço, M. C., Guedes, R. N. C., & Viana, J. H. M. (2008).  
515 Sampling plan for the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* with sex pheromone  
516 traps. Journal of Applied Entomology, 132(6), 430-438.

517 Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects  
518 models using lme4. arXiv preprint arXiv:1406.5823.

519 Box, H. E. (1923). The Bionomics of the White Coffee-leaf Miner, *Leucoptera*  
520 *coffeella*, Guér., in Kenya Colony (Lepidoptera, Lyonetidae.). Bulletin of  
521 Entomological Research, 14(2), 133-145.

522 Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco,  
523 R. F., & Konopka, A. E. (1994). Field-Scale Variability of Soil Properties in  
524 Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal, 58(5), 1501-1511.

525 Carvalho, S. C., Junior, P. A., Pereira, P. S., Sarmiento, R. A., Farias, E. S., Lima, C. H.,  
526 Santos, G.R. & Picanço, M. C. (2020). Spatial distribution of *Frankliniella*  
527 *schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) in open-field yellow melon, with emphasis on  
528 the role of surrounding vegetation as a source of initial infestation. Journal of  
529 Economic Entomology, 113(6), 2997-3003.

- 530 CONAB, C. D. A. (2021). Acompanhamento da safra brasileira de café safra 2021.  
531 Terceiro levantamento, 8(3), 59.
- 532 Conceição, R. S., Pereira, L. B., & Veiga, A. J. P. (2016). Análise da temperatura do ar,  
533 precipitação, evapotranspiração, déficit e excedente hídrico em Vitória da  
534 Conquista–BA, de 1961 a 1990. *Revista Georaguaia*, 6(1).
- 535 Costa, F. M. D., Alves, G. D. F., Scalon, J. D., & Zacarias, M. S. (2015). Análise  
536 estatística das distribuições espaciais do bicho-mineiro do cafeeiro e das vespas  
537 predadoras. *Coffee Science*, 10(2), 149-157.
- 538 Costa, D.P., Fernandes, F.L., Alves, F.M., Silva, E.M. & Visôto, L.E. (2016) Resistance  
539 to neurotoxic insecticides in populations of the coffee leafminer, in: Trdan, S.  
540 (Ed.) *Insecticide Resistance*. IntechOpen, London, 3-17.
- 541 David-Rueda, G., Constantino, L. M., Cecilia Montoya, E., Ortega, O. E., Nancy Gil,  
542 Z., & Benavides-Machado, P. (2016). Diagnostic of *Leucoptera coffeella*  
543 (Lepidoptera: Lyonetiidae) and its parasitoids in the department of Antioquia,  
544 Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 42(1), 4-11.
- 545 Ecole, C. C., Vilela, M., Moraes, J. C., & Silva, R. A. (2013). Dinâmica populacional  
546 do bicho-mineiro e de seus inimigos naturais em cafeeiros orgânico e  
547 convencional adensados. *Brazilian Journal of Agriculture-Revista de Agricultura*,  
548 88(1), 44-52.
- 549 Fernandes, F. L., Mantovani, E. C., Bonfim Neto, H., & Nunes, V. D. V. (2009). Efeitos  
550 de variáveis ambientais, irrigação e vespas predadoras sobre *Leucoptera coffeella*  
551 (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) no cafeeiro. *Neotropical*  
552 *Entomology*, 38, 410-417.
- 553 Ferraz, G. A., Silva, F. M. D., Oliveira, M. S. D., Custódio, A. A. P., & Ferraz, P. F. P.  
554 (2017). Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira.  
555 *Revista Ciência Agronômica*, 48, 81-91.
- 556 Fragoso, D. B., Guedes, R. N. C., Picanço, M. C., & Zambolim, L. (2002). Insecticide  
557 use and organophosphate resistance in the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*  
558 (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Bulletin of Entomological Research*, 92(3), 203-212.

559 Fragoso, D. B., Guedes, R. N., & Ladeira, J. A. (2003). Selection in the evolution of  
560 resistance to organophosphates in *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville)  
561 (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Neotropical Entomology*, 32(2), 329-334.

562 Gravena, S. (1983). Táticas de manejo integrado do bicho-mineiro do cafeeiro  
563 *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Menèville, 1842). II-Amostragem da praga e de  
564 seus inimigos naturais. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 12(2) 273-  
565 281.

566 Kassambara, K. & Mundt, F. Extract and Visualize the Results of Multivariate Data  
567 Analyses. R package version 1.0.7. 2020.

568 Lee, M. Y. (2016). On the Durbin-Watson statistic based on a Z-test in large samples.  
569 *International Journal of Computational Economics and Econometrics*, 6(1), 114-  
570 121.

571 Leite, S. A., Guedes, R. N. C., Santos, M. P. D., Costa, D. R. D., Moreira, A. A.,  
572 Matsumoto, S. N., Lemos, O.L., & Castellani, M. A. (2020b). Profile of coffee  
573 crops and management of the Neotropical coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*.  
574 *Sustainability*, 12(19), 8011.

575 Leite, S. A., dos Santos, M. P., da Costa, D. R., Moreira, A. A., Guedes, R. N. C., &  
576 Castellani, M. A. (2021). Time-concentration interplay in insecticide resistance  
577 among populations of the Neotropical coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*.  
578 *Agricultural and Forest Entomology*, 23(2), 232-241.

579 Leite, S. A., Dos Santos, M. P., Resende-Silva, G. A., da Costa, D. R., Moreira, A. A.,  
580 Lemos, O. L., Guedes, R.N.C. & Castellani, M. A. (2020). Area-Wide survey of  
581 chlorantraniliprole resistance and control failure likelihood of the Neotropical  
582 coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Journal of*  
583 *Economic Entomology*, 113(3), 1399-1410.

584 Lomeli-Flores, J. R., Barrera, J. F., & Bernal, J. S. (2009). Impact of natural enemies on  
585 coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) population  
586 dynamics in Chiapas, Mexico. *Biological control*, 51(1), 51-60.

587 Lomelí-Flores, J. R., Barrera, J. F., & Bernal, J. S. (2010). Impacts of weather, shade  
588 cover and elevation on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera:  
589 Lyonetiidae) population dynamics and natural enemies. *Crop protection*, 29(9),  
590 1039-1048.

591 Lenth, R.V. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R  
592 package version 1.4.5. Available at: <[https://CRAN.R-](https://CRAN.R-project.org/package=emmeans)  
593 [project.org/package=emmeans](https://CRAN.R-project.org/package=emmeans)>. Accessed on: May 10, 2020.

594 Martins, J. C., Picanço, M. C., Silva, R. S., Gonring, A. H., Galdino, T. V., & Guedes,  
595 R. N. (2018). Assessing the spatial distribution of *Tuta absoluta* (Lepidoptera:  
596 Gelechiidae) eggs in open-field tomato cultivation through geostatistical analysis.  
597 *Pest Management Science*, 74(1), 30-36.

598 Melo, T. L., Castellani, M. A., Nascimento, M. D. L. D., Menezes Junior, A. D. O.,  
599 Ferreira, G. F. P., & Lemos, O. L. (2007). Comunidades de parasitóides de  
600 *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera:  
601 Lyonetiidae) em cafeeiros nas regiões Oeste e Sudoeste da Bahia. *Ciência e*  
602 *Agrotecnologia*, 31, 966-972.

603 Melo, T. L., Raetano, C. G., Nery, M. S., Cardoso, A. D., Moreira, A. A., Leite, S. A.,  
604 Jesus, T.F., Silva, W.G.O. & Castellani, M. A. (2019). Management of coffee leaf  
605 miner: spray volume, efficacy of cartap hydrochloride and impact on parasitism.  
606 *Coffee Science*, 14(2), 250-260.

607 Morgan, W. H., Thébault, E., Seymour, C. L., & Van Veen, F. F. (2017). Density  
608 dependence and environmental factors affect population stability of an agricultural  
609 pest and its specialist parasitoid. *BioControl*, 62(2), 175-184.

610 Pantoja-Gomez, L.M., Corrêa, A.S., Oliveira, L.O. & Guedes, R.N.C. (2019) Common  
611 origin of Brazilian and Colombian populations of the Neotropical coffee leaf  
612 miner, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Journal of Economic*  
613 *Entomology*, 112, 924-931.

614 Parra, J. R. P., & Reis, P. R. (2013). Manejo integrado para as principais pragas da  
615 cafeicultura, no Brasil. *Visão Agrícola*, 8(12), 47-50.

616 Pereira, E. J. G., Picanço, M. C., Bacci, L., Della Lucia, T. M. C., Silva, É. M., &  
617 Fernandes, F. L. (2007a). Natural mortality factors of *Leucoptera coffeella*  
618 (Lepidoptera: Lyonetiidae) on *Coffea arabica*. *Biocontrol Science and*  
619 *Technology*, 17(5), 441-455.

620 Pereira, E. J. G., Picanço, M. C., Bacci, L., Crespo, A. L. B., & Guedes, R. N. C.  
621 (2007b). Seasonal mortality factors of the coffee leafminer, *Leucoptera coffeella*.  
622 *Bulletin of Entomological Research*, 97(4), 421-432.

623 R Development Core Team (2020). R: A language and environment for statistical  
624 computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL  
625 <http://www.R-project.org>.

626 Rosado, M.C., Araújo, G. J., Pallini, A., & Venzon, M. (2021). Cover crop  
627 intercropping increases biological control in coffee crops. *Biological Control*, 160,  
628 104675.

629 Scalon, J. D., Avelar, M. B. L., Alves, G. D. F., & Zacarias, M. S. (2011). Spatial and  
630 temporal dynamics of coffee-leaf-miner and predatory wasps in organic coffee  
631 field in formation. *Ciência Rural*, 41, 646-652.

632 Scalon, J. D., Mateus, A. L. S. S., & Zacarias, M. S. (2013). Análise espaço-temporal do  
633 nível de infestação do bicho-mineiro *Leucoptera coffeella*, (Guérin-Menèville &  
634 Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em cafezal orgânico (*Coffea arabica*  
635 L.). *Coffee Science*, 8(3), 347-353.

636 Souza, J. D., Reis, P. R., & Rigitano, R. D. O. (1998). Bicho-mineiro do cafeeiro:  
637 biologia, danos e manejo integrado. Belo Horizonte: EPAMIG.

638 Souza, T. P., Castellani, M. A., Lemos, R. N. S., Maluf, R. P., Moreira, A. A., Silva, B.  
639 S., & Ribeiro, E. B. (2014). Ocorrência sazonal, predação e parasitismo de  
640 *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em  
641 cafeeiros associados a grevíleas. *Coffee Science*, 9(1), 34-50.

642 Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI. (1998).  
643 Informações municipais. Disponível em:

644 <[https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=266](https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=266)>. Acessado em 01 dezembro de 2021.

645

646 Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI. (2015). Sistemas de

647 Informações Municipais. Disponível em:

648 <http://sim.sei.ba.gov.br/sim/tabelas.wsp#>. Acessado em 01 de dezembro de 2021.

649 Torres, J. B., & Bueno, A. D. F. (2018). Conservation biological control using selective

650 insecticides—a valuable tool for IPM. *Biological Control*, 126, 53-64.

651 Tuelher, E. S., Oliveira, E. E., Guedes, R. N. C., & Magalhães, L. C. (2003). Ocorrência

652 de bicho-mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) influenciada pelo período

653 estacional e pela altitude. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 25(1), 119-124.

654 Vieira Neto, J., Aquino, L., Bearzoti, E., & Sousa, J. (1999). Otimização da amostragem

655 sequencial para o monitoramento do bicho-mineiro do cafeeiro/*Perileucoptera*

656 *coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) em Lavras, Minas Gerais. *Ciência e*

657 *Agrotecnologia (Brasil)*, 23(3), 707-718.

658 Villacorta, A., Wilson, L. T., Carrillo, E., & Ochoa, H. (2006). Enumerative and

659 binomial sequential sampling plans for damage caused to coffee by larvae of

660 *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) in

661 Guatemala. *Revista Peruana de Entomología*, 45.

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

**Tabela 1.** Sistema de irrigação e frequência média anual de aplicação de inseticidas utilizados em cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil

Propriedade	Município	Sistema de irrigação	Frequência média anual de aplicação de inseticidas (2017 a 2021)	Inseticidas utilizados	Época de aplicação
VDC	Vitória da Conquista	Sequeiro	-	Sem histórico de uso de inseticidas nos últimos 15 anos	-
BCH	Barra do Choça	Sequeiro	5	Abamectina, Acetamiprido+bifentrina, Alfa-cipermetrina, Beta-ciflutrina, Clorantraniliprole, Cloridrato de Cartape, Cipermetrina, Imidacloprido, Lambda-cialotrina, Teflubenzurom, Tiametoxam + ciproconazole	2017 – (fevereiro, março, novembro)
					2018 – (janeiro, março, outubro, novembro)
					2019 – (fevereiro, março, abril, novembro)
					2020 (janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro)
MUC	Mucugê	Gotejamento	8	Abamectina, Acetamiprido+bifentrina, Beta-ciflutrina, Clorantraniliprole, Deltametrina, Imidacloprido, Profenofós+lufenuron, Tiametoxam + ciproconazole, Tiametoxam	2021 – (fevereiro, abril, novembro)
					2017 – (fevereiro, abril, setembro, novembro)
					2018 – (janeiro, fevereiro, setembro)
					2019 – (janeiro, abril, novembro)
					2020- (março, abril, novembro)
					2021- (janeiro, fevereiro, abril, maio, setembro, novembro)

VDC = Vitória da Conquista; BCH= Barra do Choça; MUC = Mucugê



**Tabela 2.** Modelos de Semivariogramas ajustados para taxa de infestação e parasitismo de *Leucoptera coffeella* nos estádios fenológicos do cafeeiro no Planalto da Conquista, Bahia, Brasil

Estádio fenológico	Propriedade*	Taxa de infestação (%)								
		Modelos ajustados							Validação cruzada	
		Modelo	SSR	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	Alcance	NDE (Classe)	R <sup>2</sup>	β <sub>0</sub>	β <sub>1</sub>
Granação	VDC	Gaussiano	16.04	1.00	386.60	28.05	0.99 (Forte)	0.88	0.15	0.98
	BCH	Gaussiano	24.07	15.20	190.20	40.53	0.92 (Forte)	0.63	0.11	0.84
	MUC	Gaussiano	42.68	23.70	279.60	40.70	0.92 (Forte)	0.58	0.29	0.52
Maturação	VDC	Efeito pepita puro								
	BCH	Gaussiano	7.58	19.60	206.50	32.04	0.90 (Forte)	0.69	0.29	0.74
	MUC	Gaussiano	36.93	30.00	353.30	23.38	0.92 (Forte)	0.38	0.17	0.89
Colheita	VDC	Efeito pepita puro								
	BCH	Gaussiano	15.83	43.20	279.30	42.44	0.85 (Forte)	0.84	0.21	0.71
	MUC	Gaussiano	14.38	160.50	340.90	117.77	0.53 (Moderada)	0.74	0.33	0.65
Pós-colheita/Floração	VDC	Efeito pepita puro								
	BCH	Gaussiano	16.04	15.00	188.40	29.79	0.92 (Forte)	0.52	0.61	0.66
	MUC	Gaussiano	351.14	80.00	570.90	450.67	0.86 (Forte)	0.83	0.25	0.83
		Taxa de parasitismo (%)								
		Modelo	SSR	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	Alcance	NDE (Classe)	R <sup>2</sup>	β <sub>0</sub>	β <sub>1</sub>
Granação	VDC	Esférico	68.53	4.60	250.00	25.90	0.98 (Forte)	0.42	0.55	0.21
	BCH	Esférico	14.94	0.10	232.20	31.40	0.99 (Forte)	0.49	0.10	0.32
	MUC	Esférico	118.77	9.10	232.10	46.00	0.96 (Forte)	0.77	0.28	0.77
Maturação	VDC	Efeito pepita puro								
	BCH	Efeito pepita puro								
	MUC	Esférico	93.83	1.00	568.30	18.40	0.99 (Forte)	0.69	0.44	0.68
Colheita	VDC	Efeito pepita puro								
	BCH	Efeito pepita puro								
	MUC	Esférico	182.15	55.00	588.90	180.70	0.91 (Forte)	0.95	0.27	0.81
Pós-colheita/Floração	VDC	Efeito pepita puro								
	BCH	Esférico	65.4	30.70	167.50	40.70	0.82 (Forte)	0.77	0.35	0.68
	MUC	Esférico	34.06	4.90	314.90	44.20	0.98 (Forte)	0.50	0.19	0.70

\* VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê.

**Tabela 3.** Índice Global de Moran para taxas de infestação e parasitismo em função dos estádios fenológicos do cafeeiro na região do Planalto, Bahia

Estádio fenológico	Propriedade <sup>1</sup>	Índice				Distribuição
		Global de Moran (I <sub>0</sub> )	Z-score	p-valor		
<b>Taxa de infestação (%)</b>						
Granação (dez 2020 – fev 2021)	VDC	0.14	2.85	0.03*	Agregada	
	BCH	0.17	2.99	0.02*	Agregada	
	MUC	0.68	2.75	0.04*	Agregada	
Maturação (mar – mai 2021)	VDC	0.16	0.97	0.33 <sup>ns</sup>	Ao acaso	
	BCH	0.58	3.42	< 0.01	Agregada	
	MUC	0.61	3.62	< 0.001	Agregada	
Colheita (jun – set 2021)	VDC	0.25	3.47	0.14 <sup>ns</sup>	Ao acaso	
	BCH	0.68	3.35	0.02*	Agregada	
	MUC	0.78	3.12	< 0.01	Agregada	
Pós-colheita/Floração (out – nov 2021)	VDC	0.05	0.33	0.74 <sup>ns</sup>	Ao acaso	
	BCH	0.39	2.86	0.01*	Agregada	
	MUC	0.78	4.58	<0.001	Agregada	
<b>Índice</b>						
	Propriedade	Global de Moran (I)	Z-score	p-valor	Distribuição	
<b>Taxa de parasitismo (%)</b>						
Granação (dez 2020 – fev 2021)	VDC	0.02	2.11	0.01*	Agregada	
	BCH	0.98	3.04	0.03*	Agregada	
	MUC	0.48	2.87	< 0.01	Agregada	
Maturação (mar – mai 2021)	VDC	0.05	0.36	0.71	Ao acaso	
	BCH	0.15	0.93	0.34	Ao acaso	
	MUC	0.70	3.23	0.02*	Agregada	
Colheita (jun – set 2021)	VDC	0.09	0.57	0.56	Ao acaso	
	BCH	0.03	0.78	0.20	Ao acaso	
	MUC	0.51	2.86	0.04*	Agregada	
Pós-colheita/Floração (out – nov 2021)	VDC	0.21	1.26	0.20	Ao acaso	
	BCH	0.89	3.34	0.01*	Agregada	
	MUC	0.49	2.66	0.04*	Agregada	

<sup>1</sup> VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê.

\* significativo (p < 0.05), valores significativos e positivos = distribuição agregada; valores significativos e negativos = distribuição uniforme e valores não-significativos = distribuição ao acaso.

676

677

678

679

680

681

682

683 **Legendas das figuras**

684

685 **Figura 1.** Grids amostrais instalados em cada cafezal para estudos de distribuição espacial  
686 das infestações e parasitismo. Os símbolos indicam os pontos amostrais. Sistema de  
687 Coordenadas (UTM, Zona 24 S). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC=  
688 Mucugê.

689

690 **Figura 2.** Taxas de infestação (%) (A) e parasitismo (%) (B) de *Leucoptera coffeella* em  
691 cafezais durante os estádios fenológicos do cafeeiro. NA = Nível de Ação. Barras  
692 acompanhadas de erro padrão seguidas de mesma letra, não diferem entre si ( $p < 0.05$ ).  
693 VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê.

694

695 **Figura 3.** Estimativa da dependência de densidade entre as taxas de infestação e  
696 parasitismo de *Leucoptera coffeella* nas propriedades VDC – sem uso de inseticidas (A),  
697 BCH – com uso de inseticidas (B) e MUC – com uso de inseticidas (C). Ajuste de  
698 regressão ( $p < 0.05$ ). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê.

699

700 **Figura 4.** Mapas de contorno para a distribuição espacial das taxas de infestação e  
701 parasitismo de *Leucoptera coffeella* em cafezais em função dos estádios fenológicos da  
702 cultura do cafeeiro na região do Planalto, Bahia, Brasil. Sistema de Coordenadas (UTM,  
703 Zona 24 S). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê.

704

705 **Figura 5.** Médias mensais de temperatura do ar (máxima, média e mínima) (°C),  
706 precipitação pluviométrica (mm) (A), velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) e umidade relativa (%)  
707 (B) dos municípios de Barra do Choça e Mucugê no Planalto, Bahia, Brasil. Linhas e

708 barras seguidas de mesma letra não diferem entre si (GLM, family: gaussian (link =  
709 identity),  $p < 0.05$ ). VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra do Choça; MUC= Mucugê.

710

711 **Figura 6.** Análise de Componentes Principais (PCA) para as variáveis N° de aplicações  
712 de inseticidas, temperaturas máxima, média e mínima do ar, precipitação pluviométrica,  
713 umidade relativa do ar e velocidade do vento e grau de dependência espacial das taxas de  
714 infestação e parasitismo de *Leucoptera coffeella*. VDC = Vitória da Conquista; BCH = Barra  
715 do Choça; MUC= Mucugê.

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

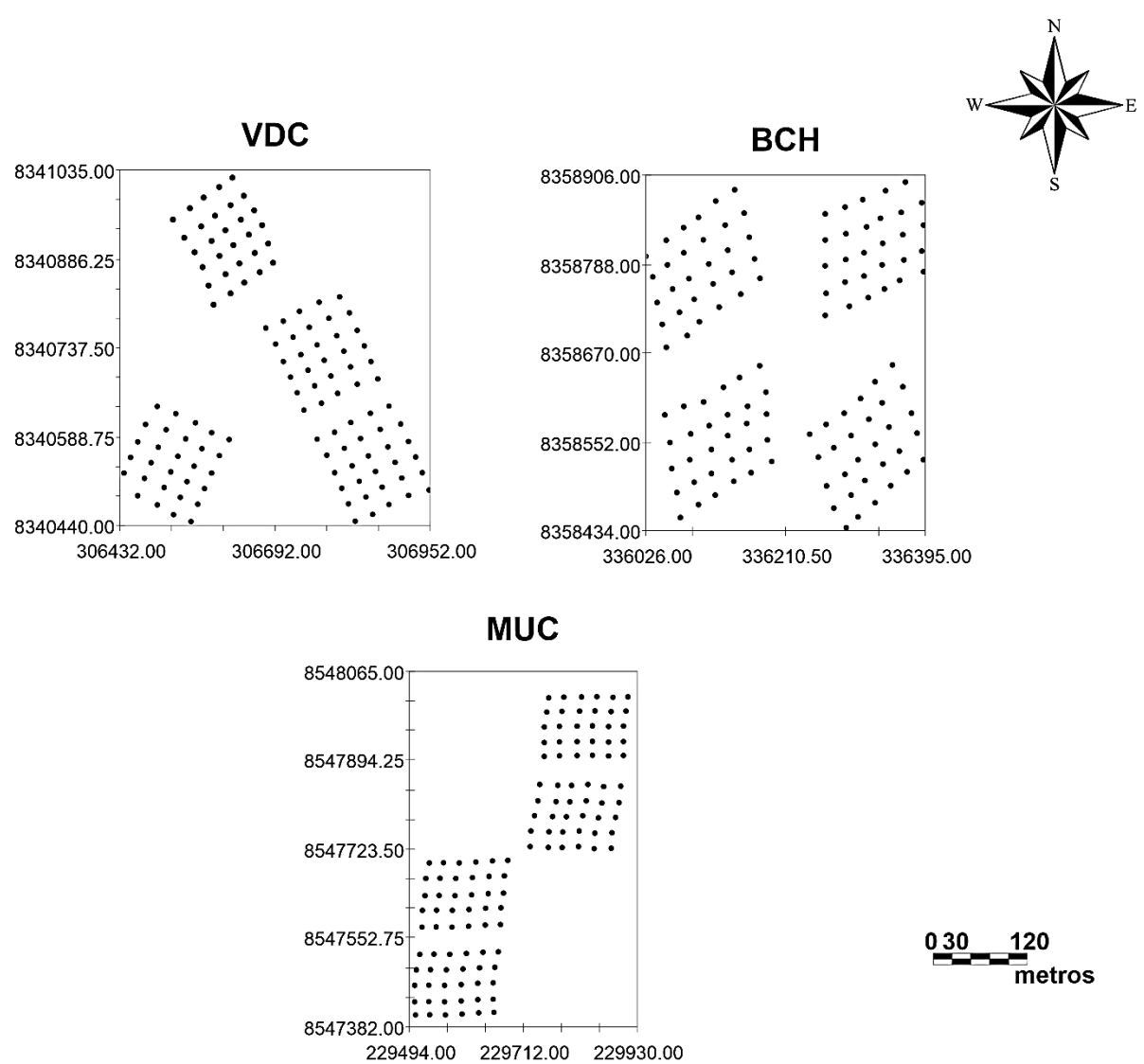
729

730

731

732

733  
734  
735  
736  
737  
738  
739  
740  
741  
742  
743  
744  
745  
746  
747  
748  
749  
750  
751  
752  
753  
754  
755  
756  
757



**Fig. 1.**

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

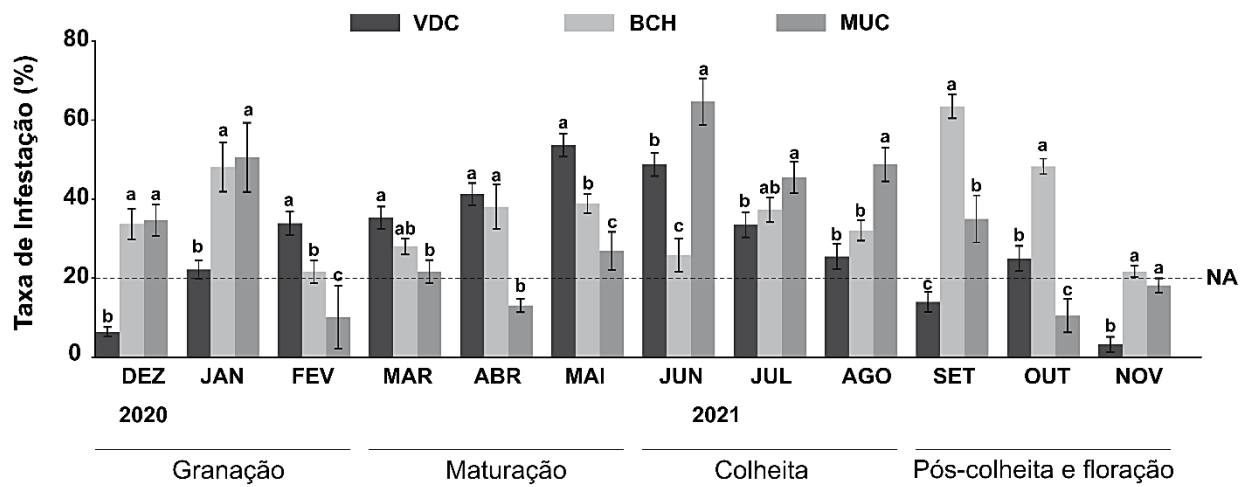
778

779

780

781

(A)



(B)

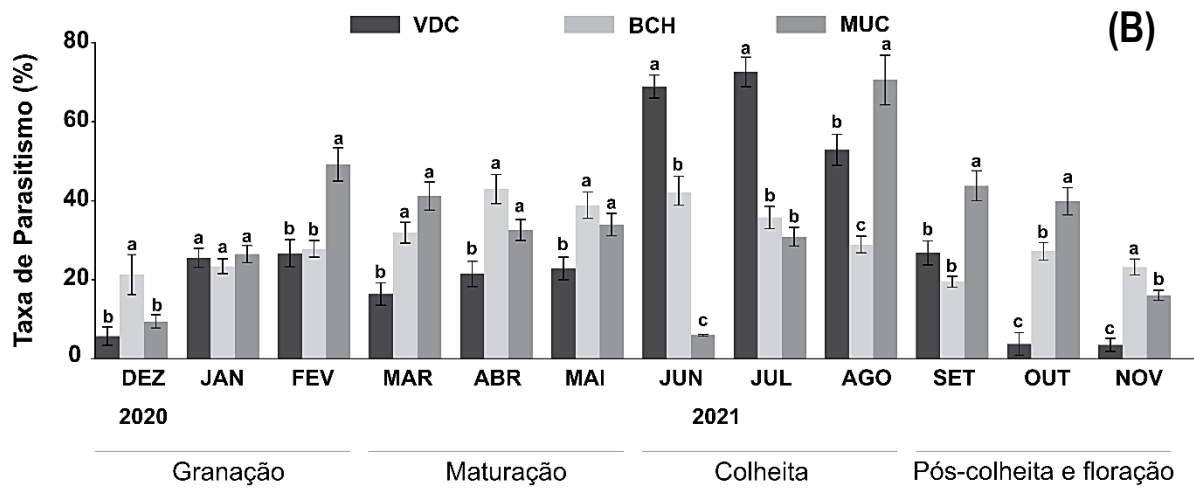
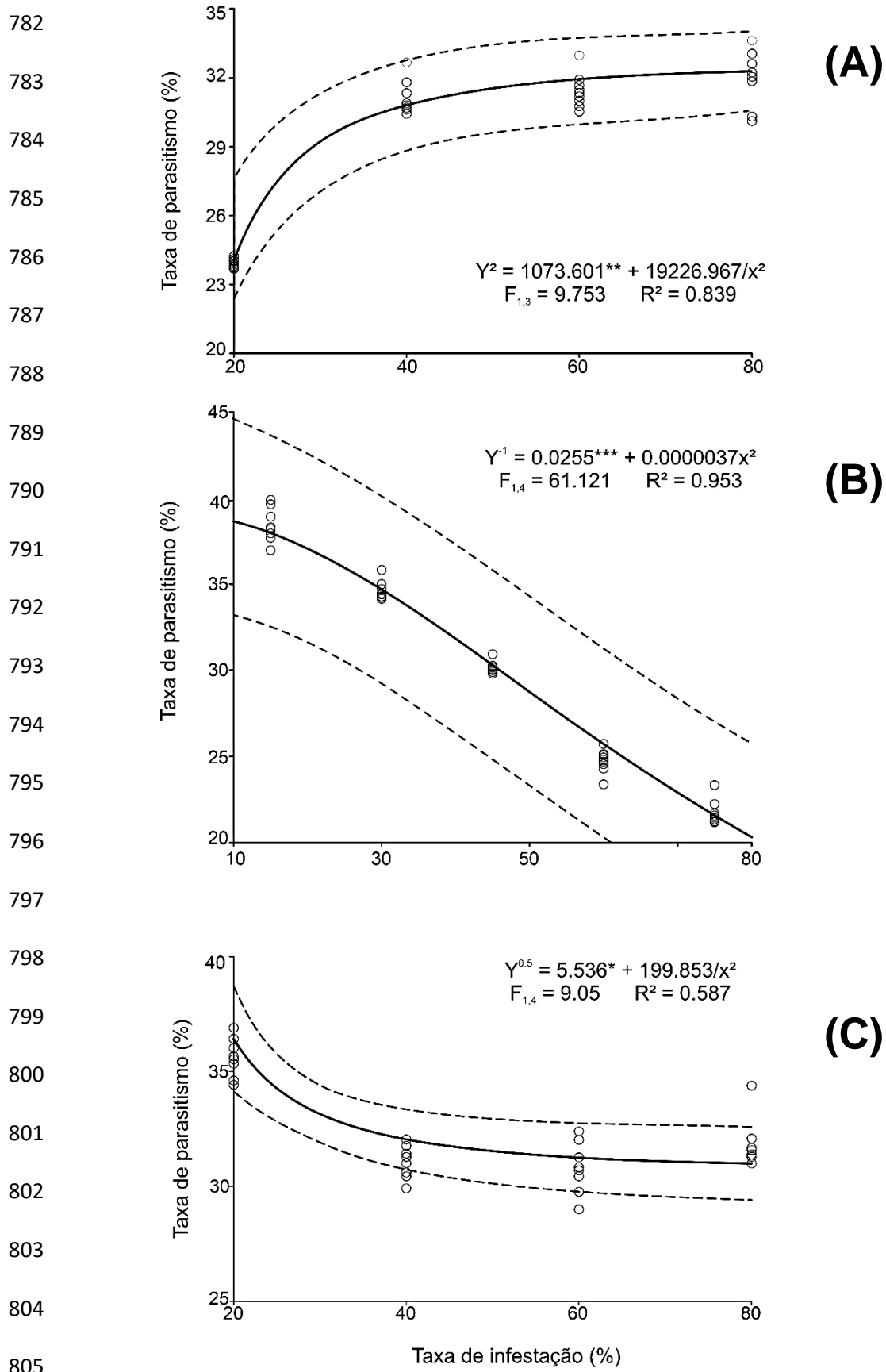
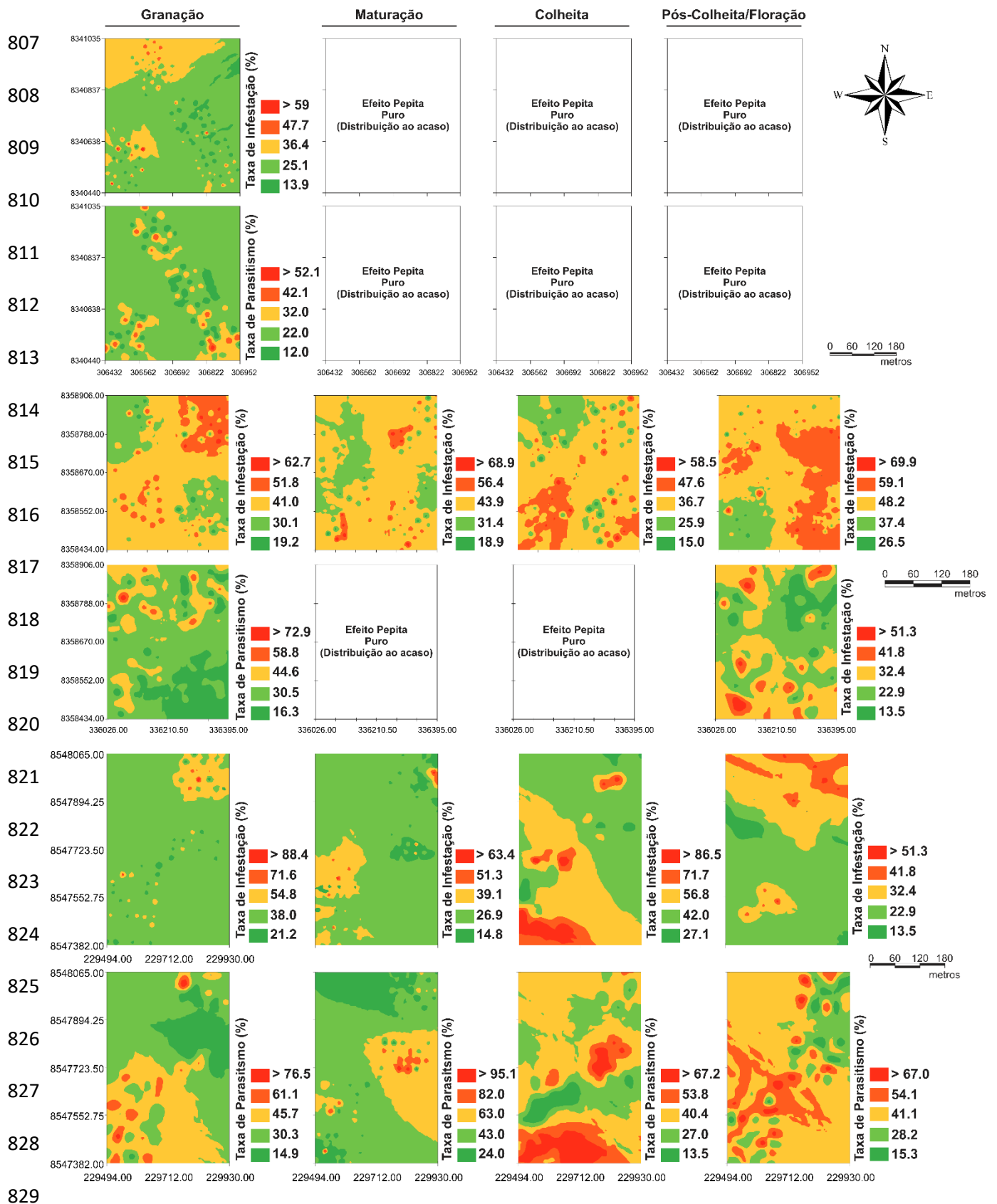


Fig. 2.



806 **Fig. 3.**



830 **Figura 4**

831



832

(A)

833

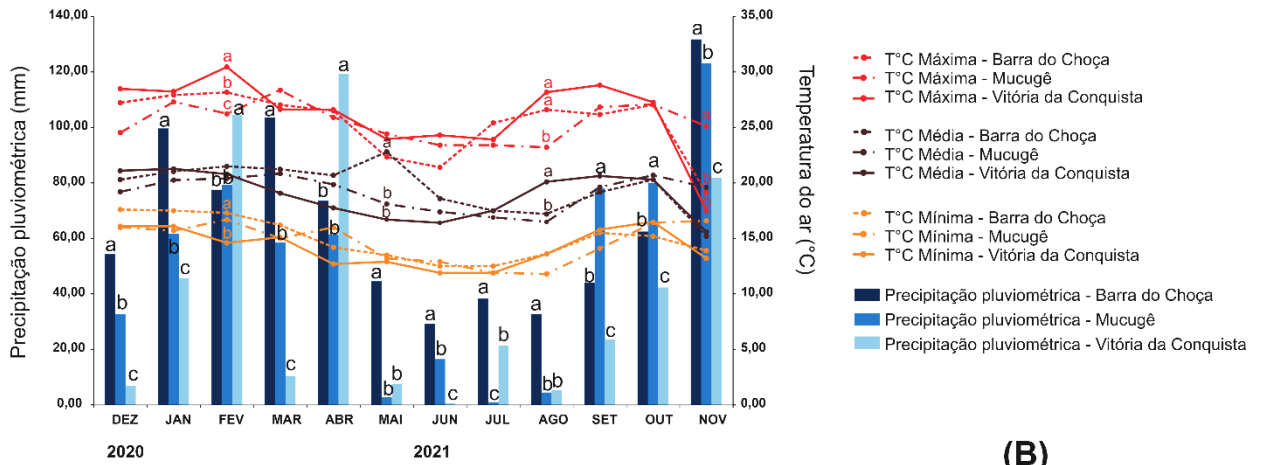
834

835

836

837

838



839

(B)

840

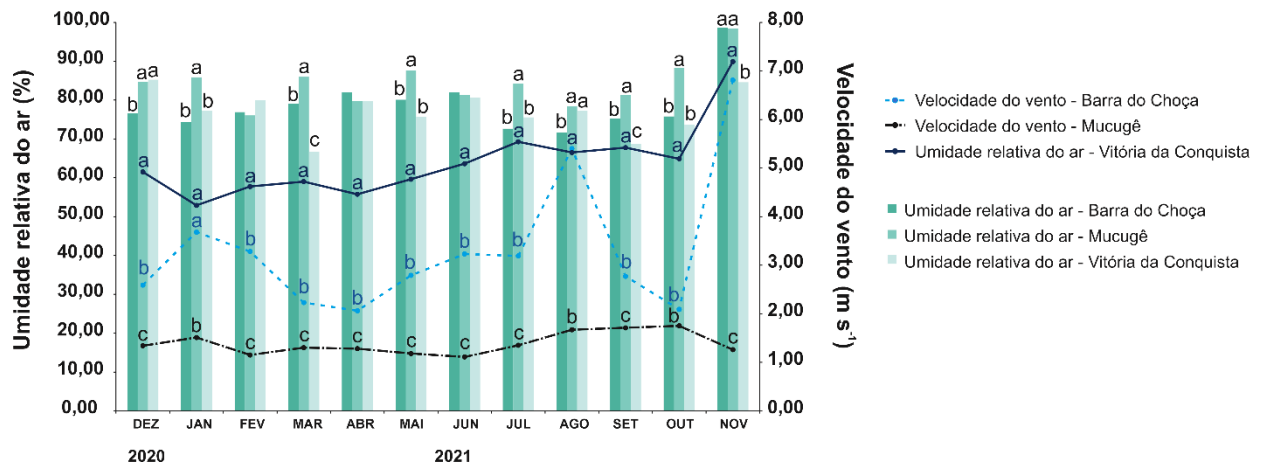
841

842

843

844

845



846

847 **Figura 5.**

848

849

850

851

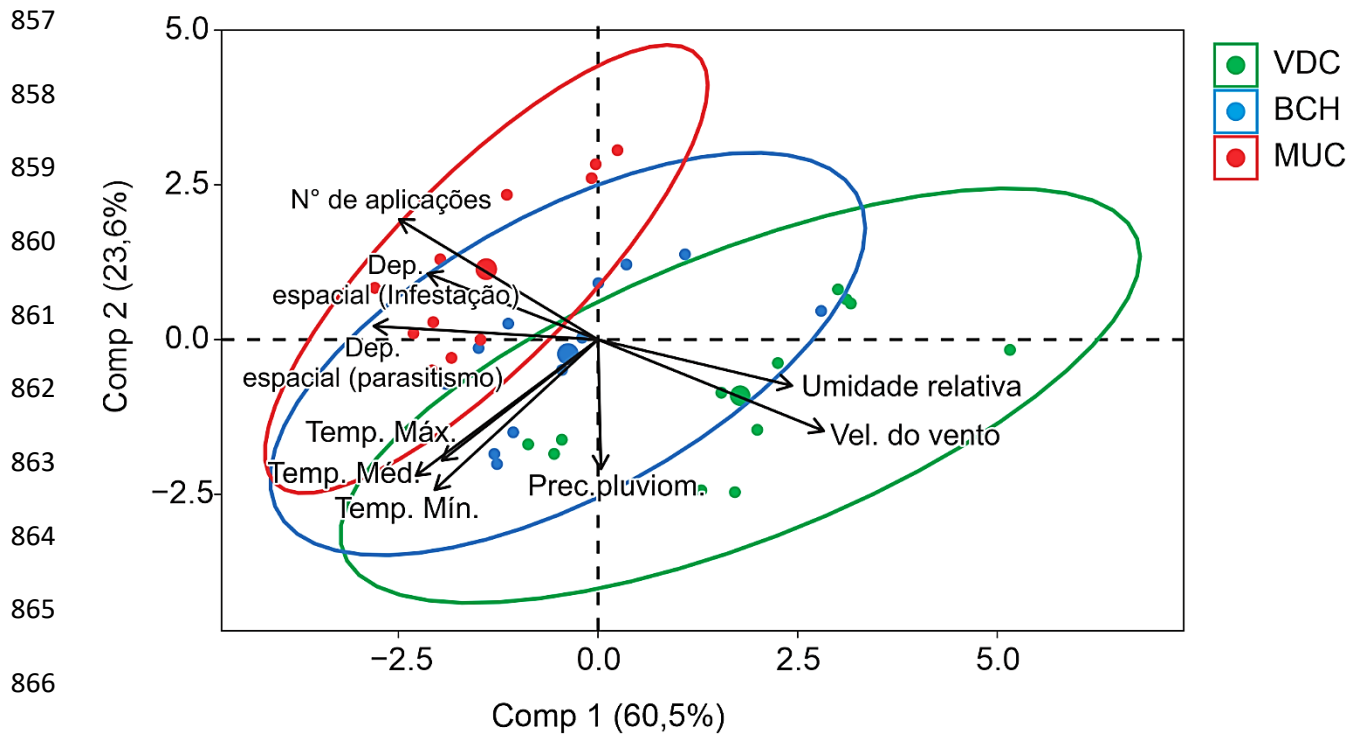
852

853

854

855

856



871 **Figura 6.**

**ARTIGO II**

Parasitismo natural do bicho-mineiro: os fatores do tempo e manejo nos cafezais afetam as comunidades de parasitoides\*

---

\* Situação: não-submetido

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22

Autor Correspondente:  
Mateus Pereira dos Santos  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia)  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB  
Vitória da Conquista, BA, 45083-300, Brasil  
Phone: +5577988774252  
E-mail: mateus.santos.0712@gmail.com

**Parasitismo natural do bicho-mineiro: fatores climáticos e manejo dos cafezais afetam a diversidade e abundância de espécies**

Mateus P. dos Santos<sup>a</sup>, Suzany A. Leite<sup>a</sup>, Daniell Rodrigo R. Fernandes<sup>b</sup>, Maria A. Castellani<sup>a</sup>

Título curto: Comunidades de parasitoides do bicho-mineiro

---

<sup>a</sup> Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 45083-300, Brasil.

<sup>b</sup> Coordenação de Biodiversidade – Setor de Entomologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 69067-375, Brasil

23 **Resumo**

- 24 1. É importante o conhecimento acerca dos parasitoides que atuam no controle biológico  
25 natural de *Leucoptera coffeella*, bem como a estrutura de suas comunidades e as  
26 relações ocorrentes entre os fatores que afetam a dinâmica. Esses aspectos são  
27 essenciais para se desenvolver estratégias de manejo da praga.
- 28 2. Os objetivos deste trabalho foram: (i) conhecer as comunidades de parasitoides de *L.*  
29 *coffeella* e (ii) verificar os efeitos dos fatores climáticos e do manejo dos cafezais  
30 (*Coffea arabica*) na abundância das espécies, na região do Planalto, Bahia, Brasil.  
31 Selecionaram-se seis cafezais, pertencentes aos municípios de Barra do Choça,  
32 Mucugê e Vitória da Conquista. Coletaram-se, mensalmente, folhas minadas em 720  
33 pontos amostrais (dezembro/2020 a novembro/2021).
- 34 3. Foram encontradas nove espécies de parasitoides pertencentes às famílias Braconidae  
35 (2) e Eulophidae (7), sendo *Closterocerus coffeellae* e *Proacrias coffeae*  
36 predominantes. Registrou-se, pela primeira vez na Bahia, a ocorrência das espécies  
37 *Stiropius reticulatus*, *Neochrysocharis* sp. 01, *Neochrysocharis* sp. 02 e  
38 *Zagrammosoma* sp.
- 39 4. As abundâncias dos parasitoides de *L. coffeella* são influenciadas por condições  
40 ambientais e pelo uso de inseticidas, principalmente as espécies *C. coffeellae* e *P.*  
41 *coffeae*. A conservação desses indivíduos pode ser alcançada com a recomendação de  
42 inseticidas seletivos, combinando os métodos de controle biológico e químico.

43

44 **Palavras-chave:** biodiversidade, *Coffea arabica*, controle biológico natural, parasitoides.

45

46

47

48

49

50

51

52

## 53 **1 Introdução**

54 A ocorrência de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrotet, 1842) nos  
55 cafezais da América Neotropical (Vega *et al.*, 2006; Pantoja-Gomez *et al.*, 2019)  
56 intensificou-se nos últimos anos. Os ataques desse inseto têm levado a desfolhas de até  
57 70% das plantas (Souza *et al.*, 1998; Scalon *et al.*, 2013), e os prejuízos econômicos de  
58 até 50% da produção têm limitado a produção cafeeira no Brasil (Ramiro *et al.*, 2004;  
59 Righi *et al.*, 2013). Dessa maneira, a espécie tornou-se praga-chave do cafeeiro em países  
60 produtores, como México, Guatemala, Colômbia, Equador e Brasil (Campos *et al.*, 1989;  
61 Lomelí-Flores *et al.*, 2010; Cristancho *et al.*, 2015; Dantas *et al.*, 2021; Ramírez-Valerio  
62 & Jiménez, 2021).

63 O Brasil atualmente é o maior produtor mundial de café (ICO, 2021). Os cafeicultores  
64 têm selecionado o método químico como único método de controle dessa praga, porém,  
65 as aplicações de inseticidas têm contribuído para a seleção de populações resistentes aos  
66 inseticidas em várias regiões cafeeiras do país e impactado nas populações dos seus  
67 inimigos naturais (Fragoso *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2016; Leite *et al.*, 2020a; 2021).

68 O estado da Bahia ocupa a quarta colocação no *ranking* nacional de produção de café  
69 (CONAB, 2021) onde o uso de inseticidas para controle de *L. coffeella* intensificou-se  
70 nos últimos anos (Castellani *et al.*, 2016; Leite *et al.*, 2020b) e, em decorrência disso,  
71 populações do bicho-mineiro, resistentes a inseticidas, foram recentemente constatadas  
72 (Leite *et al.*, 2020a; Leite *et al.*, 2021), principalmente nas regiões Oeste e Planalto,  
73 principais parques cafeeiros especializados em café arábica da Bahia (Koh *et al.*, 2020;  
74 CONAB, 2021).

75 Na tentativa de minimizar os impactos causados pelos inseticidas, o controle  
76 biológico surge como um método eficiente para contornar esses problemas, e pesquisas  
77 têm enfatizado a geração de conhecimentos sobre os inimigos naturais do bicho-mineiro,

78 como as vespas predadoras e parasitoides que ocorrem naturalmente nos cafezais  
79 (Lomelí-Flores *et al.*, 2009; Perfecto *et al.*, 2010; Picanço *et al.*, 2012; David-Rueda *et*  
80 *al.*, 2016; Tomazella *et al.*, 2018; Medeiros *et al.*, 2019).

81 Os parasitoides do bicho-mineiro constituem o grupo de inimigos naturais de maior  
82 complexidade, pois, no Brasil, existem cerca de 28 espécies já registradas em associação  
83 com essa praga (Lomelí-Flores *et al.*, 2010).

84 Os parasitoides de *L. coffeella* pertencem às famílias Eulophidae e Braconidae  
85 (Hymenoptera) (Lomelí-Flores *et al.*, 2009; Parra & Reis, 2013; Ferreira *et al.*, 2014). As  
86 espécies de maior distribuição no Brasil são *Closterocerus coffeellae* Ihering, 1914;  
87 *Proacrias coffeae* Ihering, 1914; *Cirrospilus neotropicus* Diez & Fidalgo, 2003; e  
88 *Horismenus aeneicolis* Ashmead, 1904 (Eulophidae); *Stiropius reticulatus* Pentead-  
89 Dias, 1999; e *Orgilus niger* Pentead-Dias, 1999 (Braconidae) (Parra, 1977; Pentead-  
90 Dias, 1999; Melo *et al.*, 2007; Lomelí-Flores *et al.*; 2009, Tango *et al.*, 2014). Até o  
91 momento, as espécies registradas na Bahia são: *C. coffeellae*, *P. coffeae*, *C. neotropicus*,  
92 *H. aeneicolis*, *Stiropius* sp.1 e *Stiropius* sp. 2, nas regiões Oeste e Planalto (Melo *et al.*,  
93 2007; Souza *et al.*, 2014).

94 Na região Oeste da Bahia, contudo, as taxas de parasitismo mostraram-se muito  
95 baixas, devido à pressão de seleção causada por inseticidas (Melo *et al.*, 2007; Melo *et*  
96 *al.*, 2019). Já na região do Planalto, os conhecimentos sobre as comunidades ainda são  
97 incipientes, devido à vasta extensão territorial para cultivo do cafeeiro, dificultando os  
98 levantamentos faunísticos, como na Chapada Diamantina, onde a cafeicultura tem se  
99 fortalecido nos últimos anos e pouco estudada em termos de biodiversidade dos  
100 parasitoides de *L. coffeella* (Palma-Santos & Pérez-Maluf, 2010).

101 As associações entre os fatores climáticos e os surtos populacionais de *L. coffeella*  
102 têm sido evidenciadas (Tuelher *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2007a; 2007b), porém, ainda

103 faltam conhecimentos sobre os efeitos dessas variáveis e sobre os impactos do uso de  
104 inseticidas na diversidade e na dinâmica populacional dos parasitoides (Lomelí-Flores *et*  
105 *al.*, 2010; Medeiros *et al.*, 2014).

106 As variações ambientais podem indicar quais são as espécies mais adaptadas em uma  
107 determinada região, enquanto os inseticidas seletivos podem beneficiar os inimigos  
108 naturais, como tem sido mostrado para os predadores do bicho-mineiro (Gusmão *et al.*,  
109 2000; Fragoso *et al.*, 2001; Bacci *et al.*, 2006; Fernandes *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2020).

110 Conhecimentos sobre aspectos das interações tritróficas podem subsidiar o  
111 desenvolvimento de programas de controle biológico por conservação, associando-os  
112 com o uso de inseticidas seletivos aos parasitoides, constituindo-se uma alternativa  
113 sustentável para o manejo do bicho-mineiro na região.

114 Diante desse contexto, os objetivos deste trabalho foram: i) conhecer a estrutura das  
115 comunidades de parasitoides de *L. coffeella* em cafezais da região do Planalto, Bahia,  
116 Brasil; e ii) verificar os efeitos dos fatores climáticos e do manejo empregado nos cafezais  
117 (*C. arabica*) na abundância das espécies.

118

## 119 **2 Material e Métodos**

### 120 *2.1 Locais de estudo, manejo de irrigação e uso de inseticidas nos cafezais*

121 O estudo foi realizado na região do Planalto, a maior região produtora de café arábica  
122 do estado da Bahia (CONAB, 2021), durante o período de dezembro de 2020 a novembro  
123 de 2021.

124 Selecionaram-se seis lavouras cafeeiras comerciais para este estudo, sendo duas  
125 pertencentes ao município de Barra do Choça, três localizadas em Mucugê e uma lavoura  
126 em Vitória da Conquista (Figura 1).



127 As propriedades cafeeiras do município de Barra do Choça apresentam distância entre  
128 si de 5,15 Km, em linha reta, e de aproximadamente 34,5 km para o cafezal localizado  
129 em Vitória da Conquista. Os cafezais de Barra do Choça e Vitória da Conquista distam  
130 cerca de 222 e 226 km, em linha reta, das lavouras cafeeiras pertencentes ao município  
131 de Mucugê, respectivamente.

132 Os cafezais localizados nos municípios de Barra do Choça e Vitória da Conquista estão  
133 inseridos numa área de transição entre os biomas Mata Atlântica e Caatinga, sendo a  
134 vegetação do tipo Floresta Estacional Semidecidual, conhecida popularmente como  
135 “Mata de cipó” (SEI, 2015). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwb,  
136 e também é classificado como subúmido a seco por Thornthwaite (SEI, 1998).

137 No município de Mucugê, predomina o bioma Caatinga e a tipologia da vegetação é  
138 caracterizada como Caatinga arbustiva (SEI, 2015). Já o seu clima recebe a classificação  
139 de Am’ por Köppen e semiárido por Thornthwaite (SEI, 2015).

140 Além das diferenças climáticas e de vegetação, os cafezais também estão submetidos  
141 a diferentes condições de manejo de irrigação e uso de inseticidas (Leite *et al.*, 2020b),  
142 sendo esse o critério para selecionar as propriedades para o presente estudo.

143 Os cafezais de Barra do Choça e Vitória da Conquista são conduzidos em regime de  
144 sequeiro, enquanto os de Mucugê são totalmente irrigados via pivô central e gotejamento.

145 O histórico de uso de inseticidas é diferenciado entre as propriedades cafeeiras (Tabela  
146 1), sendo que, no cafezal de Vitória da Conquista, inseticidas para o controle do bicho-  
147 mineiro não são utilizados há pelo menos 15 anos e, por essa razão, considerou-se como  
148 a população controle para comparações entre os manejos empregados.

149  
150  
151

152 2.2 Amostragem, avaliação do parasitismo e identificação dos parasitoides

153 Em cada propriedade selecionada, foram instaladas quatro áreas experimentais  
154 retangulares de 2,7 hectares para a realização das amostragens. Em cada uma dessas áreas,  
155 foram demarcados 30 pontos amostrais equidistantes 30 metros, para as amostragens, e  
156 cada ponto era correspondente a um conjunto de três plantas de café (cv. Catuaí com mais  
157 de 10 anos de idade), o número de pontos em cada propriedade foi de 120, o que totalizou  
158 720 pontos em todo o estudo.

159 Com frequência mensal de amostragem, em cada ponto foram coletadas, de forma  
160 aleatória, duas folhas de quatro ramos plagiotrópicos, localizados no terço superior do  
161 cafeeiro, totalizando 8 folhas de café por ponto. As duas folhas correspondiam ao terceiro  
162 ou quarto par, contando de fora para dentro do ramo (Melo *et al.*, 2007; Rosado *et al.*,  
163 2021). As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel tipo Kraft,  
164 devidamente identificados e levados para laboratório, para avaliação do parasitismo e  
165 infestação.

166 Utilizando-se um bisturi e um estereomicroscópio (LABOMED CZM6, Labo America  
167 Inc., California, USA) para visualização, as minas foram abertas cuidadosamente,  
168 observando, no interior destas, a presença de lagartas vivas do bicho-mineiro e pupas,  
169 larvas e exúvias dos parasitoides, bem como as lagartas parasitadas do bicho-mineiro,  
170 considerando os sinais de parasitismo deixados pela fêmea por meio de pontuações  
171 enegrecidas no corpo das lagartas. Foi quantificado o número de folhas contendo lagartas  
172 vivas no interior das minas.

173 As lagartas parasitadas, pupas e larvas dos parasitoides foram acondicionadas em  
174 microtubos, tipo eppendorfs (2 mL), e acondicionados em ambiente controlado ( $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ;  
175  $65 \pm 5\%$  UR) até a emergência dos adultos. Os adultos foram fixados em álcool 95°GL  
176 para conservação e encaminhados para identificação.

177 Os braconídeos foram identificados em nível genérico, de acordo com Wharton *et al.*  
178 (1997), e posteriormente em nível específico, com base nas descrições originais de  
179 Penteado-Dias (1999). Os Eulophidae foram identificados em nível genérico, com base  
180 em Schauff *et al.* (1997) e, posteriormente, em nível específico, com base no trabalho de  
181 Ihering (1914). Parte do material foi depositado na Coleção de Invertebrados do Instituto  
182 Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil (INPA - M.L. Oliveira,  
183 curador).

184

### 185 *2.3 Monitoramento dos fatores climáticos nos cafezais*

186 Durante todo o período experimental, foram registradas diariamente nos cafezais as  
187 seguintes variáveis: temperatura média, máxima e mínima do ar (°C), umidade relativa  
188 do ar (%), precipitação pluviométrica (mm) e velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ).

189 Os dados foram armazenados em banco de dados de estações meteorológicas (Vantage  
190 Pro2 Davis e TFA Nexus), localizadas na propriedade MUC1 em Mucugê e em BCH2 no  
191 município de Barra do Choça. Os dados climáticos de Vitória da Conquista foram obtidos  
192 na base de dados do Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) do Instituto  
193 Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (SINDA, 2021).

194

### 195 *2.4 Análises estatísticas*

196 Os dados referentes à abundância de parasitoides e o número médio de folhas com  
197 lagartas vivas foram submetidos à análise de Modelos Lineares Generalizados (GLM), a  
198 5% de significância, com distribuição de Poisson (função de ligação *identity*), por meio  
199 dos pacotes ‘lme4’ (Bates *et al.*, 2014) e ‘emmeans’ (Lenth, 2020) do *software* R, versão  
200 4.0.4, *Lost Library Book* (R Development Core Team, 2020).

201 A estrutura da comunidade dos parasitoides foi analisada por meio dos índices  
202 faunísticos: Abundância (N° de indivíduos), Frequência Relativa (%), Riqueza (N° de  
203 espécies), Constância e Dominância (Basha *et al.*, 2021), Índices de Diversidade de  
204 Shannon-Wiener (H') (Krebs, 1985) e Índice de Similaridade (Jaccard) (Wolda, 1981). A  
205 suficiência amostral foi determinada pela curva de rarefação de espécies. Os valores de  
206 H' foram submetidos ao teste *t* (Student) ( $p < 0.05$ ) para fins de comparações da  
207 diversidade. As estimativas e análises foram executadas com o pacote *vegan: Community*  
208 *Ecology* (Oksanen *et al.*, 2018) do programa R 4.0.4. *Lost Library Book*.

209 As diferenças entre os fatores climáticos nas lavouras estudadas foram analisadas por  
210 meio de GLM e a sua associação com a abundância de parasitoides em cada propriedade  
211 foi verificada por meio de Análise de Componentes Principais (PCA) para discriminar as  
212 correlações entre as variáveis do tempo e o número de parasitoides coletados. Utilizou-se  
213 o pacote *factoextra* (Kassambara & Mundt, 2020) do R 4.0.4.

214 Os efeitos do uso de inseticidas na abundância de parasitoides foram testados por  
215 meio da técnica de estatística multivariada de RDA Curva de Resposta Principal (PRC)  
216 com 999 permutações, a 5% de significância, utilizando-se do pacote *vegan* do R 4.0.4.

217

## 218 **3 Resultados**

219 *3.1 Estrutura das comunidades de parasitoides e flutuação populacional do bicho-*  
220 *mineiro*

221 Os resultados indicaram variações no número de lagartas vivas e na abundância dos  
222 parasitoides, em todos os meses de amostragem, nas propriedades estudadas (Figura 2)  
223 (GLM,  $p < 0.05$ ).

224 A abundância dos parasitoides variou de 0 (MUC1) a 134 (MUC2) entre as  
225 propriedades (Figura 2 A). Constataram-se diferenças significativas entre as propriedades  
226 estudadas em todos os meses do ano. Picos na abundância de parasitoides, nas  
227 propriedades VDC1, BCH1 e BCH2, foram verificados durante os meses de maio (GLM,  
228 AIC = 142,6;  $p < 0.001$ ), junho (GLM; AIC = 140,56;  $p < 0.001$ ) e julho (GLM; AIC =  
229 128,1;  $p < 0.001$ ). Os maiores valores de abundância para MUC1, MUC2 e MUC3  
230 ocorreram nos meses de agosto (GLM; AIC = 147,74;  $p < 0.001$ ) e outubro (GLM; AIC  
231 = 129,33;  $p < 0.001$ ).

232 Em relação à flutuação populacional do bicho mineiro, o número médio de folhas  
233 contendo lagartas vivas variou entre as propriedades; a variação encontrada foi de 0 em  
234 MUC1 a 110 em MUC2 (Figura 2B), ocorrendo diferenças significativas entre todas as  
235 propriedades nos meses de coleta. Os meses de janeiro (GLM; AIC = 100,71;  $p < 0.001$ ),  
236 maio (GLM; AIC = 63,45;  $p < 0.001$ ), junho (GLM; AIC = 183,10;  $p < 0.001$ ), setembro  
237 (GLM; AIC = 134,40;  $p < 0.001$ ) e novembro (GLM; AIC = 224,30;  $p < 0.001$ ) foram  
238 correspondentes aos picos de ocorrência dos maiores valores do número de folhas com  
239 lagartas vivas coletadas.

240 A suficiência amostral, estimada pelas curvas de rarefação das espécies, foi variável  
241 entre as propriedades ( $p < 0.001$ ) (Figura 3), indicando diferenças na riqueza de espécies,  
242 com maiores valores nas propriedades BCH2 (9) e VDC (7). A curva atingiu a assíntota  
243 de estabilidade para MUC1, no ponto estimado em 36 indivíduos; enquanto nas curvas  
244 de MUC2 e MUC3, os pontos de estabilidade das unidades amostrais foram 340 e 212  
245 indivíduos, respectivamente. Para BCH1, a estabilidade foi determinada, quando o ponto  
246 na curva atingiu 134 indivíduos e, para VDC, o ponto de estabilidade foi de 112  
247 indivíduos amostrados. A curva de rarefação de BCH2 atingiu a assíntota, quando a  
248 unidade amostral atingiu o ponto de 386 indivíduos.

249 Foram coletados 2.622 parasitoides do bicho-mineiro, com predomínio (99,43%) dos  
250 eulofídeos (*Closterocerus coffeellae* Ihering, 1914; *Proacrias coffeae* Ihering, 1914;  
251 *Neochrysocharis* sp. 01; *Neochrysocharis* sp. 02; e *Horismenus* sp.) em relação aos  
252 braconídeos (*Stiropius reticulatus* Pentead-Dias, 1999) (0,57%) (Figura 4).

253 Na propriedade VDC, foi coletada uma única espécie de Braconidae, *S. reticulatus*  
254 (Y: acessória e nd: não-dominante) (Figura 4A), enquanto os eulofídeos encontrados  
255 foram: *C. coffeellae* (52,66%, W: constante e D: dominante), a mais abundante; seguida  
256 da espécie *P. coffeae* (25,77%; W e D), segunda mais abundante; sendo as predominantes  
257 no cafezal. Também foram encontrados os eulofídeos *Neochrysocharis* sp. 01 (7,56%; W  
258 e n-d) e *Neochrysocharis* sp. 02 (8,96%; W e n-d) e *Horismenus* sp. (0,28%; Z: acidental  
259 e n-d) (Figura 3A).

260 Quanto aos parasitoides encontrados em BCH1, destacaram-se as espécies *C.*  
261 *coffeellae* (52,33%) (W e D) e *P. coffeae* (34,79%; W e D). As espécies *Neochrysocharis*  
262 sp. 01 (3,56%) e *Neochrysocharis* sp. 02 (7,40%) foram constantes (W) e não-  
263 dominantes, enquanto *Cirrospilus* sp. (1,64%) foi constante (W) e não-dominante. Com  
264 frequência relativa de 0,27%, *Horismenus* sp. foi classificada como acidental (Z) e não-  
265 dominante, completando as espécies encontradas na propriedade (Figura 4B).

266 Na comunidade de parasitoides com maior riqueza de espécies, BCH2, foram  
267 coletadas *S. reticulatus* (1,38%; Y e n-d) e *Stiropius* sp. (0,92%; Y e n-d) (Figura 4C),  
268 enquanto os eulofídeos *C. coffeellae* (59,91%; W e D) e *P. coffeae* (27,65%; W e D)  
269 foram os mais abundantes na comunidade. As espécies menos frequentes e abundantes  
270 nas coletas foram: *Neochrysocharis* sp. 01 (2,76%; Y e n-d); *Neochrysocharis* sp. 02  
271 (6,22%; W e n-d); *Cirrospilus* sp. (0,69%, Z e n-d); *Zagrammosoma* sp. (0,23%; Z e n-d)  
272 e *Horismenus* sp. (0,23%; Z e n-d).

273 Na propriedade MUC1, a riqueza foi de três espécies, sendo *P. coffeae* (48,40%; W  
274 e D) a mais abundante; seguida de *C. coffeellae* (37,50%; W e D); e *Neochrysocharis* sp.  
275 02 (14,10%, Y e n-d) (Figura 4D).

276 A estrutura da comunidade de parasitoides de MUC2 foi composta por *C. coffeellae*,  
277 a mais abundante (44,16%; W e D); seguida de *P. coffeae* (39,70%; W e D). Foram  
278 encontradas as espécies *Neochrysocharis* sp. 02 (15,03% W e n-d); *Cirrospilus* sp.  
279 (0,56% Z e n-d) e *Horismenus* sp. (0,56% Z e n-d), completando o complexo de espécies  
280 coletadas (Figura 4E).

281 Para a propriedade MUC3, a espécie mais abundante foi *C. coffeellae* (44,72%; W e  
282 D), juntamente com *P. coffeae* (40,00%; W e D), sendo as mais predominantes. Espécies  
283 de menor abundância foram *Neochrysocharis* sp. 01 (0,98%; Y - nd), *Neochrysocharis*  
284 sp. 02 (12,85%; Y e n-d) e *Cirrospilus* sp. (1,46%; Y e n-d) (Figura 4F).

285 Os valores encontrados para o Índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ )  
286 mostraram diferenças na diversidade entre as propriedades cafeeiras estudadas (Tabela  
287 2). Os valores de  $H'$ , para a propriedade VDC, foram confrontados com todos os outros  
288 Índices de diversidade das demais propriedades, resultando em maior diversidade para  
289 VDC entre as propriedades estudadas.

290 Quanto à similaridade de Jaccard ( $S_j$ ), verificou-se que as comunidades de parasitoides  
291 nas propriedades VDC e BCH1 apresentaram maior similaridade, formando um  
292 agrupamento, cujo valor de  $S_j$  foi de 0,85. Observou-se que a propriedade de MUC2  
293 formou um segundo agrupamento ( $S_j = 0,77$ ), mostrando similaridade com VDC e BCH1.  
294 A comunidade de MUC3 ( $S_j = 0,66$ ) foi similar ao agrupamento VDC1, BCH1 e MUC2.  
295 As propriedades BCH2 e MUC1 apresentaram valores de  $S_j$  de 0,63 e 0,42 indicando  
296 maiores diferenças entre essas comunidades de parasitoides em relação às outras (Figura  
297 5).

### 298 3.2. Interação entre os fatores climáticos e a abundância de parasitoides

299 Ocorreram associações entre os fatores climáticos e a abundância dos parasitoides,  
300 sendo essas lineares e significativas. O primeiro (PC1) e segundo (PC2) componentes  
301 explicaram 78,3% da variação total (Figura 6).

302 No PC1 (58,10%), verificaram-se correlações negativas e moderadas entre a  
303 abundância total de parasitoides e a temperatura máxima (-0,58) e média (-0,51). Por  
304 outro lado, para as variáveis velocidade do vento e umidade relativa, foram encontradas  
305 correlações positivas (0,41 e 0,46, respectivamente) e moderadas. Para a precipitação  
306 pluviométrica e a abundância total dos parasitoides, não foram observadas correlações  
307 significativas.

308 No PC2 (28,2%), verificou-se correlação positiva e fraca entre a abundância de  
309 parasitoides e a temperatura máxima (0,17) e média (0,11), enquanto todos os demais  
310 fatores climáticos apresentaram correlação fraca e negativa com a abundância de  
311 parasitoides nos cafezais.

### 312 3.3 Impacto do uso de inseticidas nos cafezais na abundância dos parasitoides

313 A análise de Curva de Resposta Principal (PRC) (999 Permutações RDA;  $F_{(1,72)} =$   
314  $79,451$   $p < 0.001$ ) indicou efeitos significativos, porém, modestos (0,227 a 0,408) do uso  
315 de inseticidas na abundância de parasitoides ao longo do tempo para todas as propriedades  
316 comparadas com a propriedade VDC (sem uso de inseticidas) (linha 0) (Figura 7). Os  
317 maiores efeitos foram encontrados para a abundância das espécies *C. coffeellae*, *P.*  
318 *coffeeae*, *Neochrysocharis* sp. 01 e *Neochrysocharis* sp. 02, que exibiram altos pesos  
319 positivos na curva, correspondendo a 0,408; 0,399; 0,310 e 0,227, respectivamente. Para  
320 as demais espécies, não foram verificados efeitos significativos na abundância de  
321 parasitoides.



322 Para as propriedades BCH1 e BCH2 (Barra do Choça), foram realizadas seis e cinco  
323 aplicações de inseticidas ao ano, respectivamente, cuja abundância foi semelhante à de  
324 VDC, com pequenas oscilações positivas (aumentos) entre abril, maio e junho de 2021.  
325 Em todas as propriedades de Mucugê (MUC1, MUC2 e MUC3), foi realizado o maior  
326 número de aplicações de inseticidas (8 anuais), ocorrendo diferenças na abundância em  
327 relação a VDC, com as maiores oscilações positivas nos meses de março, agosto e  
328 setembro; e as maiores oscilações negativas verificadas nos meses de junho e julho de  
329 2021. Na propriedade MUC1, ocorreram as maiores oscilações negativas na abundância  
330 das espécies (em relação a linha 0), em relação aos demais cafezais estudados com uso  
331 de inseticidas (Figura 7).

332

#### 333 **4 Discussão**

334 Há controvérsias sobre o papel dos parasitoides no controle biológico do bicho-  
335 mineiro no Brasil, uma vez que as taxas de parasitismo, geralmente, são consideradas  
336 baixas (Reis & Souza, 1996; Parra & Reis, 2013). Isso é atribuído aos constantes  
337 tratamentos fitossanitários nos cafezais, bem como às interações antagônicas entre as  
338 vespas predadoras e os parasitoides, que acabam predando indistintamente as lagartas do  
339 bicho-mineiro que foram parasitadas (Reis Júnior *et al.*, 2000).

340 Todavia, assim como as infestações, a abundância dos parasitoides sofre influência de  
341 fatores climáticos, do manejo empregado nos cafezais e de inseticidas (Pereira *et al.*,  
342 2007a; Lomelí-Flores *et al.*, 2009; Amaral *et al.*, 2010). Dessa forma, são encontrados  
343 picos populacionais dos indivíduos em épocas específicas do ano, nas quais as condições  
344 favoráveis levam ao estabelecimento dos indivíduos nos cafezais.

345 O controle biológico do bicho-mineiro ocorre em maiores proporções durante os meses  
346 de menor temperatura em regiões de Minas Gerais (Scalon *et al.*, 2011; Costa *et al.*,

347 2014), normalmente durante os meses de julho a setembro. A espécie *O. niger* também  
348 atua em maiores intensidades, a partir do mês de abril, no estado de São Paulo (Tango *et*  
349 *al.*, 2014).

350 Na Bahia, as populações dos parasitoides aumentam a partir dos meses de abril,  
351 coincidindo com o início das operações de colheita (Melo *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2014)  
352 e, geralmente, têm se correlacionado positivamente com os aumentos nas infestações da  
353 praga, que ocorrem em todo o ano.

354 A eficiência dos parasitoides nos cafezais também depende da disponibilidade de  
355 recursos para sua permanência nas áreas, como a presença de plantas produtoras de néctar  
356 e pólen para atender à demanda nutricional dos adultos (Rezende *et al.*, 2014). A  
357 eliminação dos parasitoides, devido ao uso de inseticidas, pode prejudicar o controle  
358 biológico do bicho-mineiro, uma vez que o restabelecimento desses indivíduos pode levar  
359 um tempo considerável, reduzindo a sua eficiência (Ecole *et al.*, 2010). Desse modo, o  
360 manejo racional de inseticidas, visando a seletividade dos inimigos naturais, é um  
361 importante aspecto a ser incorporado no manejo integrado do bicho-mineiro (Carvalho *et*  
362 *al.*, 2005; Fernandes *et al.*, 2014).

363 A comunidade de parasitoides de *L. coffeella* é considerada complexa, em termos de  
364 diversidade e distribuição geográfica (Lomelí-Flores *et al.*, 2009; David-Rueda *et al.*,  
365 2016), sendo a família Eulophidae a mais abundante e de maior riqueza de espécies  
366 parasitoides em toda a América Neotropical, principalmente em países como México,  
367 Colômbia, Costa Rica e Brasil (Lomelí-Flores *et al.*, 2010; David-Rueda *et al.*, 2016).

368 Das 28 espécies de parasitoides do bicho-mineiro que ocorrem no Brasil, a espécie *C.*  
369 *coffeellae* é a mais abundante nos cafezais, em diversos estados como São Paulo, Minas  
370 Gerais, Paraná e Bahia, sendo uma das primeiras espécies a serem encontradas  
371 parasitando o bicho-mineiro no país, desde a década de 1914 (Mendes, 1940). Sua

372 importância se dá em vários países da América Neotropical, distribuindo-se  
373 geograficamente desde a Colômbia até o México (Lomelí-Flores *et al.*, 2009). Essa  
374 espécie foi a mais abundante nos cafezais do Planalto, onde se cultiva café em manejos  
375 diferentes, principalmente devido à pressão de seleção de inseticidas, logo, ela se mostra  
376 promissora para integrar programas de controle biológico, como a criação em larga escala  
377 para liberações nos cafezais, já que tem uma grande distribuição e adaptação a condições  
378 variadas de manejo (Melo *et al.*, 2007).

379 *Proacrias coffeae* também assume importância no controle populacional do bicho-  
380 mineiro na região do Planalto, chegando a ultrapassar *C. coffeellae* em relação à  
381 abundância na propriedade MUC1. Assim como *C. coffeellae* é um dos mais antigos  
382 parasitoides associados a *L. coffeella* no Brasil, com ocorrência constatada em São Paulo,  
383 Bahia e Paraná (Parra *et al.*, 1977; Gravena, 1983; Melo *et al.*, 2007). Essas duas espécies  
384 podem ser responsáveis por até 90% do parasitismo do bicho-mineiro em algumas  
385 situações (Melo *et al.*, 2007); dessa maneira, as interações entre elas e o bicho-mineiro  
386 merecem mais estudos sobre a dinâmica de suas populações.

387 O gênero *Neochrysocharis* abrange espécies de parasitoides de insetos minadores,  
388 como o bicho-mineiro e a mosca-minadora *Liriomyza trifolii* (Burgess, 1880) (Diptera:  
389 Agromyzidae) (Civelek *et al.*, 2002; Lomelí-Flores *et al.*, 2009). No Brasil, existem  
390 relatos das espécies *N. coffeae* parasitando *L. coffeella* em São Paulo, Bahia e Paraná  
391 (Parra *et al.*, 1977; Melo *et al.*, 2007). Na Bahia, essa espécie mostrou-se abundante nos  
392 cafezais da região Oeste. No caso de *L. trifolii*, já existem programas consolidados de  
393 produção massal do parasitoide *Neochrysocharis formosus* Westwood, 1833 para  
394 controle da mosca-minadora no Japão (Hondo *et al.*, 2006), sendo assim, as espécies do  
395 gênero podem apresentar potencial para uso em programas semelhantes, aplicados para o  
396 bicho-mineiro.

397 Do gênero *Cirrospilus* Westwood, 1833, destaca-se o parasitoide *Cirrospilus*  
398 *neotropicus* Diez & Fidalgo, 2003, que foi descrito originalmente parasitando  
399 *Phyllocnistis citrella* Stainton, 1856 (Lepidoptera: Gracillariidae) na Argentina, em 2003  
400 (Diez & Fidalgo, 2003), sendo também associado ao bicho-mineiro do cafeeiro no Brasil  
401 (Melo *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2014), porém, sua participação tem sido modesta no  
402 controle dessa praga nos cafezais.

403 Neste estudo, registrou-se pela primeira vez, no estado da Bahia, a espécie *S.*  
404 *reticulatus*, que até então só se tinha registros de ocorrência em São Paulo, de onde foi  
405 descrita (Penteado-Dias, 1999), e em Minas Gerais (Ecole, 2010), exercendo controle do  
406 bicho-mineiro em taxas de até 8,8%. Esse braconídeo parasita o bicho-mineiro nos  
407 últimos instares larvais, no entanto, na região do Planalto, foi verificada que sua  
408 abundância é baixa e encontrada apenas nos municípios de Barra do Choça e Vitória da  
409 Conquista. É provável que esse fato tenha ocorrido em função da amostragem levar em  
410 conta apenas as minas íntegras e as lagartas vivas, sem avaliação das crisálidas, o que  
411 pode ter influenciado sua constatação nas coletas.

412 Registrou-se também, pela primeira vez na Bahia, *Zagrammosoma* sp., cuja ocorrência  
413 havia sido relatada apenas em São Paulo (Gravena, 1983). A sua participação no controle  
414 do bicho-mineiro na região foi muito baixa, sendo coletado apenas um espécime no  
415 município de Barra do Choça. As espécies do gênero, contudo, parecem não possuírem  
416 eficiência significativa no controle do bicho-mineiro, como foi verificado na Colômbia,  
417 onde a espécie *Zagrammosoma multilineatum* Ashmead, 1888 (Hymenoptera:  
418 Eulophidae) ocorre em baixa abundância (David-Rueda *et al.*, 2016).

419 A baixa abundância de *Horismenus* sp. na região é conflitante com o que foi relatado  
420 por Melo *et al.* (2007) e Souza *et al.* (2014) para Vitória da Conquista e Luís Eduardo  
421 Magalhães, uma vez que a espécie *H. aeneicollis* mostrou-se uma das mais abundantes

422 nos cafezais estudados por aqueles autores. Já foi constatada a presença de espécies do  
423 gênero *Horismenus* Walker, 1843 em São Paulo, Paraná e Minas Gerais (Mendes, 1940;  
424 Ecole *et al.*, 2009). Ressalta-se que a distribuição de espécies do gênero *Horismenus* vem  
425 se ampliando, também, para a Chapada Diamantina, que, juntamente com *C. coffeellae* e  
426 *P. coffeae*, podem ser encontradas parasitando o bicho-mineiro nas duas regiões  
427 produtoras de café arábica da Bahia.

428 Considerando os dados do presente estudo, o número de espécies de parasitoides do  
429 bicho-mineiro registrado para a Bahia sobe para 10. No entanto, essa riqueza está abaixo  
430 daquela verificada em São Paulo e Minas Gerais (Parra *et al.*, 1977; Gravena, 1983). Isso  
431 pode ser verificado pela ausência de espécies de Braconidae dos gêneros *Orgilus* Haliday,  
432 1833, *Mirax* Haliday, 1833 e *Centistidea* Rohwer, 1914, por exemplo, cujas espécies  
433 podem parasitar o bicho-mineiro em taxas de até 75%. Pode-se levantar as hipóteses de  
434 que espécies dos gêneros mencionados ainda apresentam distribuição geográfica restrita  
435 ao Sudeste do país ou os levantamentos e técnicas de amostragem, normalmente  
436 utilizadas, foram insuficientes para detectar a ocorrência desses indivíduos no Nordeste  
437 brasileiro.

438 Os fatores climáticos afetam a dinâmica populacional do bicho-mineiro e,  
439 normalmente, a temperatura do ar se correlaciona positivamente com as infestações da  
440 praga, enquanto a precipitação pluviométrica exerce efeito negativo sobre as populações  
441 (Souza *et al.*, 1998; Parra & Reis, 2013). Assim, a ocorrência de aumentos na densidade  
442 das populações do bicho-mineiro, ao longo do tempo, é comum, geralmente no período  
443 de temperaturas mais quentes.

444 Na região do Planalto, entretanto, os maiores valores do número de folhas contendo  
445 lagartas vivas ocorreram nos meses de temperaturas mais baixas e menos chuvosos,  
446 coincidindo com maior abundância de parasitoides também nesse período. As condições

447 chuvosas podem afetar a mobilidade do bicho-mineiro, afetando sua habilidade de voar e  
448 se reproduzir (Pereira *et al.*, 2007a).

449 Os efeitos físicos causados pelas chuvas podem ocasionar mortalidade das larvas por  
450 afogamento, reduzindo os ataques nos cafezais (Pereira *et al.*, 2007b; Fernandes *et al.*,  
451 2009). Os parasitoides, por serem pequenos, também tendem a reduzir sua movimentação  
452 durante a época chuvosa do ano (Lomelí-Flores *et al.*, 2010; Ecole *et al.*, 2010). Dessa  
453 maneira, condições de alta umidade e precipitação, naturais ou artificiais, por meio de  
454 irrigação (Assis *et al.*, 2012), afetam a dinâmica e a relação entre o bicho-mineiro e seus  
455 inimigos naturais (Fernandes *et al.*, 2009).

456 A correlação negativa entre esses fatores climáticos e a abundância dos parasitoides  
457 no presente trabalho corroboram tais padrões gerais. Além disso, a menor abundância de  
458 parasitoides foi verificada em cafezais irrigados por pivô central, em comparação com  
459 cafezais em regime de sequeiro e irrigados via gotejamento. Isso pode ser explorado no  
460 manejo da praga pelos cafeicultores.

461 Embora a temperatura esteja associada positivamente com as infestações do bicho-  
462 mineiro, para os parasitoides, em contrapartida, quando as temperaturas atingem valores  
463 mais baixos, é possível obter maior abundância de parasitoides, como é o caso de Minas  
464 Gerais (Ecole *et al.*, 2010) e São Paulo (Tango *et al.*, 2014). Na região do Planalto, maior  
465 abundância de parasitoides ocorre nos meses mais frios, indicando interação negativa com  
466 temperaturas mais altas.

467 Dentre os fatores climáticos, as condições do vento são as que atuam diretamente no  
468 deslocamento do bicho-mineiro, que só consegue se deslocar em voos por até 9 metros  
469 de distância (Box, 1923), sendo a sua dispersão nos cafezais, em distâncias maiores,  
470 favorecida através dos ventos (Souza *et al.*, 1998).

471 A abundância dos parasitoides foi afetada pelo uso de inseticidas, porém, com  
472 variações modestas entre os cafezais que aplicam inseticidas, principalmente das espécies  
473 *C. coffeellae*, *P. coffeae*, *Neochrysocharis* sp. 01 e *Neochrysocharis* sp. 02. Os impactos  
474 negativos do uso de inseticidas nos cafezais comprometem os serviços de controle  
475 biológico prestados pelos parasitoides, dificultando o reestabelecimento das populações  
476 em decorrência da eliminação dos indivíduos (Morgan *et al.*, 2017).

477 Nesse sentido, a busca por inseticidas seletivos é uma vantagem e possibilita a  
478 conservação desses inimigos naturais nos cafezais (Souza *et al.*, 2020). Os parasitoides  
479 do bicho-mineiro são mais sensíveis aos efeitos dos inseticidas do que as vespas  
480 predadoras (Gusmão *et al.*, 2000; Carvalho *et al.*, 2004, Bacci *et al.*, 2006), desaparecendo  
481 rapidamente da área após a aplicação dos produtos.

482 Os inseticidas organofosforados, neonicotinoides e alguns piretroides à base de  
483 cipermetrina exibem ação tóxica nos parasitoides em campo (Carvalho *et al.*, 2004;  
484 Carvalho *et al.*, 2005). Em contrapartida, alguns compostos à base de aldicarb e beta-  
485 ciflutrina mostraram-se menos tóxicos e seletivos fisiologicamente aos parasitoides. Para  
486 as condições da Bahia, o cloridrato de cartape, aplicado via foliar a taxas reduzidas e  
487 adição de adjuvantes, foi classificado como pouco tóxico aos parasitoides do bicho-  
488 mineiro (Melo *et al.*, 2019).

489 Nas propriedades estudadas, principalmente nos cafezais de Mucugê, o uso de  
490 inseticidas neonicotinoides, piretroides e organofosforados (Leite *et al.*, 2020b) pode  
491 estar associado com a menor diversidade dos parasitoides encontrados. Esses resultados  
492 indicam a necessidade de aprofundar os estudos de seletividade desses inseticidas, bem  
493 como esclarecer quais os impactos dos compostos na bioecologia dos parasitoides.

494 As espécies *C. coffeellae* e *P. coffeae*, que mais contribuem para a abundância total  
495 dos parasitoides, já apresentam adaptações às pressões de seleção exercidas pelo manejo

496 químico empregado para controle do bicho-mineiro nos cafezais, reforçando o argumento  
497 de que essas duas espécies apresentam potencial para uso no controle biológico aplicado  
498 na região do Planalto, Bahia, Brasil.

499 De maneira geral, as relações entre o bicho-mineiro e seus parasitoides, mostradas  
500 neste estudo, demonstram a importância desses indivíduos no controle da praga na região  
501 do Planalto, principalmente nos períodos de maio a agosto do ano.

502 A comunidade de parasitoides associados ao bicho-mineiro do cafeeiro na Bahia  
503 mostra-se maior com os relatos de espécies como *S. reticulatus* e *Zagrammosoma* sp.  
504 Ressalta-se, ainda, que são necessários mais estudos sobre levantamentos de espécies em  
505 outras localidades e regiões cafeeiras da Bahia, como a do Atlântico (Sul e Extremo Sul  
506 do estado); e tipos de cultivos, como o orgânico, consorciado em sistema agroflorestal,  
507 dentre outros, podendo-se levantar a hipótese da maior diversidade dessa fauna benéfica.

508 A participação efetiva de *C. coffeellae* e *P. coffeae* no controle biológico do bicho-  
509 mineiro indica que ambas são espécies com grande potencial para exploração em  
510 programas de criação e liberação massal nos cafezais e merecem mais atenção em estudos  
511 futuros.

512 Dentre os fatores climáticos, a temperatura do ar afeta de forma significativa a  
513 abundância de parasitoides na região do Planalto, em contrapartida, o uso de inseticidas  
514 afeta de forma negativa a diversidade de espécies e seu efeito negativo na abundância é  
515 modesto, porém significativo, entre os cafezais estudados.

516 A utilização de inseticidas nos cafezais requer atenção, pois impacta a comunidade dos  
517 parasitoides do bicho-mineiro, portanto, estudos visando a seletividade dos compostos a  
518 essas espécies são imprescindíveis para a conservação e aumento da diversidade nos  
519 cultivos, possibilitando a integração dos métodos químico e biológico para manejar o  
520 bicho-mineiro nos cafezais.



## 521 **5 Agradecimentos**

522 Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e à  
523 Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio  
524 financeiro. Agradecemos aos cafeicultores das Fazendas Progresso, Ceci, Primavera e  
525 Empresa Café Bahia, pelo apoio e suporte na condução dos experimentos na região.  
526 DRRF thank to Programa de Capacitação Institucional - CI/CNPq (process n°  
527 312879/2019-9).

528

## 529 **Referências**

- 530 Amaral, D. S., Venzon, M., Pallini, A., Lima, P. C., & De Souza, O. (2010). A  
531 diversificação da vegetação reduz o ataque do bicho-mineiro-do-cafeeiro  
532 *Leucoptera coffeella* (Guérin-mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae)? Neotropical  
533 Entomology, 39(4), 543-548. DOI: 10.1590/S1519-566X2010000400012
- 534 Basha, H. A., Mostafa, E. M., & Eldeeb, A. M. (2021). Mite pests and their predators on  
535 seven vegetable crops (Arachnida: Acari). Saudi Journal of Biological Sciences,  
536 28(6), 3414-3417. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.03.004
- 537 Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). R package. Fitting linear  
538 mixed-effects models using lme4. arXiv preprint arXiv:1406.5823.
- 539 Box, H. E. (1923). The Bionomics of the White Coffee-leaf Miner, *Leucoptera*  
540 *coffeella*, Guér., in Kenya Colony (Lepidoptera, Lyonetiidae). Bulletin of  
541 Entomological Research, 14(2), 133-145. DOI: [10.1017/S0007485300056248](https://doi.org/10.1017/S0007485300056248)
- 542 Bacci, L., Fernandes, F., Picanço, M., Crespo, A., & Campos, M. (2006). Seletividade  
543 fisiológica de inseticidas a vespas predadoras (Hymenoptera: Vespidae) de  
544 *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). BioAssay, 1. DOI:  
545 10.14295/BA.v1.0.38

- 546 Campos, O. G., Decazy, B., & Carrillo, E. (1989). Dinámica poblacional del minador de  
547 la hoja del cafeto *Leucoptera coffeella* y sus enemigos naturales en la Zona de  
548 Nuevo San Carlos, Retalhuleu, Guatemala. *Turrialba* 39(3), 393-399.
- 549 Carvalho, G. A., Miranda, J. C., Vilela, F. Z., Moura, A. P., & Moraes, J. C. (2004).  
550 Impacto de inseticidas sobre vespas predadoras e parasitóides e sua eficiência no  
551 controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842)  
552 (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Arquivos do Instituto Biológico*, 71(1), 63-70.
- 553 Carvalho, G. A., Miranda, J. C., Moura, A. P., Rocha, L. C. D., Reis, P. R., & Vilela, F.  
554 Z. (2005). Controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842)  
555 (Lepidoptera: Lyonetiidae) com inseticidas granulados e seus efeitos sobre vespas  
556 predadoras e parasitóides. *Arquivos do Instituto Biológico*, 72(1), 63-72.
- 557 Castellani, M. A., Melo, T. L., & Menezes, M. A. P. (2016). Desafios para o manejo do  
558 bicho-mineiro. *Aiba Rural*, 5, 40-41.
- 559 Civelek, H. S., Yoldaş, Z., & Weintraub, P. (2002). The parasitoid complex of  
560 *Liriomyza huidobrensis* in cucumber greenhouses in Izmir Province, Western  
561 Turkey. *Phytoparasitica*, 30(3), 285-287. DOI: 10.1007/BF03039996
- 562 CONAB, C. D. A. (2017). Acompanhamento da safra brasileira de café safra 2021.  
563 Terceiro levantamento, 8(3), 59.
- 564 Conceição, R. S., Pereira, L. B., & Veiga, A. J. P. (2016). Análise da temperatura do ar,  
565 precipitação, evapotranspiração, déficit e excedente hídrico em Vitória da  
566 Conquista–BA, de 1961 a 1990. *Revista Georaguaia*, 6(1).
- 567 Costa, F. M. D., Alves, G. D. F., Scalon, J. D., & Zacarias, M. S. (2015). Análise  
568 estatística das distribuições espaciais do bicho-mineiro do cafeeiro e das vespas  
569 predadoras. *Coffee Science*, 10(2), 149-157.

570 Cristancho, M. A., Caicedo, B. C., Rivillas, C. A., & Gómez, G. C. (2015).  
571 Compendium of coffee diseases and pests. A. L. Gaitán (Ed.). APS Press, The  
572 American Phytopathological Society.

573 Dantas, J., Motta, I. O., Vidal, L. A., Nascimento, E. F., Bilio, J., Pupe, J. M., Veiga, A.,  
574 Carvalho, A., Lopes, R. B., Rocha, T. L., Silva, L.P., Pujol-Luz, J.R. &  
575 Albuquerque, É. V. (2021). A Comprehensive Review of the Coffee Leaf Miner  
576 *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) — A Major Pest for the Coffee  
577 Crop in Brazil and Others Neotropical Countries. *Insects*, 12(12), 1130. DOI:  
578 [10.3390/insects12121130](https://doi.org/10.3390/insects12121130)

579 David-Rueda, G., Constantino, L. M., Cecilia Montoya, E., Ortega, O. E., Nancy Gil,  
580 Z., & Benavides-Machado, P. (2016). Diagnostic of *Leucoptera coffeella*  
581 (Lepidoptera: Lyonetiidae) and its parasitoids in the department of Antioquia,  
582 Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 42(1), 4-11. DOI:  
583 [10.25100/socolen.v42i1.6662](https://doi.org/10.25100/socolen.v42i1.6662)

584 Diez, P. A., & Fidalgo, P. (2003). *Cirrospilus neotropicus* sp. n. (Hymenoptera:  
585 Eulophidae): an indigenous biocontrol agent of the citrus leafminer, *Phyllocnistis*  
586 *citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Argentina. *Entomological news*, 114(2), 98-  
587 103.

588 Ecoli, C. C., Moraes, J. C., & Vilela, M. (2010). Suplementos alimentares e isca toxica  
589 no manejo do bicho-mineiro e de seus inimigos naturais. *Coffee Science*, 5(2), 167-  
590 172.

591 Ecolé, C. C., Vilela, M., Moraes, J. C., & Silva, R. A. (2013). Dinâmica populacional  
592 do bicho-mineiro e de seus inimigos naturais em cafeeiros orgânico e convencional  
593 adensados. *Brazilian Journal of Agriculture-Revista de Agricultura*, 88(1), 44-52.

- 594 Fernandes, F. L., Mantovani, E. C., Bonfim Neto, H., & Nunes, V. D. V. (2009). Efeitos  
595 de variáveis ambientais, irrigação e vespas predadoras sobre *Leucoptera coffeella*  
596 (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) no cafeeiro. Neotropical  
597 Entomology, 38, 410-417. DOI: [10.1590/S1519-566X2009000300018](https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000300018)
- 598 Fernandes, F. L., da Silva, P. R., Gorri, J. E. R., Pucci, L. F., & da Silva, Í. W. (2014).  
599 Selectivity of old and new insecticides and behaviour of vespidae predators in  
600 coffee crop. Sociobiology, 60(4), 471-476. DOI: 10.13102/sociobiology.v60i4.471-  
601 476
- 602 Fragoso, D. B., Jusselino-Filho, P., Guedes, R. N., & Proque, R. (2001). Seletividade de  
603 inseticidas a vespas predadoras de *Leucoptera coffeella* (Guér-Mènev.)  
604 (Lepidoptera: Lyonetiidae). Neotropical Entomology, 30, 139-143. DOI:  
605 [10.1590/S1519-566X2001000100020](https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000100020)
- 606 Fragoso, D.B., Guedes, R.N.C., Picanço, M.C. & Zambolim, L. (2002) Insecticide use  
607 and organophosphate resistance in the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*  
608 (Lepidoptera: Lyonetiidae). Bulletin of Entomology Research, 92, 203-212. DOI:  
609 [10.1079/BER2002156](https://doi.org/10.1079/BER2002156)
- 610 Gravena, S. (1983). Táticas de manejo integrado do bicho mineiro do cafeeiro  
611 *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842): I-Dinâmica populacional e  
612 inimigos naturais. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 12. DOI:  
613 [10.37486/0301-8059.v12i1.300](https://doi.org/10.37486/0301-8059.v12i1.300)
- 614 Gusmão, M. R., Picanço, M., Gonring, A. H. R., & Moura, M. F. (2000). Seletividade  
615 fisiológica de inseticidas a Vespidae predadores do bicho-mineiro-do-cafeeiro.  
616 Pesquisa Agropecuária Brasileira, 35, 681-686.

617 Hondo, T., Kandori, I., & Sugimoto, T. (2006). Mass production process of  
618 *Neochrysocharis formosa* as the biological control agent against *Liriomyza trifolii*.  
619 Memoirs of the Faculty of Agriculture of Kinki University, 39, 41-54.

620 ICO, International Coffee Organization. (2021) Statistics, International Coffee  
621 Organization, London, England. Disponível em:  
622 <[https://ico.org/trade\\_statistics.asp?section=Statistics](https://ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics)>. Acessado em 26 de outubro  
623 de 2021.

624 Ihering, R. V. (1914). Tres Chalcididas parasitas do Bicho do café, *Leucoptera*  
625 *coffeella*, com algumas considerações sobre o hyperparasitismo. Revista do Museu  
626 Paulista 9:85-106.

627 Kassambara, K., & Mundt, F. Extract and Visualize the Results of Multivariate Data  
628 Analyses. R package version 1.0.7. 2020.

629 Koh, I., Garrett, R., Janetos, A., & Mueller, N. D. (2020). Climate risks to Brazilian  
630 coffee production. Environmental Research Letters, 15(10), 104015.

631 Krebs, C. J. (1985) Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance.  
632 Harper and Row: Publishers, 800p.

633 Leite, S. A., Dos Santos, M. P., Resende-Silva, G. A., da Costa, D. R., Moreira, A. A.,  
634 Lemos, O. L., Guedes, R.N.C., & Castellani, M. A. (2020a). Area-Wide survey of  
635 chlorantraniliprole resistance and control failure likelihood of the neotropical coffee  
636 leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). Journal of Economic  
637 Entomology, 113(3), 1399-1410. DOI: 10.1093/jee/toaa017.

638 Leite, S.A., Guedes, R.N.C., Santos, M.P. dos, Costa, D.R. Da, Moreira, A. A.,  
639 Matsumoto, S.N., Lemos, O.L., & Castellani, M.A. (2020b). Profile of Coffee  
640 Crops and Management of the Neotropical Coffee Leaf Miner, *Leucoptera*  
641 *coffeella*. Sustainability, 12, 1-14.

642 Leite, S. A., dos Santos, M. P., da Costa, D. R., Moreira, A. A., Guedes, R. N. C., &  
643 Castellani, M. A. (2021). Time-concentration interplay in insecticide resistance  
644 among populations of the Neotropical coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*.  
645 *Agricultural and Forest Entomology*, 23(2), 232-241.

646 Lenth, R.V. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R  
647 package version 1.4.5. Available at: <[https://CRAN.R-](https://CRAN.R-project.org/package=emmeans)  
648 [project.org/package=emmeans](https://CRAN.R-project.org/package=emmeans)>. Acessado em: 10 de maio de 2021.

649 Lomelí-Flores, J. R., Barrera, J. F., & Bernal, J. S. (2010). Impacts of weather, shade  
650 cover and elevation on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera:  
651 Lyonetiidae) population dynamics and natural enemies. *Crop Protection*, 29(9),  
652 1039-1048. DOI: [10.1016/j.cropro.2010.03.007](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.03.007)

653 Medeiros, H. R., Martello, F., Almeida, E. A., Mengual, X., Harper, K. A., Grandinete,  
654 Y. C., Metzger, J.P., Righi, C.A., & Ribeiro, M. C. (2019). Landscape structure  
655 shapes the diversity of beneficial insects in coffee producing landscapes. *Biological*  
656 *Conservation*, 238, 108193. DOI: [10.1016/j.biocon.2019.07.038](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.07.038)

657 Melo, T. L., Castellani, M. A., Nascimento, M. D. L. D., Menezes Junior, A. D. O.,  
658 Ferreira, G. F. P., & Lemos, O. L. (2007). Comunidades de parasitóides de  
659 *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera:  
660 Lyonetiidae) em cafeeiros nas regiões Oeste e Sudoeste da Bahia. *Ciência e*  
661 *Agrotecnologia*, 31, 966-972.

662 Melo, T. L., Raetano, C. G., Nery, M. S., Cardoso, A. D., Moreira, A. A., Leite, S. A.,  
663 Jesus, T.F., Silva, W.G.O., & Castellani, M. A. (2019). Management of coffee leaf  
664 miner: spray volume, efficacy of cartap hydrochloride and impact on parasitism.  
665 *Coffee Science*, 14(2), 250-260.

666 Mendes, L. (1940). Os parasitas do “bicho-mineiro das folhas de café”. Revista do  
667 Instituto de Café, 26(155), 6-11.

668 Morgan, W. H., Thébault, E., Seymour, C. L., & Van Veen, F. F. (2017). Density  
669 dependence and environmental factors affect population stability of an agricultural  
670 pest and its specialist parasitoid. *BioControl*, 62(2), 175-184.

671 Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, J., & O’Hara, R. B. (2018). Vegan  
672 community ecology package: ordination methods, diversity analysis and other  
673 functions for community and vegetation ecologists. R package ver, 3-4.

674 Palma-Santos, M. C. D., & Pérez-Maluf, R. (2010). Comunidade de parasitóides  
675 associada à cultura do café em Piatã, Chapada Diamantina, BA. *Revista Ceres*, 57,  
676 194-197.

677 Parra, J. R. P., Gonçalves, W., Gravena, S., & Marconato, A. R. (1977). Parasitos e  
678 predadores do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileuoptera coffeella* (Guérin-  
679 Méneville, 1842) em São Paulo. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 6,  
680 138-143. DOI: [10.37486/0301-8059.v6i1.107](https://doi.org/10.37486/0301-8059.v6i1.107)

681 Parra, J. R. P., & Reis, P. R. (2013). Manejo integrado para as principais pragas da  
682 cafeicultura, no Brasil. *Visão Agrícola*, 8(12), 47-50.

683 Pantoja-Gomez, L.M., Corrêa, A.S., Oliveira, L.O., & Guedes, R.N.C. (2019) Common  
684 origin of Brazilian and Colombian populations of the Neotropical coffee leaf miner,  
685 *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Journal of Economic Entomology*,  
686 112, 924-931.

687 Pentead-Dias, A. M. (1999). New species of parasitoids on *Perileuoptera coffeella*  
688 (Guérin-Menèville) (Lepidoptera, Lyonetiidae) from Brazil. *Zoologische*  
689 *Mededelingen*, 73, 189-197.

690 Pereira, E. J. G., Picanço, M. C., Bacci, L., Della Lucia, T. M. C., Silva, É. M., &  
691 Fernandes, F. L. (2007a). Natural mortality factors of *Leucoptera coffeella*  
692 (Lepidoptera: Lyonetiidae) on *Coffea arabica*. *Biocontrol Science and Technology*,  
693 17(5), 441-455.

694 Pereira, E. J. G., Picanço, M. C., Bacci, L., Crespo, A. L. B., & Guedes, R. N. C.  
695 (2007b). Seasonal mortality factors of the coffee leafminer, *Leucoptera coffeella*.  
696 *Bulletin of Entomological Research*, 97(4), 421-432.

697 Perfecto, I., Vandermeer, J., & Philpott, S. M. (2010). Complejidad ecológica y el  
698 control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servicio ecosistémico  
699 autónomo. *Agroecología*, 5, 41-51.

700 Picanço, M.C., Oliveira, I.R., Fernandes, F. L. Martinez, H.E.P., Bacci, L., & Silva,  
701 E.M. (2012). Ecology of Vespidae (Hymenoptera) predators in *Coffea arabica*  
702 plantations. *Sociobiology*, 59(4), 1269-1280.

703 R Development Core Team (2020). R: A language and environment for statistical  
704 computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL  
705 <http://www.R-project.org>.

706 Ramírez-Valerio D., & Jiménez, F. G. (2021). Manejo del minador de la hoja  
707 (*Leucoptera coffeella*) en el cultivo de café en Costa Rica. *Agronomía*  
708 *costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 45(2), 143-153.

709 Ramiro, D.A., Guerreiro-Filho, O., Queiroz-Voltan, R.B., & Matthiesen, S.C. (2004)  
710 Caracterização anatômica de folhas dos cafeeiros resistentes e suscetíveis ao bicho-  
711 mineiro. *Bragantia*, 63, 363-372.

712 Reis, P. R., & Souza, J. D. (1996). Manejo integrado do bicho-mineiro, *Perileucoptera*  
713 *coffeella* (Guérin-Meneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), e seu reflexo na produção



714 de café. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil. 25(1), 77-82. DOI:  
715 [10.37486/0301-8059.v25i1.1093](https://doi.org/10.37486/0301-8059.v25i1.1093)

716 Reis Jr, R., Souza, O. D., & Vilela, E. F. (2000). Predators impairing the natural  
717 biological control of parasitoids. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 29,  
718 507-514. DOI: [10.1590/S0301-80592000000300013](https://doi.org/10.1590/S0301-80592000000300013)

719 Rezende, M. Q., Venzon, M., Perez, A. L., Cardoso, I. M., & Janssen, A. (2014).  
720 Extrafloral nectaries of associated trees can enhance natural pest control.  
721 Agriculture, ecosystems & environment, 188, 198-203.

722 Righi, C. A., Campoe, O. C., Bernardes, M. S., Lunz, A. M. P., Piedade, S. M. S., &  
723 Pereira, C. R. (2013). Influence of rubber trees on leaf-miner damage to coffee  
724 plants in an agroforestry system. Agroforestry systems, 87(6), 1351-1362.

725 Rosado, M.C., Araújo, G. J., Pallini, A., & Venzon, M. (2021). Cover crop  
726 intercropping increases biological control in coffee crops. Biological Control, 160,  
727 104675.

728 Scalon, J. D., Avelar, M. B. L., Alves, G. D. F., & Zacarias, M. S. (2011). Spatial and  
729 temporal dynamics of coffee-leaf-miner and predatory wasps in organic coffee field  
730 in formation. Ciência Rural, 41, 646-652.

731 Scalon, J. D., Mateus, A. L. S. S., & Zacarias, M. S. (2013). Análise espaço-temporal do  
732 nível de infestação do bicho-mineiro *Leucoptera coffeella*, (Guérin-Menèville &  
733 Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em cafezal orgânico (*Coffea arabica*  
734 L.). Coffee Science, 8(3), 347-353.

735 Schauff, M.E., LaSalle, J. & Coote, L.D. (1997) Eulophidae. In: Gibson, G.A.P.,  
736 Huber, J.T. & Woolley, J.B. (Eds), Annotated keys to the genera of Nearctic  
737 Chalcidoidea (Hymenoptera). NRC Research Press, Ottawa, pp. 327-429.

738 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2021). Sistema Integrado de Dados  
739 Ambientais. Disponível em: <http://sinda.crn.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>.  
740 Acessado em 5 de dezembro de 2021.

741 Souza, J. D., Reis, P. R., & Rigitano, R. D. O. (1998). Bicho-mineiro do cafeeiro:  
742 biologia, danos e manejo integrado. Belo Horizonte: EPAMIG.

743 Souza, T. P., Castellani, M. A., de Lemos, R. N. S., Maluf, R. P., Moreira, A. A., Silva,  
744 B. S., & Ribeiro, E. B. (2014). Ocorrência sazonal, predação e parasitismo de  
745 *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em  
746 cafeeiros associados a grevêleas. *Coffee Science*, 9(1), 34-50.

747 Souza, J. R., Moreira, L. B., Lima, L. L. R., Silva, T. G., Braga, P. P. M., & Carvalho,  
748 G. A. (2020). Susceptibility of *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera:  
749 Crysopidae) to insecticides used in coffee crops. *Ecotoxicology*, 1-9.

750 Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI. (1998).  
751 Informações municipais. Disponível em:  
752 <[https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=266](https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=266)>. Acesso em 01 dezembro de 2021.  
753

754 Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI. (2015). Sistemas de  
755 Informações Municipais. Disponível em: <http://sim.sei.ba.gov.br/sim/tabelas.wsp#>.  
756 Acesso em 01 dezembro de 2021.

757 Tango, M. F., Fernandes, D. R., Paz, C. C., Lara, R. I., & Perioto, N. W. (2014). Orgilinae  
758 (Hymenoptera: Braconidae) in coffee crops at Cravinhos, State of São Paulo, Brazil.  
759 *Revista Colombiana de Entomología*, 40(1), 25-33.

760 Tomazella, V. B., Jacques, G. C., Lira, A. C., & Silveira, L. C. P. (2018). Visitation of  
761 social wasps in arabica coffee crop (*Coffea arabica* L.) intercropped with different  
762 tree species. *Sociobiology*, 65(2), 299-304.

763 Tuelher, E. S., Oliveira, E. E., Guedes, R. N. C., & Magalhães, L. C. (2003). Ocorrência  
764 de bicho-mineiro do cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) influenciada pelo período  
765 estacional e pela altitude. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 25(1), 119-124.

766 Vega, F. E., Posada, F., & Infante, F. (2006). *Coffee insects: ecology and control*.

767 Wharton, R. A.; P. M. Marsh & M. J. Sharkey (Eds.). 1997. *Manual of the New World*  
768 *Genera of the Family Braconidae (Hymenoptera)*. Washington, Special Publication  
769 of the International Society of Hymenopterists, N° 1, 439 p.

770 Wolda, H. Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia*, v. 50, n. 3, p. 296-  
771 302, 1981.

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

**Tabela 1.** Sistema de irrigação e número de aplicações anuais de inseticidas utilizados em cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil

Propriedade	Município	Sistema de irrigação	Número de aplicação anual de inseticidas (2020 a 2021)	Inseticidas utilizados	Época de aplicação
VDC	Vitória da Conquista	Sequeiro	-	Sem histórico de uso de inseticidas nos últimos 15 anos	-
BCH1	Barra do Choça	Sequeiro	6	abamectina, clorantraniliprole, cloridrato de cartape, cipermetrina, imidacloprido e tiametoxam.	2020 (abril, maio e dezembro)  2021 – (fevereiro, março e setembro)
BCH2	Barra do Choça	Sequeiro	5	abamectina, acetamiprido+bifentrina, alfa-cipermetrina, beta-ciflutrina, clorantraniliprole, cloridrato de cartape, cipermetrina, imidacloprido, lambda-cialotrina, teflubenzurom, tiametoxam + ciproconazole	2020 (janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro)  2021 – (fevereiro, abril e novembro)
MUC1					
MUC2	Mucugê	Gotejamento	8	abamectina, acetamiprido+bifentrina, beta-ciflutrina, clorantraniliprole, deltametrina, imidacloprido, profenofós+lufenurum, tiametoxam + ciproconazole, tiametoxam	2020- (março, abril, outubro, novembro e dezembro)  2021- (janeiro, fevereiro, abril, maio, setembro e novembro)
MUC3					

VDC = Vitória da Conquista; BCH= Barra do Choça; MUC = Mucugê

**Tabela 2.** Test *t* (student) para comparação dos valores dos Índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') estimados em função das propriedades cafeeiras da região do Planalto, Bahia

Propriedades confrontadas <sup>1</sup>	Diversidade (H')	<i>t</i>	p-valor
VDC x BCH1	1,29 x 1,10	2,93	0,003**
VDC x BCH2	1,29 x 1,10	2,79	0,005**
VDC x MUC1	1,29 x 0,99	5,56	< 0.0001***
VDC x MUC2	1,29 x 1,07	4,09	< 0.0001***
VDC x MUC3	1,29 x 1,10	3,53	< 0.001**

\*\* e \*\*\* Significativo a 1 e 0,1% de probabilidade.

<sup>1</sup> VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê.

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807 **Legenda das figuras**

808

809 **Figura 1.** Localização das propriedades selecionadas na região produtora de café arábica  
810 do Planalto, Bahia. Os símbolos indicam as propriedades do estudo. Sistema de  
811 Coordenadas SIRGAS 2000.

812

813 **Figura 2.** Abundância de parasitoides (A) e número de folhas com lagartas vivas (B)  
814 coletados em cafezais do Planalto, Bahia. (Modelo Linear Generalizado – GLM;  
815 Distribuição de Poisson;  $p < 0.05$ ). (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça;  
816 BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê)

817

818 **Figura 3.** Curva de rarefação de espécies em função da abundância de parasitoides  
819 coletados nas propriedades cafezeiras na região do Planalto, Bahia. As elipses representam  
820 os Intervalos de Confiança de 95%. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça;  
821 BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê)

822

823 **Figura 4.** Estrutura das comunidades de parasitoides de *Leucoptera coffeella* coletados  
824 nas propriedades VDC (A), BCH1 (B), BCH2 (C), MUC1 (D), MUC2 (E), MUC3 (F) da  
825 Região do Planalto, Bahia. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 =  
826 Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê)

827

828 **Figura 5.** Dendrograma de similaridade (Índice de Jaccard) das comunidades de  
829 parasitoides de *Leucoptera coffeella* coletados nos cafezais da Região do Planalto, Bahia.  
830 (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 =  
831 Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê)

832 **Figura 6.** Diagrama de ordenação de Componentes Principais (1º e 2º Componentes) para  
833 fatores de tempo e abundância de parasitoides em propriedades cafeeiras da Região do  
834 Planalto, Bahia. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do  
835 Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2= Mucugê e MUC3 = Mucugê.)

836

837 **Figura 7.** Diagrama de Curva de Resposta Principal (PRC) em função do manejo  
838 diferenciado dos cafezais na comunidade de parasitoides do bicho-mineiro na região do  
839 Planalto ao longo do tempo de coleta. As linhas representam as propriedades cujos valores  
840 próximos a linha 0 indicam pouca variação sofrida na comunidade (VDC = Vitória da  
841 Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1 = Mucugê; MUC2=  
842 Mucugê e MUC3 = Mucugê)

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

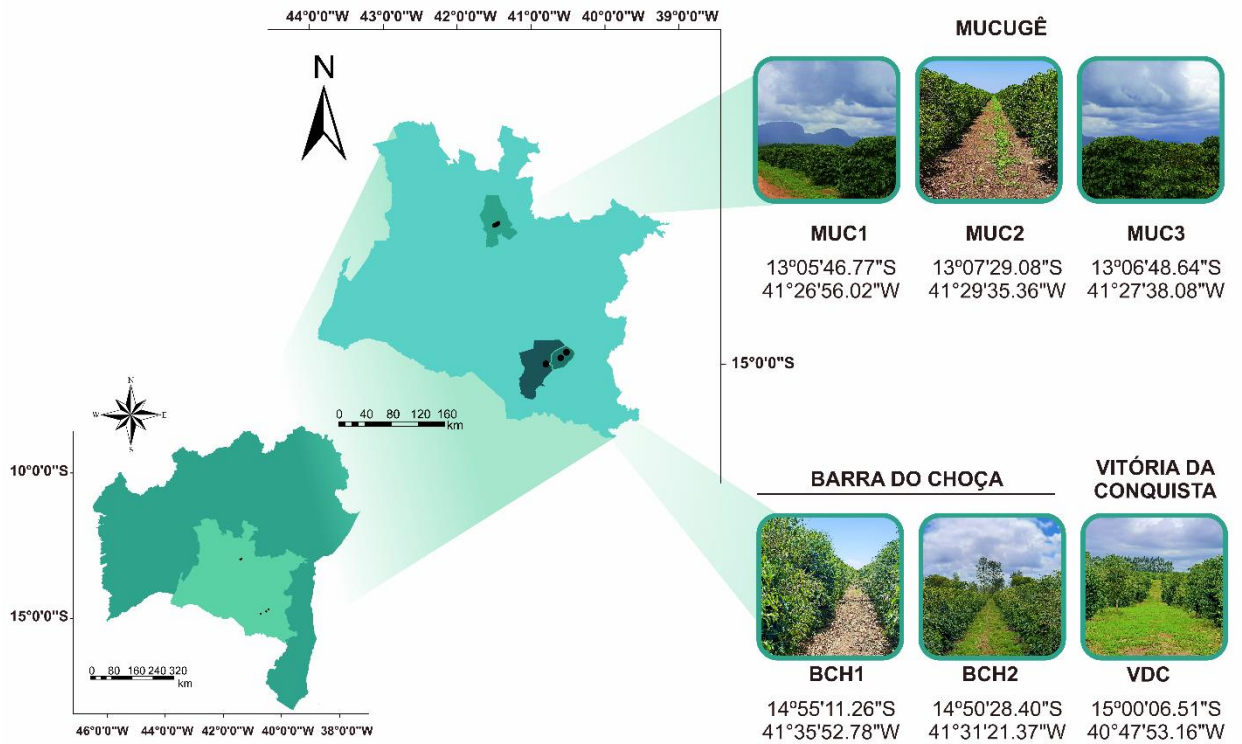
865

866

867

868

869



870

### LEGENDA

871

**BARRA DO CHOÇA**

Temperatura média: 19,9°C

Precipitação média: 900 mm

Altitude: 900 metros

872

**MUCUGÊ**

Temperatura média: 23,6°C

Precipitação média: 579 mm

Altitude: 1.000 metros

873

**VITÓRIA DA CONQUISTA**

Temperatura média: 20,0°C

Precipitação média: 723 mm

Altitude: 923 metros

874

FONTE: SEI/BA, 2015

875

876 Figura 1.

877

878

879

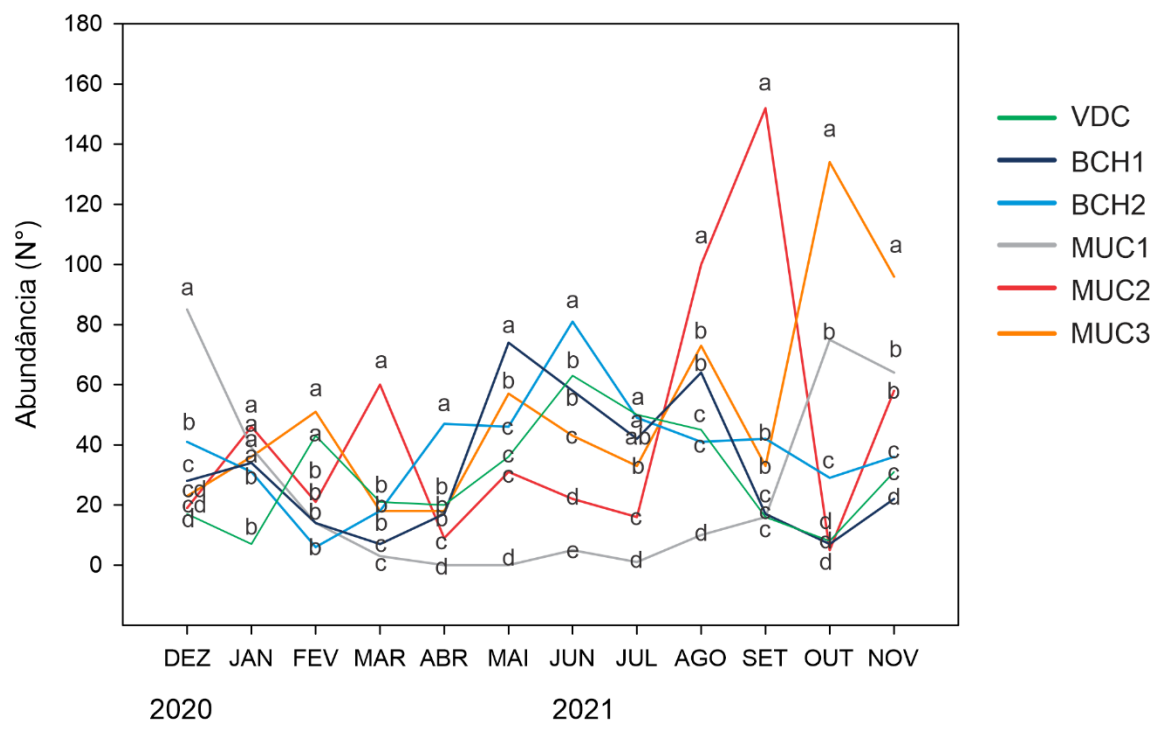
880

881

882



(A)



(B)

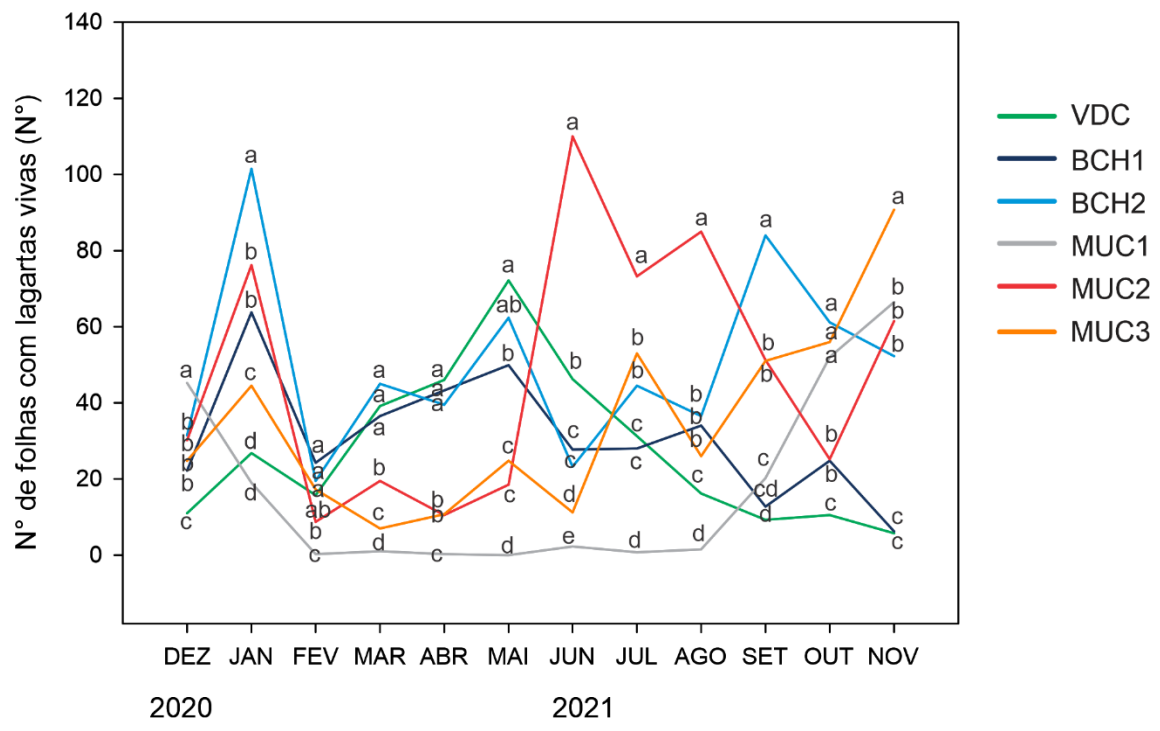


Figura 2.

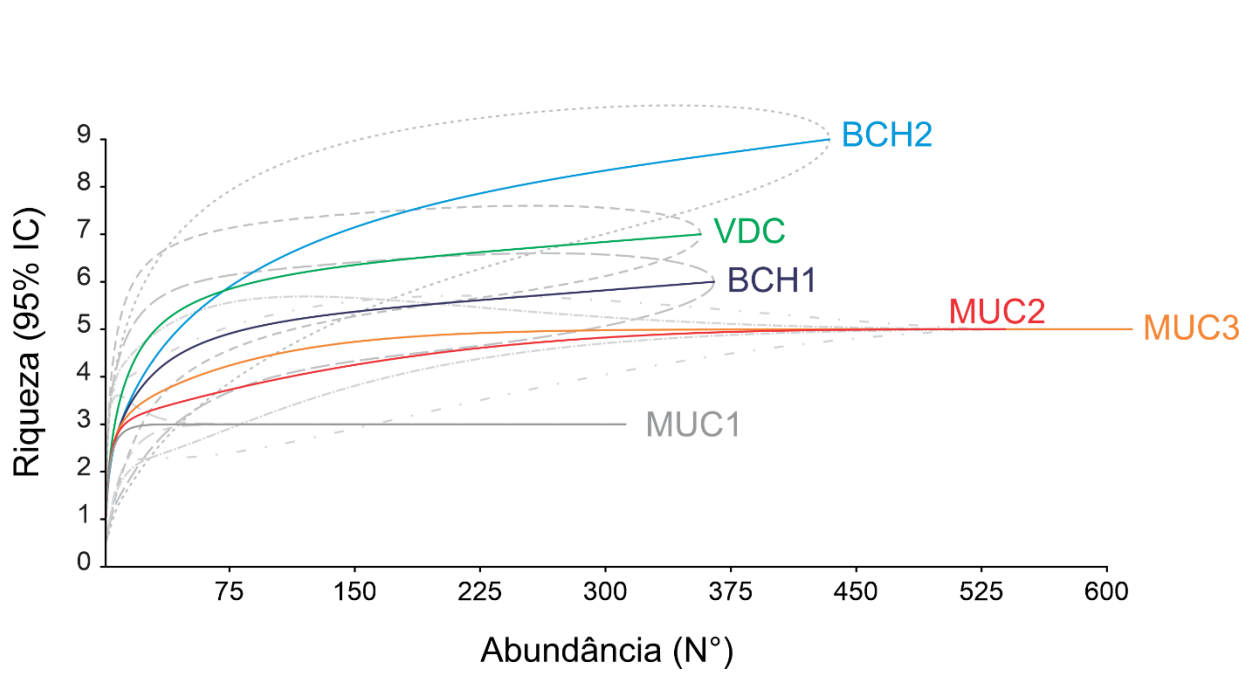


Figura 3.

933

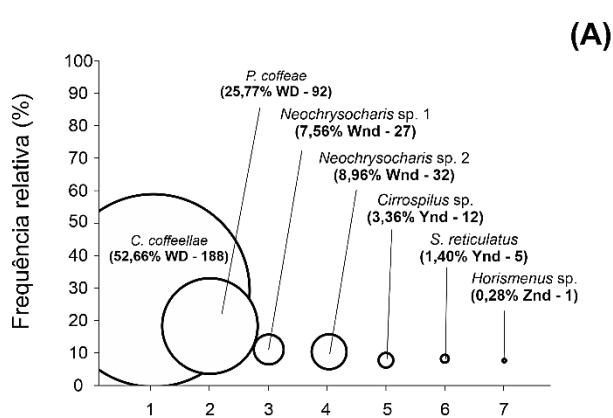
934

935

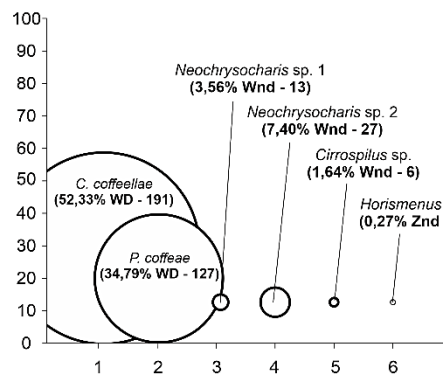
936

937

938



(B)



939

940

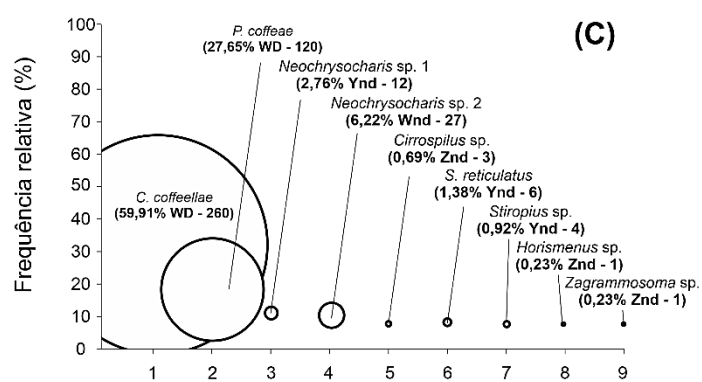
941

942

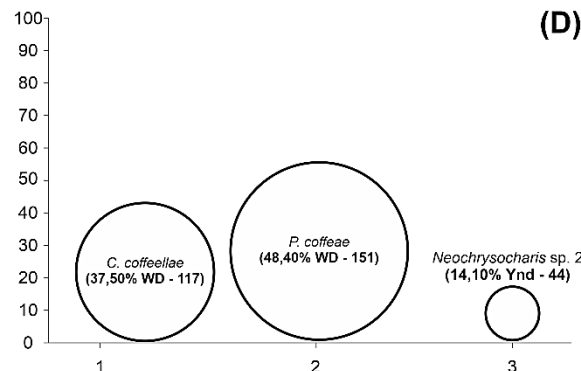
943

944

945



(D)



946

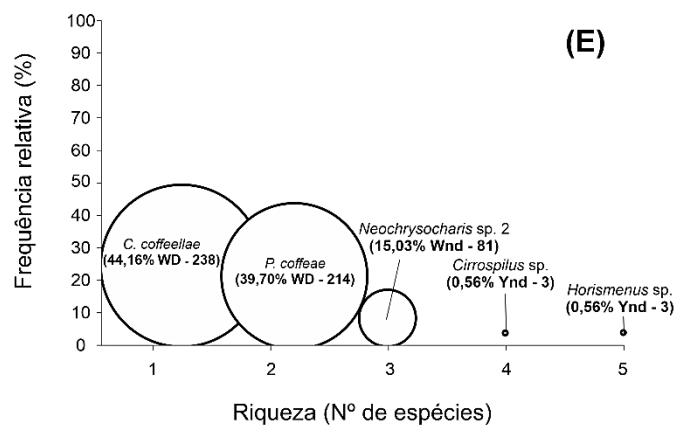
947

948

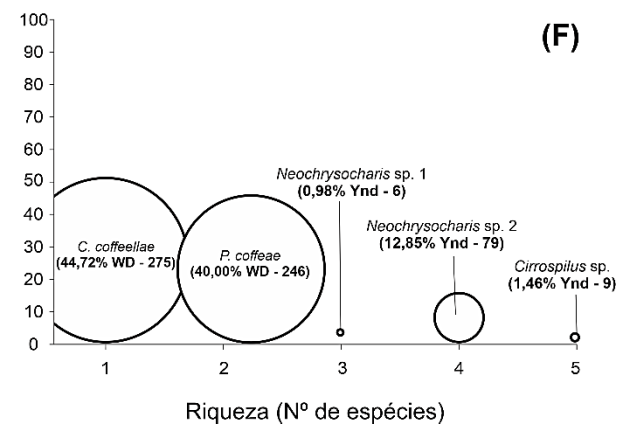
949

950

951



(F)



952

953

954 Figura 4.

955

956

957

958  
959  
960  
961  
962  
963  
964  
965  
966  
967  
968  
969  
970  
971  
972  
973  
974  
975  
976  
977  
978  
979  
980  
981  
982

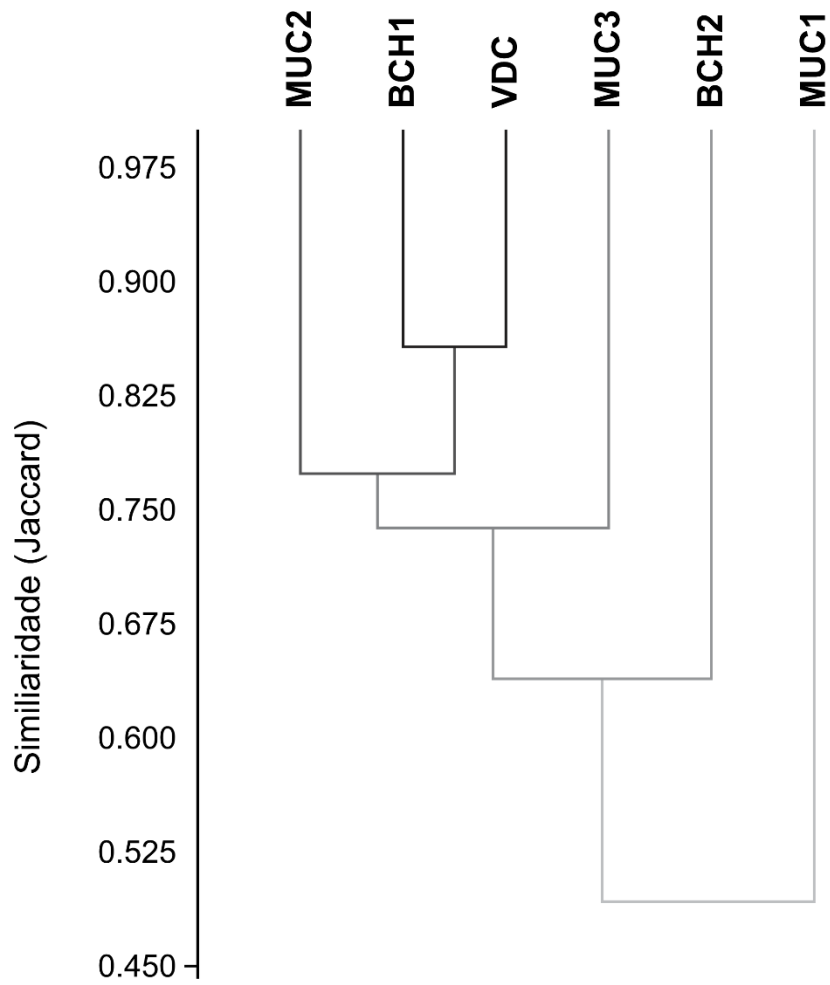


Figura 5.

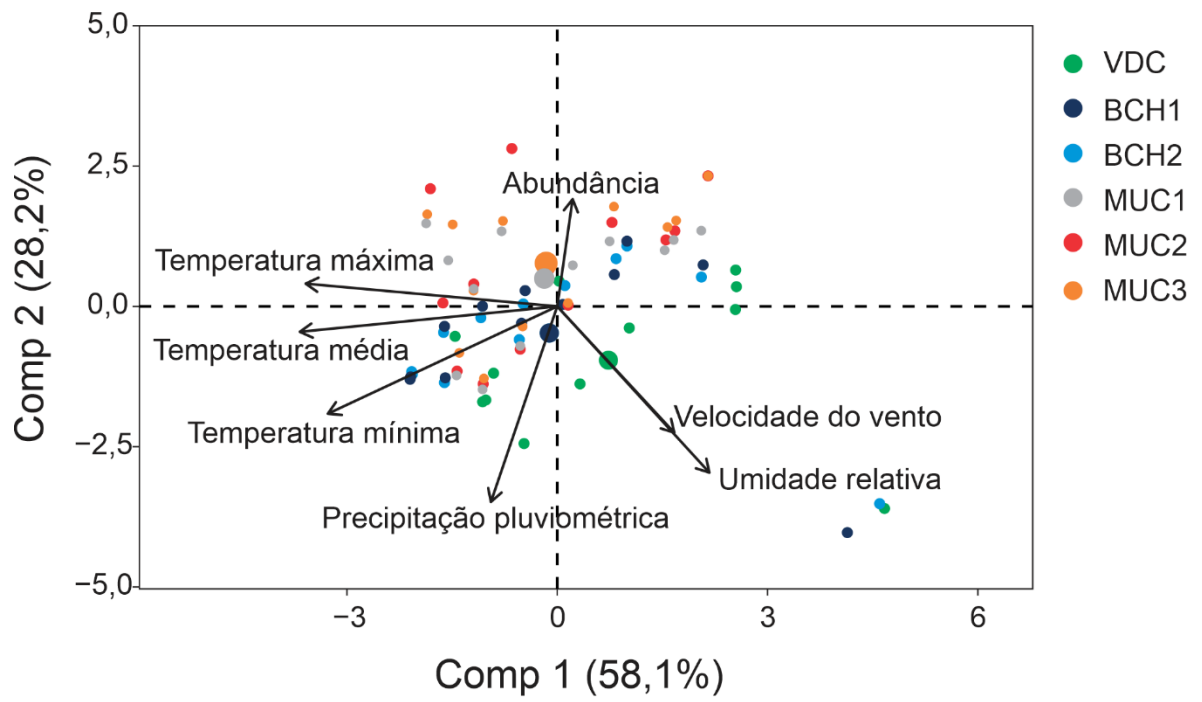
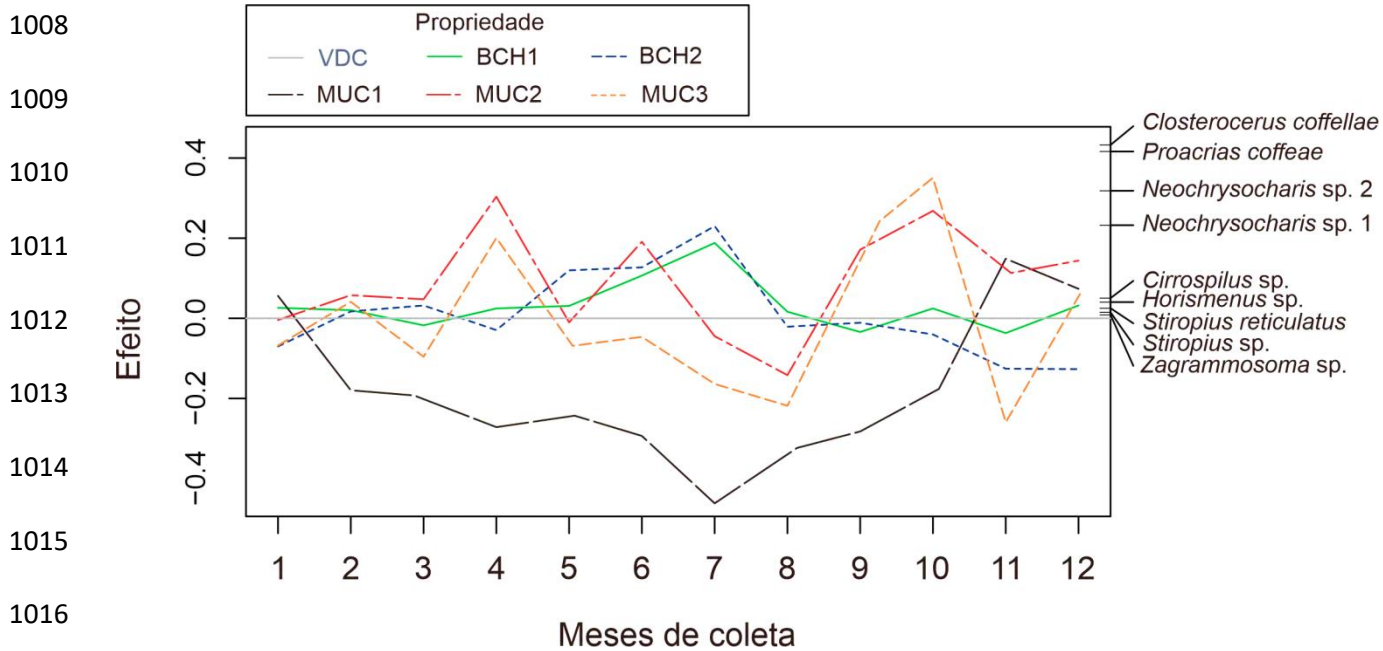


Figura 6.



1018 Figura 7.

1019  
1020  
1021  
1022  
1023  
1024  
1025  
1026  
1027  
1028  
1029  
1030  
1031  
1032  
1033  
1034  
1035  
1036  
1037

**ARTIGO III**

Varição morfométrica em populações de *Closterocerus coffeellae* (Ihering)  
(Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide do bicho-mineiro-do-cafeeiro<sup>+</sup>

---

<sup>+</sup> Situação: não-submetido

1 Submissão: Biological Control

2 Artigo Científico Original

3

4

5

Correspondência:

6

Mateus Pereira dos Santos

7

Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia)

8

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB

9

Vitória da Conquista, BA, 45083-300, Brazil

10

Tel.: +5577988774252

11

E-mail: mateus.santos.0712@gmail.com

12

13 **Variação morfométrica em populações de *Closterocerus coffeellae***

14 **(Ihering) (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide do bicho-mineiro-**

15 **do-cafeeiro**

16

17 Mateus P. dos Santos<sup>a†</sup>, Eloito C. de Mates<sup>a</sup>, Maria A. Castellani<sup>a</sup>

18

19

20 Título curto: Morfometria de *Closterocerus coffeellae*

21

22

23

---

<sup>†</sup> Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia,  
Vitória da Conquista, BA, 45083-300, Brasil



24 **Resumo**

25 *Closterocerus coffeellae* (Ihering, 1914) (Hymenoptera: Eulophidae) é um dos mais  
26 abundantes e amplamente distribuídos parasitoides do bicho-mineiro-do-cafeeiro,  
27 *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae).  
28 A sua ocorrência em ambientes estressantes, submetidos à pressão de seleção por  
29 inseticidas, manejo diferenciado das lavouras ou condições abióticas, indica que essa  
30 espécie apresenta plasticidade ecológica. No entanto, há escassez de estudos sobre  
31 prováveis adaptações de *C. coffeellae* às diferentes condições de manejo do seu  
32 hospedeiro, especialmente quanto às variações morfológicas nos indivíduos. O objetivo  
33 deste trabalho foi investigar variações no tamanho e forma de asas de *C. coffeellae*  
34 provenientes de cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil. Populações do parasitoide  
35 foram coletadas em seis cafezais, com manejos diferenciados quanto à irrigação e uso de  
36 inseticidas, sendo dois em Barra do Choça (com inseticida e sem irrigação), três em  
37 Mucugê (com inseticida e com irrigação) e um em Vitória da Conquista (sem inseticida  
38 e sem irrigação). Dos parasitoides emergidos, foram separadas 30 fêmeas de *C. coffeellae*  
39 de cada população, com posterior remoção das asas direitas dos indivíduos para confecção  
40 de lâminas de microscopia e avaliação do tamanho e forma, por meio de morfometria  
41 geométrica. Adicionou-se 1 marco e 9 semimarcos anatômicos e estimou-se o tamanho  
42 do centroide (tamanho) e a distância de Mahalanobis (forma). Houve uma variação  
43 significativa na forma das asas de fêmeas de *C. coffeellae* entre as populações estudadas.  
44 As populações de parasitoides, coletados em locais com pressão de seleção de inseticidas  
45 e condições de clima e manejo diferentes, apresentaram diferenças na forma e no tamanho  
46 das asas. As fêmeas provenientes de cafezais que fazem uso de inseticidas apresentam  
47 menor tamanho de asas, com exceção de BCH2. As prováveis causas determinantes das  
48 variações morfométricas observadas devem ser investigadas, especialmente os  
49 inseticidas.

50

51 **Palavras-chave:** café, controle biológico, morfometria geométrica, Hymenoptera  
52 Parasítica.

53

54

55

56

57

58

59

60

61

## 62 **1 Introdução**

63 Os parasitoides são importantes inimigos naturais que atuam no controle biológico  
64 natural do bicho-mineiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842)  
65 (Lepidoptera: Lyonetiidae), principal praga dos cafezais no território que compreende a  
66 América Neotropical (Pantoja-Gomez *et al.*, 2019; Ramírez-Valerio & García-Jiménez,  
67 2021). No Brasil, os parasitoides são responsáveis por controlar, naturalmente, cerca de  
68 13% das populações do bicho-mineiro (Parra & Reis, 2013).

69 Dentre os parasitoides de *L. coffeella*, a espécie *Closterocerus coffeellae* (Ihering,  
70 1914) (Hymenoptera: Eulophidae) possui distribuição cosmopolita (Miranda, 2009) e tem  
71 sido frequentemente encontrada na região Neotropical, principalmente no Brasil e  
72 Colômbia, onde tem sido uma das espécies de grande destaque no parasitismo natural  
73 dessa praga (Villacorta, 1980; Gallardo, 1988; Melo *et al.*, 2007; Lomelí-Flores *et al.*,  
74 2009; David-Rueda *et al.*, 2016). Trata-se de um parasitoide primário do bicho-mineiro,  
75 apresentando potencial para uso em programas de controle biológico no Brasil devido à  
76 sua ampla distribuição geográfica, significativa abundância nos cafezais em relação às  
77 outras espécies de parasitoides e boa adaptação às condições climáticas (David-Rueda *et*  
78 *al.*, 2018). Na Bahia, por exemplo, a sua presença, juntamente com *Neochrysocharis*  
79 *coffaeae* Ihering, em regiões de alta pressão de seleção por inseticidas, práticas de manejo  
80 distintas e condições climáticas diferentes, tem sido um indicativo da plasticidade  
81 ecológica dessa espécie (Melo *et al.*, 2007; Castellani *et al.*, 2016; Leite *et al.*, 2020a).

82 Todavia, os impactos naturais provocados por variações das condições ambientais  
83 e pelas intervenções para controle de pragas, geralmente com uso de inseticidas, podem  
84 afetar diretamente o indivíduo ou a comunidade dos agentes de controle biológico,

85 modulando as interações entre os organismos nos agroecossistemas (Cordeiro *et al.*,  
86 2014; Guedes *et al.*, 2017; Haddi *et al.*, 2020).

87 Variações na morfologia dos parasitoides, provocadas por qualquer condição  
88 estressante, têm sido associadas ao desempenho adaptativo dos indivíduos em campo  
89 (Ellers *et al.*, 1998). Tais variações têm sido detectadas por meio de técnicas de  
90 morfometria geométrica (Parsons, 1990; Benítez *et al.*, 2018; Graham *et al.*, 2021). A  
91 técnica envolvida permite detectar variações na forma, tamanho e simetria de estruturas  
92 importantes, como as asas, por exemplo, que são estruturas mais sensíveis às  
93 modificações que podem ser percebidas com maior facilidade, além de serem os primeiros  
94 caracteres morfológicos a sofrerem mudanças, devido ao efeito ambiental e por fatores  
95 genéticos e inseticidas (Debat *et al.*, 2006; Büyükgüzel *et al.*, 2020).

96 Os inseticidas podem causar efeitos diretos, como mortalidade, ou efeitos subletais  
97 na longevidade, fecundidade e comportamentos dos inimigos naturais, podendo afetar  
98 ainda alguns aspectos morfológicos da progênie dos indivíduos (Hernández *et al.*, 2011;  
99 Stanley & Preetha, 2016; Abbes *et al.*, 2015; Teder & Knapp, 2019; Delpuech *et al.*,  
100 2020).

101 A utilização da morfometria geométrica em estudos com *Phaedon cochleariae* F.  
102 (Chrysomelidae: Coleoptera) permitiu verificar assimetrias nas antenas dos indivíduos,  
103 causadas por piretroides, alterando o seu comportamento e percepção de sinais químicos  
104 (Müller *et al.*, 2017). Os parasitoides *Cotesia flavipes* Cameron e *Cotesia sesamiae*  
105 Cameron (Hymenoptera: Braconidae), desenvolvidos em *Chilo partellus* Swinhoe  
106 (Lepidoptera: Crambidae) e alimentados com milho Bt, tiveram variações no  
107 comprimento de suas asas, sendo menores quando submetidos aos hospedeiros que se  
108 alimentaram com o milho transgênico (Ndolo *et al.*, 2018).

109 As variações morfológicas ocasionadas por condições estressantes, sejam elas  
110 naturais ou provocadas pela pressão de seleção de inseticidas, podem refletir na  
111 performance dos parasitoides quanto à capacidade de aquisição de recursos, seleção  
112 sexual, competição e adaptação (Oliveira *et al.*, 2020; Vilaseca *et al.*, 2021). Em  
113 *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae), foram detectadas, por meio de  
114 morfometria geométrica, assimetria flutuante entre machos e fêmeas resistentes a  
115 inseticidas, sendo que os machos se apresentaram mais simétricos do que as fêmeas  
116 (Ribeiro *et al.*, 2007).

117 O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de determinar prováveis variações  
118 no tamanho e forma das asas de fêmeas de *Closterocerus coffeellae*, provenientes de  
119 cafezais conduzidos em diferentes sistemas de manejo dos cultivos, quanto ao uso da  
120 irrigação e de inseticidas na região cafeeira do Planalto, Bahia, Brasil.

121

## 122 **2 Material e Métodos**

### 123 **2.1 Local e áreas de estudo**

124 Para o estudo, foram selecionadas seis propriedades cafeeiras, sendo duas localizadas  
125 no município de Barra do Choça (códigos BCH1 e BCH2), três propriedades pertencentes  
126 ao município de Mucugê (MUC1, MUC2 e MUC3) e uma de Vitória da Conquista  
127 (VDC). Os municípios representam a região produtora de café arábica, denominada  
128 Planalto, uma das mais importantes regiões cafeeiras do Estado da Bahia, Brasil  
129 (CONAB, 2021). A distância entre a propriedade de Vitória da Conquista e as de Barra  
130 do Choça é de 34,5 km, em linha reta; já para os cafezais de Mucugê, a distância em linha  
131 reta é de 222 km das propriedades. As propriedades de Mucugê distanciam-se em cerca  
132 de 6 km em linha reta uma das outras.

133 Os municípios de Barra do Choça e Vitória da Conquista estão localizados em área  
134 de transição entre os biomas Mata Atlântica e Caatinga, com predominância de vegetação  
135 do tipo Floresta Estacional Semidecidual, conhecida como “Mata de cipó” (SEI, 2015).  
136 O clima predominante nesses municípios é do tipo Cwb, com base na classificação de  
137 Köppen, e subúmido a seco por Thornthwaite (SEI, 1998). A temperatura média anual é  
138 de 19,9°C para Barra do Choça e de 20°C para Vitória da Conquista, com precipitação  
139 anual de 900 e 723 mm e altitudes de 900 e 923m, respectivamente (SEI, 1999; Conceição  
140 *et al.*, 2016).

141 O município de Mucugê está inserido na Chapada Diamantina, caracterizada pelo  
142 bioma Caatinga, vegetação do tipo Caatinga arbustiva (SEI, 2015). O clima é classificado  
143 como Am’ por Köppen e semiárido (Thornthwaite) (SEI, 2015). As médias anuais de  
144 temperatura, precipitação e altitude são, respectivamente, 23,6°C; 579 mm e 1.000  
145 metros.

146 A seleção das propriedades foi baseada nas diferenças de manejo do bicho-mineiro  
147 quanto ao histórico do uso de inseticidas e também em função dos sistemas de irrigação  
148 dos cafezais (Leite *et al.*, 2020b).

149 O número de aplicações na propriedade BCH1 foi de seis ao ano, no período de 2017  
150 a 2021, com produtos à base de abamectina, clorraniliprole, cloridrato de cartape,  
151 cipermetrina, imidacloprido e tiametoxam. Na propriedade BCH2, foram realizadas, em  
152 média, cinco aplicações anuais de inseticidas, de 2017 a 2021, cujos ingredientes ativos  
153 foram: abamectina, acetamiprido+bifentrina, alfa-cipermetrina, beta-ciflutrina,  
154 clorraniliprole, cloridrato de cartape, cipermetrina, imidacloprido, lambda-cialotrina,  
155 teflubenzurom e tiametoxam + ciproconazole.

156 Nas propriedades MUC1, MUC2 e MUC3, a média anual de aplicações de inseticidas  
157 de 2017 a 2021 foi de oito, com uso de produtos à base de abamectina,  
158 acetamiprido+bifentrina, beta-ciflutrina, clorantraniliprole, deltametrina, imidacloprido,  
159 profenofós+lufenurom, tiametoxam + ciproconazole, tiametoxam.

160 O cafezal localizado em Vitória da Conquista (VDC) foi selecionado como controle  
161 para o experimento, uma vez que tem sido conduzido sem irrigação e sem aplicação de  
162 inseticidas há pelo menos 15 anos.

163

## 164 **2.2 Coleta das populações dos parasitoides**

165 Amostragens mensais foram realizadas nas propriedades, no período de dezembro de  
166 2020 a março de 2021. Em cada propriedade, foram demarcadas quatro áreas  
167 experimentais de 30 pontos, totalizando 120 pontos, para coleta de folhas de café  
168 contendo minas íntegras do bicho-mineiro, ou seja, sem sinais de rasgadura ou orifícios  
169 de saída do bicho-mineiro e/ou de parasitoides da mina. Cada ponto amostral consistiu  
170 em um conjunto de plantas de café (cultivar Catuaí 144 com mais de 10 anos de idade)  
171 próximas em um raio de 5 metros.

172 O procedimento de amostragem foi realizado conforme metodologia adaptada de  
173 Melo *et al.* (2007). No terço superior das plantas selecionadas, foram amostrados ao acaso  
174 quatro ramos plagiotrópicos do terço superior para a coleta do terceiro ou quarto par de  
175 folhas, as quais foram acondicionadas em sacos de papel e transportadas ao laboratório  
176 para triagem. As minas presentes nas folhas foram dissecadas e as larvas e pupas dos  
177 parasitoides foram acondicionadas em microtubos e mantidas em laboratório a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$   
178 e  $65 \pm 3\%$  de umidade relativa do ar até a emergência dos adultos.

179       Dentre os parasitoides emergidos, apenas a espécie *C. coffeellae* foi selecionada para  
180 os estudos, pois foi a mais abundante nas coletas. Primeiramente os exemplares foram  
181 identificados em nível genérico, com base em Schauff *et al.* (1997); e, posteriormente,  
182 em nível específico, com base no trabalho de Ihering (1914). Parte do material foi  
183 depositado na Coleção de Invertebrados do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia,  
184 Manaus, Amazonas, Brasil (INPA - M.L. Oliveira, curador).

185

### 186 **2.3 Preparo das lâminas e aquisição das imagens**

187       Foram selecionadas 30 fêmeas de *C. coffeellae* de cada propriedade para o estudo da  
188 morfometria das asas, totalizando 180 fêmeas, com asas intactas, sendo esse o critério  
189 utilizado na seleção dos espécimes. As asas constituem as estruturas mais estudadas e  
190 validadas para trabalhos com a técnica da morfometria geométrica, pois as variações  
191 nesses caracteres morfológicos são facilmente percebidas, mais fáceis de analisar e as  
192 primeiras a sofrerem modificações causadas por estresses (Kitthawee & Dujardin, 2009;  
193 Graham, 2010; Symanski & Redak, 2021).

194       Os insetos tiveram suas asas direitas removidas cuidadosamente na base, por meio de  
195 um bisturi e alfinetes entomológicos, sendo as estruturas visualizadas em  
196 estereomicroscópio (LABOMED CZM6, Labo America Inc., California, USA).

197       Em seguida, as asas retiradas foram montadas em lâminas de microscopia,  
198 devidamente identificadas e levadas para serem fotografadas. A captura das imagens foi  
199 realizada por meio de uma câmera, modelo Leica MC 170 HD, acoplada a um  
200 microscópio, modelo Leica S APO (Wetzlar, Alemanha), considerando um aumento de  
201 80x. As imagens foram exportadas para arquivos JPEG, por meio do *software Leica*  
202 *Application Suite v.3.8.0.* (Leica Microsystems Limited, Switzerland).

203 As imagens foram previamente tratadas e editadas no programa *Photoshop CS6*  
204 (Adobe) quanto ao brilho e ruídos nas cores, de forma a permitir uma maior visibilidade  
205 das estruturas e contorno das asas, evitando erros na colocação dos semimarcos  
206 anatômicos. Mesmo após os procedimentos de tratamento das imagens, algumas  
207 precisaram ser descartadas, pois não foi possível aplicar os tratamentos, de modo a  
208 permitir a visualização adequada das estruturas. Assim, foram utilizadas 173 das 180  
209 imagens geradas, a fim de evitar possíveis erros de marcação anatômica.

210

#### 211 **2.4 Marcação anatômica das asas de *C. coffeellae***

212 Após a aquisição das imagens, as mesmas foram compiladas em um pacote,  
213 utilizando o tpsUtil v. 1.78 (Rohlf, 2018) e, então, digitalizados 1 marco e 9 semimarcos  
214 anatômicos (Koelliker-Ott *et al.*, 2003), com o tpsDig2 v. 2.31 (Rohlf, 2017) (Figura 2).  
215 Para obtenção de dados da forma das asas, foram determinadas as coordenadas X-Y, a  
216 partir dos semimarcos adicionados para cada asa, e realizada a sobreposição de  
217 Procrustes, arranjando os semimarcos no mesmo tamanho, posição e orientação  
218 (Klingenberg, 2011).

219 A medida do tamanho de asa foi determinada pelo tamanho do centroide (CS) ( $\mu\text{m}$ ),  
220 calculado pela raiz quadrada da soma dos quadrados das distâncias dos semimarcos,  
221 utilizando a média das coordenadas X-Y determinadas (Bookstein, 1991). As análises  
222 morfométricas foram executadas no *software* MORPHOJ v. 1.06d (Klingenberg, 2011).

223

#### 224 **2.5 Análises estatísticas**

225 Os dados de tamanho do centroide (CS) foram submetidos à análise de Modelos  
226 Lineares Generalizados (GLM), com distribuição gaussiana (link function: identity), pelo



227 pacote ‘nlme’ (Bates *et al.*, 2014) do *software* R 4.0.4 (R Core Team, 2019), para fins de  
228 comparação do tamanho das asas entre as populações.

229 A forma da asa foi comparada por meio de Análise de Variáveis Canônicas (CVA) e  
230 sua significância foi determinada pelo teste de 10000 permutações ( $p < 0.05$ ), no *software*  
231 MORPHOJ. A Análise de CVA permite a discriminação de grupos com variações  
232 próximas entre si, sendo assim, a análise de *cluster* foi aplicada a fim de definir quais  
233 populações apresentavam similaridades na forma das asas entre si.

234

### 235 **3 Resultados**

236 Foram encontradas diferenças significativas para o tamanho do centroide (CS) das  
237 asas das fêmeas de *C. coffeellae*, provenientes das propriedades estudadas (GLM; AIC:  
238 151,7;  $p < 0.001$ ) (Figura 3).

239 A média do tamanho do centroide das asas para BCH2 foi de 943  $\mu\text{m}$ , valor superior  
240 às médias de todas as demais populações. Verificou-se tamanho do centroide de 869  $\mu\text{m}$   
241 para VDC, valor inferior à média de BCH2 e maior do que o tamanho do centroide  
242 encontrado para MUC1, MUC2, MUC3 e BCH1, cujos valores médios foram 738, 722,  
243 714 e 584  $\mu\text{m}$ , respectivamente, sendo que BCH1 apresentou a menor média entre as  
244 propriedades.

245 O teste de validação cruzada mostrou uma porcentagem média de 77,36% de  
246 classificação correta dos espécimes (Tabela 1), indicando adequação da técnica de  
247 morfometria geométrica para estudos com a espécie *C. coffeellae*.

248 As análises de distância de Mahalanobis, obtidas para comparação da forma das asas  
249 de *C. coffeellae* entre as propriedades, indicaram diferenças significativas entre elas  
250 (10.000 permutações;  $p < 0.0001$  e  $p < 0.001$ ), com exceção da propriedade BCH1 ( $p =$

251 0.064), comparada com a VDC, que não apresentaram diferenças significativas entre si  
252 (Tabela 2).

253 A maior distância encontrada foi de 3,514, quando foram comparadas as populações  
254 de BCH2 com MUC2; e a menor distância foi verificada quando se comparou VDC e  
255 BCH2, com valor de 1,255 (Tabela 2). As maiores distâncias foram observadas para a  
256 população de MUC2, quando comparadas com as demais populações estudadas.

257 Os resultados da Análise de Variáveis Canônicas (CVA) maximizaram as variações  
258 na forma das asas entre as populações (Figura 4); os dois primeiros eixos canônicos foram  
259 responsáveis por explicar 75,35% da variação encontrada e, juntamente com o terceiro  
260 eixo, explicam 90,87% (CV1=39,49%, CV2=36,15%, CV3=15,22%). Verificou-se que  
261 as propriedades VDC, BCH2, MUC1 e MUC3 apresentaram uma menor dispersão de  
262 scores entre si, mostrando maior semelhança na forma da asa, enquanto que as  
263 propriedades BCH2 e MUC2 tiveram maior dispersão de scores, indicando maiores  
264 diferenças no padrão da forma das asas.

265 Essas mudanças na forma da asa podem ser visualizadas ao longo do primeiro eixo  
266 canônico CV1, nos semimarcos 2,9,10,7,6 e 5; enquanto que as mudanças ao longo do  
267 eixo CV2 podem ser vistas no marco 1 e nos semimarcos 2,3,4,5,6,7,8,9 e 10 (Figura 5).

268 Foi possível, pela análise de agrupamento (Figura 6), discriminar as populações com  
269 maior similaridade entre si na forma da asa, de acordo com a distância de Mahalanobis  
270 estimada para cada uma. As populações VDC e BCH1 apresentam a maior semelhança  
271 na forma da asa, formando um grupo, verificando-se agrupamentos dessas duas  
272 populações com MUC1 e BCH2. As populações MUC2 e MUC3 agruparam-se, porém,  
273 com distância de 63; e distanciaram-se das demais propriedades, indicando uma maior  
274 separação na forma das asas nessas populações.

#### 275 **4 Discussão**

276 Este trabalho buscou verificar variações no tamanho e forma das asas de fêmeas de  
277 *C. coffeellae*, coletadas em cafezais com manejos diferenciados na região cafeeira do  
278 Planalto, BA, por meio da técnica de morfometria geométrica.

279 Diferenças nos tamanhos do centroide (CS) das populações estudadas indicam que as  
280 condições de cultivo dos cafezais têm afetado as populações do parasitoide em campo,  
281 principalmente naquelas populações com maior uso de inseticidas. É possível que essas  
282 diferenças no tamanho das asas ocorreram porque as larvas de *C. coffeellae*, expostas  
283 indiretamente aos inseticidas, tenham sofrido efeitos dos ingredientes ativos durante o seu  
284 desenvolvimento no interior das lagartas, levando a essas alterações no tamanho dos  
285 adultos após emergência.

286 Os principais efeitos subletais de inseticidas em parasitoides podem ser percebidos  
287 nos indivíduos adultos com asas mal-formadas (Longley, 1999) e isso tem prejudicado a  
288 mobilidade e o comportamento dos indivíduos (Stanley & Preetha, 2016; Guedes *et al.*,  
289 2017), reduzindo sua capacidade de parasitismo em campo.

290 A dispersão dos insetos submetidos à pressão de seleção por inseticidas também tem  
291 sido afetada, a exemplo dos efeitos do inseticida pimetozina no aumento da densidade  
292 de pulgões alados em uma menor área e, em decorrência disso, foi verificada maior  
293 dispersão dos indivíduos daquele ambiente para outros, fato que foi explicado pelas  
294 alterações morfológicas nas asas dos pulgões como efeito subletal do inseticida (Yu *et*  
295 *al.*, 2016).

296 O desempenho dos parasitoides em campo pode acabar sendo influenciado pelas  
297 diferenças no tamanho das asas, como foi visto para fêmeas do parasitoide *Trichogramma*  
298 *carverae* (Oatman & Pinto) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Neste caso, fêmeas com

299 maior comprimento de asas apresentavam maior capacidade de oviposição e parasitismo  
300 em campo (Bennet & Hofman, 1998; Peña-Carrillo *et al.*, 2015). O tamanho do corpo  
301 está fortemente associado à alocação de recursos, competição e capacidade reprodutiva  
302 dos insetos (Oliveira *et al.*, 2020) cujas alterações podem ser mais facilmente percebidas  
303 nas asas dos indivíduos (Graham, 2021).

304 Em relação à forma das asas dos parasitoides, verificaram-se maiores diferenças para  
305 as populações localizadas em Mucugê em relação à população de Vitória da Conquista  
306 (controle). Além da distância geográfica entre elas, o uso de inseticidas e as condições  
307 climáticas são possivelmente as maiores causas dessas variações.

308 Mudanças no tamanho e forma das asas dos parasitoides estudados podem estar  
309 acontecendo em decorrência de condições abióticas estressantes, especialmente  
310 inseticidas, que podem exercer pressão de seleção nos indivíduos, causando alterações  
311 importantes em seus corpos (Griffithis *et al.*, 2005; Loh *et al.*, 2005; Stewart & Vodopich,  
312 2018; Symanski & Redak, 2021; Jardeleza *et al.*, 2021; Zverev & Kozlov, 2021). Ainda,  
313 deve-se considerar aspectos relacionados à alimentação e nutrição.

314 A distância geográfica existente entre as populações também pode contribuir com as  
315 variações, afetando o fluxo gênico. Em geral, em populações mais próximas  
316 geograficamente pode ocorrer o fluxo gênico entre os indivíduos e isso é perceptível  
317 através das alterações morfológicas na forma das asas (Graham *et al.*, 2010; Tomanovic  
318 *et al.*, 2013; Dellicour *et al.*, 2017; Graham, 2021). Dessa maneira, a proximidade dos  
319 cafezais da Chapada Diamantina pode ser um fator que está contribuindo para a formação  
320 de um padrão de forma das asas mais semelhante entre os parasitoides, como foi  
321 verificado pelos menores valores da distância de Mahalanobis entre essas populações.

322 A vegetação circundante no cafezal de BCH1 é um fragmento da mata nativa local,  
323 enquanto que os cafezais de BCH2 e VDC têm pastagens e estradas nos limites das  
324 lavouras. A forma da asa de populações de insetos localizadas dentro ou próximos às  
325 matas nativas ou florestas tendem a ser maiores (Outomuro *et al.*, 2013) do que em  
326 ambientes com vegetação simplificada, sendo esta, portanto, a provável explicação para  
327 as variações ocorrentes nas asas dos parasitoides de populações de Barra do Choça e de  
328 Vitória da Conquista.

329 A variabilidade na forma das asas de espécies de parasitoides parece estar associada  
330 também com as características do hospedeiro (Žikić *et al.*, 2010) e não ser apenas efeito  
331 da pressão de seleção exercida pelas condições do ambiente (Yeaman *et al.*, 2010), como  
332 também de outros agentes estressores aos indivíduos, a exemplo do uso de inseticidas.

333 Associações entre as variações que acontecem na forma e tamanho das asas de  
334 parasitoides podem ter implicações evolutivas nos indivíduos (Žikić *et al.*, 2017) e, como  
335 resultados de práticas agrícolas fortemente aplicadas pelos agricultores, pode existir uma  
336 adaptação de inimigos naturais a tais práticas, podendo ser percebida por meio de estudos  
337 de morfometria geométrica (Benítez *et al.*, 2018; Tatalović *et al.*, 2020).

338 As variações na forma das asas, encontradas para *C. coffeellae* neste estudo,  
339 contribuem para levantar a hipótese de que hospedeiros resistentes a inseticidas, nos quais  
340 os parasitoides se desenvolvem, podem alterar a morfologia dos indivíduos adultos em  
341 campo, refletindo em populações de menor tamanho e com formato de asas mais  
342 semelhantes entre si. Nas lavouras estudadas, recentemente foram relatados casos de  
343 resistência de *L. coffeellae* a inseticidas, hospedeiro primário de *C. coffeellae* (Leite *et*  
344 *al.*, 2020a; Leite *et al.*, 2020b).

345 É possível que haja uma seleção de parasitoides com tamanhos de asas menores,  
346 porém, mais adaptados aos manejos das lavouras de Mucugê, sendo a principal causa  
347 provável dessa modificação o uso intensivo de inseticidas durante o ano todo que, de  
348 alguma forma, pode afetar a qualidade do hospedeiro. Nas propriedades de Barra do  
349 Choça, tais alterações podem estar ligadas às condições climáticas e distância geográfica  
350 entre as populações.

351 Os resultados aqui encontrados chamam a atenção para as variações na forma e  
352 tamanho das asas de populações de *C. coffeellae* entre as populações, sendo reflexo direto  
353 de práticas de manejo diferentes e de uso de inseticidas nos cafezais entre as propriedades.  
354 A importância dessa espécie de parasitoide de *L. coffeella* nos cafezais é significativa para  
355 o controle biológico natural da praga na região e deve ser conservada, pois se trata de  
356 uma espécie em potencial para programas de controle biológico, por meio de liberações  
357 aumentativas de indivíduos nos cafezais, contribuindo para um manejo sustentável da  
358 cafeicultura.

359

## 360 **5 Agradecimentos**

361 Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e  
362 à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio  
363 financeiro. Agradecemos aos cafeicultores das Fazendas Progresso, Ceci, Primavera e  
364 Empresa Café Bahia, pelo apoio e suporte na condução dos experimentos na região.  
365 Nossos agradecimentos à Profa. Raquel Pérez-Maluf e Zilda Cristina Malheiros Lima,  
366 pelo apoio na aquisição das imagens. À Beatriz L. Magalhães, Iuri dos Santos e Henrique  
367 Juan C. Santana, pelo apoio na manipulação dos insetos.

368

369 **Referências**

- 370 Abbes, K., Biondi, A., Kurtulus, A., Ricupero, M., Russo, A., Siscaro, G., Chermiti., &  
371 Zappala, L. (2015). Combined non-target effects of insecticide and high  
372 temperature on the parasitoid *Bracon nigricans*. *PLoS One*, *10*(9), e0138411.
- 373 Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects  
374 models using lme4. arXiv preprint arXiv:1406.5823, 1-51.
- 375 Baylac, M., Villemant, C., & Simbolotti, G. (2003). Combining geometric  
376 morphometrics with pattern recognition for the investigation of species complexes.  
377 *Biological Journal of the Linnean Society*, *80*, 89-98.
- 378 Benítez, H. A., Lemic, D., Püschel, T. A., Gašparić, H. V., Kos, T., Barić, B., Bazok,  
379 R., & Živković, I. P. (2018) Fluctuating asymmetry indicates levels of disturbance  
380 between agricultural productions: An example in Croatian population of  
381 *Pterostichus melas melas* (Coleoptera: Carabidae). *Zoologischer Anzeiger*, *276*, 42-  
382 49.
- 383 Büyükgüzel, K., Büyükgüzel, E., Chudzińska, E., Lewandowska-Wosik, A., Gaj, R., &  
384 Adamski, Z. (2020). *Drosophila melanogaster* Response to Feeding with  
385 Neomycin-Based Medium Expressed in Fluctuating Asymmetry. *Insects*, *11*, 378.
- 386 Castellani, M.A., Melo, T.L. & Menezes, M.A.P. (2016). Desafios para o manejo do  
387 bicho-mineiro. *Aiba Rural*, *5*, 40-41.
- 388 Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (2021). Acompanhamento da safra  
389 brasileira de café, DF, Brasília, v8. URL: [https://www.conab.gov.br/info-](https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cafe)  
390 [agro/safra/cafe](https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cafe) (Accessed 21 september 2021).

391 Conceição, R. S., Pereira, L. B., & Veiga, A. J. P. (2016). Análise da temperatura do ar,  
392 precipitação, evapotranspiração, déficit e excedente hídrico em Vitória da  
393 Conquista–BA, de 1961 a 1990. *Revista Georaguaia*, 6(1).

394 Cordeiro, E. M. G., Corrêa, A. S., & Guedes, R. N. C. (2014). Insecticide-mediated shift  
395 in ecological dominance between two competing species of grain beetles. *PloS one*,  
396 9(6), e100990.

397 David-Rueda, G., Constantino, L. M., Cecilia Montoya, E., Ortega, O. E., Nancy Gil,  
398 Z., & Benavides-Machado, P. Diagnostic of *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera:  
399 Lyonetiidae) and its parasitoids in the department of Antioquia, Colombia. *Revista*  
400 *Colombiana de Entomología*, 42, 4-11.

401 David-Rueda, G., Chuairé, L.M.C., Palacio, Z.N.G., Ortega, O.E., & Machado, P.B.  
402 (2018). Enemigos naturales del minador de la hoja del café. Centro Nacional de  
403 Investigaciones de café, Avances técnicos CENICAFÉ, 9 p.

404 Debat, V., Milton, C. C., Rutherford, S., Klingenberg, C. P., & Hoffmann, A. A. (2006).  
405 Hsp90 and the quantitative variation of wing shape in *Drosophila melanogaster*.  
406 *Evolution*, 60, 2529-2538.

407 Dellicour, S., Gerard, M., Prunier, J. G., Dewulf, A., Kuhlmann, M., & Michez, D.  
408 (2017). Distribution and predictors of wing shape and size variability in three sister  
409 species of solitary bees. *PloS one*, 12(3), e0173109.

410 Delpuech, J. M. (2020). Superparasitism by a parasitoid wasp: The absence of sublethal  
411 effects from the neonicotinoid insecticide imidacloprid enlightens the specificity of  
412 the cholinergic pathway involved. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201,  
413 110809.



414 Ellers, J., Van Alphen, J. J., & Sevenster, J. G. (1998). A field study of size–fitness  
415 relationships in the parasitoid *Asobara tabida*. *Journal of Animal Ecology*, 67(2),  
416 318-324.

417 Graham, J. H., Raz, S., Hel-Or, H., & Nevo, E. (2010). Fluctuating asymmetry:  
418 methods, theory, and applications. *Symmetry*, 2(2), 466-540.

419 Graham, J. H. (2021). Nature, Nurture, and Noise: Developmental Instability,  
420 Fluctuating Asymmetry, and the Causes of Phenotypic Variation. *Symmetry*, 13,  
421 1204.

422 Griffiths, J. A., Schiffer, M., & Hoffmann, A. A. (2005). Clinal variation and laboratory  
423 adaptation in the rainforest species *Drosophila birchii* for stress resistance, wing  
424 size, wing shape and development time. *Journal Of Evolutionary Biology*, 18(1),  
425 213-222.

426 Guedes, R. N. C., Walse, S. S., & Throne, J. E. (2017). Sublethal exposure, insecticide  
427 resistance, and community stress. *Current Opinion in Insect Science*, 21, 47-53.

428 Haddi, K., Turchen, L. M., Viteri Jumbo, L. O., Guedes, R. N., Pereira, E. J., Aguiar, R.  
429 W., & Oliveira, E. E. (2020). Rethinking biorational insecticides for pest  
430 management: Unintended effects and consequences. *Pest Management Science*,  
431 76(7), 2286-2293.

432 Hernández, R., Harris, M., & Liu, T. X. (2011). Impact of insecticides on parasitoids of  
433 the leafminer, *Liriomyza trifolii*, in pepper in south Texas. *Journal of Insect*  
434 *Science*, 11(1), 61.

435 Ihering, R. V. (1914). Tres Chalcididas parasitas do Bicho do café, *Leucoptera*  
436 *coffeella*, com algumas considerações sobre o hyperparasitismo. *Revista do Museu*  
437 *Paulista* 9:85-106.

438 Jardeleza, M. K. G.; Koch, J.B.; Pearse, I.S.; Ghalambor, C.K., & Hufbaue, R.A.  
439 (2021). The roles of phenotypic plasticity and adaptation in morphology and  
440 performance of an invasive species in a novel enviroments. *Ecological Entomology*,  
441 DOI:10.1111/een.13087.

442 Kitthawee, S., & Dujardin, J. P. (2009). The *Diachasmimorpha longicaudata* complex:  
443 Reproductive isolation and geometric patterns of the wing. *Biological Control*,  
444 51(1), 191-197.

445 Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric  
446 morphometrics. *Molecular ecology resources*, 11(2), 353-357.

447 Leite, S. A., Dos Santos, M. P., Resende-Silva, G. A., da Costa, D. R., Moreira, A. A.,  
448 Lemos, O. L., Guedes, R.N.C., & Castellani, M. A. (2020a). Area-Wide survey of  
449 chlorantraniliprole resistance and control failure likelihood of the Neotropical  
450 coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Journal of*  
451 *Economic Entomology*, 113(3), 1399-1410.

452 Leite, S.A., Guedes, R.N.C., Santos, M.P. dos, Costa, D.R. Da, Moreira, A. A.,  
453 Matsumoto, S.N., Lemos, O.L., & Castellani, M.A. (2020b). Profile of Coffee  
454 Crops and Management of the Neotropical Coffee Leaf Miner, *Leucoptera*  
455 *coffeella*. *Sustainability*, 12, 1-14.

456 Loh, R., & Bitner-Mathé, B. C. (2005). Variability of wing size and shape in three  
457 populations of a recent Brazilian invader, *Zaprionus indianus* (Diptera:  
458 Drosophilidae), from different habitats. *Genetica*, 125(2-3), 271-281.

459 Lomelí-Flores, J. R., Barrera, J.F., & Bernal, J. S. (2009). Impact of natural enemies on  
460 coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) population  
461 dynamics in Chiapas, Mexico. *Biological control*, 51, 51-60.

462 Longley, M. (1999). A review of pesticide effects upon immature aphid parasitoids  
463 within mummified hosts. *International Journal of Pest Management*, 45(2), 139-  
464 145.

465 Melo, T.L., Castellani, M.A., Nascimento, M. L., Menezes-Júnior, A.O., Ferreira,  
466 G.F.P., & Lemos, O.L. (2007). Comunidades de parasitoides de *Leucoptera*  
467 *coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em  
468 cafeeiros nas regiões Oeste e Sudoeste da Bahia. *Ciência e Agrotecnologia*, 31,  
469 966-972.

470 Miranda, N. F. (2009). Parasitoides (Hym., Eulophidae) de bicho-mineiro *Leucoptera*  
471 *coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lep., Lyonetiidae). (Dissertação de Mestrado –  
472 UNESP), 56 p.

473 Müller, T., Prosche, A., & Müller, C. (2017). Sublethal insecticide exposure affects  
474 reproduction, chemical phenotype as well as offspring development and antennae  
475 symmetry of a leaf beetle. *Environmental Pollution*, 230, 709-717.

476 Ndolo, D.O., Songa, J.M., & Lövei, G.L. (2018). Tri-trophic impacts of Bt-transgenic  
477 maize on parasitoid size and fluctuating asymmetry in native vs. novel host-  
478 parasitoid interactions in East Africa. *Insects*, 38, 1-12.

479 Oliveira, T. C. T. D., Monteiro, A. B., & Faria, L. D. B. (2020). Can multitrophic  
480 interactions shape morphometry, allometry, and fluctuating asymmetry of seed-  
481 feeding insects? *PloS one*, 15, e0241913.

482 Outomuro, D., Dijkstra, K. D., & Johansson, F. (2013). Habitat variation and wing  
483 coloration affect wing shape evolution in dragonflies. *Journal of Evolutionary*  
484 *Biology*, 26(9), 1866-1874.

485 Pantoja-Gomez, L.M., Corrêa, A.S., Oliveira, L.O., & Guedes, R.N.C. (2019). Common  
486 origin of Brazilian and Colombian populations of the Neotropical coffee leaf miner,  
487 *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Journal of Economic Entomology*,  
488 112, 924-931.

489 Parra, J. R. P., & Reis, P. R. (2013). Manejo integrado para as principais pragas da  
490 cafeicultura, no Brasil. *Visão Agrícola*, 8(12), 47-50.

491 Parsons, P. A. (1990). Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of stress.  
492 *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 65, 131-145.

493 Peña-Carrillo, K. I., González-Hernández, A., López-Arroyo, J. I., Mercado-Hernández,  
494 R., & Favela-Lara, S. (2015). Morphological and genetic variation in Mexican wild  
495 populations of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). *Florida*  
496 *Entomologist*, 1093-1100.

497 Ramírez, D., & Jiménez, F. G. (2021). Manejo del minador de la hoja (*Leucoptera*  
498 *coffeella*) en el cultivo de café en Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de*  
499 *Ciencias Agrícolas*, 45(2), 143-153.

500 Ribeiro, B., Guedes, R. N. C., Corrêa, A. S., & Santos, C. T. (2007). Fluctuating  
501 asymmetry in insecticide-resistant and insecticide-susceptible strains of the maize  
502 weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Archives of Environmental*  
503 *Contamination and Toxicology*, 53(1), 77-83.

504 Rohlf, F. J. (2017). Program TpsDig, version 2.31. *Department of Ecology and*  
505 *Evolution*, State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, NY.

506 Rohlf, F.J. tpsUtil, file Utility Program, version 1.78; Department of Ecology and  
507 Evolution, State University of New York at Stony Brook: Stony Brook, NY, USA,

508 2018; Disponível em: <<http://sbmorphometrics.org/>>. Acessado em: 07 de  
509 novembro de 2021).

510 Schauff, M.E., LaSalle, J. & Coote, L.D. (1997) Eulophidae. In: Gibson, G.A.P., Huber,  
511 J.T. & Woolley, J.B. (Eds), Annotated keys to the genera of Nearctic Chalcidoidea  
512 (Hymenoptera). *NRC Research Press*, Ottawa, pp. 327-429.

513 Stanley, J., & Preetha, G. (2016). Pesticide toxicity to parasitoids: exposure, toxicity  
514 and risk assessment methodologies. In *Pesticide Toxicity To Non-Target Organisms*  
515 (pp. 99-152). *Springer*, Dordrecht.

516 Stewart, S. S., & Vodopich, D. S. (2018). Environmental effects on wing shape and  
517 wing size of *Argia sedula* (Odonata: Coenagrionidae). *International Journal of*  
518 *Odonatology*, 21(3-4), 189-203.

519 Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI. (1998).  
520 Informações municipais. Available in:  
521 <[https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=266](https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=266)>. Accessed on 01 december 2021.  
522

523 Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI. (2015). Sistemas de  
524 Informações Municipais. Disponível em: <http://sim.sei.ba.gov.br/sim/tabelas.wsp#>.  
525 Accessed on 01 december 2021.

526 Symanski, C., & Redak, R. A. (2021). Does fluctuating asymmetry of wing traits  
527 capture relative environmental stress in a lepidopteran? *Ecology and evolution*,  
528 11(3), 1199.

529 Tatalović, L.I., Anđelić, B., Jelić, M., Kos, T., A Benítez, H., & Šerić Jelaska, L.  
530 (2020). Fluctuating Asymmetry as a Method of Assessing Environmental Stress in

531 Two Predatory Carabid Species within Mediterranean Agroecosystems. *Symmetry*,  
532 12(11), 1890.

533 Teder, T., & Knapp, M. (2019). Sublethal effects enhance detrimental impact of  
534 insecticides on non-target organisms: A quantitative synthesis in parasitoids.  
535 *Chemosphere*, 214, 371-378.

536 Tomanović, Ž., Kos, K., Petrović, A., Starý, P., Kavallieratos, N. G., Žikić, V. &  
537 Ivanović, A. (2013). The relationship between molecular variation and variation in  
538 the wing shape of three aphid parasitoid species: *Aphidius uzbekistanicus*  
539 Luzhetzki, *Aphidius rhopalosiphi* De Stefani Perez and *Aphidius avenaphis* (Fitch)  
540 (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). *Zoologischer Anzeiger-A Journal of*  
541 *Comparative Zoology*, 252(1), 41-47.

542 Vilaseca, C., Méndez, M. A., Pinto, C. F., Lemic, D., & Benítez, H. A. (2021).  
543 Unraveling the Morphological Variation of *Triatoma infestans* in the Peridomestic  
544 Habitats of Chuquisaca Bolivia: A Geometric Morphometric Approach. *Insects*, 12,  
545 185.

546 Yeaman, S., Chen, Y., & Whitlock, M. C. (2010). No effect of environmental  
547 heterogeneity on the maintenance of genetic variation in wing shape in *Drosophila*  
548 *melanogaster*. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, 64(12),  
549 3398-3408.

550 Yu, Y., Zheng, M., & Tang, L. (2016). Influences of pesticides and space for *Myzus*  
551 *persicae* on wing dimorphism. *Acta Agriculturae Shanghai*, 32(2), 61-64.

552 Zverev, V., & Kozlov, M. V. (2021). Decline of *Eulia ministrana* (Lepidoptera:  
553 Tortricidae) in polluted habitats is not accompanied by phenotypic stress responses.  
554 *Insect Science* 00, 1-9, DOI 10.1111/1744-7917.12862.

555 Žikić, V., Tomanović, Ž., Kavallieratos, N. G., Starý, P., & Ivanović, A. (2010). Does  
556 allometry account for shape variability in *Ephedrus persicae* Froggatt  
557 (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) parasitic wasps? *Organisms Diversity &*  
558 *Evolution*, 10(5), 373-380.

559 Žikić, V., Stanković, S. S., Petrović, A., Milošević, M. I., Tomanović, Ž., Klingenberg,  
560 C. P., & Ivanović, A. (2017). Evolutionary relationships of wing venation and wing  
561 size and shape in Aphidiinae (Hymenoptera: Braconidae). *Organisms Diversity &*  
562 *Evolution*, 17(3), 607-617.

563  
564  
565  
566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578

579 **Tabelas**

580

**Tabela 1.** Teste de validação cruzada. Percentual (%) de espécimes de *Closterocerus coffeellae* alocadas corretamente por propriedade de acordo com a forma da asa

	<b>VDC</b>	<b>BCH1</b>	<b>BCH2</b>	<b>MUC1</b>	<b>MUC2</b>	<b>MUC3</b>
<b>VDC</b>	-	-	-	-	-	-
<b>BCH1</b>	58,33	-	-	-	-	-
<b>BCH2</b>	88,49	85,16	-	-	-	-
<b>MUC1</b>	66,67	63,00	77,94	-	-	-
<b>MUC2</b>	75,95	91,55	89,63	79,50	-	-
<b>MUC3</b>	66,09	74,54	79,98	79,38	84,24	-

VDC = Vitória da Conquista; BCH1= Barra do Choça; BCH2= Barra do Choça; MUC1= Barra do Choça; MUC2= Barra do Choça; MUC3= Barra do Choça.

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595



**Tabela 2.** Distância de Mahalanobis entre asas de *Closterocerus coffeellae* procedentes de diferentes propriedades localizadas em Vitória da Conquista (VDC), Barra do Choça (BCH1 e BCH2) e Mucugê (MUC1, MUC2 e MUC3). (Lado inferior esquerdo) e p-valor do teste de 10.000 permutações (Lado superior direito)

	<b>VDC</b>	<b>BCH1</b>	<b>BCH2</b>	<b>MUC1</b>	<b>MUC2</b>	<b>MUC3</b>
<b>VDC</b>	-	0,0641 <sup>NS</sup>	<0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001
<b>BCH1</b>	1,2553	-	<0,0001	0,0004	<0,0001	<.0001
<b>BCH2</b>	2,9394	3,0326	-	<0,0001	<0,0001	<.0001
<b>MUC1</b>	1,6183	1,6818	2,7758	-	<0,0001	<.0001
<b>MUC2</b>	2,9789	3,4257	3,5148	2,7349	-	<.0001
<b>MUC3</b>	1,7683	2,1878	2,6692	2,2722	2,9371	-

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614 **Legendas das figuras**

615

616 **Figura 1.** Localização geográfica das propriedades onde foram coletadas as populações  
617 de *Closterocerus coffeellae* na região do Planalto, Bahia, Brasil. Os pontos indicam a  
618 localização geográfica das propriedades. Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000.

619

620 **Figura 2.** Conjunto de marco e semimarcos adicionados e selecionados para análise de  
621 morfometria geométrica na asa direita de *Closterocerus coffeellae*. O ponto 1 indica o  
622 marco anatômico e os pontos 2 a 10 são semimarcos anatômicos (Bookstein, 1991).

623

624 **Figura 3.** Tamanho do centroide (CS) de asas de fêmeas de *Closterocerus coffeellae*  
625 coletadas em diferentes cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil. Barras  
626 acompanhadas de erro padrão e seguidas de mesma letra não apresentam diferenças  
627 significativas entre si (GLM, AIC = 151,7  $p < 0.001$  (Gaussian family (link = identity)).  
628 (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça;  
629 MUC1= Mucugê; MUC2= Mucugê; MUC3= Mucugê)

630

631 **Figura 4.** Análise de Variáveis Canônicas (CVA) da forma da asa de fêmeas de  
632 *Closterocerus coffeellae* provenientes de cafezais do Planalto, Bahia, Brasil. (10000  
633 permutações,  $p < 0.05$ ). CV1 = primeira variável canônica e CV2 = segunda variável  
634 canônica. As elipses representam intervalo de confiança de 90%. (VDC = Vitória da  
635 Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do Choça; MUC1= Mucugê; MUC2=  
636 Mucugê; MUC3= Mucugê)

637

638 **Figura 5.** Grade de deformação das mudanças na forma das asas de *Closterocerus*  
639 *coffeellae* nos eixos CV1 e CV2 em direções positivas. Os círculos representam os marcos

640 e semimarcos anatômicos e os palitos indicam as mudanças em relação aos marcos e  
641 semimarcos. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do  
642 Choça; MUC1= Mucugê; MUC2= Mucugê; MUC3= Mucugê)

643

644 **Figura 6.** Análise de cluster para as variações na forma da asa direita de fêmeas de  
645 *Closterocerus coffeellae* de populações coletadas em propriedades da região do Planalto,  
646 Bahia, Brasil. (VDC = Vitória da Conquista; BCH1 = Barra do Choça; BCH2 = Barra do  
647 Choça; MUC1= Mucugê; MUC2= Mucugê; MUC3= Mucugê)

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

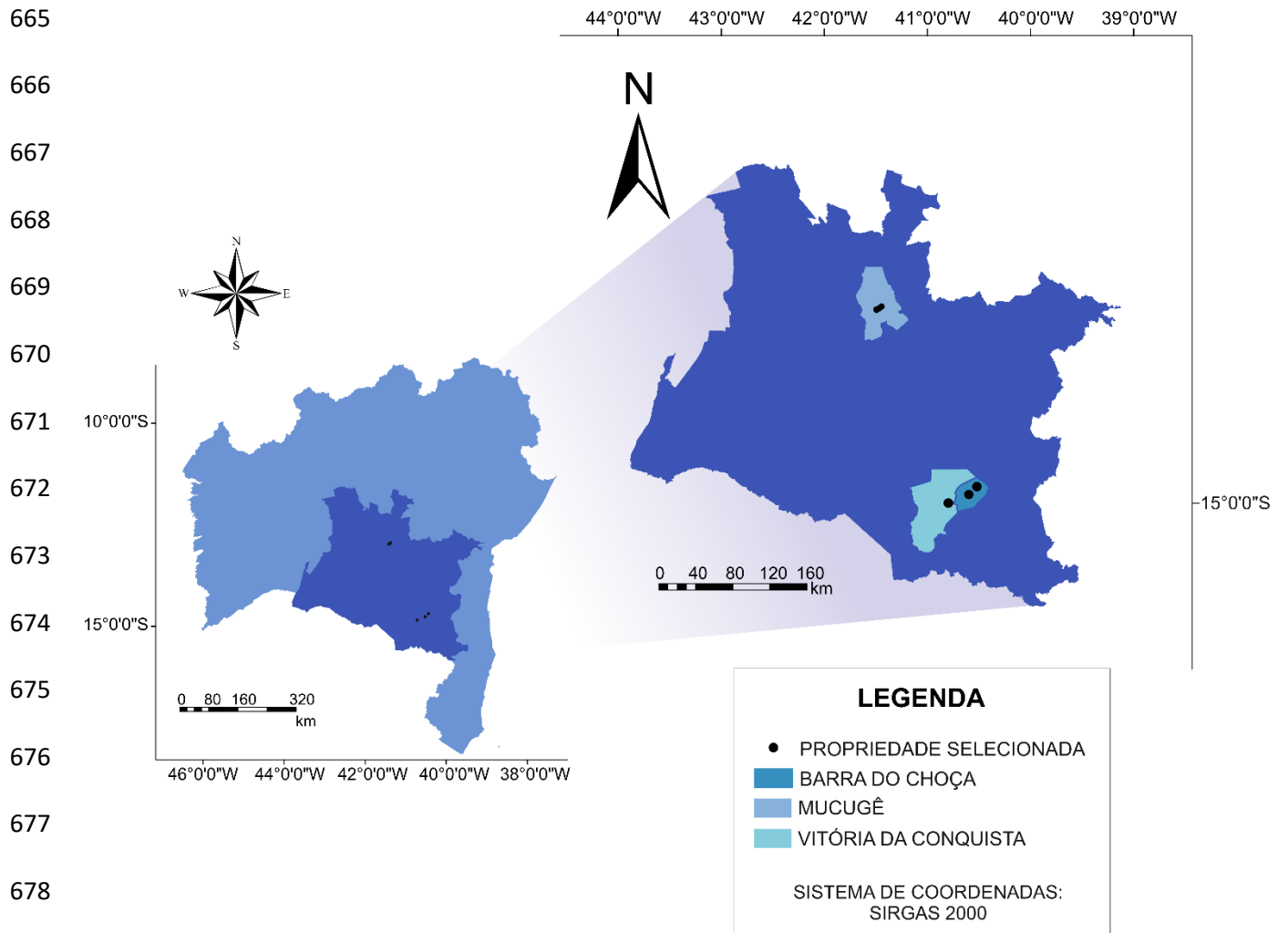
660

661

662

663

664



**Fig. 1.**

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702 **Fig. 2.**

703

704

705

706

707

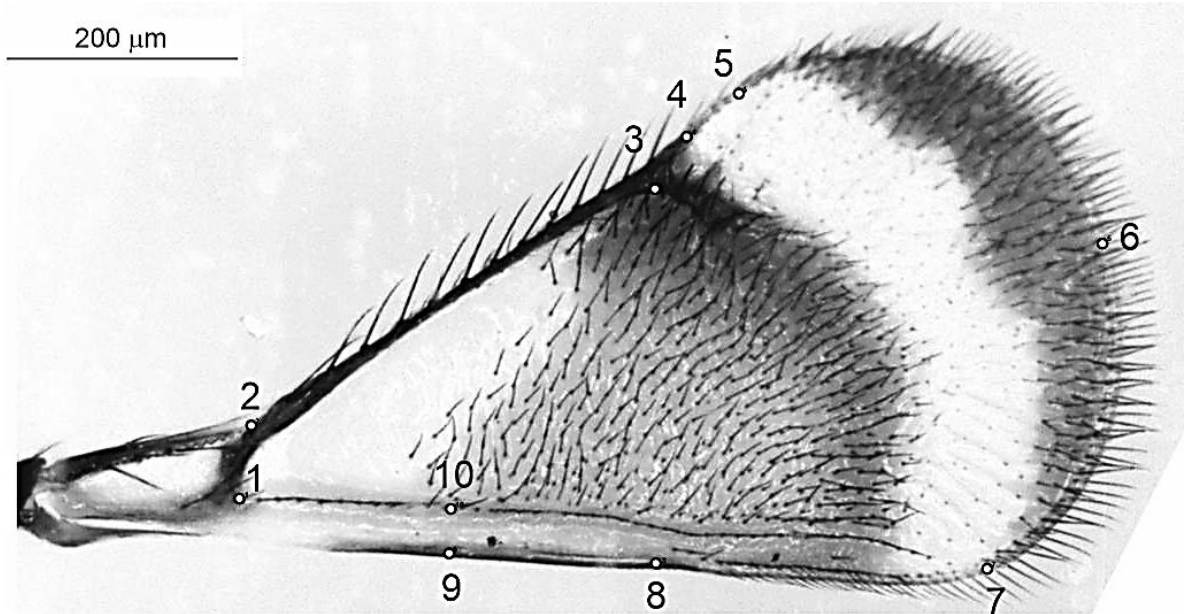
708

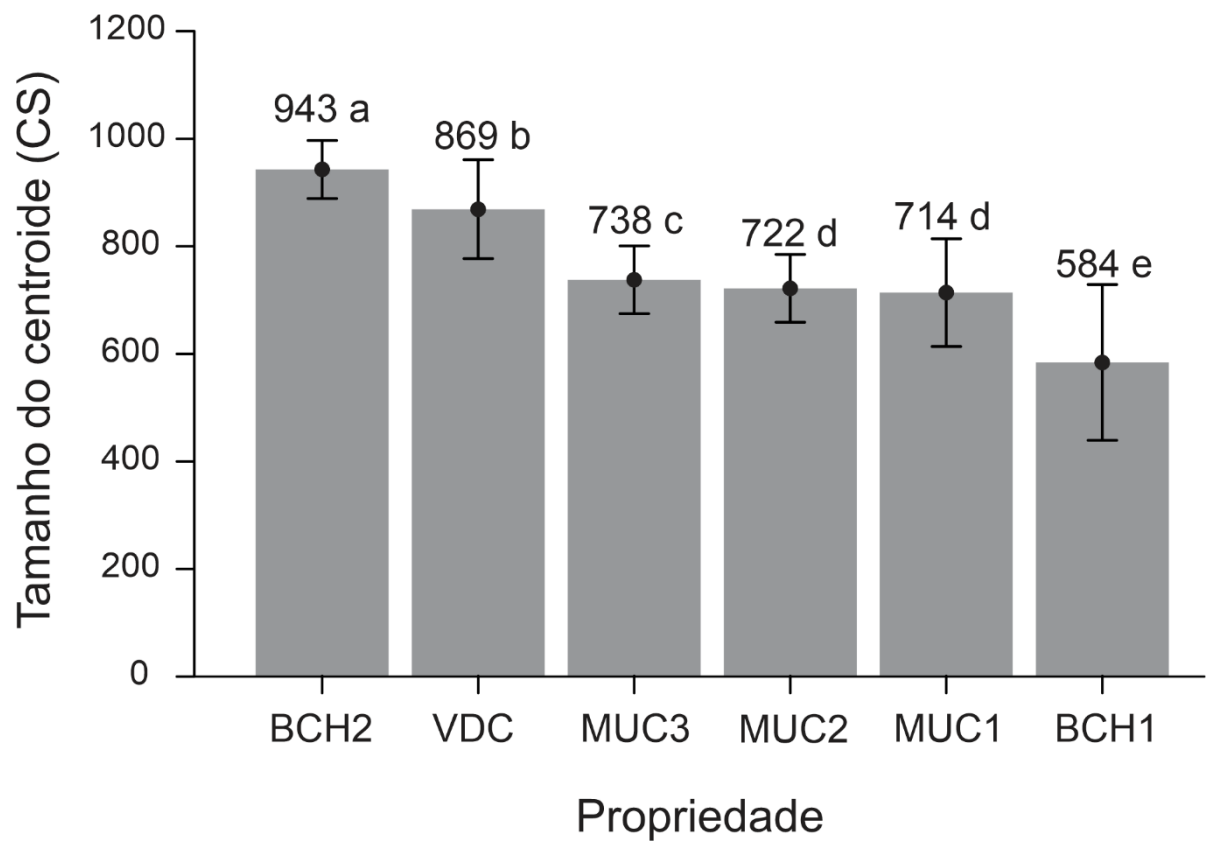
709

710

711

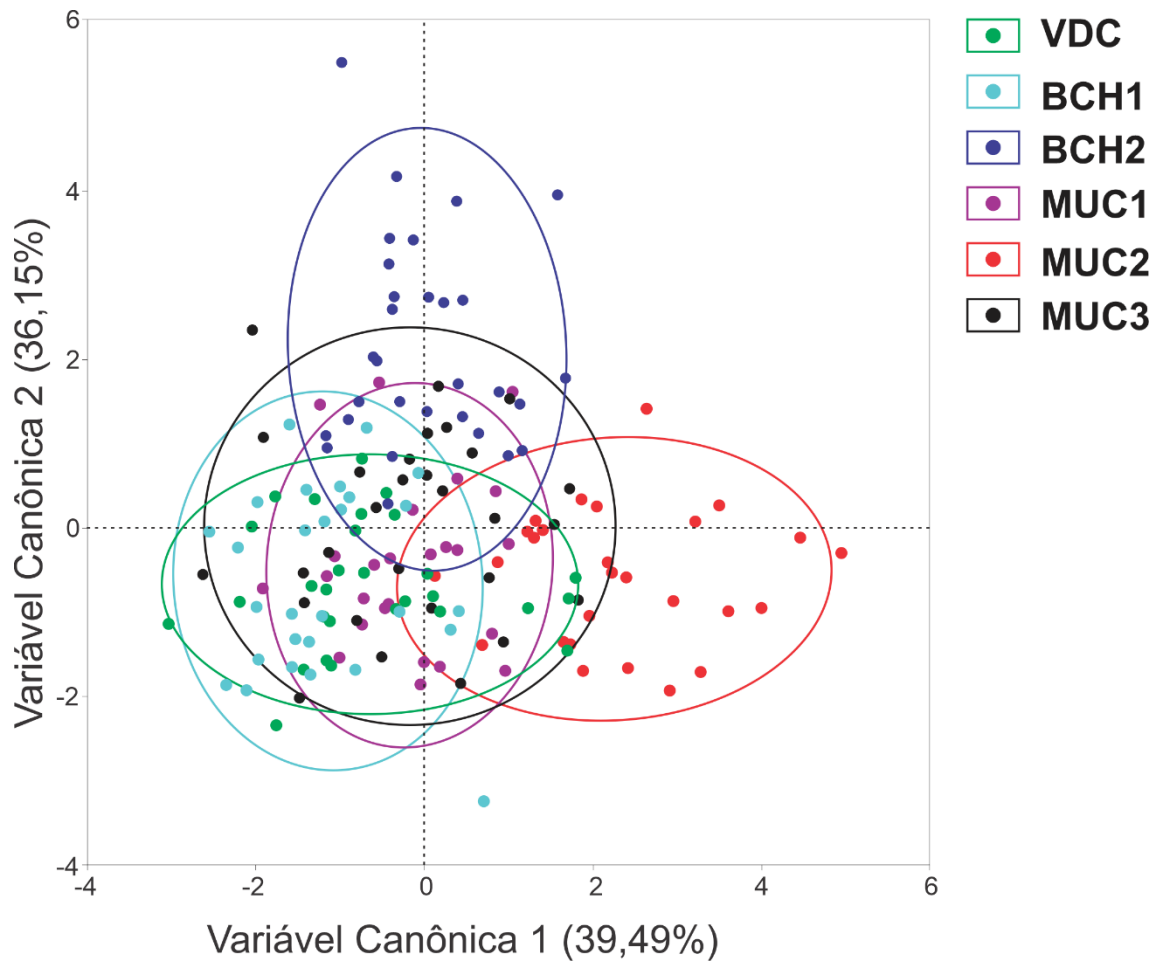
712





**Fig. 3.**

737  
738  
739  
740  
741  
742  
743  
744  
745  
746  
747  
748  
749  
750  
751  
752  
753  
754  
755  
756  
757  
758  
759  
760



**Fig. 4.**

761

762

763

764

765

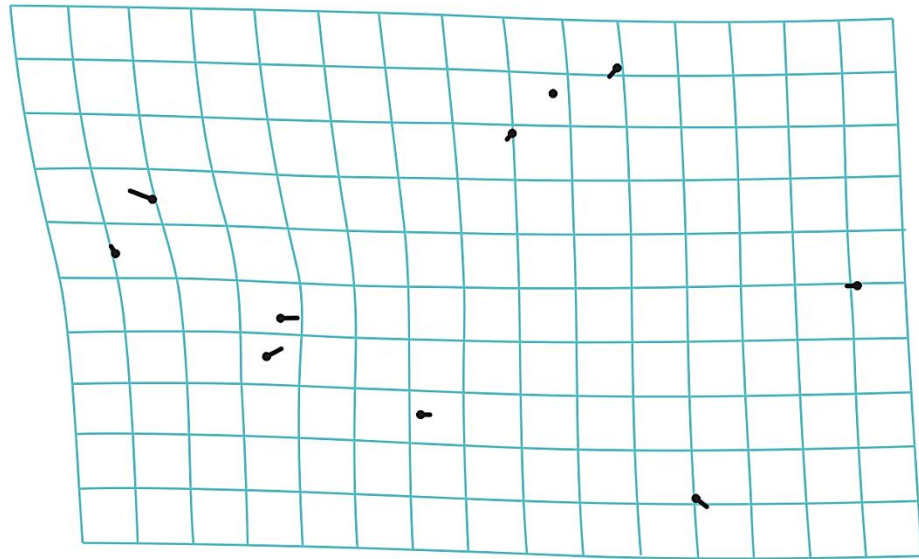
766

767

768

769

**CV 1**



770

771

772

773

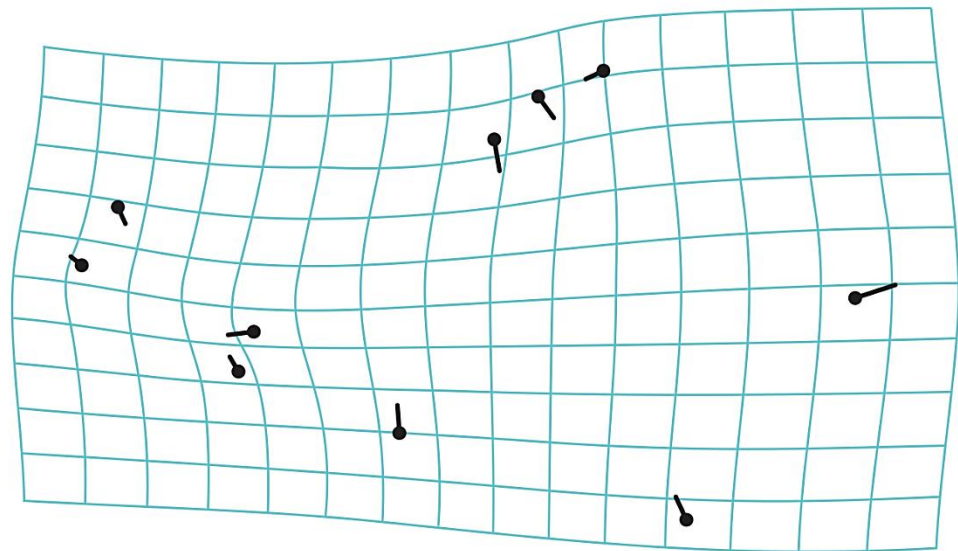
774

775

776

777

**CV 2**



778

779

780

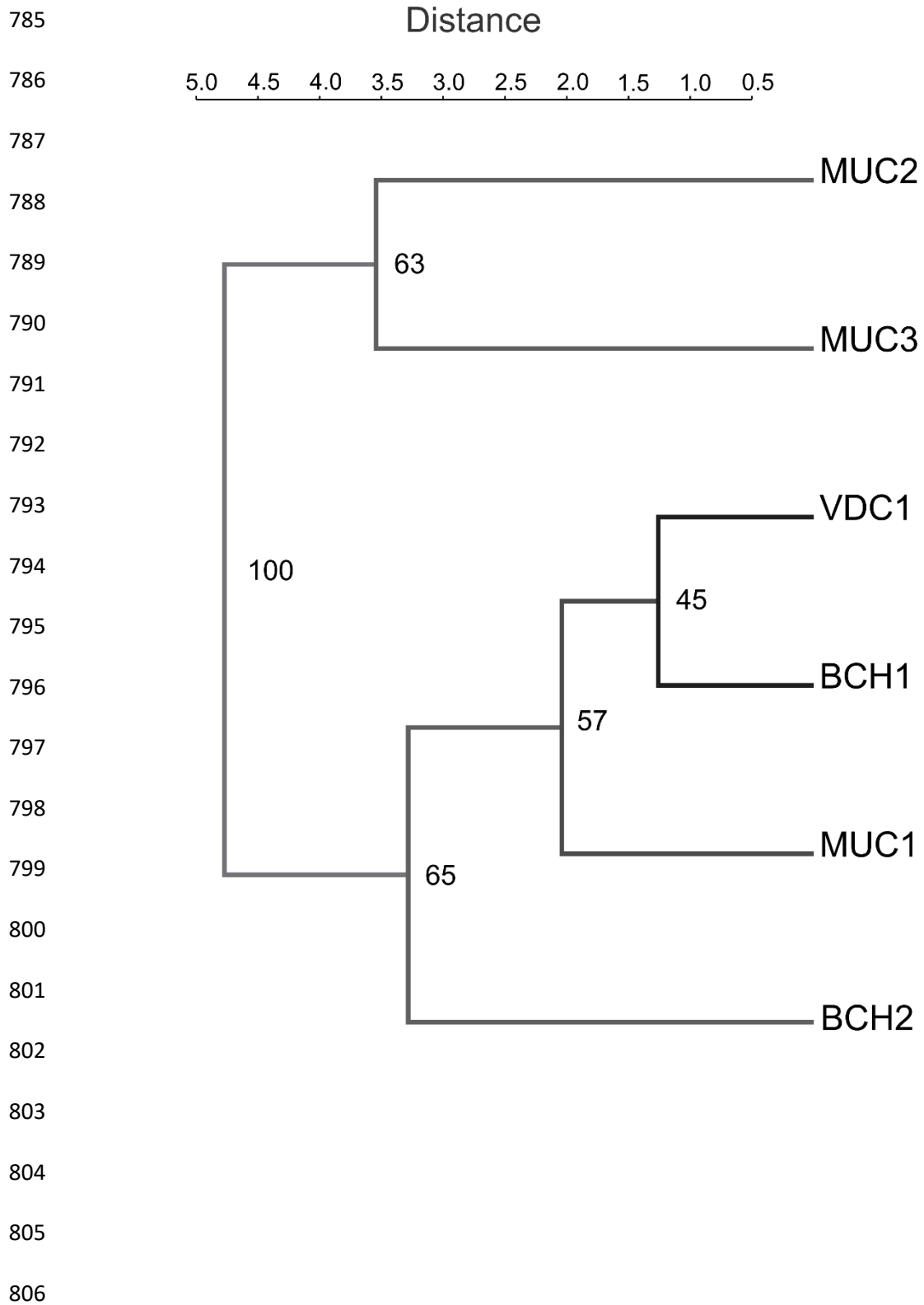
781

782 **Fig. 5.**

783

784





807 **Fig. 6.**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As interações tritróficas entre café x bicho-mineiro x parasitoides são complexas e os conhecimentos acerca desse sistema podem contribuir para o aperfeiçoamento do manejo integrado da praga na cultura, de modo a potencializar o controle biológico por meio dos parasitoides, seja por um sistema de amostragem mais preciso como, também, pela conservação dessa fauna benéfica.

Nesse sentido, o presente trabalho buscou respostas para lacunas do conhecimento sobre padrões de distribuição espaço-temporal das infestações e parasitismo e sua relação com fatores climáticos, irrigação e uso de inseticidas nos cafezais da região do Planalto, Bahia, Brasil; o efeito dos fatores climáticos e manejo na abundância dos parasitoides nesses cafezais; e, por fim, uma investigação acerca das variações morfológicas nas asas de fêmeas do parasitoide *C. coffeellae* coletadas no estudo.

Os resultados mostraram que as infestações e o parasitismo do bicho-mineiro ocorrem de forma variável entre cafezais, sendo maiores no período mais frio e seco do ano. Além disso, existe relação de dependência de densidade entre as taxas de infestação e parasitismo de forma diferente entre os cafezais. Os padrões de distribuição espacial são agregados para as infestações e o parasitismo em lavouras com uso de inseticidas, durante todo o ciclo da cultura, e o número de aplicação de inseticidas contribui para maior agregação. No caso do cafezal sem uso de inseticidas, a agregação só ocorre durante estágio de granação, sendo ao acaso nos demais estádios fenológicos da cultura.

As espécies que compõem as comunidades de parasitoides do bicho-mineiro são *Closterocerus coffeellae* (Eulophidae), *Proacrias coffeae* (Eulophidae), *Neochrysocharis* sp. 01 (Eulophidae), *Neochrysocharis* sp. 02 (Eulophidae), *Cirrospilus* sp. (Eulophidae), *Horismenus* sp. (Eulophidae), *Zagrammosoma* sp. (Eulophidae), *Stiropius reticulatus* (Braconidae) e *Stiropius* sp. (Braconidae). As espécies *C. coffeellae* e *P. coffeae* são predominantes na região e têm potencial para uso em programas de controle biológico. A riqueza de espécies foi menor nos cafezais com uso intensivo de inseticidas. Relatos da ocorrência das espécies *Stiropius reticulatus*, *Neochrysocharis* sp. 01, *Neochrysocharis* sp. 02 e *Zagrammosoma* sp. são inéditos para o estado da Bahia. Com os registros deste estudo, a riqueza aumenta para 10 espécies de parasitoides do bicho-mineiro na Bahia.

Variações significativas no tamanho e na forma das asas das fêmeas de *C. coffeellae* foram encontradas entre as populações, indicando que as prováveis causas de

diferenças no tamanho e na forma das asas das fêmeas, para a maioria dos cafezais comparados com o cafezal controle, seja em decorrência do manejo cultural das lavouras e, também, devido ao uso de inseticidas para controle do bicho-mineiro. Sendo assim, é essencial a adoção de práticas de manejo, como a recomendação e utilização de inseticidas que apresentem seletividade aos parasitoides nos cafezais.

Esses resultados, em geral, contribuem para repensar a construção de planos de amostragem do bicho-mineiro que considerem as distâncias de alcance estimadas pela geoestatística, bem como os manejos utilizados nos cafezais. Dessa maneira, as implicações práticas deste trabalho são otimizar o monitoramento das infestações da praga e do parasitismo em campo e, com isso, contribuir para eficiência e inovação no manejo do bicho-mineiro e de seus parasitoides.

Além disso, a conservação das comunidades dos parasitoides nos cafezais é essencial para a manutenção dos serviços de controle biológico prestados por esses inimigos naturais. Tendo em vista as diferenças na diversidade e abundância das espécies entre os diferentes cafezais, bem como a detecção de variações morfométricas entre as populações, são essenciais práticas de manejo, como uso de inseticidas seletivos, que devem ser incorporadas pelos cafeicultores, contribuindo para maior sustentabilidade da produção cafeeira.