



JANET ALFONSO SIMONETTI

**LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES DE FORMIGAS E SEU
POTENCIAL NO CONTROLE DA BROCA DO CAFEIEIRO
EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE CAFÉ**

**LAVRAS – MG
2022**

JANET ALFONSO SIMONETTI

**LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES DE FORMIGAS E SEU POTENCIAL NO
CONTROLE DA BROCA DO CAFEIEIRO EM DIFERENTES SISTEMAS DE
CULTIVO DE CAFÉ**

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

Profa. Dra. Brígida Souza
Orientadora

Profa. Dra. Lêda Gonçalves Fernandes
Dr. Luis L. Vázquez Moreno
Coorientadores

**LAVRAS – MG
2022**

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

Alfonso-Simonetti, Janet

Levantamento das espécies de formigas e seu potencial no controle
da broca do cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo de café/ Janet
Alfonso Simonetti - 2022

111 p.:il.

Orientador(a): Brígida Souza.

Coorientador(a): Lêda Gonçalves Fernandes; Luis L. Vázquez Moreno

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

Bibliografia.

1. Agroecossistemas cafeeiros. 2. Formicidae. 3. *Hypothenemus hampei*. I.
Souza, Brígida. II. Gonçalves, Lêda. III. Vázquez, Luis L. IV Título.

JANET ALFONSO SIMONETTI

**LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES DE FORMIGAS E SEU POTENCIAL NO
CONTROLE DA BROCA DO CAFEIEIRO EM DIFERENTES SISTEMAS DE
CULTIVO DE CAFÉ**

**SURVEY OF ANT SPECIES AND THEIR POTENTIAL IN THE CONTROL OF
COFFEE BERRY BORER IN DIFFERENT COFFEE GROWING SYSTEMS**

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

APROVADA em 22 de fevereiro de 2022.

Dra. Brígida Souza UFLA

Dr. Luís Cláudio Paterno Silveira UFLA

Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza UFLA

Dr. Rodrigo dos Santos Machado Feitosa UFPR

Dr. Ernesto de Oliveira Canedo Júnior UEMG

Profa. Dra. Brígida Souza

Orientadora

Profa. Dra. Lêda Gonçalves Fernandes

Dr. Luis L. Vázquez Moreno

Coorientadores

LAVRAS – MG

2022

OFEREÇO

Aos meus pais, Marta María e Blas, pela compreensão,
carinho, paciência e apoio diário

DEDICO

A Luiz Avelino Silva (Luizinho) †

AGRADECIMENTOS

O meu primeiro agradecimento é feito a Deus, por abençoar todo o que tenho recebido na vida, pela força que tem me dado para enfrentar cada dia, por manter perto de mim as pessoas que amo, por conseguir o essencial e ser feliz. Ele me abençoou com uma família maravilhosa, com um trabalho digno e com amigos fiéis. Não há nada mais que eu possa querer. Gratidão!

À minha família, minha mãe Marta María, meu pai Blas, meu irmão Blas e meus queridos sobrinhos Javier Alejandro e Camila. Sou grata por esta família maravilhosa que Deus me deu, que sempre está ao meu lado me apoiando e me oferecendo conselhos valiosos para ser a pessoa que hoje sou. Eles são a minha força e a minha razão de viver. Por eles, eu faço tudo o que estiver ao meu alcance.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Entomologia (DEN), pela oportunidade concedida para realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela bolsa de estudo.

À minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Brígida Souza, por ser uma mãe, amiga e um exemplo como profissional. Você sem dúvida alguma me deu um suporte muito grande durante esses anos de convivência. Obrigada por acreditar em mim e no meu trabalho.

À minha co-orientadora Prof^ª. Dr^ª. Lêda Gonçalves Fernandes, por ser uma pessoa extraordinária, amiga, por me apoiar em todas as minhas ideias e por fazer sempre o possível para que o trabalho dera certo.

Ao meu co-orientador Dr. Luis L. Vázquez Moreno, por ter sido meu professor todos esses anos, amigo ante tudo e por sempre orientar me no caminho certo. Ademais, me apresentou o mundo das formigas, ao qual sou hoje apaixonada. Serei eternamente grata por sus ensinamentos e conselhos.

À Cooperativa dos Agricultores Familiares de Poço Fundo (COOPFAM), pelo apoio e comunicação com os produtores de Poço Fundo, sul de Minas Gerais, em especial a Luizinho, Gustavo e João Mateus. Aos produtores que nos permitiram realizar minha pesquisa em suas propriedades e por sempre nos tratarem tão bem. Sou imensamente grata a cada um de vocês: Dayany Assis dos Santos Ferreira, Fabio Antonino Ferreira, Marcio de Paiva Gonçalves, Marcio de Paiva Gonçalves, Viviane Noronha de Oliveira, Maria Regina Mendes Nogueira, Carlos Henrique Nogueira, Paulo Afonso Ferreira, Flávio José Nogueira, Silvana Regina Pereira, José Arildo de Ávila e José Henrique Pereira.

À Luiz Avelino Silva (Luizinho) (In memoriam): a vida e Deus me colocaram esse ser humano maravilhoso em meu caminho. Hoje levo comigo todas as nossas conversas e as coisas que aprendi com ele sobre a vida, a profissão e cafés especiais. A vida é rápida demais! Descanse em paz amigo. Gratidão por tudo!

À turma maravilhosa que me acompanhou, apoiou e trabalhou debaixo de chuva, frio, sol, medo a lagartas e cobras... kkk. Emanuel, Laodicéia, Vítor, Patrick, Alice, Gabriela, Franciele, Aline, Julio, Daniel, entre outros meninos maravilhosos e de bom serviço. Obrigada equipe! Vocês são 100%.

Aos Professores do Departamento de Entomologia, pelos ensinamentos compartilhados durante todo o doutorado, pela convivência e por contribuírem para minha formação e crescimento profissional e pessoal. Obrigada!

Um especial agradecimento ao Professor Stephan Malfitano Carvalho, que abriu as portas de seu laboratório e me brindou um cantinho para trabalhar com tranquilidade e comodidade, muito obrigada por fazer do seu laboratório minha casa durante todo esse tempo. Sem sua ajuda nada disso teria sido possível.

Ao Professor Luís Cláudio Paterno Silveira, pelo apoio recebido para tomar as fotografias das formigas.

Aos professores Maria Fernanda G. V. Peñaflores e Geraldo Andrade Carvalho, por terem feito parte de meu acompanhamento de projeto de tese nesses anos. Seus ensinamentos e conselhos sempre foram muito importantes!

Ao professor Rodrigo Feitosa, pela inestimável ajuda na etapa de identificação das formigas.

Aos funcionários do DEN, pela colaboração durante o trabalho; em especial à Elaine e Andreia, pela dedicação e apoio em tudo. À secretária Isabel, por sua paciência e sempre estar disposta a nos ajudar!

Aos colegas e amigos do DEN e do laboratório de Controle Biológico com Entomófagos, pelos momentos de estudo, incentivo, risadas, amizade e carinho nessa caminhada! Turma top, viu? Levo todos vocês no meu coração.

Ao meu maravilhoso e dedicado estagiário, Patrick Lopes Gualberto, agradeço por me seguir em todas as minhas ideias, pela companhia e apoio. Sem você eu não poderia ter desenvolvido a pesquisa. Espero poder seguir contribuindo e trabalhando juntos em sua caminhada atual.

Aos amig@s que Brasil e Lavras me proporcionaram (Eliete e família, Mayra, Dayana, Marvin, Sostenes, Zulma, Johana, Vivianita (bb), Andrea, Karen, Héctor, Robert, Yulimar,

Dawyson, Alector, Katherine, Yojana e Leidy; amigos que viraram família, irmãos que a vida me deu. Amadureci muito com vocês. Vocês são muito importantes na minha vida. A amizade de vocês foi a melhor história, vou guardar para sempre, com muito amor no meu coração. Saibam que meu carinho é enorme; passamos e conquistamos muitas coisas juntos e isso fez nossa amizade mais forte. Amo demais! Vocês chegaram na hora e momento exato à minha vida. Gratidão!

Agradecimento especial a Marvin Pec, por sua paciência, tempo dedicado e por contribuir demais comigo e com o meu trabalho. Beijão, meu querido.

Aos meus amigos de muitos anos Monica, Aidanet, Dina, Yasser, Indrid, Alien, Yaril, Ana Ibis e Michel, meus companheiros nas horas tristes e felizes, pelas palavras de conforto e por segurarem a minha mão quando eu mais precisei. Obrigada!

Para finalizar, e não menos importante, faço um agradecimento à especial responsável por me ajudar a ser mais paciente, aprender a levar uma rotina, minha maior responsabilidade e felicidade nessa caminhada; sou muito grata por ter me acompanhado nessa jornada, minha cachorrinha Tokio. Eu amo muito você.

RESUMO GERAL

A broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, é nativa da África Central, onde seu principal hospedeiro é o café robusta (*Coffea canephora*). Do ponto de vista econômico, a broca, é considerada uma das pragas mais importantes do cultivo do café, devido ao dano direto causado ao fruto, à alta densidade populacional, às dificuldades para se alcançar um controle eficiente e às limitações à comercialização dos grãos afetados. Atualmente, a broca continua causando perdas econômicas significativas no mundo. Só no Brasil, esse inseto provoca perdas estimadas em US \$ 215-358 milhões por ano. Nos agroecossistemas cafeeiros as formigas respondem a diferentes práticas, envolvendo a diversificação vegetal de cada hábitat e intensidade de manejo. As formigas predadoras, assim como os demais inimigos naturais que atuam no controle biológico nesses sistemas, têm sido estudadas com relação ao besouro *H. hampei*. Por esses motivos, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as populações de formigas visando à regulação de populações de *H. hampei* em diferentes sistemas de cultivo de café no Brasil. O estudo foi realizado em 12 propriedades, sendo quatro áreas de café convencional a pleno sol, quatro orgânico a pleno sol e quatro orgânico sombreado, pertencentes a produtores associados à Cooperativa de Produtores Familiares de Poço Fundo e região (COOPFAM). As amostragens foram realizadas no período de colheita do café (maio de 2019) e início da entressafra (setembro de 2019), por meio de armadilhas do tipo *pitfall traps*, iscas atrativas e coleta de frutos da planta e no chão. As formigas coletadas foram identificadas ao menor nível taxonômico possível. No total, foram coletadas 65 espécies de formigas pertencentes a 32 gêneros e sete subfamílias, com 46 espécies registradas em armadilhas do tipo *pitfall traps* e 30 em iscas atrativas. Para os frutos coletados da planta e no chão foram identificadas 22 espécies distribuídas em 11 gêneros e quatro subfamílias. A subfamília com maior número de táxons foi Myrmicinae, seguida de Formicinae e Ponerinae. Os resultados mostraram que os diferentes sistemas de cultivo de café, orgânico e convencional sejam sombreados ou a pleno sol, não apresentaram diferença quanto à riqueza de espécies de formigas, mas, sim quanto à composição das espécies, parâmetro para ser considerado na comparação entre sistemas de cultivo estudados. Nos três sistemas de cultivo do café, o percentual de infestação da broca atingiu o nível de dano econômico. As maiores taxas de infestação foram encontradas no sistema convencional a pleno sol (CSL), com uma média de 8,9 % nos frutos da planta e 11,1 % nos frutos do chão, seguido pelo sistema orgânico sombreado (OSM), com 8,4 % na planta e 7,9 % no chão e, por último, o que apresentou menor índice de infestação, o sistema orgânico a pleno sol (OSL), com 5,8 % na planta e 6,3 % no chão. Quando comparado com a composição das formigas, verifica-se uma estreita relação entre o sistema com menor índice de infestação pela broca e aqueles com maior riqueza e frequência de formigas. A obtenção dessas informações fornecem bases para recomendações do controle biológico na cafeicultura no Sul de Minas Gerais.

Palavras-chave: Agroecossistemas cafeeiros, *Coffea arabica*, *Hypothenemus hampei*, Formicidae.

GENERAL ABSTRACT

The coffee borer, *Hypothenemus hampei*, is native to Central Africa, where its main host is robusta coffee (*Coffea canephora*). From an economic point of view, the borer is considered one of the most important pests of coffee cultivation, due to the direct damage caused to the fruit, the high population density, the difficulties in achieving an efficient control and the limitations to the commercialization of the affected grains. Currently, the drill continues to cause significant economic losses in the world. In Brazil alone, this insect causes estimated losses of US\$ 215-358 million per year. In coffee agroecosystems, ants respond to different practices, involving plant diversification of each habitat and management intensity. Predator ants, as well as other natural enemies that act in biological control in these systems, have been studied in relation to the beetle *H. hampei*. For these reasons, the general objective of this work was to evaluate ant populations in order to regulate *H. hampei* populations in different coffee growing systems in Brazil. The study was carried out in 12 properties, four areas of conventional coffee in full sun, four organic in full sun and four organic in shade, belonging to producers associated with the Cooperativa de Produtores Familiares de Poço Fundo e Region (COOPFAM). Sampling was carried out during the coffee harvest period (May 2019) and the beginning of the off-season (September 2019), using pitfall traps, attractive baits and fruit collection from the plant and the ground. The collected ants were identified to the lowest possible taxonomic level. In total, 65 species of ants belonging to 32 genera and seven subfamilies were collected, with 46 species recorded in pitfall traps and 30 in attractive baits. For the fruits collected from the plant and on the ground, 22 species were identified, distributed in 11 genera and four subfamilies. The subfamily with the highest number of taxa was Myrmicinae, followed by Formicinae and Ponerinae. The results showed that the different coffee cultivation systems, organic and conventional, whether shaded or in full sun, showed no difference in terms of ant species richness, but rather in terms of species composition, a parameter to be considered in the comparison between systems of cultivation studied. In the three coffee growing systems, the borer infestation percentage reached the level of economic damage. The highest infestation rates were found in the conventional system in full sun (CSL), with an average of 8.9 % in the fruits of the plant and 11.1 % in the fruits of the ground, followed by the shaded organic system (OSM), with 8.4 % on the plant and 7.9 % on the ground and, finally, the one with the lowest infestation rate, the organic system in full sun (OSL), with 5.8 % on the plant and 6.3 % on the ground. When compared with the composition of the ants, there is a close relationship between the system with the lowest rate of infestation by the borer and those with greater richness and frequency of ants. Obtaining this information provides a basis for recommendations for biological control in coffee growing in the south of Minas Gerais.

Keywords: Coffee agroecosystems, *Coffea arabica*, *Hypothenemus hampei*, Formicidae

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Distribuição das propriedades em Poço Fundo, MG, Brasil, conforme aos diferentes sistemas de produção. Orgânico sombreado (amarelo); orgânico a pleno sol (azul) e convencional a pleno sol (vermelho). **31**
- Figura 2.** Distribuição das estações de amostragem instaladas em cada um dos sistemas de cultivo de café: a) pitfall traps; b) iscas atrativas (solução açucarada). **33**
- Figura 3.** Armadilhas instaladas em cada um dos sistemas de cultivo de café: a) pitfall traps; b) iscas atrativas (solução açucarada). **34**
- Figura 4.** Diagramas da distribuição de espécies compartilhadas entre os sistemas de cultivo de café (orgânico sombreado, orgânico a pleno sol e convencional a pleno sol), por armadilhas: a) pitfall traps; b) iscas atrativas (solução açucarada). **37**
- Figura 5.** Curvas de rarefação de Coleman com intervalos de confiança de 95% para a riqueza de espécies obtida nos sistemas de cultivo de café: orgânico sombreado (linha verde escuro), orgânico a pleno sol (linha verde claro), convencional a pleno sol (linha vermelha), com as armadilhas: a) pitfall traps; b) iscas atrativas (solução açucarada). A linha cinza representa a soma total das espécies coletadas nos três sistemas. **38**
- Figura 6.** Curvas de acúmulo de espécies obtidas pelo estimador de riqueza Bootstrap para os sistemas de cultivo de café: orgânico sombreado (verde escuro), orgânico a pleno sol (verde claro), convencional a pleno sol (vermelho), com as armadilhas: a) pitfall traps; b) iscas atrativas (solução açucarada). A linha cinza representa a soma total das espécies coletadas nos três sistemas. **39**
- Figura 7.** Ordenação por escalonamento não-métrico (NMDS) utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis, baseada na frequência das formigas amostradas nas pitfall traps. Associação entre as espécies representadas nas coletas, independentemente do sistema, e associações obtidas nas coletas realizadas nos sistemas orgânico sombreado (azul), orgânico a pleno sol (verde) e convencional a pleno sol (vermelho) e as assembléias de formigas amostradas. Stress: 0.26 **43**
- Figura 8.** Ordenação por escalonamento não-métrico (NMDS) utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis, baseada na frequência das formigas amostradas nas iscas atrativas (solução açucarada). Associação entre as espécies representadas nas coletas, independentemente do sistema, e associações obtidas nas coletas realizadas nos sistemas orgânico sombreado (azul), orgânico a pleno sol (verde) e convencional a pleno sol (vermelho) e as assembléias de formigas amostradas. Stress: 0.15 **45**

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Distribuição dos agroecossistemas cafeeiros: a) orgânico sombreado (OSM): amarelo; b) orgânico a pleno sol (OSL): azul e c) convencional a pleno sol (CSL): vermelho. Poço Fundo, MG. 2019. **78**
- Figura 2.** Distribuição dos pontos de amostragem adotados em cada uma das propriedades de produção de café, em Poço fundo, MG. **79**
- Figura 3.** Triagem de frutos de café broqueados por *Hypotenemus hampei* em laboratório. A) Atividade de triagem; B) Representantes de formigas encontradas nos frutos. DEN/ESAL/UFLA. **80**
- Figura 4.** Diagramas da distribuição de espécies de formigas (Formicidae) compartilhadas entre os tratamentos compostos por cultivos de café sob os sistemas orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL) e as variáveis: A) frutos coletados da planta, e B) frutos coletados do solo (área correspondente à projeção da copa). **83**

Figura 7. Comportamento da incidência de <i>Hypothenemus hampei</i> nos tratamentos estudados: Orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL); (A) frutos coletados da planta (B) frutos coletados do solo (área correspondente à projeção da copa).....	86
Figura 8. Comportamento total da incidência de <i>Hypothenemus hampei</i> nos tratamentos Orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL).	87
Figura 9. Abundancia das formigas nas variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados do solo) e nos tratamentos orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL).....	87
Figura 10. Representação gráfica da ordenação por escalonamento não-métrico (NMDS) utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis, baseada na frequência das formigas presentes nas diferentes variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados do solo); com um Stress: 0.12.	89
Figura 11. Análise de Correspondência Canônica (CCA) com base nas variáveis área de plantio, produção dos cafeeiros, altitude, idade dos cafeeiros e infestação de <i>Hypothenemus hampei</i> por tratamento (OSM= orgânico sombreado, OSL= orgânico a pleno sol, CSL= convencional a pleno sol) e variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados do solo) para o ano 2019. Pontos representam os tratamentos (OSM= verde escuro, OSL= verde claro e CSL= vermelho) As variáveis estão representadas por quadrado para frutos coletados do solo e triângulo para frutos coletados da planta.....	91

APÊNDICE

Figura 5. Frequência dos grupos funcionais por variante A) frutos coletados da planta e B) frutos coletados do solo (área correspondente à projeção da copa) e nos tratamentos. Cada cor representa um tratamento: OSM= Orgânico sombreado, OSL= Orgânico a pleno sol e CSL= Convencional a pleno sol. Grupos funcionais: DOS= Dominantes onívoras de solo e serapilheira; OSV= Oportunistas de solo e vegetação; PPG= Ponerineas predadoras generalistas de solo e serapilheira; PES= Predadoras especialistas de solo e serapilheira; CFD= Cultivadoras de fungo a partir de material em decomposição; CFD= Onívoras arbóreas que ocasionalmente se alimentam em estratos inferiores; AEP= Arborícolas que se alimentam de pólen.	110
Figura 6. Curvas de rarefação de Coleman (A, B) e de acúmulo de espécies com o estimador de riqueza Bootstrap (C, D). Intervalos de confiança de 95% para os tratamentos: OSM= orgânico sombreado (verde escuro), OSL= orgânico a pleno sol (verde claro) e CSL= convencional a pleno sol (vermelho). A linha cinza mostra a soma total das espécies coletadas. Riqueza de espécies nas plantas (A) e no solo (B). Estimador de riqueza em plantas (C) e no solo (D).	111

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Localização geográfica, altitude (m) e área (ha) das propriedades de produção de café sob os diferentes sistemas de cultivo: OSM= orgânico sombreado; OSL= orgânico a pleno sol; CSL= convencional a pleno sol. Ano 2019. Poço Fundo, MG.....	32
Tabela 2 - Riqueza de espécies e frequência (presença/ausência) de espécimes de formigas em diferentes sistemas de cultivo de café: Orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL).....	66
Tabela 3 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletada em Pitfall traps que mais contribuiu para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico a pleno sol (OSL), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).....	70
Tabela 4 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas em Pitfall traps que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico sombreado (OSM), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).....	70
Tabela 5 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas em Pitfall traps que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas orgânico a pleno sol (OSL) e orgânico sombreado (OSM), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).....	71
Tabela 6 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas em iscas atrativas (solução açucarada) que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os períodos de coleta (fase de formação dos frutos – Ff, e fase da pós-colheita – pós. colh), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).....	71
Tabela 7 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas nas iscas atrativas (solução açucarada) que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico a pleno sol (OSL), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).....	71
Tabela 8 - Análises de SIMPER envolvendo a espécie coletada nas iscas atrativas (solução açucarada) que mais contribuiu para a dissimilaridade entre os sistemas orgânico a pleno sol (OSL) e orgânico sombreado (OSM), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).....	72
Tabela 9 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas nas iscas atrativas (solução açucarada) que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico sombreado (OSM), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).....	72

CAPÍTULO 2

Tabela 3 – Resultados das análises de SIMPER realizadas para as espécies de formigas que mais contribuíram para a dissimilaridade entre as variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados do solo), mostrando a abundância média por grupo (Abun. Média), a contribuição média para a dissimilaridade das espécies (C%) e a contribuição cumulativa ordenada (C.C%).....	90
---	-----------

APÊNDICE

Tabela 1 - Descrição das fazendas de cafeeiro no município de Poço Fundo, MG, 2019. ...	105
Tabela 2 - Riqueza de espécies e frequência (presença/ausência) de formigas em diferentes sistemas de cultivo de café. OSM= Orgânico sombreado OSL= orgânico a pleno sol e CSL= convencional a pleno sol.....	108

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	16
1	INTRODUÇÃO GERAL	16
2	REFERÊNCIAS	21
	SEGUNDA PARTE - CAPÍTULOS	26
	CAPÍTULO 1	26
	Assembleia de formigas em três sistemas de cultivo de café em Poço Fundo-MG, Brasil.....	26
1	INTRODUÇÃO	28
2	MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1	Área de estudo.....	30
2.2	Amostragem das formigas.....	31
2.3	Identificação do material.....	34
2.4	Análise de dados.....	34
3	RESULTADOS	35
3.1	Estimativas de riqueza e composição taxonômica das assembleias de formigas.....	35
3.2	Relação de associação ou dependência da composição das assembleias de formigas com os diferentes sistemas de cultivo de café.....	40
4	DISCUSSÃO	46
4.1	Estimativas de riqueza e composição taxonômica das assembleias de formigas.....	46
4.2	Relação de associação ou dependência da composição das assembleias de formigas com os diferentes sistemas de cultivo de café.....	50
5	CONCLUSÕES	54
6	REFERÊNCIAS	55
7	APÊNDICES	66
	CAPÍTULO 2	73
	Relação entre as assembleias de formigas e a broca-do-café <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari, 1867) em diferentes sistemas de cultivo de café em Poço Fundo-MG.....	73
1	INTRODUÇÃO	75
2	MATERIAL E MÉTODOS	77
2.1	Área de estudo.....	77
2.2	Incidência da broca-do-café nos frutos e presença das formigas.....	78
2.3	Triagem e identificação do material.....	79
2.4	Análise de dados.....	80
3	RESULTADOS	82
3.1	Composição taxonômica e riqueza da mirmecofauna presente nos frutos.....	82
3.2	Grupos funcionais.....	84
3.3	Diversidade e estimativas de riqueza de espécies.....	84
3.4	Incidência da broca-do-café e presença de formigas nos diferentes sistemas de cultivo de café e nos frutos coletados da planta e frutos coletados no solo.....	85
3.5	Relação da composição das assembleias de formigas com os diferentes sistemas de cultivo de café e as variáveis: frutos coletados da planta e frutos coletados no solo.....	88
4	DISCUSSÃO	91
4.1	Composição taxonômica e riqueza da mirmecofauna presente nos frutos.....	91
4.2	Grupos funcionais.....	93
4.3	Diversidade e estimativas de riqueza de espécies.....	94
4.4	Incidência da broca-do-café e presença de formigas nos diferentes sistemas de cultivo de café e nos frutos coletados da planta e frutos coletados no solo.....	95
4.5	Relação da composição das assembleias de formigas com os diferentes sistemas de cultivo de café e as variáveis: frutos coletados da planta e frutos coletados no solo.....	96
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
6	REFERÊNCIAS	99
7	APÊNDICES	105

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

O café é a commodity mais comercializada mundialmente (VEGRO e ALMEIDA, 2020). No Brasil é uma das atividades agrícolas mais importantes, sendo este país o maior produtor e exportador mundial de café, respondendo por cerca de 40% da produção total, o segundo maior consumidor do produto e a maior fonte mundial de cafés sustentáveis (MAPA, 2020; ALMEIDA e ZYLBERSZTAJN, 2017; VOLSI et al., 2019; CONAB, 2020). O Estado de Minas Gerais é responsável por mais de 46% da produção nacional, sendo o maior produtor e exportador nacional de café arábica (CONAB, 2020).

O Sul do estado se caracteriza por diferentes sistemas de cultivo, entre eles o orgânico sombreado ou a pleno sol e o convencional, sendo a maior parte das lavouras cultivadas sob o sistema convencional a pleno sol (GONÇALVES, 2013; MATIELLO et al., 2015). Esses sistemas mais intensificados são caracterizados pela monocultura, aumento dos insumos agroquímicos, fertilizantes e seleção de genótipos (PERFECTO et al., 1996; BOSSELMANN, 2012; JHA et al., 2014), provocando uma excessiva degradação do solo e do ambiente (OLIVEIRA et al., 2003; CARNEIRO et al., 2004). Por outro lado, o cultivo de café sob o sistema orgânico tem tido alta demanda devido aos benefícios que oferece para a segurança alimentar e sustentabilidade (GOMIERO et al., 2011; DOREEN et al., 2013), e pode ser conduzido sob sombreamento ou a pleno sol, fundamentado em princípios agroecológicos e de conservação de recursos naturais (RICCI; ARAÚJO; FRANCH, 2002).

Entretanto, a produção do cafeeiro na região é afetada por diversos insetos praga (JARAMILLO et al., 2006). Dentre esses, destacam-se como pragas primárias no Brasil o bicho-mineiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville e Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) e a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), sendo a broca a praga mais importante da cafeicultura a nível mundial (REIS et al., 2002).

A broca-do-café é nativa da África Central, onde seu principal hospedeiro é o café robusta (*Coffea canephora*). Foi introduzida acidentalmente por nativos da África Central no Estado de São Paulo, Brasil, através de café importado da República Democrática do Congo, em 1913, sendo uma das invasões biológicas mais importantes nas Américas (BERTHET, 1913; INFANTE et al., 2014). A broca ficou confinada no Brasil por, aproximadamente, 40 anos, até que invadiu as áreas produtoras de café em outros países das Américas e no Caribe e,

agora, é relatada em quase todos os países produtores de café no mundo, exceto na Austrália e Nepal (VEGA et al., 2009; JOHNSON et al., 2020; SUN et al., 2020).

Do ponto de vista econômico, *H. hampei* é considerada uma das pragas mais importantes do cultivo do café, devido ao dano direto causado ao fruto, à alta densidade populacional, às dificuldades para se alcançar um controle eficiente e às limitações à comercialização dos grãos afetados (LE PELLECY, 1968; BAKER, 1999; JARAMILLO et al., 2006; VEGA et al., 2009; CURE et al., 2020). Entre os danos causados por essa espécie, estão a alteração no sabor do produto, queda de frutos e perda de peso dos grãos, as quais afetam negativamente a qualidade e produtividade da cultura (WEGBE et al., 2003; VEGA et al., 2009; MESSING, 2012; VEGA et al., 2014).

No contexto atual, a broca continua causando perdas econômicas significativas para mais de 25 milhões de pequenos agricultores no mundo (FAIRTRADE FOUNDATION, 2012). Globalmente, causa perdas anuais de US \$500 milhões (VEGA et al., 2015). No Brasil, esse inseto provoca perdas estimadas entre US \$215-358 milhões por ano (OLIVEIRA et al., 2013).

Para o seu controle, são adotadas diferentes estratégias que envolvem o uso de inseticidas químicos, integração de controladores biológicos, instalação de armadilhas de captura, várias práticas culturais, entre outras (BARRERA et al., 2007). Em vários países, foi proposto ou iniciado o Manejo Integrado da Broca (MIB), como uma estratégia econômica e ambientalmente adequada para reduzir os danos causados por esse escolitídeo (JARQUÍN et al., 2002).

Para o controle químico da broca, historicamente, dois inseticidas foram utilizados: endossulfan retirado do mercado desde 2013 no Brasil e aqueles à base de clorpirifós. Esses inseticidas com alta toxicidade afetam negativamente o meio ambiente, os agricultores que os aplicam e as comunidades que vivem adjacentes às plantações de café tratadas (BAKER et al., 2002).

O controle biológico em vários países é baseado, principalmente, no uso do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (MASCARIN e JARONSKI, 2016; GRECO et al., 2018). Também são utilizados parasitoides, como *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, 1961 (Hymenoptera: Betylidae), *Prorops nasuta* Waterston, 1923 (Hymenoptera: Betylidae), *Heterospilus coffeicola* Schmiedeknecht, 1924 (Hymenoptera: Braconidae) e *Phymastichus coffea* La Salle, 1990 (Hymenoptera: Eulophidae) (BAKER, 1999; VEGA et al., 1999; ARISTIZÁBAL et al., 2016).

Dos parasitoides, *C. stephanoderis* é uma das espécies mais promissoras para o controle biológico de *H. hampei* devido à sua comprovada adaptação em vários agroecossistemas de

café da África e América (CARBALLO, 2002). No Brasil, *C. stephanoderis* foi introduzida para controlar a broca em meados da década de 1990 (SOUZA et al., 2006).

Paralelamente a essas estratégias, são utilizados outros métodos de controle, incluindo o cultural e o etológico. Entre os métodos de controle cultural, existe o gerenciamento pós-colheita, que se baseia na catação dos grãos maduros remanescentes na planta e no solo após a colheita. Essa medida de controle é importante porque pode reduzir substancialmente as populações de *H. hampei*, evitando o aparecimento de fêmeas na nova safra (BUSTILLO et al., 1998). O controle etológico baseia-se, principalmente, no uso de armadilhas de captura, que são consideradas como o único método totalmente passivo, isto é, que atrai o inseto sem qualquer intervenção direta do homem. Aristizábal et al. (2002) relataram maior número de captura de fêmeas de *H. hampei*, com o uso desse método em cultivos na Colômbia, no final da colheita e no período de entressafra.

Apesar de todos os avanços nas estratégias de controle, a broca se mantém em altos níveis populacionais na maioria dos países (CAMPOS; PEREZ; ROJAS; CONTRERAS e CAMILO, 2007; RAMÍREZ et al., 2007), o que demonstra sua adaptação às condições edafoclimáticas e às características do manejo tecnológico das plantações de café. Também comprova que o controle bem-sucedido, com os métodos aplicados para manter as populações dessa praga em níveis economicamente aceitáveis, tem sido dificultado por vários fatores entre os quais ressaltam-se a natureza críptica do inseto e a disponibilidade de frutos de café nas lavouras, permitindo sua sobrevivência de uma safra para a outra (MENDESIL et al., 2005; INFANTE, 2018).

Diante desse cenário, os agentes de controle biológico são reconhecidamente efetivos como medida de controle da broca e não são agressivos ao meio ambiente. Esse bioagentes, bem como a presença de formigas predadoras, têm sido uma experiência bem-sucedida contra a broca em plantações de café (LARSEN e PHILPOTT, 2010; GONTHIER et al., 2013; MORRIS et al., 2018). Espécies como *Solenopsis* cf. *picea* Emery, 1896 favorecem o controle dessa praga, uma vez que penetra nos grãos infestados, extrai os imaturos e os transporta para o seu ninho (ARMBRECHT e GALLEGO, 2007). Na Costa Rica, Varón et al. (2004) demonstraram, em condições laboratoriais, o potencial de predação de várias espécies de formigas (*Pheidole radoszkowskii* Mayr, 1884, *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804) e *Crematogaster torosa* Mayr, 1870) em vários estágios do desenvolvimento dessa praga. Gallego e Armbrrecht (2005), na Colômbia, também verificaram a atividade predatória por formigas do gênero *Solenopsis* e *Tetramorium* dentro de grãos broqueados. Mera et al. (2010) detectaram a predação direta da broca por formigas do gênero *Temnothorax* e encontraram

espécimes de *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863) e *Crematogaster* sp. transportando partes do corpo da praga.

Outros estudos que também detectaram a ação predatória de formigas sobre a broca do café foram realizados por Bustillo et al. (1998) e Armbrecht e Gallego (2007), na Colômbia, os quais observaram indivíduos dos gêneros *Crematogaster*, *Pheidole*, *Brachymyrmex*, *Solenopsis*, *Wasmannia* e *Prenolepis* predando a praga. Em plantações de café no Brasil, Da Fonseca e Araujo (1939) e Benassi (1995) registraram *Crematogaster curvispinosa* Mayr, 1862 como regulador natural da broca, destruindo um número relativamente grande de formas imaturas de *H. hampei*.

Além disso, Infante et al. (2003) registraram, no México, formigas dos gêneros *Pseudomyrmex*, *Azteca* e *Tapinoma* associadas ao cultivo de café. No entanto, Sponagel (1994) relatou um caso de antagonismo em plantações de café no Equador, onde a formiga *Azteca* spp. não foi observada predando a broca, mas, competindo com ela por espaço no grão. Por outro lado, Vázquez et al. (2009) relataram para Cuba *W. auropunctata*, *S. geminata*, *Tetramorium bicarinatum* (Nylander, 1846), *Monomorium floricola* (Jerdon, 1851), *Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793) e *Pseudomyrmex* sp. associadas à broca, onde *W. auropunctata* foi a espécie mais abundante e *T. bicarinatum* foi observada aproveitando o canal de penetração da broca para entrar nos frutos.

Em laboratório, no México, Morris e Perfecto (2016) observaram *W. auropunctata* e *S. picea* removendo larvas e pupas da broca, reconhecendo a primeira espécie como mais eficiente. Mais recentemente, Newson et al. (2021) reportaram, em cafeeiros em Porto Rico, as espécies *Solenopsis invicta* Buren, 1972 e *W. auropunctata* como agentes potenciais para a redução do dano e da sobrevivência da broca-do-café.

Devido à importância econômica que *H. hampei* representa para a cultura do café em todo o mundo e, especificamente, para o Brasil, são necessários maiores esforços e investimentos em pesquisa para reduzir a dependência do uso de inseticidas, que atualmente prevalecem como estratégia de controle. Por isso, hoje a cafeicultura direciona os esforços para fortalecer a produção sustentável, que visa a adoção de boas práticas ambientais, sociais e econômicas. Em alguns casos, busca-se utilizar somente produtos naturais, substituindo até mesmo certos fertilizantes, visando a agregar valor ao café.

Além disso, é essencial o apoio aos estudos que visam complementar a eficácia de agentes de controle biológico usados em algumas regiões. Devido às características do cultivo de café, a combinação de práticas de conservação, manejo de habitat e introdução de agentes de controle biológico para estabelecimento na área, constitui uma estratégia promissora para o

alcance de reduções significativas nas infestações pela broca, uma vez que essa praga sobrevive durante a maior parte de seu ciclo dentro do fruto e os mecanismos de controle usados até então não são muito eficazes.

A broca desenvolve-se, basicamente, em dois locais em um cultivo de café: na planta frutificada e em frutos caídos ao solo, este último constituindo-se no principal reservatório de populações que infestam os frutos da próxima safra. No entanto, de acordo com os programas de manejo existentes em diferentes países (BAKER, 1999; BARRERA et al., 2007; JARAMILLO et al., 2006), são poucas as práticas realizadas visando ao manejo dessa praga, uma vez que a maior atenção é dada ao seu controle na parte aérea da planta, antes, durante e após a colheita (VÁZQUEZ et al., 2012). Por esses motivos, nosso estudo focou, não apenas no controle que as formigas predadoras podem exercer na planta frutificada, mas, também, naquele associado aos grãos caídos ao solo. Dessa maneira, partimos da hipótese de que as assembleias de formigas e as populações de broca presentes nos sistemas de produção de café orgânico sombreado são maiores do que nos sistemas orgânico e convencional a pleno sol. A tese inclui dois capítulos e tem como objetivo geral avaliar as assembleias de formigas visando à regulação de populações de *H. hampei* em diferentes sistemas de cultivo de café no Brasil.

No primeiro capítulo, descreve-se a riqueza e composição taxonômica das espécies de formigas em diferentes sistemas de produção de café, no município de Poço Fundo, MG, Brasil, e avalia-se a possível relação de associação ou dependência da composição de espécies de formigas nesses sistemas de cultivo. No segundo capítulo, avalia-se a relação de associação ou dependência entre as assembleias de formigas e a broca-do-café em diferentes sistemas de produção de café.

2 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. F.; ZYLBERSZTAJN, D. Key Success Factors in the Brazilian Coffee Agrichain: Present and Future Challenges. *INT. J. Food System Dynamics*, São Paulo, 8 (1) p.45-53. 2017. Available online at www.fooddynamics.org
- ARISTIZÁBAL, L. F.; SALAZAR, H. M.; MEJÍA, C. G. Cambios en la adopción los componentes del manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), a través de metodologías participativas. *Revista Colomb. Entomol.* 28: 153–160. 2002.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; ARTHURS, S. P. Integrated pest management of coffee berry borer: strategies from Latin America that could be useful for coffee farmers in Hawaii. *Insects* 7:1–24. 2016. <https://doi.org/10.3390/insects7010006>
- ARMBRECHT, I.; GALLEGO, M. C. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomology Experimentalis et Applicata* 124: 261-267. 2007.
- BAKER, P. S. La Broca del café en Colombia. Informe final del proyecto MIP para el café DFID-CENICAFE-CABI BIOSCIENCE (CNTR 93/1536A). Ed. CABI-DFID. Chinchiná, Colombia. 1999.
- BAKER, P. S.; JACKSON, J.; MURPHY, Y. S. T. Manejo integrado de la plaga de la broca del fruto del café. Informe del proyecto CFC/ICO/02. *CABI Bioscience*, Silwood Park, 16 pp. 2002.
- BARRERA, J. F; GARCÍA, A; DOMÍNGUEZ, V.; LUNA, C. La broca del café en américa tropical: Hallazgos y enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología. El Colegio de la Frontera Sur (Chiapas). 2007.
- BENASSI, V. L. R. M. Levantamento dos inimigos naturais da Broca-do- café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) no norte do Espírito Santo. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 24: 635–638. 1995.
- BERTHET, J. J. A., Caruncho do café: informação prestada pelo Snr. Director do Instituto Arthaud Agronômico a respeito de amostras de café vindas do Congo Belga. *Boletim de Agricultura*, vol. 14, p. 312-313. 1913.
- BOSSSELMANN, A. S. Mediating factors of land use change among coffee farmers in a biological corridor. *Ecological Economics*. Copenhagen, 80. 79–88. 2012.
- BUSTILLO, P. A.; CARDENAS, M. R.; VILLAL, V. A. G. D.; BENAVIDES, M. P.; OROZCO, H. J.; POSADA, F. J. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Cenicafé. Chinchiná, Colombia. 134 p. 1998.
- CAMPOS O. 35 años de experiencias sobre la broca del café en Guatemala. En la boca del café en América tropical: hallazgos y enfoques. (Barrera J. F, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur, 7-16 pp. 2007.

- CARBALLO, M., Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. Costa Rica. 6: 118 - 122. 2002. Disponível em: http://web.catie.ac.cr/informacion/RMIP/rev66/productos_fitosan.pdf. (Acesso em: 07.11.2013).
- CARNEIRO R.G., MENDES I.C., LOVATO P.E., CARVALHO A.M., VIVALDI L.J. Soil biological indicators associated to phosphorus cycling in Cerrado soils under no-till and conventional tillage systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasil, 39, 661-669. 2004.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira Café: Primeiro levantamento SAFRA 2020**. v.6, n.1. 2020.
- CONTRERAS, T.; CAMILO, J. E. Situación de la broca del café en República Dominicana. En La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques (Barrera J. F, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología. El Colegio de la Frontera Sur (Chiapas), 43-56 pp. 2007.
- CURE, J. R; RODRÍGUEZ, D; GUTIERREZ, A. P; PONTI, L. The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (*Hypothenemus hampei*). **Sci Report** 10:1–12. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68989-x>
- DA FONSECA, J. P. e ARAUJO, R. L. Insetos inimigos do *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Broca-do-café). **Boletim Biológico** 4: 486 - 504. 1939.
- DOREEN G.; STEVEN M. SAIT; WILLIAM E. KUNIN; TIM G. BENTON. Food production vs. biodiversity: Comparing organic and conventional agriculture. **Journal of Applied Ecology**. United Kingdom, 50, 355–364. 2013.
- FAIRTRADE FOUNDATION, Fairtrade and coffee: commodity briefing. London. 2012. Disponível em: http://www.fairtrade.org.uk/includes/documents/cmdocs/2012/FTCoffee_Report_May2012.pdf. Acesso em: 12 jul. 2014.
- GALLEGO, M. C; ARMBRECHT, I. Depredación por hormigas sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Curculionidae: Scolytinae) en cafetales cultivados bajo dos niveles de sombra en Colombia. Manejo integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 76: 32-40. 2005.
- GOMIERO, T.; DAVID PIMENTEL; MAURIZIO G. PAOLETTI. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. **Critical Reviews in Plant Science**. Italy, 30, 95–124. 2011.
- GONÇALVES, L. F. Diversidade de inimigos naturais de pragas do cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo. Tese de doutorado. UFLA, LAVRAS – MG. 2013.
- GONTHIER, D. J.; ENNIS, K. K.; PHILPOTT, S. M.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Ants defend coffee from berry borer colonization. **BioControl** 58 (6), 815–820. 2013. <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9541-z>.
- GRECO, ELSIE B.; MARK, G. WRIGHT; JUAN BURGUEÑO; STEFAN, T. JARONSKI. Efficacy of *Beauveria bassiana* applications on coffee berry borer across an elevation gradient in Hawaii. **Biocontrol Science and Technology**, 28:11. 2018. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1493088>
- INFANTE, F.; MUMFORD, J.; GARCIA-BALLINAS, A. Predation by native arthropods on the African parasitoid *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyilidae) in coffee plantations of

Mexico. **Florida Entomologist** 86 (1): 86–88. 2003. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2003\)086\[0086:PBNAOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2003)086[0086:PBNAOT]2.0.CO;2)

INFANTE, F.; PÉREZ, J.; VEGA, F. E. "The coffee berry borer: the centenary of a biological invasion in Brazil" **Brazilian Journal of Biology** Vol. 74, No. 3 suppl 1, pp s125, 1519-6984. 2014.

INFANTE, F. Estratégias de manejo de pragas contra a broca do café (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) **J. Agr. Food Chem.** 66, 5275-5280. 2018. [doi:10.1021/acs.jafc.7b04875](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04875)

JARAMILLO, J.; BORGEMEISTER, C.; BAKER, P. Coffee Berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): searching for sustainable control strategies. **Bulletin of Entomological Research**. 96: 223–233. 2006.

JARQUÍN, R.; FIGUEROA, M. Investigación participativa con el manejo integrado de la broca (MIB) en Soconusco y Sierra de Chiapas, México. **Café, Cacao** 3: 48–50. 2002.

JHA S.; CHRISTOPHER M. BACON; STACY M. PHILPOTT; V. ERNESTO MÉNDEZ; PETER LÄDERACH; ROBERT A. RICE. Shade coffee: update on a disappearing refuge for biodiversity. **Bioscience**. United Kingdom, 64. 416–428. 2014.

JOHNSON, M. A; RUIZ-DIAZ, C. P; MANOUKIS, N. C; RODRIGUES, J. C. V. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), a global pest of coffee: Perspectives from historical and recent invasions, and future priorities. **Insects** 882:2–35. 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11120882>

LARSEN, A.; PHILPOTT, S. M. Twig-nesting ants: the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas. Mexico. **Biotropica** 42 (3), 342–347. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00603.x>.

LE PELLEY, R. H. Pests of coffee. Longmans, Greenand Co. Ltd., London, 590p. 1968.

MASCARIN, G. M; JARONSKI, S. T. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. **World J Microbiol Biotechnol** 32: 177. 2016. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3>

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W. R.; ALMEIDA, S.R. **Cultura de café no Brasil**: manual de recomendações ed. 2015. 1 ed., São Paulo: Futurama Editora, 585p. 2015.

MAPA. MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Cafeicultura Brasileira, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>> Acesso em: 21 setembro. 2020.

MENDESIL, E; JEMBERE, B; SEYOUM, E; ABEBE, M. The biology and feeding behavior of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) and its economic importance in Southwestern Ethiopia. Proceedings of the 20th International Scientific Colloquium on Coffee, Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), Bali, Indonesia, 1209–1215. 2005.

MERA, V. Y. A; GALLEGU, R. M. C; ARMBRECHT, I. Interacciones entre hormigas e insectos en follaje de cafetales de sol y sombra, Cauca-Colombia **Revista Colombiana de Entomología** 36 (1): 116-126. 2010.

- MESSING, R. H. The coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) Invades Hawaii: preliminary investigation on trap response and alternate hosts. **Insects**, Geneva, Jul. /Aug v. 3, n. 3, p. 640-652. 2012.
- MORRIS, J. R.; PERFECTO, I. Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 233(3): 224–228. 2016.
- MORRIS, J. R.; JIMENEZ-SOTO, E.; PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I. Ant-mediated (Hymenoptera: Formicidae) biological control of the coffee berry borer: diversity, ecological complexity, and conservation biocontrol. **Myrmecol. News** 26, 1–17. 2018.
- NEWSON, J.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Differential effects of ants as biological control of the coffee berry borer in Puerto Rico. **Biological Control**, Volume 160. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104666>
- OLIVEIRA G. C.; DIAS JÚNIOR M. S.; RESCK D.V.S.; CURI, N. Structural changes and compressive behavior of a dystrophic clayey Red Latosol under different use and management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 38. 291-299. 2003.
- OLIVEIRA, C. M.; AUAD, A. M.; MENDES, S. M. E FRIZZAS, M. R., Economic impact of insect pest on Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**, vol. 137, no. 1-2, p. 1-15. 2013. <http://dx.doi.org/10.1111/jen.12018>.
- PÉREZ, H. Manejo de la broca del café en la República de Panamá. En: *La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques* (Barrera J. F, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, 33-36 pp. 2007.
- PERFECTO I.; RICE R. A.; GREENBERG R.; VAN DER VOORT, M. E. Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. **BioScience**. 46, 598–608. 1996.
- RAMÍREZ, M.; GONZÁLEZ, M.; BELLO, A.; ROMERO, S. Campaña nacional contra la broca del café en México: operación y perspectivas. En: *La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques* (Barrera J. F, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, 73-81 pp. 2007.
- REIS, P. R.; SOUZA, J. C.; VENZON, M. Manejo ecológico das principais pragas do cafeeiro. **Inf. Agropec**. 23, 83–99. 2002.
- RICCI, M. dos S. F.; ARAÚJO, M. do C. F.; FRANCH, C. M. de C. **Cultivo orgânico do café: recomendações técnicas**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. 101 p. 2002.
- ROJAS, M. Acciones y estrategias ante la broca del café en Costa Rica. En: *La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques* (Barrera J. F, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, 17-23 pp. 2007.
- SOUZA, M. S, C. A. D. TEIXEIRA, C. O. AZEVEDO, V. A. COSTA Y J. N. M. COSTA. Frecuencia de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae) em Cafezais da Amazônia Brasileira. **Neotropical Entomology**, 35: 560-562. 2006.
- SPONAGEL, K. W. La broca del café *Hypothenemus hampei* en plantaciones de café robusta en la Amazonía Ecuatoriana. *Agrar wissensch aften, Wissensch aftlicher Fachverlag, Giessen*, 185p. 1994.

- SUN, S.; WANG, Z.; LIU, A.; LAI, S.; WANG, J.; MENG, Q. First record of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) on Hainan Island, China. **Coleopterists Bull.** 74, 710–713. 2020. [doi: 10.1649/0010-065X-74.4.710](https://doi.org/10.1649/0010-065X-74.4.710)
- VARÓN, E.; HANSON, P.; BORBÓN, O.; CARBALLO, M.; HILJE, L. Potencial de hormigas como depredadoras de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Costa Rica. **Manejo integrado de Plagas y Agroecología** 73: 42-50. 2004.
- VÁZQUEZ, L. L.; MATIENZO, Y.; ALFONSO-SIMONETTI, J.; MORENO, D.; ÁLVAREZ, A. Diversidad de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en cafetales afectados por *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Fitosanidad** 13(3): 163-168. 2009.
- VÁZQUEZ, L. L.; ALFONSO-SIMONETTI, J.; RAMOS, Y.; MARTÍNEZ, A.; R. D. MORENO; MATIENZO, B. Y. Relaciones de *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con el suelo del cafetal como base para su manejo agroecológico. **Agroecología** 7: 81–90. 2012.
- VEGA, F. E.; G. MERCADIER; A. DAMON; A. KIRT. «Natural Enemies of the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Togo and Cote d Ivoire and Other Insects Associated with Coffee Beans», **African Entomology** 7 (2):243-248. 1999.
- VEGA, F. E.; INFANTE, F.; CASTILLO, A.; JARAMILLO, J. The coffee Berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. **Terrestrial Arthropod Reviews**, Washington, july/dec. v. 2, n. 2, p. 129-147. 2009.
- VEGA F. E.; SIMPKINS A.; BAUCHAN G.; INFANTE F.; KRAMER M.; LAND M. F. On the eyes of male coffee Berry borers as rudimentary organs. **PLoS One**, San Francisco, jan. v. 9, n.1, p. e85860. 2014.
- VEGA, F. E.; INFANTE, F.; JOHNSON, A. J. The Genus *Hypothenemus*, with Emphasis on *H. Hampei*, the Coffee Berry Borer, Bark Beetles. **Elsevier**, pp. 427–494. 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00011-3>
- VEGRO, C. L. R.; ALMEIDA, L. F. Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics. In: VEGRO, C.L.R.; ALMEIDA, L.F. Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil. São Paulo. Elsevier, cap 1, p.3-19. 2020.
- VOLSI, B.; TELLES, T.S.; CALDARELLI, C. E.; CAMARA, M. R. G. D. The dynamics of coffee production in Brazil. **PLoS ONE** 14 (7): e0219742. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219742>
- WEGBE, K.; CILAS, C.; DECAZY, B.; ALAUZET, C. DUFOURB. Estimation of production losses caused by the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) and calculation of an economic damage **Journal of Economic Entomology**, Volume 96, Issue 5, Pages 1473–1478. 2003. <https://doi.org/10.1093/jee/96.5.1473>

SEGUNDA PARTE - CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1

Assembleia de formigas em três sistemas de cultivo de café em Poço Fundo-MG, Brasil

Resumo

Os insetos compõem o grupo mais diverso do mundo. Nesse grupo, incluem-se as formigas, as quais encontram-se entre os organismos mais abundantes e com maior diversidade ecológica nas latitudes tropicais. Esses insetos são predadores eficientes e desempenham funções importantes na regulação populacional de outros artrópodes e pragas agrícolas em agroecossistemas. Em lavouras de café, as formigas respondem a diferentes práticas, compreendendo a diversificação do habitat e intensidade de manejo. Com este trabalho, nossos objetivos foram: (1) descrever as assembleias de formigas em três sistemas de cultivos de café, caracterizando a riqueza, a frequência e a composição das espécies; e (2) avaliar a relação de associação ou dependência da composição de espécies de formigas nesses sistemas de cultivos. O estudo foi realizado em 12 propriedades, sendo quatro áreas de café com manejo convencional ao sol, quatro com manejo orgânico ao sol e quatro com manejo orgânico sombreado, pertencentes à cooperativa de produtores familiares de Poço Fundo e região (COOPFAM). As amostragens foram realizadas na fase de formação dos frutos (maio de 2019) e fase pós-colheita (setembro de 2019), por meio de armadilhas do tipo (*pitfall traps*) e iscas atrativas (solução açucarada). As formigas coletadas foram identificadas ao menor nível taxonômico possível. No total, foram coletadas 65 espécies de formigas pertencentes a 32 gêneros e sete subfamílias, com 46 espécies registradas em armadilhas do tipo *pitfall traps* e 30 em iscas atrativas. A subfamília com maior número de táxons foi Myrmicinae, a qual apresentou uma frequência de captura de 49%, seguida de Formicinae com 18% e Ponerinae com 12%, para um total de 79% de toda a coleta. Conforme a análise para as *pitfall traps*, não houve diferença significativa na frequência das assembleias de formigas entre as fases fenológicas do cafeeiro (fase de formação dos frutos - fase pós-colheita), mas, houve diferença significativa entre os métodos de coleta (armadilhas do tipo *pitfall traps* e iscas). Para as iscas atrativas, houve diferença significativa entre as fases fenológicas e, também, entre os sistemas de cultivo. Este trabalho explora relatos sobre a mirmecofauna em diferentes sistemas de cultivo de café (orgânico sombreado, orgânico a pleno sol e convencional a pleno sol) do município Poço Fundo-MG. De forma geral, pode-se concluir que os diferentes manejos das lavouras de café, orgânico e convencional, seja sombreado ou ao sol, não apresentaram diferença em quanto a riqueza de espécies de formigas em ambos métodos de coletas, verifica-se que a análise One-way anova entre os tratamentos para as armadilhas do tipo *pitfall traps* ($F_{2,9} = 0.2575$; $p = 0.7784$) e para iscas atrativas ($F_{2,9} = 2.7551$, $p = 0.1165$); não tiveram diferença significativa, mas, diferiram significativamente quanto à frequência das espécies, parâmetro para ser considerado na comparação entre sistemas de cultivos estudados.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; Cultivo Convencional; Cultivo Orgânico; Formicidae; Café sombreado

Abstract

Insects make up the most diverse group in the world. This group includes ants, which are among the most abundant and ecologically diverse organisms in tropical latitude. These insects are efficient predators and play important roles in population regulation of other arthropods and agricultural pests in agroecosystems. In coffee plantations, ants respond to different practices, including habitat diversification and management intensity. With this work, our objectives were: (1) to describe ant assemblages in three coffee cropping systems, characterizing species richness, frequency and composition; and (2) to evaluate the association or dependence relationship of ant species composition in these cropping systems. The study was carried out in 12 properties, four coffee areas with conventional management in the sun, four with organic management in the sun and four with organic management in shade, belonging to the cooperative of family producers of Poço Fundo and region (COOPFAM). Sampling was carried out in the fruit formation phase (May 2019) and post-harvest phase (September 2019), using pitfall traps and attractive baits (sugar solution). The collected ants were identified to the lowest possible taxonomic level. In total, 65 species of ants belonging to 32 genera and seven subfamilies were collected, with 46 species recorded in pitfall traps and 30 in attractive baits. The subfamily with the highest number of taxa was Myrmicinae, which presented a capture frequency of 49%, followed by Formicinae with 18% and Ponerinae with 12%, for a total of 79% of the entire collection. According to the analysis for pitfall traps, there was no significant difference in the frequency of ant assemblages between the coffee phenological phases (fruit formation phase - post-harvest phase), but there was a significant difference between the collection methods (traps of the pitfall traps and lures). For the attractive baits, there was a significant difference between the phenological phases and also between the cropping systems. This work explores reports about the myrmecofauna in different coffee growing systems (shaded organic, organic in full sun and conventional in full sun) in the municipality of Poço Fundo-MG. In general, it can be concluded that the different managements of coffee plantations, organic and conventional, whether shaded or in the sun, showed no difference in terms of the richness of ant species in both collection methods, it appears that the analysis One-way anova between treatments for pitfall traps ($F_{2,9} = 0.2575$; $p = 0.7784$) and for attractive baits ($F_{2,9} = 2.7551$, $p = 0.1165$); had no significant difference, but differed significantly in terms of the frequency of species, a parameter to be considered in the comparison between the cropping systems studied.

Keywords: *Coffea arabica*; Conventional cultivation; Organic cultivation; Formicidae; Shaded coffee

1 INTRODUÇÃO

Os insetos compõem o grupo mais diverso do mundo. A maioria dos sistemas agrícolas e ecossistemas dependem ou são fortemente influenciados por eles (LOSEY e VAUGHAN, 2006; YANG e GRATTON, 2014). Nesse grupo, incluem-se as formigas, as quais encontram-se entre os organismos mais abundantes e com maior diversidade ecológica e específica nas latitudes tropicais (VILLAREAL et al., 2006; HÖLLDOBLER e WILSON, 2008). Na região Neotropical, são encontradas 13 subfamílias, 144 gêneros, 3.717 espécies e 357 subespécies (BOLTON, 2022). Esses insetos realizam diversas funções ecológicas nos diferentes ecossistemas terrestres, tais como predação, fitofagia, detritivoria (SANDFORD et al., 2008; DE LA MORA et al., 2013).

De acordo com Castracani et al. (2007), Lach et al. (2010) e Del Toro et al. (2012, 2015), as formigas podem atuar como engenheiras do ecossistema, sendo responsáveis por vários serviços e processos, pois utilizam diversos estratos de nidificação, possuem amplo espectro alimentar e estão associadas a inúmeras espécies de plantas e animais. Além disso, interagem em associações ecológicas de forma geral, influenciando a dinâmica populacional de um grande número de organismos (RIVAS et al., 2014; LANGE et al., 2015).

As formigas são consideradas indicadores ecológicos em programas de monitoramento e avaliação de mudanças no ecossistema (RIBAS et al., 2012), impacto ambiental (ANDERSEN et al., 2004), manejo em reservas naturais, manejo em áreas protegidas (TORO e ORTEGA, 2006; MITROVICH et al., 2010), sistemas agroflorestais, uso da terra (ARMBRECHT et al., 2005; RIVERA e ARMBRECHT, 2005), pastagem e queimadas (ANDERSEN, 1991; RATCHFORD et al., 2005). Ademais, participam na ciclagem de nutrientes, na sucessão vegetal e no controle biológico de pragas (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; MORRIS et al., 2018), constituindo-se em predadores eficientes e desempenhando funções importantes na regulação populacional de outros artrópodes, incluindo pragas em ambientes agrícolas (PHILPOTT e ARMBRECHT, 2006; KASPARI et al., 2011).

Agroecossistemas diversificados são tidos como responsáveis por aumentar a abundância de inimigos naturais e incrementar o controle de pragas (LANGELLOTTO e DENNO, 2004; BIANCHI et al., 2006). Esses ambientes fornecem refúgio, locais para nidificação, condições microclimáticas favoráveis e a presença de presas alternativas e outros recursos alimentares para os inimigos naturais (LANGELLOTTO e DENNO 2004; BIANCHI et al., 2006).

Nos agroecossistemas cafeeiros, as formigas respondem a diferentes práticas culturais de manejo, as quais envolvem a diversificação de habitats (ARMBRECHT e PERFECTO, 2003; PHILPOTT et al., 2008) e a intensidade das práticas adotadas (PHILPOTT et al., 2006; 2008). A presença de formigas como inimigos naturais que atuam no controle biológico em agroecossistemas de café tem sido estudada com relação ao besouro *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (LARSEN e PHILPOTT, 2010; GONTHIER et al., 2013; MORRIS et al., 2018). Em diversos países, espécies como *Solenopsis picea* Emery 1896, *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863), *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804), *Tetramorium bicarinatum* (Nylander 1846), entre outras, foram registradas como predadoras da broca-do-café (VÁZQUEZ et al., 2009; MERA et al., 2010; MORRIS et al., 2015, 2018).

Em plantações de café no Brasil, DA FONSECA e ARAUJO (1939) e BENASSI (1995) registraram a espécie *Crematogaster curvispinosa* Mayr, 1862 como regulador natural da broca-do-café, destruindo um número relativamente grande de formas imaturas de *H. hampei*. Mais recentemente, NEWSON et al. (2021) reportaram em cafeeiros em Porto Rico as espécies *Solenopsis invicta* Buren, 1972 e *W. auropunctata* como agentes na redução do dano e da sobrevivência da broca.

Na atualidade, o manejo da cafeicultura no Brasil se encontra em direção à sustentabilidade, visando utilizar o mínimo possível de agroquímicos. Apesar disso, o sistema convencional a pleno sol segue sendo a principal forma de condução das lavouras de café no país, onde a principal via de controle de pragas e doenças é baseada em aplicações de insumos químicos, ocasionando perda da biodiversidade, afetando, assim, direta ou indiretamente, os inimigos naturais nesses ambientes (TOMAZZELA, 2016). Além disso, os produtores ficam dependentes de recursos externos aumentando o custo de produção e inviabilizando a sustentabilidade do agroecossistema cafeeiro (THEODORO, 2001).

Por outra parte, a produção orgânica de café, fundamentada em princípios agroecológicos e de conservação de recursos naturais, vem aumentando, conhecendo-se, na região sul do estado de Minas Gerais, os sistemas orgânicos sombreados ou a pleno sol (RICCI; ARAÚJO; FRANCH, 2002).

Esses sistema de manejo, apesar de continuar sendo pouco representativos em relação ao convencional, vêm se tornando uma opção importante para os produtores devido à crescente procura de alimentos mais saudáveis, isentos de resíduos químicos e com menor risco para os agroecossistema (GIOMO, PEREIRA e BLISKA, 2007).

Por isso, as lavouras de café sombreadas e com pouco uso de produtos químicos podem fornecer um alto nível de biodiversidade, assegurando a presença de muitas espécies que são

inimigos naturais de pragas do café (JHA et al., 2014; PHILPOTT et al., 2008). Isso sugere que os cultivos de café podem ser sistemas ideais para a implementação do controle biológico conservativo ou natural (VANDERMEER et al., 2010). Essas lavouras têm demonstrado sustentar uma alta diversidade de formigas e outros artrópodes (PERFECTO et al., 1996, 2014; PHILPOTT et al., 2004). Por outro lado, alguns estudos revelam que a longevidade das formigas pode ser reduzida em sistemas convencionais de café a pleno sol, devido à alteração na luminosidade e na serapilheira (PERFECTO e VANDERMEER, 2002; ARMBRECHT et al., 2005).

Neste estudo, avaliamos a riqueza e a composição taxonômica de formigas associadas a três diferentes sistemas de manejo de lavouras de café. Nossa hipótese é de que a riqueza de espécies e sua diversidade em cultivos de café orgânico e sombreado diferem significativamente, em composição, das plantações de café convencionais e a pleno sol. Assim, nossos objetivos foram: a) caracterizar a assembleia de formigas em lavouras de café orgânico sombreado e pleno sol e lavouras de café convencionais a pleno sol, caracterizando a riqueza, frequência relativa e composição das espécies; e b) estabelecer a relação de associação ou dependência da composição de espécies de formigas nesses sistemas de cultivos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

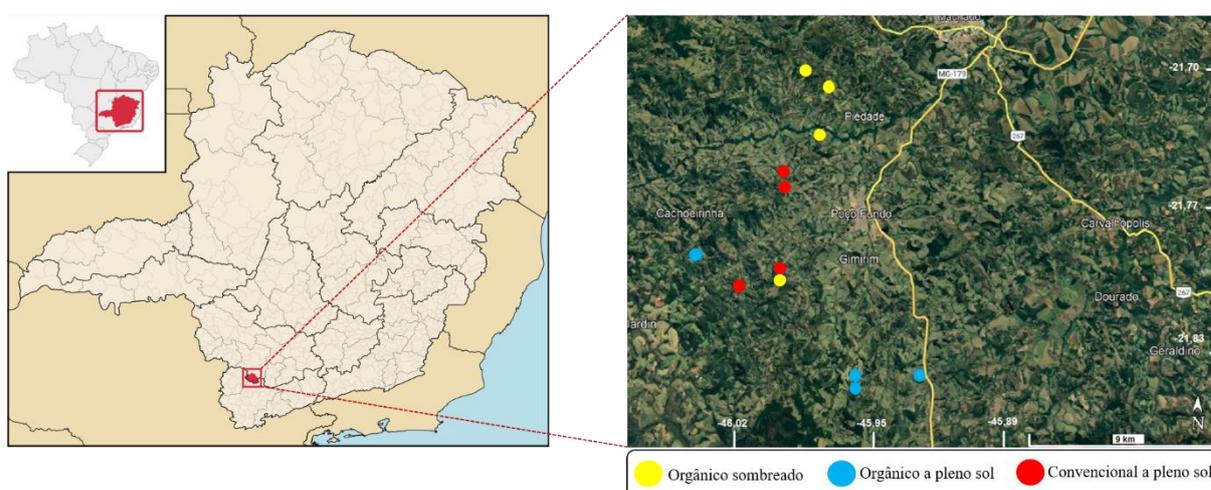
Este trabalho foi executado em 12 lavouras de café pertencentes a produtores associados à Cooperativa de Produtores Familiares de Poço Fundo e região (COOPFAM), localizadas no município de Poço Fundo (21°46'59" S, 45°57'13" W), MG, Brasil, e manejadas sob diferentes sistemas de produção: 1) orgânico sombreado (OSM); 2) orgânico a pleno sol (OSL) e 3) convencional a pleno sol (CSL). Para cada um dos sistemas estudados foram tomadas amostras de quatro propriedades (Figura 1).

As áreas de cultivo orgânico sombreado se caracterizam por propriedades com área entre 1-1,8 ha, cultivadas, principalmente, com as variedades de café Mundo novo, Icatu, Arara e Catuaí vermelho, adubados com farinha de carne e ossos e torta de mamona. Os principais consórcios são com plantas de banana (*Musa* spp.) e feijão guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. Para o sombreamento incluem-se plantas nativas da região como embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec.); cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem); mogno (*Swietenia macrophylla* King); ipês [*Handroanthus albus* (Cham.) Mattos, *Handroanthus impetiginosus*

(Mart. ex DC.) Mattos]; jacarandá (*Jacaranda mimosifolia* D. Don); peroba (*Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg.) e pereira (*Platycyamus regnellii* Benth.). O cultivo orgânico a pleno sol é representado por áreas um pouco maiores, entre 1,67- 4,4 ha, com as variedades Catucaí, Mundo Novo, Catuaí Amarelo e Acaiaí. Utilizam-se adubos orgânicos como a torta de mamona, farinha de carne e ossos e adubos verdes como crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth) e feijão guandu, *C. cajan*. As propriedades que pertencem a esses sistemas de produção, tanto sombreado como a pleno sol, possuem certificação orgânica participativa.

Por outro lado, o sistema de produção convencional é conduzido como monocultura à pleno sol, em áreas entre 1,4-4 ha, com as cultivares Catuaí vermelho e Mundo Novo, utilizando-se adubos sintéticos e herbicidas para o controle de ervas daninhas. Nos três sistemas de produção a temperatura média anual entre 20 a 30 °C, a umidade relativa do ar é, em média, de 60% e precipitação média anual é de 1.300 mm (INMET, 2019).

Figura 1 Distribuição das propriedades em Poço Fundo, MG, Brasil, conforme aos diferentes sistemas de produção. Orgânico sombreado (amarelo); orgânico a pleno sol (azul) e convencional a pleno sol (vermelho).



Fonte: Wikipedia e Google Earth© (2021)

2.2 Amostragem das formigas

As amostragens foram realizadas por meio de armadilhas do tipo *pitfall traps* e iscas atrativas (solução açucarada ao 2,5% P/V), em duas fases fenológicas da planta de café: 1) fase de formação dos frutos (maio de 2019) e, 2) fase pós-colheita (setembro de 2019). Na fase de formação dos frutos a temperatura média foi de 20 °C, com umidade relativa do ar de 74.26%

e precipitação pluvial de 95.6 mm. Já na fase pós-colheita a temperatura média foi de 21.7 °C, com umidade relativa do ar de 61.84% e precipitação pluvial de 91.2 mm. (INMET, 2019).

Efetuaram-se quatro repetições por tratamento, para um total de 12 propriedades; sendo quatro áreas de café com manejo orgânico sombreado, quatro orgânico a pleno sol e quatro convencional a pleno sol (Tabela 1).

Tabela 1 - Localização geográfica, altitude (m) e área (ha) das propriedades de produção de café sob os diferentes sistemas de cultivo: OSM= orgânico sombreado; OSL= orgânico a pleno sol; CSL= convencional a pleno sol. Ano 2019. Poço Fundo, MG.

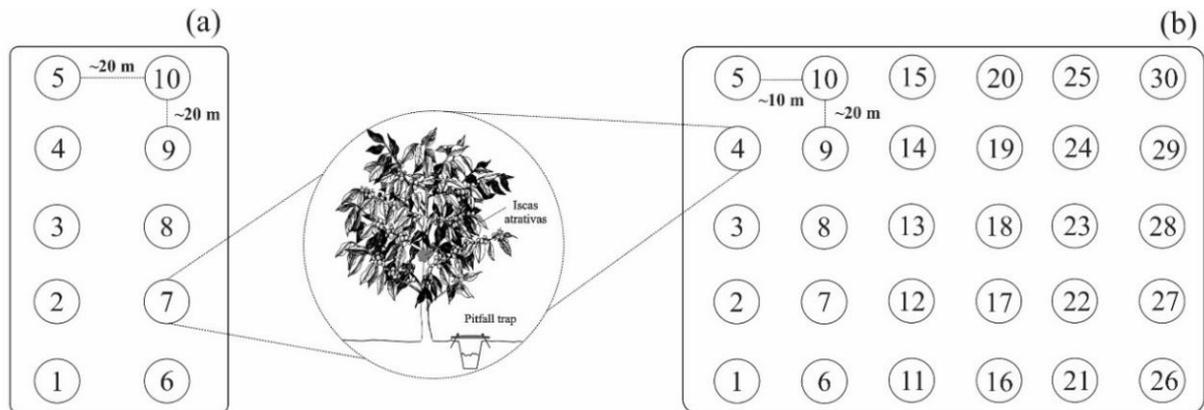
Tratamentos	Coordenadas	Altitude	Área
OSM	1) 21°44'43.09"S 45°59'20.65"W	980	1,80
	2) 21°42'43.32"S 45°59'53.96"W	1000	1,60
	3) 21°43'08.65"S 45°59'14.04"W	910	1,00
	4) 21°48'40"S 46°00'10"W	1040	1,70
OSL	1) 21°51'25.65"S 45°57'57.03"W	1200	1,67
	2) 21°51'08.29"S 45°57'56.42"W	1030	2,49
	3) 21°50'58.09"S 45°56'08.05"W	930	3,33
	4) 21°48'04"S 46°02'42"W	1100	4,40
CSL	1) 21°46'09"S 46°00'11"W	1080	3,00
	2) 21°49'00"S 46°0'23"W	1000	1,50
	3) 21°45'44"S 46°00'16"W	900	4,00
	4) 21°48'34"S 46°00'23"W	1000	1,40

Fonte: da autora (2021)

A avaliação da comunidade de formigas epígeas em cada sistema de cultivo foi realizada mediante uma coleta passiva utilizando armadilhas do tipo *pitfall traps* instaladas em dois transectos de, aproximadamente, 100 m de comprimento. Em cada transecto foram definidos cinco locais de amostragem separados por uma distância mínima de 20 m (Figura 2a), sempre iniciando da borda em direção ao centro. Para as amostragens das formigas que nidificam e/ou forrageiam na planta, foram realizadas coletas ativas mediante o uso de iscas atrativas (solução açucarada) e, para isso, foram estabelecidos seis transectos separados por uma distância mínima

de 10 m entre si. Em cada um deles foram selecionadas cinco plantas ao acaso, com uma distância de 20 m entre si, nas quais foram colocadas as iscas, totalizando em 30 iscas por sistema de cultivo (Figura 2b).

Figura 2 Distribuição das estações de amostragem instaladas em cada um dos sistemas de cultivo de café: a) armadilhas do tipo *pitfall traps*; b) iscas atrativas (solução açucarada).



Fonte: da autora (2021)

As armadilhas do tipo *pitfall traps* consistiram de frascos plásticos transparentes, com volume para 1000 ml (15 cm de diâmetro por 10 cm de profundidade), os quais foram preenchidos em 1/3 (~400 ml) com água, 5 gramas de detergente (para quebrar a tensão superficial da água) e solução salina a 1% para atuar como conservante e possível atrativo dos insetos no campo (RIBAS et al., 2003 e LASMAR et al., 2017). As tampas dos frascos foram suspensas por um palito de madeira de modo a formar uma proteção contra chuva e entrada de detritos na armadilha (Figura 3a). Após instaladas, as armadilhas foram deixadas em campo por dois dias, somando um esforço amostral de 48 horas/armadilha. As iscas atrativas consistiram de um pedaço de algodão de 5 por 4 cm, aproximadamente, embebido em solução açucarada até atingir um peso de 20g. A solução açucarada foi composta pela mistura de 500 g de açúcar comum (açúcar cristal) para dois litros de água, simulando uma fonte de carboidrato para a captura de operárias de formigas (Figura 3b). As iscas permaneceram em campo por 30 minutos.

Figura 3 Armadilhas instaladas em cada um dos sistemas de cultivo de café: a) armadilhas do tipo *pitfall traps*; b) iscas atrativas (solução açucarada).



Fonte: da autora (2019)

2.3 Identificação do material

Após o recolhimento das armadilhas, todo o material foi transferido para frascos plásticos identificados e levados para o Departamento de Entomologia (DEN), Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Em laboratório, realizou-se a separação e classificação dos indivíduos em morfoespécies, conservando-os em frascos contendo álcool etílico a 70%. Posteriormente, realizou-se a montagem em alfinete entomológico e identificação até o nível de gênero utilizando-se as chaves de Baccaro et al. (2015). Consecutivamente, representantes das morfoespécies foram identificadas ao menor nível taxonômico possível pelo Dr. Rodrigo M. Feitosa, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR. Os espécimes identificados serão depositados no Centro de Coleções da UFLA, Lavras, MG, e na coleção entomológica Padre Jesus Santiago Moure, em Curitiba.

2.4 Análise de dados

Efetivou-se uma análise descritiva da composição taxonômica das espécies e subfamílias dos espécimes de formigas representados e realizou-se uma análise de riqueza de espécies e frequência relativa (presença/ausência) dos táxons nos diferentes sistemas de cultivo de café. Com os dados de riqueza de espécies referentes a cada tratamento foram calculadas as curvas de rarefação de Coleman. O nível de completude das amostragens foi determinado por meio do estimador de riqueza de espécie não-paramétrico Bootstrap, que prediz o número possível

de espécies presentes, embora não detectadas, nas amostras. A análise de Bootstrap estima, iterativamente, a riqueza de espécies a partir da proporção de amostras nas quais cada espécie é encontrada (GOTELLI e CHAO, 2013). A diversidade das assembleias de formigas foi analisada através do índice de Shannon-Wiener (H').

Para verificar diferenças entre a composição das assembleias de formigas e os tratamentos, se realizou uma análise multivariada permutacional de variância (PERMANOVA, ANDERSON, 2001) usando a medida de Bray-Curtis e 1000 permutações. A função 'Adonis' no pacote vegan (OKSANEN et al., 2013) foi usada para PERMANOVA. Uma análise de ordenação (NMDS) foi empregada para representar os resultados da análise PERMANOVA, utilizando a medida de Bray-Curtis para a ordenação.

A frequência relativa de captura foi analisada por um modelo linear generalizado com distribuição Quasipoisson. Para determinar o efeito dos tratamentos, utilizou-se um teste qui-quadrado da razão de verossimilhança seguido de comparações pelo teste de Bonferroni ($p = 0,05$). A qualidade do ajuste foi determinada por meio de um gráfico semi-normal com um envelope de simulação. Foi aplicado um teste de porcentagem de dissimilaridade SIMPER usando uma matriz de medida Bray-Curtis e 1000 permutações (CLARKE, 1993), que permite determinar quais espécies mais contribuíram pelas diferenças. A análise SIMPER fornece um percentual de dissimilaridade entre os tratamentos e uma descrição da contribuição de cada espécie para tal dissimilaridade. As análises foram executadas através do programa R 4.0 (R Core Team, 2020), sendo utilizado o pacote Vegan (OKSANEN et al., 2020).

3 RESULTADOS

3.1 Estimativas de riqueza e composição taxonômica das assembleias de formigas

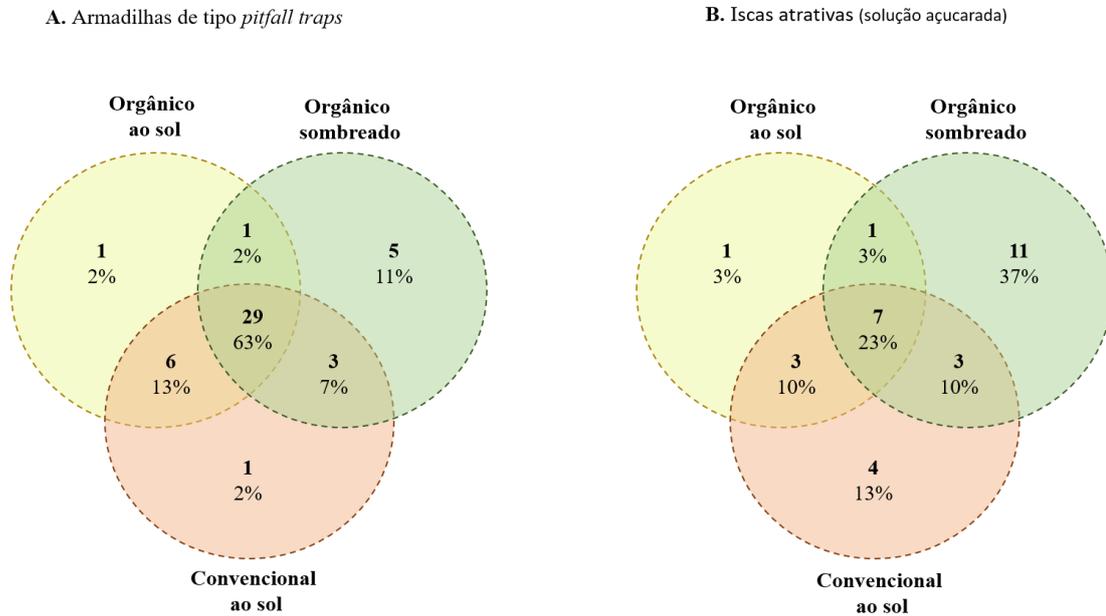
No total, foram coletadas 65 espécies de formigas pertencentes a 32 gêneros e sete subfamílias, com 46 espécies registradas em armadilhas do tipo *pitfall traps* e 30 em iscas atrativas. A subfamília com o maior número de táxons foi Myrmicinae, com 16 gêneros e 32 espécies, para uma frequência de captura de 49%, seguida pela subfamília Formicinae, com quatro gêneros e 12 espécies, para uma frequência de captura de 18%, e Ponerinae com quatro gêneros e oito espécies, com frequência de captura de 12%, totalizando 79% de todos os táxons representados nas coletas. As subfamílias com menor representatividade foram Ectatomminae (8%), Pseudomyrmecinae (6%), Dolichoderinae (5%) e, por último, Dorylinae (2%), as quais totalizaram 21% dos taxons coletados (Apêndice A, Tabela 2).

Das sete subfamílias representadas nas amostragens, Ectatomminae, Ponerinae e Dorylinae foram coletadas somente em armadilhas pitfall. Os gêneros de formigas com maior riqueza, considerando-se ambos os métodos de coleta, foram *Pheidole* (10 espécies), *Camponotus* (6 espécies) e *Crematogaster* (5 espécies) (Apêndice A, Tabela 2).

As espécies com maior frequência em *Pitfall traps* foram *Pheidole oxyops* Forel, 1908, *Pheidole* sp. 6, *Pheidole* sp. 7, *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758), *Camponotus melanoticus* Emery, 1894, *Holcoperona striatula* (Mayr, 1884) e *Linepithema neotropicum* Wild, 2007. Nas iscas atrativas, *Crematogaster* compl. *crinosa* sp. 1 Mayr, 1862, *Cephalotes pusillus* (Klug, 1824) e *Camponotus (Myrmobrachys) crassus* Mayr, 1862 foram as espécies com maior frequência (Apêndice A, Tabela 2).

Com relação ao efeito do manejo das lavouras, verificou-se que os três sistemas de cultivo em conjunto somaram o maior número total de espécies (29) representadas nas armadilhas Pitfall, seguidos pelos sistemas orgânico e convencional a pleno sol, os quais somaram 6 espécies. No sistema orgânico sombreado registrou-se o maior número de espécies exclusivas (5 de 46), em comparação com orgânico e convencional a pleno sol, com uma espécie para cada um deles (Figura 4a). Para as iscas atrativas, observou-se que 11 das 30 espécies representadas foram exclusivas ao sistema orgânico sombreado, ao passo que o orgânico e convencional a pleno sol foram representados por uma e quatro espécies, respectivamente (Figura 4b).

Figura 4 Diagramas da distribuição de espécies compartilhadas entre os sistemas de cultivo de café (orgânico sombreado, orgânico a pleno sol e convencional a pleno sol), por armadilhas: a) armadilhas do tipo *pitfall traps*; b) iscas atrativas (solução açucarada).

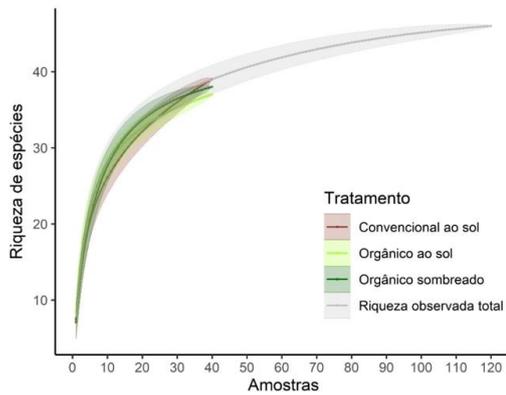


Fonte: da autora (2021)

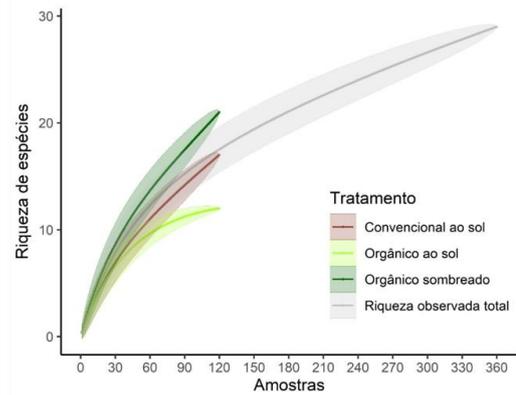
Observou-se uma tendência à assíntota na curva de acumulação de espécies representadas nas armadilhas do tipo *pitfall traps*, com uma riqueza observada total de 46 espécies. Para as formigas coletadas por meio das iscas atrativas, com 30 espécies identificadas, verificou-se que as curvas continuam ascendentes, não atingindo a assíntota, exceto no sistema orgânico a pleno sol (OSL), que apresentou certa tendência à assíntota (Figuras 5 a, b, respectivamente). Para as armadilhas do tipo *pitfall traps*, o tratamento convencional a pleno sol (CSL) acumulou maior riqueza de espécies (39), seguido pelo tratamento orgânico sombreado (OSM) (38) e orgânico a pleno sol (OSL) (37), sem diferenças significativas entre eles, de acordo com a curva de rarefação (Figura 5a). Para as iscas atrativas, o tratamento que apresentou maior riqueza foi o OSM, com 21 espécies, seguido pelo CSL (17) e OSL (12). Para esse método de coleta, observou-se que os sistemas OSM e OSL tendem a se separar do CSL (Figura 5b).

Figura 5 Curvas de rarefação de Coleman com intervalos de confiança de 95% para a riqueza de espécies obtida nos sistemas de cultivo de café: orgânico sombreado (linha verde escuro), orgânico a pleno sol (linha verde claro), convencional a pleno sol (linha vermelha), com as armadilhas: a) de tipo *pitfall traps*; b) iscas atrativas (solução açucarada). A linha cinza representa a soma total das espécies coletadas nos três sistemas.

A. Curvas de rarefação de Coleman para *pitfall traps*



B. Curvas de rarefação de Coleman para iscas atrativas



Fonte: da autora (2021)

Conforme o estimador de riqueza utilizado, a riqueza de espécies estimada para as áreas de café amostradas não se mostrou muito acima da riqueza observada, para ambos os métodos de coleta (Apêndice A, Tabela 2). Ainda que estáveis, as curvas mostram uma tendência de crescimento da riqueza de espécies (Figuras 6 a, b). Analisando as curvas de suficiência amostral obtidas pelo estimador de riqueza de espécies não-paramétrico, baseado na incidência (Bootstrap), constata-se que as curvas são ascendentes e não atingem a assíntota, ainda que haja uma tendência de atingi-la (Figuras 6 a, b).

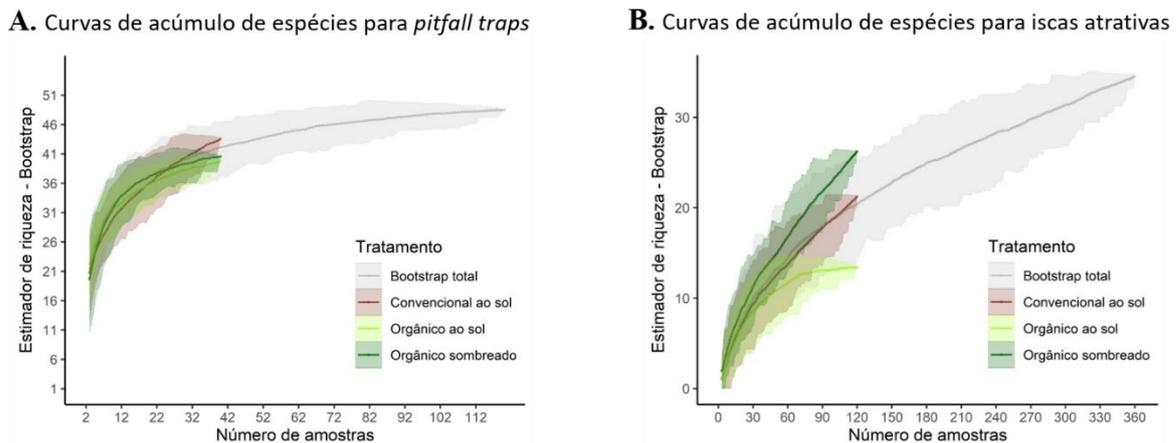
No nível da comunidade de formigas com as curvas de acumulação de espécies para as armadilhas do tipo *pitfall traps*, o índice de Bootstrap indicou uma eficiência de amostragem de 95% (46 espécies observadas), obtendo-se como número esperado 48.50 espécies (Apêndice A, Tabela. 2). Já nas iscas atrativas a suficiência amostral segundo o índice de Bootstrap foi de 87% (30 espécies observadas), com um número esperado de 34.56.

Posteriormente, analisamos o comportamento de nossos tratamentos (OSM, OSL e CSL), e foi observado que as curvas nas armadilhas do tipo *pitfall traps* não diferem umas das outras (Figura 6 a). Ao realizar um teste de normalidade Shapiro-Wilk e verificar que os dados da riqueza esperada pelo estimador Bootstrap estão normalmente distribuídos, verifica-se que a análise entre os tratamentos One-way anova; $F_{2,9} = 0.2575$; $p = 0.7784$); não tiveram

diferença significativa. A suficiência amostral nos tratamentos foi de (94% - OSM), (93% - OSL) e (89% - CSL).

Com as iscas atrativas foi obtido um resultado similar, não revelando diferenças significativas segundo anova; $F_{2,9} = 2.7551$, $p = 0.1165$ (Figura 6 b). A suficiência amostral nos tratamentos foi de (84% - OSM), (90% - OSL) e (80% - CSL), indicando que o esforço de amostragem foi adequado em cada sistema e para cada método de coleta.

Figura 6 - Curvas de acúmulo de espécies obtidas pelo estimador de riqueza Bootstrap para os sistemas de cultivo de café: orgânico sombreado (verde escuro), orgânico a pleno sol (verde claro), convencional a pleno sol (vermelho), com as armadilhas: a) do tipo *pitfall traps*; b) iscas atrativas (solução açucarada). A linha cinza representa a soma total das espécies coletadas nos três sistemas.



Fonte: da autora (2021)

O índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') tende a ser maior para o sistema convencional a pleno sol (CSL), para as *pitfall traps* (Apêndice A, Tabela 2). Assim, verificou-se que a análise One-way anova ($F_{2,9} = 0.018$; $p = 0.9813$) realizada para as *pitfall traps* não revelou diferenças significativas entre os tratamentos.

Para as iscas atrativas, os dados de H' tende a ser maior para o sistema orgânico sombreado (OSM). Igualmente, segundo a One-way anova ($F_{2,9} = 1.768$; $p = 0.2490$) não verificam-se diferenças significativas entre os tratamentos.

3.2 Relação de associação ou dependência da composição das assembleias de formigas com os diferentes sistemas de cultivo de café

A frequência total das assembleias de formigas amostradas nas armadilhas do tipo *pitfall traps* não diferiu de forma significativa (GLM; $\chi^2=4.47$, d.f.=2, $p=0.10$) entre as duas fases fenológicas (formação dos frutos e pós-colheita) e também não foi afetada pelo sistema de manejos dos cafezais (GLM; $\chi^2=1.56$, d.f.=1, $p=0.21$). Para as iscas atrativas, também não houve diferença significativa (GLM; $\chi^2=0.65$, d.f.=1, $p=0.41$) entre a frequência das espécies representadas e as fases de amostragem (formação dos frutos e pós-colheita), no entanto, houve diferença significativa decorrente do sistema de manejo das lavouras (GLM; $\chi^2=6.00$, d.f.=2, $p<0.01$).

Pela análise de Permanova utilizando Bray-Curtis, observou-se que, para as armadilhas do tipo *pitfall traps*, não houve diferença significativa (Permanova, Bray – Curtis; $F_{1,17} = 0.7634$; $p = 0.64$) na composição das assembleias de formigas entre as fases fenológicas, mas houve diferença significativa entre os tratamentos ($F_{1,17} = 1.9190$; $.p < 0.01$). Para as iscas atrativas, houve diferença significativa entre as fases fenológicas (Permanova, Bray-Curtis; $F_{1,13} = 3.327$; $.p < 0.001$) e, também, entre os tratamentos (Permanova, Bray-Curtis; $F_{2,13} = 1.858$; $.p < 0.01$).

Tendo sido observada diferenças significativas, foi realizada uma análise multivariada por grupos, com a função Adonis2, par a par, entre tratamentos e coletas, para verificar qual condição foi a responsável pelas diferenças significativas na composição das espécies. Confrontando-se os dados obtidos nas armadilhas do tipo *pitfall traps* para os tratamentos CSL-OSL não foram detectadas diferenças (Permanova, Bray-Curtis; $F_{1,14} = 1.4553$; $.p = 0.14$), mas, para os tratamentos CSL-OSM ($F_{1,14} = 2.058$; $.p < 0.01$) e OSL-OSM ($F_{1,14} = 2.8213$; $.p < 0.001$) as análises registraram diferenças significativas entre os tratamentos.

Quando realizada a análise confrontando pares de tratamentos e fases fenológicas para dados obtidos com as iscas atrativas, observou-se o mesmo resultado verificado para as *pitfall traps*, ou seja, o par de tratamentos que envolveram sistemas mantidos a pleno sol não diferiram de forma significativa entre si CSL-OSL (Permanova, Bray-Curtis; $F_{1,11} = 0.8899$; $.p = 0.54$). Ao contrastar os tratamentos CSL-OSM ($F_{1,11} = 2.7434$; $.p < 0.01$) e OSL-OSM ($F_{1,9} = 2.2106$; $.p < 0.01$) foram constatadas diferenças entre eles.

A análise de SIMPER efetuada para os dados obtidos com as armadilhas do tipo *pitfall traps* revelou que 15 espécies foram as principais contribuintes para a dissimilaridade entre os

três sistemas de cultivo, respondendo por 32,60% de dissimilaridade acumulada (Apêndice B, Tabelas 3, 4 e 5). A análise pelo contraste confirmou que a espécie que mais contribuiu para a dissimilaridade entre os sistemas CSL–OSL foi *Dorymyrmex brunneus* Forel, 1908, com 3,0% ($p < 0.001$) (Apêndice, Tabela 3). Para os sistemas CSL–OSM, houve a contribuição de nove espécies para a diferenciação entre eles: *Solenopsis nr. invicta* Buren, 1972, *Linepithema neotropicum* Wild, 2007, *Camponotus rufipes* (Fabricius, 1775), *Acromyrmex coronatus* (Fabricius, 1804), *Tetramorium simillimum* (Smith, F., 1851), *Brachymyrmex nr. heeri* Forel, 1874, *Pheidole tristis* (Smith, F., 1858), *Hypoponera* sp. 2, *Typhlomyrmex lavra* Lattke, 2002. Entre elas, *T. simillimum*, exclusiva do sistema OSM, foi a que mais contribuiu (0,9%; $p < 0.001$) (Apêndice B, Tabela 4). Por outro lado, os sistemas orgânicos (OSL–OSM) revelaram seis espécies, *D. brunneus*, *Holcaponera striatula* (Mayr, 1884), *Pachycondyla striata* Smith, F., 1858, *Camponotus ager* (Smith, F., 1858), *Cyphomyrmex minutus* Mayr, 1862 e *Neoponera verenae* (Forel, 1922), entre as quais, *D. brunneus*, com 3% de contribuição média ($p < 0.001$), e *P. striata*, com 2,9% ($p < 0.001$), foram as que mais afetaram os resultados (Apêndice B, Tabela 5)

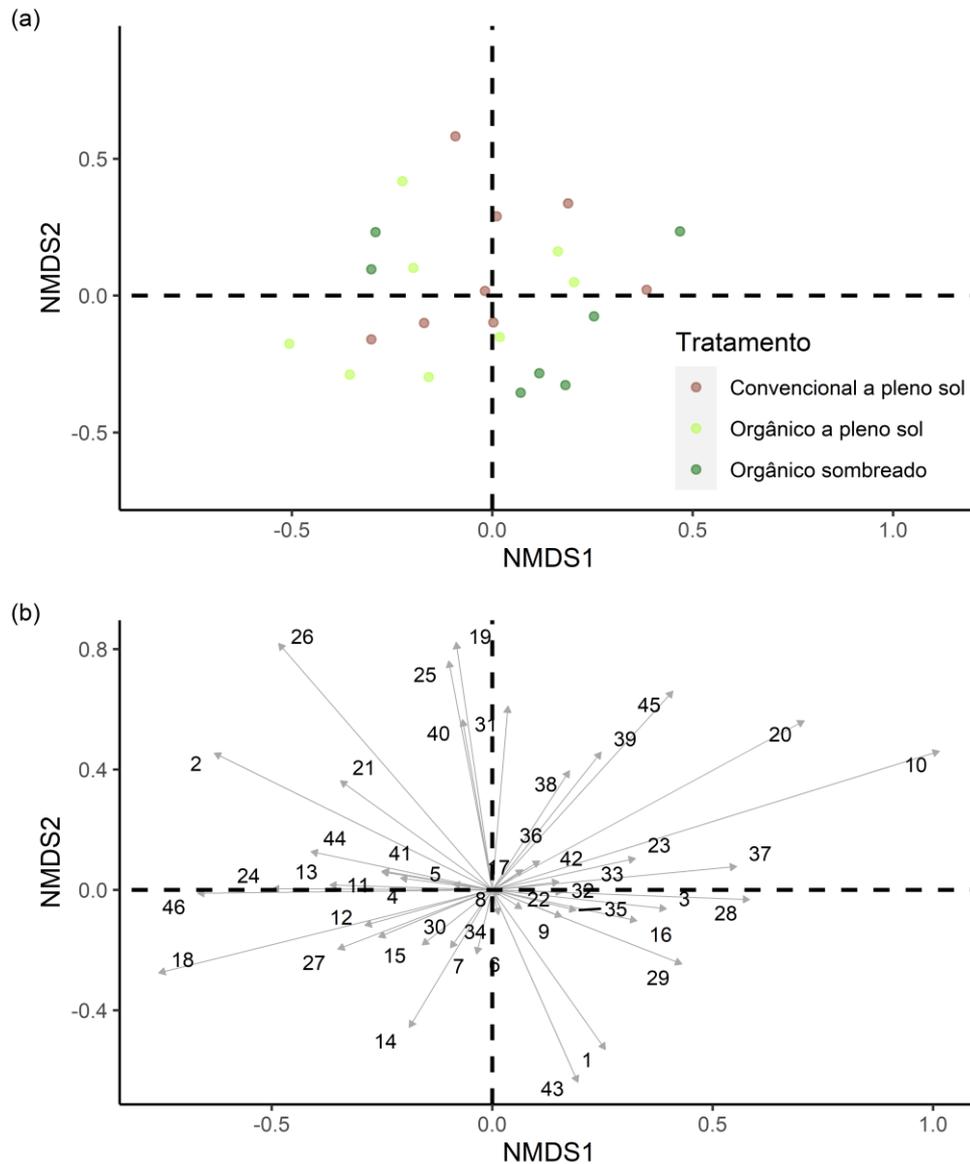
A análise de SIMPER para dados obtidos com as iscas atrativas revelou que cinco espécies foram responsáveis por 17% da dissimilaridade entre os períodos de coleta, sendo elas: *Camponotus (Myrmobrachys) crassus* Mayr, 1862, *Cephalotes pusillus* (Klug, 1824), *Solenopsis* sp. 2, *Pheidole triconstricta* Forel, 1886 e *Pheidole* sp. 3. Entre elas, *Solenopsis* sp. 2 foi a que mostrou maior contribuição (8,9%; $p = 0.005$), evidenciando maior abundância média no início da entressafra (Apêndice B, Tabela 6).

Com relação aos dados obtidos para os sistemas CSL-OSL com as iscas atrativas, verificou-se que três espécies foram as responsáveis por contribuir com a dissimilaridade: *P. triconstricta*, *D. brunneus* e *Camponotus (Myrmobrachys) novogranadensis* Mayr, 1870, com 10% do total de espécies amostradas. Entre elas, uma foi a mais importante, *P. triconstricta*, com 9% ($p = 0.01$) (Apêndice B, Tabela 7). Para os sistemas OSL-OSM, apenas uma espécie, *Crematogaster compl. crinosa* sp.1 Mayr, 1862, contribuiu de forma mais significativa, com 12,1% e $p = 0.004$ (Apêndice B, Tabela 8). Para o par de sistemas CSL-OSM, foram 11 as espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade: *C. crinosa* sp.1, *Camponotus sericeiventris* (Guérin-Méneville, 1838), *Nesomyrmex schwebeli* (Forel, 1913), *Crematogaster* sp. 1, *Myrmelachista nr. rudolphi* Forel, 1903, *Pseudomyrmex schuppi* (Forel, 1901), *Nesomyrmex nr. asper* (Mayr, 1887), *Pheidole gertrudae* Forel, 1886, *Pheidole* sp. 4, *Pseudomyrmex gr. pallidus* sp. 1 (Smith, F., 1855) e *Pseudomyrmex gr. pallidus* sp. 2 (Smith, F., 1855), com 37% do total de espécies. Entre elas, duas foram as mais importantes, *C. crinosa*

sp.1, com 14,7% ($p < 0.001$) e *C. sericeiventris*, com 2,2% ($p = 0.009$) (Apêndice B, Tabela 9). A espécie *C. crinosa* sp.1 foi a que mais contribuiu nos pares de tratamentos OSL - OSM e CSL - OSM, mostrando maior abundância média no sistema OSM.

Pela análise NMDS (Escalonamento Multidimensional Não-Métrico), utilizada para as espécies representadas nas armadilhas do tipo *pitfall traps*, pode-se demonstrar, graficamente, que os sistemas foram similares (Figura 7). Observa-se que os pontos correspondentes a cada um deles, em sua maioria, não formam agrupamentos bem definidos, com exceção do sistema orgânico sombreado (verde escuro), que possibilitou melhor agrupamento. O teste Permanova, Bray-Curtis, comprovou o demonstrado pelo NMDS, pois observou-se diferença significativa na similaridade da composição das assembleias de formigas em função do tipo de sistema de cultivo do café ($F_{1,13} = 1.9190$; $p < 0.01$) (Figura 7 a). A distribuição das espécies como vetores, sem a nuvem de pontos, é apresentada na Figura 7 b. Observou-se que as espécies de formigas *S. eggersi* (43), *C. rufipes* (9), *Pheidole* sp. 7 (35), *Odontomachus meinerti* Forel, 1905 (29) e *A. coronatus* (1) tendem a ser mais abundantes ou únicas no sistema OSM.

Figura 7 Ordenação por escalonamento não-métrico (NMDS) utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis, baseada na frequência das formigas amostradas nas *pitfall traps*. Associação entre as espécies representadas nas coletas, independentemente do sistema, e associações obtidas nas coletas realizadas nos sistemas orgânico sombreado (verde escuro), orgânico a pleno sol (verde claro) e convencional a pleno sol (vermelho) e as assembléias de formigas amostradas. Stress: 0.26

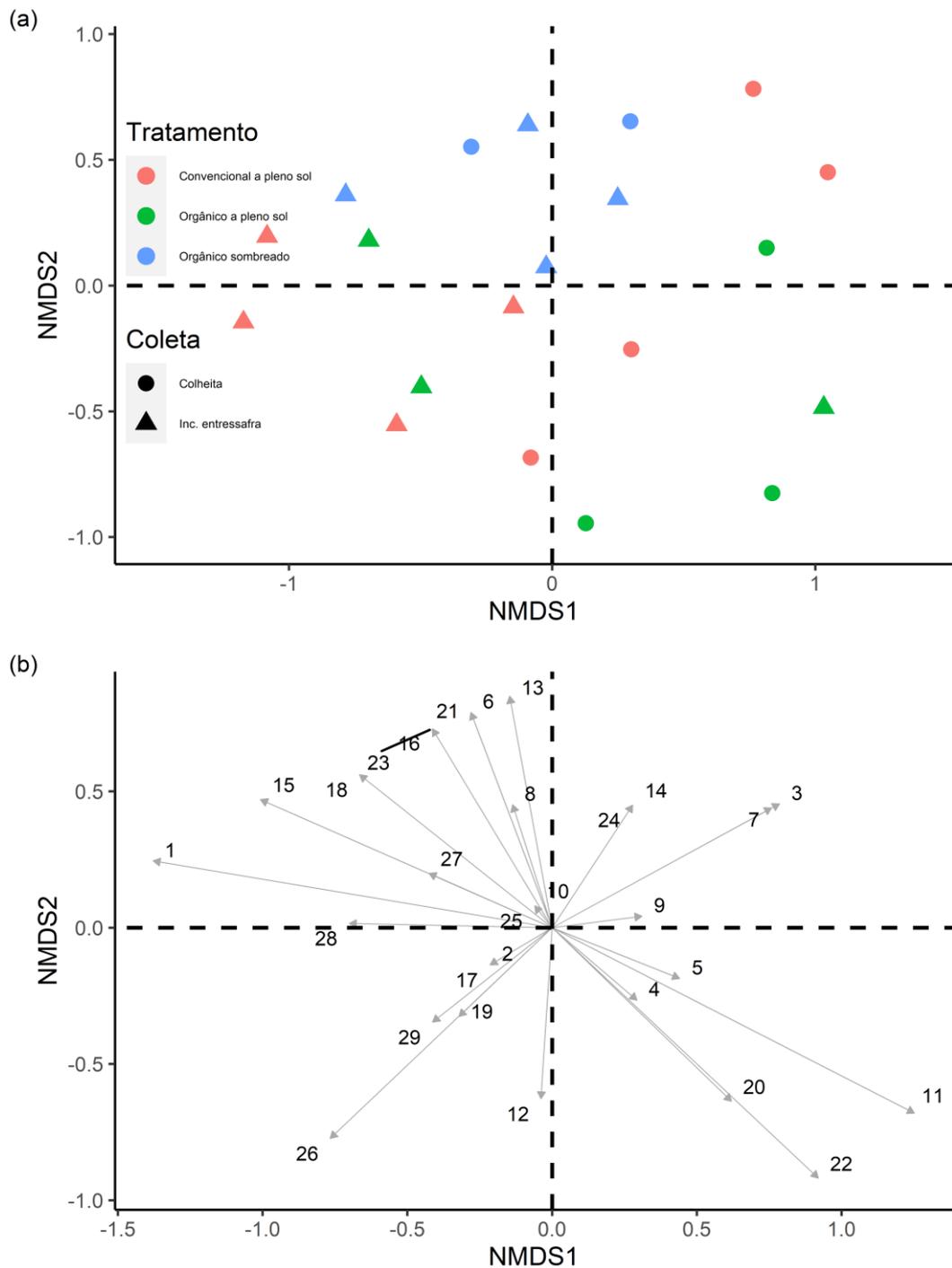


Fonte: da autora (2021)

Para as espécies representadas nas amostragens realizadas por meio das iscas atrativas, a análise NMDS mostrou que os pontos das coletas formam agrupamentos bem definidos, resultado que corrobora aquele obtido por meio da Permanova, Bray-Curtis ($F_{1,13} = 3.327$; $p < 0.001$). Com relação aos sistemas de condução das lavouras, também demonstrou-

se, graficamente, diferenças quanto à composição das assembleias de formigas (Permanova, Bray-Curtis; $F_{1,13} = 1.858$; $p < 0.01$). Percebe-se que o sistema orgânico sombreado diferencia-se dos outros dois sistemas, conduzidos a pleno sol (convencional e orgânico), os quais não se diferenciam de forma marcante quanto à composição das espécies (Figura 8 a). Observa-se na Figura 8 b que a distribuição das espécies não é uniforme e, analisando o local de maior concentração de espécies, constata-se que grande parte corresponde a espécies únicas ou com maior abundância no sistema orgânico sombreado (OSM).

Figura 8 Ordenação por escalonamento não-métrico (NMDS) utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis, baseada na frequência das formigas amostradas nas iscas atrativas (solução açucarada). Associação entre as espécies representadas nas coletas, independentemente do sistema, e associações obtidas nas coletas realizadas nos sistemas orgânico sombreado (azul), orgânico a pleno sol (verde) e convencional a pleno sol (vermelho) e as assembléias de formigas amostradas. Stress: 0.15



4 DISCUSSÃO

4.1 Estimativas de riqueza e composição taxonômica das assembleias de formigas

O esforço amostral foi adequado em ambos os métodos de coletas, pois o total de espécies estimadas para cada sistema de cultivo foi próximo ao observado. Independentemente do sistema, as *pitfall traps* indicaram uma eficiência de amostragem de 95% (46 espécies) e as iscas atrativas de 87% (30 espécies). Observou-se que as *pitfall traps* proporcionaram maior número e maior frequência total de espécies coletadas, o que pode ser decorrente do fato de o esforço amostral das *pitfall traps* ter sido de 48 horas e ser um método de amostragem que proporciona uma captura satisfatória de maior número de formigas. Isso, aumenta a probabilidade de coleta de maior número de espécies, bem como de maior número de indivíduos coletados, como constatado por Lasmar et al. (2017). Por outra parte, as iscas atrativas por meio de solução açucarada são caracterizadas por atraírem espécies que geralmente, se especializam nesse tipo de recurso. Porém, comparações entre os métodos de coleta não foram objeto do nosso estudo e estes foram utilizados com a finalidade de se complementarem visando conhecer a riqueza de espécies, tanto epígeas como aquelas que nidificam e/ou forrageiam na planta, nos sistemas de cultivo estudados.

Considerando-se o total de táxons representados, foram constatadas sete subfamílias entre as 13 conhecidas para o Brasil, sendo Myrmicinae, Formicinae e Ponerinae aquelas que agruparam maior número de espécies. Essas três subfamílias, nesta mesma ordem, são as mais ricas em número de espécies no Brasil, agrupando 74% da mirmecofauna nacional (BOLTON, 2021). Em pesquisas realizadas em áreas de floresta nativa, cultivo agrícola e pastagem, por Albuquerque e Diehl (2009) e Fleck et al. (2015), as subfamílias com maior número de táxons também foram Myrmicinae, seguida por Formicinae e Ponerinae. Resultados similares foram obtidos em vários estudos locais realizados em diferentes países neotropicais como México, Estados Unidos, Colômbia e Brasil (ROJAS, 2001; WILSON e HÖLLDOBLER, 2005; DEL TORO et al., 2009; GUERRERO E SARMIENTO, 2010, CHANATÁSIG-VACA et al., 2011, OLIVEIRA et al. (2016).

Espécies de Myrmicinae apresentam diversos comportamentos de forrageamento e de nidificação, podendo ser onívoras, predadoras generalistas ou especialistas, coletoras de sementes e cultivadoras de fungos (HÖLLDOBLER e WILSON, 2008). Ademais, podem apresentar associação com plantas ou, até mesmo, com outras formigas, e algumas espécies causam danos à agricultura (gêneros *Atta* e *Acromyrmex*) e à saúde pública (gênero *Solenopsis*);

por outro lado, há espécies que são importantes no controle natural de pragas agrícolas (gêneros *Solenopsis* e *Pheidole*) (SUGUITURU et al., 2015, ABEIJON et al., 2019). Em nosso estudo, Myrmicinae foi a subfamília mais bem representada quanto à riqueza de espécies associada ao sistema orgânico sombreado. Uma hipótese para essa maior representatividade pode estar relacionada ao fato de o sistema orgânico sombreado conter maior quantidade de serrapilheira. Mas, no que se refere à frequência de representantes de Myrmicinae, o maior número de indivíduos foi verificado no sistema convencional a pleno sol, o que pode ser decorrente da alta adaptabilidade dessas formigas aos ambientes antropizados e expostos ao sol. Por outra parte, nossos resultados evidenciaram menor riqueza de espécies e maior frequência de representantes da subfamília, reiterando os relatos de Gallego e Armbrrecht (2005) sobre os efeitos negativos dos cultivos de café à pleno sol sobre a variedade de recursos alimentares no solo e a nidificação de formigas, impactando de forma negativa a riqueza nesses ambientes.

A subfamília Formicinae agrupa espécies amplamente distribuídas, especialmente na Região Neotropical (MARTINS et al., 2020). Um dos gêneros mais ricos em espécies pertencentes a essa subfamília é *Camponotus*, que inclui formigas com alta territorialidade inter e intraespecífica e se caracterizam por construir grandes ninhos (DEJEAN e CORBARA, 2003). Em nosso estudo foram identificadas seis espécies desse gênero, as quais representaram 11 % do total de espécies representadas nas coletas. Essa alta presença pode estar relacionada às próprias características do grupo, ou seja, são formigas dominantes, generalistas, oportunistas e onívoras. Tais comportamentos, de forma geral, podem ter ocasionado a maior frequência nas *pitfall traps* no sistema convencional a pleno sol. Esses resultados confirmam os relatos de Silvestre, Brandão e Silva (2003) que mencionam que as formigas do gênero *Camponotus* são frequentemente encontradas em ambientes degradados. Por outra parte, a riqueza de espécies foi menor no sistema orgânico sombreado, o que pode estar relacionado à presença das árvores e o consequente aumento da quantidade e qualidade dos recursos disponíveis. As espécies de *Camponotus* podem ocupar diversos estratos e, dentre as espécies coletadas encontra-se, por exemplo, *C. (Myrmobrachys) crassus* Mayr, 1862, reportada por Ribas e Schoereder (2007) como uma espécie positivamente relacionada com micro-habitats sombreados, com baixas temperaturas e alta umidade. Além disso, essa espécie tem preferência por secreções açucaradas, podendo estar associada à presença de afídeos e de nectários extraflorais. Outros autores ainda relatam para áreas de café nos municípios de Lavras, Ijaci e Perdões, no sul de Minas Gerais, que a ausência de espécies de *Camponotus* demonstra o impacto negativo sobre a diversidade de formigas nesse agroecossistema (DIAS et al., 2008).

Por sua vez, as formigas da família Ponerinae caracterizam-se por apresentarem hábito predatório, incluindo espécies desde muito generalistas até especialistas extremas, as quais podem atuar como reguladores populacionais de pequenos artrópodes e servirem como indicadores da diversidade dos mesmos (LATTKE, 2015). Em nosso trabalho coletamos oito espécies de Ponerinae, o que corresponde a 14% do total de espécies representadas nas amostragens. Os gêneros presentes foram *Hypoponera* (3 spp.), *Odontomachus* (2 spp.), *Neoponera* (2 spp.) e *Pachycondyla* (1 spp.). Segundo Bolton (2021), esses são gêneros que se destacam em riqueza entre as formigas Ponerinae da região Neotropical. A maior frequência e riqueza de espécies dessa subfamília foram verificadas no tratamento orgânico a pleno sol. Nossa hipótese é que, nesse sistema, apesar de ser uma monocultura, o manejo de plantas de cobertura, consórcios, uso de adubos verdes e a serrapilheira resultante da queda de folhas de café favoreceram a conservação do solo e o maior teor de matéria orgânica nas lavouras. Nossos resultados reiteram vários outros conduzidos no Sul do Brasil, onde verificou-se que esse grupo de formigas se destaca pela riqueza e abundância em ambientes conservados (FRANCO e FEITOSA, 2018; LUTINSKI et al., 2018; DRÖSE et al., 2019).

Com relação aos gêneros com maior riqueza, considerando-se ambos os métodos de coleta, destacaram-se *Pheidole* (10 sp.), *Camponotus* (6 sp.) e *Crematogaster* (5 sp.) (Tabela 1). Esses resultados corroboram aqueles obtidos em áreas de floresta por Ramos et al. (2003) e Santos et al. (2006). Segundo Wilson (1976, 2003), *Pheidole*, *Camponotus*, *Crematogaster* e *Solenopsis* são os gêneros de formigas que concentram a maior diversidade, abundância, adaptações e distribuição geográfica na região Neotropical.

Verificou-se que o sistema orgânico sombreado (OSM) concentrou o maior número de espécies exclusivas, quando comparado com os sistemas orgânico ao sol (OSL) e convencional ao sol (CSL). Nas armadilhas do tipo *pitfall traps* foram coletados 11% do total de espécies e, nas iscas, 37% do total. Segundo Kaspari (1996) e Niemala et al. (1996), a heterogeneidade do habitat fornece locais de nidificação, microhabitats adequados e oferta de alimentos, os quais proporcionam o aumento da riqueza de espécies. Mais recentemente, Ibarra-Isassi et al. (2021) confirmaram que agroecossistemas cafeeiros sombreados podem diminuir os efeitos da perturbação antrópica sobre a riqueza de espécies de formigas quando comparado com monoculturas intensificadas ao sol. Dentre as espécies coletadas exclusivamente nas *pitfall traps* se encontram *Apterostigma* gr. *pilosum* sp. 1, Mayr, 1865 que, segundo Lattke (1997) e Silvestre (2000), são formigas favorecidas pela cobertura de serrapilheira, sendo encontradas em locais mais fechados das florestas pertencerem a um gênero característico de ambientes conservados. Já *Strumigenys eggersi* Emery, 1890 é uma espécie predadora que vive associada

à serapilheira, e *Pseudomyrmex schuppi* (Forel, 1901) já foi registrada em nectários extraflorais em ambientes semi-áridos da Bahia (SILVESTRE e SILVA, 2001; SILVESTRE et al., 2003; SANTOS et al., 2014).

Por outro lado, *Cardiocondyla emeryi* Forel, 1881 é uma espécie exótica, agressiva, onívora, que pratica recrutamento massivo e habita áreas de floresta perturbadas, cultivos e zonas urbanas, nidificam no solo, sob pedras ou em cavidades na vegetação. Por último, *Tetramorium simillimum* (Smith, F., 1851), espécie exótica na Colômbia e no Brasil, e que, foi encontrada no interior de sementes de café contendo *H. hampei*, em experimentos de campo e laboratório conduzidos na Colômbia, por Gallego-Roper e Armbrrecht (2005).

Já nas iscas atrativas, algumas das espécies encontradas foram *Pseudomyrmex schuppi* (Forel, 1901), registrada, na Bahia, como visitante de nectários extraflorais (SANTOS et al., 2014), em regiões de Mata Atlântica em processo de sucessão, em Minas Gerais (NEVES et al., 2010; REIS et al., 2013), e em remanescentes de Mata Atlântica, em Santa Catarina (LUTINSK et al., 2014), e *Pseudomyrmex gr. pallidus* sp. 1 (Smith, F., 1855) e *Pseudomyrmex gr. pallidus* sp. 2 (Smith, F., 1855), formigas que nidificam em caules mortos, colmos de plantas herbáceas ou galhos de arbustos (SILVESTRE e SILVA, 2001; BOLTON, 2022).

Por outra parte, *Myrmelachista nr. rudolphi* Forel, 1903, são formigas pequenas, especializadas em termos de exploração de recursos e colonização de nichos, exclusivamente arborícolas e que possuem complexas associações com as plantas nas quais nidificam. Ademais, se conhece que algumas espécies estão associadas a mirmecófitas, que usam plantas como abrigo e se alimentam de nectários extraflorais e, em troca, a planta recebe proteção contra herbívoros e parasitas (FREDERICKSON e GORDON, 2009; NAKANO et al., 2013; CASTRO et al., 2017). Segundo Silvestre e Silva (2001), essas formigas podem ser boas indicadoras de áreas que estão sendo recuperadas. Tem-se, também, duas espécies de *Crematogaster* (*Crematogaster chodati* Forel, 1921, *Crematogaster* sp. 1), gênero que inclui formigas com hábitos generalistas na escolha dos seus alimentos e podem ser agressivas em competições interspecíficas (SILVESTRE, 2000). Ademais, Varón et al. (2004) demonstraram, em condições laboratoriais, o potencial de predação de uma espécie de *Crematogaster* por *H. hampei*, além de ter sido observada transportando partes do corpo da broca (MERA et al., 2010).

A análise da riqueza estimada para os três sistemas de condução das lavouras de café mostrou uma suficiência amostral adequada (Tabela 2). Considerando-se as *pitfall traps* constatou-se 89% (CSL), 93% (OSL) e 94% (OSM) de riqueza, conforme os sistemas de cultivo, e para as iscas atrativas obteve-se 80% (CSL), 90% (OSL) e 84% (OSM). Contudo, pode-se constatar, por meio das curvas, uma tendência de crescimento da riqueza de espécies.

Essa situação é comum em amostragens de comunidades de formigas em regiões tropicais, uma vez que, para grupos hiperdiversos, como esse, é necessário um grande esforço amostral para que a assíntota da curva seja atingida (SILVA e SILVESTRE, 2000). Por outra parte, Santos et al. (2006) relatam que a não estabilização das curvas de acumulação para comunidades de formigas é um evento comum e pode estar relacionada à raridade e à uma distribuição agregada das espécies.

O índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') tende a ser maior para o sistema convencional a pleno sol (CSL) nas *pitfall traps* e no orgânico sombreado (OSM), para iscas atrativas (Tabela 1), mas, não houve diferença significativa entre os sistemas, os quais assemelharam-se quanto à riqueza de espécies. Porém, segundo Ribas et al. (2012) e Gomes et al. (2014), a riqueza pode não ser suficiente para sugerir diferenças relacionadas a impactos e modificações ambientais, e, juntamente com Stork et al. (2017), esses autores sugerem que a composição de espécies poderia ser um parâmetro mais adequado para comparar esse tipo de resposta. Nesse sentido, Angotti et al. (2018) também não encontram diferença significativa na riqueza de espécies entre sistemas de produção de café orgânico, convencional e fragmentos florestais, na mesma região onde desenvolveu-se o presente trabalho, mas, foram observadas diferenças na composição das espécies.

4.2 Relação de associação ou dependência da composição das assembleias de formigas com os diferentes sistemas de cultivo de café

A análise da composição das assembleias de formigas para *pitfall traps* não evidenciou diferença entre os períodos de coleta, mas, os sistemas de cultivo afetaram a diversidade de táxons nas áreas. Com relação às iscas atrativas, houve diferença entre os períodos de coleta, bem como entre os sistemas estudados. Essa diferença entre os sistemas de cultivo, tanto em armadilhas do tipo *pitfall traps* como em iscas atrativas, pode estar relacionada à maior complexidade do habitat nos tratamentos orgânico sombreado e orgânico a pleno sol, em comparação ao sistema de produção convencional, conduzido como monocultura à pleno sol. Segundo Wang et al. (2001), Lassau e Hochuli (2004) e Ossola et al. (2015), a composição, diversidade e estrutura das assembleias de formigas são diretamente afetadas pela complexidade do habitat onde são encontradas. E Arnan et al. (2006), Vargas et al. (2007) e Martins et al. (2011) apontam que a maior diversidade de vegetação implica na possibilidade de recursos tróficos mais amplos e variados.

Por meio da análise pelo contraste efetuada para as armadilhas do tipo *pitfall traps*, confirmou-se que *D. brunneus* foi a espécie que mais contribuiu para a diferença entre os tratamentos CSL-OSL devido à elevada abundância média associada ao sistema orgânico ao sol (OSL) (Apêndice B, Tabela 3). Segundo Cuzzo e Guerreiro (2012) e Suguituru et al. (2015), espécies desse gênero apresentam hábitos generalistas, com elevada preferência para nidificar em ambientes antropizados e alta tolerância às perturbações no ambiente. Porém, um estudo realizado por Santos et al. (2019), em café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) consorciado com cedro australiano, *Toona ciliata* M.Roem., verificou-se alta abundância de *D. brunneus*. Além disso, Cuzzo e Guerreiro (2012) relatam que espécies de *Dorymyrmex* podem atuar no controle biológico em culturas anuais, além de serem conhecidas por atenderem pulgões e outros hemípteros. Entre as hipóteses possíveis para explicação desse comportamento podem ser citados o fato de o tratamento OSL ter aportado maior variedade e disponibilidade de recursos alimentares e locais de nidificação, bem como a possível presença de hemípteros e outros organismos associados. Ademais, *D. brunneus* poderia ter sido indiretamente afetada, no tratamento CSL, pela adubação sintética e aplicação de herbicidas, já que Cuzzo e Guerreiro (2012) relatam que essa espécie é encontrada comumente em áreas abertas com vegetação rasteira (restolho). Ou seja, trata-se de uma formiga resistente ao sol e, sem a aplicação de produtos químicos, ela tem domínio sobre outras espécies que são menos tolerantes.

Entre as espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas convencional ao sol (CSL) e orgânico sombreado (OSM), nas armadilhas do tipo *pitfall traps*, *S. invicta* foi a que apresentou maior abundância média e frequência no sistema CSL (Apêndice B, Tabela 4). Esse resultado pode estar associado à presença de *H. hampei* ou à alta exposição ao sol das plantas do tratamento CSL. Segundo Eubanks (2001) e Vogt et al. (2001), essa é uma espécie predadora voraz que poderia ser uma candidata potencial como agente de controle biológico. Mais recentemente, Newson et al. (2021) reportaram, em cafeeiros em Porto Rico, a espécie *S. invicta* como agente na redução do dano e da sobrevivência da broca-do-café.

No Brasil, *S. invicta* pode ser encontrada tanto em ambientes naturais como em áreas cultivadas (FONSECA e DIEHL, 2004; DIEHL et al., 2005). Nossos resultados corroboram aquele de De Almeida (2007), que constatou baixas densidades dessa espécie em um agroecossistema diversificado sob manejo orgânico, bem como num sistema agroflorestal e em cafezal sombreado com gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud]. O autor concluiu que, em áreas onde a temperatura do solo e do ar são mais elevadas, a porcentagem de ocupação por *S. invicta* é maior.

Entre as espécies amostradas nas *pitfall traps*, e que também chamaram atenção na análise de dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico sombreado (OSM), se encontra *T. simillimum*, que ocorreu de forma exclusiva no sistema OSM (Apêndice B, Tabela 4). Resultado oposto foi obtido na Colômbia, por Rivera e Armbrrecht (2005), os quais verificaram elevada abundância de formigas do gênero *Tetramorium* em lavouras de café com maior uso de tecnologia e pouco sombreadas.

Com relação à dissimilaridade dos sistemas orgânico sombreado (OSM) e orgânico a pleno sol (OSL), a partir das coletas pelas armadilhas do tipo *pitfall traps*, as espécies que mais contribuíram, com a maior abundância média, foram *D. brunneus*, *H. striatula* e *P. striata*, registradas para o tratamento OSL (Apêndice B, Tabela 5). *Pachycondyla striata* é uma espécie que atua como bioindicadora, geralmente é encontrada em florestas tropicais e são formigas predadoras generalistas, alimentando-se de diversos recursos e de outros artrópodes (BACCARO et al., 2015). Além disso, podem consumir partes nutritivas de sementes e frutos, inclusive são dispersoras de sementes na Mata Atlântica (GIANOTTI e MACHADO 2012; ALMEIDA et al., 2013; AMARAL et al., 2017). *Holcaponera striatula* é uma espécie que comumente nidifica em galhos dentro da serapilheira (FERNANDES et al., 2018). Por outro lado, De la Mora et al. (2016) reportaram essa espécie nidificando em fazendas de café e florestas na região de Soconusco de Chiapas, México. Em nosso estudo, o sistema orgânico a pleno sol proporcionou plantas de cobertura e serrapilheira formada por folhas de café caídas ao solo, o que poderia ter influenciado na presença dessas espécies.

Com relação às épocas das coletas (fase de formação dos frutos e fase pós-colheita) nas iscas, verificou-se que, entre as cinco espécies que mais contribuíram para a diferença, *Camponotus crassus* e *Cephalotes pusillus* tiveram maior abundância média na fase de formação dos frutos e *Solenopsis* sp. 2, na fase pós-colheita (Apêndice B, Tabela 6). A maior abundância média de *C. crassus* e *C. pusillus* na fase de formação dos frutos pode estar associada à oferta de locais para nidificação ou à oferta de pólen e néctar. Segundo Powell (2008) e Powell et al. (2014), o gênero *Cephalotes* está representado por espécies exclusivamente arborícolas, que nidificam em galerias feitas em madeira perfurada e abandonada por outros insetos. Além disso, *Camponotus* é um gênero comumente observado em associação com hemípteros (FLEIG, 2011), mas, também, atuam como predadores de outros insetos (SANTOS e RESENDE, 1996).

Por outra parte, *Solenopsis* sp. 2 foi a espécie com a maior abundância média na fase pós-colheita (Apêndice B, Tabela 6), período em que é muito comum encontrar frutos remanentes na planta e no solo, com um alto percentual de infestação por *H. hampei*.

Sabendo-se que espécies de *Solenopsis* são predadoras de diversos insetos, incluindo a broca-do-café, acreditamos que essa formiga esteja atuando como agente de controle da broca e contribuindo para a redução populacional dessa praga nos cultivos. Espécies do gênero *Solenopsis* têm ampla distribuição no território brasileiro (DELABIE et al., 1995; MARTINS, 2010). Segundo Baccaro et al. (2015) essas formigas têm hábitos generalistas, comportamento agressivo e forrageiam na serapilheira, vegetação baixa e troncos. Por ter uma flexibilidade comportamental, as espécies desse gênero se adaptam às alterações ambientais, podendo ser amostradas em ambientes antropizados (DIAS et al., 2008; FONSECA e DIEHL, 2004; SILVESTRE, 2000). Em cultivos de café, têm sido reportadas espécies desse gênero como predadoras da broca (VÁZQUEZ et al., 2009; MERA et al., 2010; MORRIS et al., 2015; 2018 e NEWSON et al., 2021).

Quando analisamos as espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico a pleno sol (OSL), nas iscas atrativas, observou-se que *Pheidole triconstricta* foi a espécie que prestou maior contribuição e foi a que apresentou maior abundância média no sistema OSL (Apêndice B, Tabela 7). O gênero *Pheidole* é considerado um táxon hiperdiverso, cosmopolita, encontrado em diversos ambientes, podem nidificar no solo, em árvores, sob pedras, em troncos podres, solo arenoso, entre as folhas na serapilheira e em plantas mirmecófitas (HÖLLDOBLER & WILSON, 1990; BACCARO et al., 2015). No nosso estudo, o tratamento orgânico a pleno sol poderia estar favorecendo a presença de insetos pragas como hemípteros e a broca-do-café. Além disso, a ausência do manejo químico pode ter favorecido a nidificação dessa formiga, tanto na serapilheira quanto na base da planta ou mesmo na própria planta.

Finalmente, por meio da análise de SIMPER nas iscas atrativas, verificou-se que *Crematogaster crinosa* sp. 1 foi a espécie que mais contribuiu para a diferença entre tratamentos, apresentando maior abundância média no sistema orgânico sombreado (OSM) (Apêndice B, Tabelas 8 e 9). Em nosso trabalho, *C. crinosa* sp. 1 pode ter preferido o ambiente sombreado por ser mais complexo ou diverso quanto à vegetação, caracterizado pelo consórcio com árvores nativas e frutíferas. Segundo Rocha et al. (2015); Corrêa et al. (2006); Vargas et al. (2007); Dias et al. (2008); Schmidt; Diehl, (2008); Miranda et al. (2013); Martins et al. (2011) e Soares et al. (2010), a riqueza e a diversidade de formigas tendem a aumentar de acordo com a complexidade estrutural dos ambientes. *C. crinosa* sp. 1 é uma formiga arborícola, que geralmente nidifica em galhos de árvores caídos, troncos de árvores mortas ou não. Ainda, segundo Armbricht, Rivera e Perfecto (2005), e Bustillo, Cardenas e Posada (2002), na Colômbia, as formigas desse gênero são predadoras eficientes de *H. hampei* em plantações de

café. Assim, tendo identificado a presença da broca no sistema OSM, *C. crinosa* sp. 1 poderia estar na busca desse inseto praga, ainda que em um ambiente diverso com a oferta de uma enorme gama de recursos.

C. crinosa sp. 1 é uma espécie comum na região Neotropical e pode ser encontrada em diversos habitats. As maiores colônias ocorrem em áreas mais secas, como florestas sazonalmente secas (Longino, 2003). Podem nidificar em praticamente todas as cavidades disponíveis, ou seja, em qualquer espaço protegido, nas árvores que ocupam (Longino, 2003). Um estudo de campo feito por Gillette et al. (2015), no México, encontrou *C. crinosa* nidificando em plantas de café a uma altitude entre 1.150 e 1.450 m. Em nosso estudo, *C. crinosa* representou 21 % do total de espécies coletadas em iscas atrativas no sistema OSM; porém, as propriedades estudadas têm menor altitude, entre 980 e 1.040 m. Em estudo analisando a colonização de galhos em florestas de café à sombra em Chiapas, México, Philpot et al. (2018) também relataram *C. crinosa* como uma das espécies com maior frequência.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que os diferentes manejos das lavouras de café, orgânico e convencional, seja sombreado ou ao sol, não apresentaram diferença em quanto a riqueza de espécies de formigas, mas, diferiram significativamente quanto à frequência relativa das espécies, parâmetro para ser considerado na comparação entre sistemas de cultivos estudados.

Evidenciamos que o sistema orgânico sombreado concentrou o maior número de espécies exclusivas, quando comparado com os sistemas orgânico ao sol e convencional ao sol. Nas armadilhas do tipo *pitfall traps* foram coletados 11% do total de espécies e, nas iscas, 37% do total.

Por outra parte, nosso trabalho contribuiu com a caracterização das assembleias de formigas presentes nos sistemas orgânico sombreado, orgânico a pleno sol e convencional a pleno sol. Assim, demos mais um passo na compreensão da diversidade das formigas nos agroecossistemas cafeeiros, pouco explorada até aqui, estimulando novos estudos que envolvam esta família de insetos nos cafezais. Nesse sentido, uma problemática que precisa ser abordada e discutida refere-se ao fato de que os cafeicultores geralmente relacionam formigas apenas às espécies que causam danos, como aquelas dos gêneros *Atta* (saúvas) e *Acromyrmex* (quenquéns), haja vista as formigas serem os organismos mais abundantes e com a maior diversidade ecológica nos sistemas agrícolas e ecossistemas. Por isso, acreditamos que, os

produtores devem conhecer as comunidades de formigas que se encontram em seus sistemas de produção, para que possam atuar como atores no processo de conservação ou implementação do controle biológico conservativo. Nesse sentido, uma publicação em formato de cartilhas, com conteúdo de fácil entendimento por parte desse público alvo, seria de enorme utilidade.

6 REFERÊNCIAS

- ABEIJON, L. M.; KRUGER, A. P.; LUTINSKI, J. A.; GARCIA, F. R. M., Can ants contribute to the conservative biological control of the south american fruit fly? **Bioscience Journal**, v. 35, (3), 941-948. 2019. <https://doi.org/10.14393/BJv35n3a2019-41728>.
- ALBUQUERQUE, E. Z.; DIEHL, E. Análise faunística das formigas epígeas (Hymenoptera, Formicidae) em campo nativo no Planalto das Araucárias, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.53, p. 398-403. 2009.
- ALMEIDA, F. S.; MAYHE-NUNES, A. J.; QUEIROZ, J. M. The Importance of Poneromorph Ants for Seed Dispersal in Altered Environments. **Sociobiology**, 60: 229-235. 2013.
- ALMEIDA, F.; QUEIROZ, J. M.; MAYHE-NUNES, A. J. Distribuição e abundância de ninhos de *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) em um agroecossistema diversificado sob manejo orgânico. **FLORAM**, vol.14, n1, p.34-44. 2007.
- AMARAL, G. C. D.; VARGAS, A. B.; ALMEIDA, F. S. Forrageio diurno de *Odontomachus bauri* Emery (Hymenoptera: Formicidae) em plantio de *Eucalyptus* sp. no município de Volta Redonda-RJ. **EntomoBrasilis**, 10 (3): 143-147. 2017.
- ANDERSEN, A. N. Responses of ground-foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. **Biotropica** 23(4): 575-585. 1991.
- ANDERSEN, A. N.; FISHER, B. D.; HOFFMAN, J. L.; READ Y.; RICHARDS, R. Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australian rangelands, with particular reference to ants. **Austral Ecology**. 29(1): 87-92. 2004.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, 26: 32-46. 2001. [doi:10.1111/j.14429993.2001.01070.pp.x](https://doi.org/10.1111/j.14429993.2001.01070.pp.x)
- ARMBRECHT, I.; PERFECTO, I. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. 97(1): 107-115. 2003.
- ARMBRECHT, I.; RIVERA, L.; PERFECTO I. Reduced diversity and complexity in the leaf-litter ant assemblage of Colombian coffee plantations. **Conservation Biology**. 19 (3): 897-907. 2005.
- ARNAN, X.; RODRIGO, A.; RETANA, J. Post-fire recovery of Mediterranean ground ant communities follows vegetation and dryness gradients. **Journal of Biogeography**. 33 (7): 1246-1258. 2006.

- BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. L. P.; SOLAR, R. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Manaus: INPA, 2015.
- BENASSI, V. L. R. M. Levantamento dos inimigos naturais da Broca-do- café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) no norte do Espírito Santo. Anais da Sociedade **Entomológica do Brasil** 24: 635–638. 1995.
- BIANCHI F. J. J. A.; BOOIJ C. J. H.; TSCHARNTKE T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. Proceedings of the Royal Society B: **Biological Sciences**. London, 273, 1715–1727. 2006.
- BOLTON, B. **Bolton World Catalog**. Versão 8.48. California Academy of Science (Accessed June 10, 2021) at: <https://www.antweb.org>. 2021.
- BOLTON, B. **Bolton World Catalog**. Version 8.68.7. California Academy of Science, online (Accessed 8 January 2022) at <https://www.antweb.org>. 2022.
- BUSTILLO A.E, CÁRDENAS R, POSADA F.J. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. **Neotropical Entomology** 31(4):635-639. 2002.
- CALLCOTT, A. A.; COLLINS, H.L. Invasion and range expansion of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in North America from 1918-1995. **Florida Entomologist**, v.79, n. 2, p. 240-251. 1996.
- CASTRACANI C., PIOTTI A, GRASO D. A., LE MOLI F., MORI A. Ant fauna as ecological indicator in Italian agro-ecosystems. **Redia**, XC, pp. 67-70. 2007.
- CHANATÁSIG-VACA, C. I.; HUERTA E.; ROJAS P.; PONCE-MENDOZA A.; MENDOZA J. Efecto del uso del suelo en las hormigas (Formicidae: Hymenoptera) de Tikinmul, Campeche, Mexico. **Acta Zool. Mexicana**. 27 p.441-461. 2011.
- CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology**, Inglaterra, v.18, p.117-143. 1993.
- CORRÊA, M. M.; FERNANDES, W. D.; LEAL, I. R. Diversidade de formigas epigéicas (Hymenoptera: Formicidae) em capões do Pantanal Sul Matogrossense: relações entre riqueza de espécies e a complexidade estrutural da área. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 724-730. 2006.
- CUEZZO, F.; GUERRERO, R. The ant genus *Dorymyrmex* Mayr (Hymenoptera, Formicidae, Dolichoderinae) in Colombia. **Psyche**, v.2012, p.1-24. 2012.
- DA FONSECA, J. P. e ARAUJO, R. L. Insetos inimigos do *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Broca-do-café). **Boletim Biológico** 4: 486 - 504. 1939.
- DE ANDRADE, M. L.; URBANI, C.B. Diversity and adaptation in the ant genus *Cephalotes*, past and present. Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart. 1999.
- DE LA MORA, A.; GARCIA-BALLINAS, J. A.; PHILPOTT, S. M. Local, landscape, and diversity drivers of predation services provided by ants in a coffee landscape in Chiapas, Mexico. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 201: 83-91. 2015.

- DE LA MORA, A.; MURNEN, C. J.; PHILPOTT, S. M. Local and landscape of biodiversity in four groups of ants in coffee landscapes. **Biodiversity Conservation** 22(4): 871-888. 2013.
- DEJEAN, A.; CORBARA, B.; FERNANDEZ, F.; DELABIE, J. H. C. Mosaicos de hormigas arboreas em bosques y plantaciones tropicales. In: FERNANDEZ, F. (Ed.). Introduccion a las hormigas de La region Neotropical. Colombia: Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander von Humboldt, p.149-158. 2003.
- DEL TORO, I.; RIBBONS, R. R.; PELINI, S. L. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**. 17: 133-146. 2012.
- DEL TORO, I.; SILVA, R. R.; ELLISON, A. M. Predicted impacts of climatic change on ant functional diversity and distributions in Eastern North American forests. **Diversity and Distributions**. 21(7): 781-791. 2015.
- DEL TORO, I.; VAZQUEZ, M.; MACKAY, W. P.; ROJAS, P.; ZAPATA-MATA, R. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Tabasco: explorando la diversidad de la mirmecofauna en las selvas tropicales de baja altitude. *Dugesiana* 16 (1): 1-14. 2009.
- DELABIE, J. H. C.; NASCIMENTO, I. C. do.; CASIMIRO, A. B. Community structure of house-infesting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Shouthern Bahia, Brazil. **Florida Entomologist**, [S.l.], v. 78, n. 2, p. 264-270, jun. 1995.
- DIAS, N. S.; ZANETTI, R.; SANTOS, M. S.; LOUZADA, J.; DELABIE, J. H. C. Interações de fragmentos florestais com agroecossistemas adjacentes de café e pastagem: respostas das comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae). *Iheringia, Série Zoológica*, Porto Alegre-RS, v. 98, n. 1, p. 136-142, 30 mar. 2008.
- DIEHL, E.; SACCHETT, F.; ALBUQUERQUE, E. Z. Riqueza de formigas de solo na praia da Pedreira, Parque Estadual de Itapuã, Viamão, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 49, n. 4, p. 552-556. 2005.
- DRÖSE, W.; PODGAISKI, L. R.; DIAS, C. F.; SOUZA MENDONÇA JR., M., Local and regional drivers of ant communities in forest-grassland ecotones in South Brazil: A taxonomic and phylogenetic approach. **PloS One**, v. 14, (4), e0215310. 2019.
- EUBANKS, M.D. Estimates of the direct and indirect effects of red imported fire ants on biological control in field crops. **Biological Control**, v. 21, p. 35-43. 2001.
- FERNANDES, T. T., SOUZA-CAMPANA, D. R., SILVA, R. R., MORINI, M. S. C. Ants that frequently colonize twigs in the leaf litter of different vegetation habitats. **Sociobiology** 65: 340-344. 2018. [doi10.13102/sociobiology.v65i2.2742](https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i2.2742).
- FLECK, M. D.; CANTARELLI E, B.; GRANZOTTO, F. Registro de novas espécies de formigas (Hymenoptera: Formicidae) no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**. Santa Maria, Brasil, v. 25, n. 2, p. 491-499. 2015.
- FLEIG, E.D. Estudo da interação entre a formiga *Camponotus punctulatus* Mayr (Hymenoptera: Formicidae) e o pulgão-preto-dos-citros *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae). Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre-RS. 2011.

- FONSECA, R. C.; DIEHL, E. Riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) epigéicas em povoamentos de *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae) de diferentes idades no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, V.48, n. 1, p.95-100. 2004.
- FRANCO, W.; FEITOSA, R. M., First standardized inventory of ants (Hymenoptera: Formicidae) in the natural grasslands of Paraná: New records for Southern Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 58, e20185812. 2018. <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2018.58.12>.
- FRANKLIN, K. The remarkable resilience of ant assemblages following major vegetation change in an arid ecosystem. **Biological Conservation**. 148 96–105. 2012.
- FREDERICKSON, M. E.; GORDON, D. M. The intertwined population biology of two Amazonian myrmecophytes and their symbiotic ants. **Ecology** 90: 1595-1607. 2009
- FREDERICKSON, M.; GREENE, M. J.; GORDON, D. M. Ants bedevil devil's gardens. **Nature**, v.437, n.22, p. 495-496. 2005.
- GALLEGO, M. C; ARMBRECHT, I. Depredación por hormigas sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Curculionidae: Scolytinae) en cafetales cultivados bajo dos niveles de sombra en Colombia. **Manejo integrado de Plagas y Agroecología** (Costa Rica) 76: 32-40. 2005.
- GILLETTE, P. N.; ENNIS, K. K.; MARTINEZ, G. D.; PHILPOTT, S. M. Mudanças na riqueza de espécies, abundância e composição de formigas arborícolas ao longo de um gradiente de elevação em paisagens de café. **Biotropica**. 47:712-722. 2015.
- GIOMO, G. S.; PEREIRA, S. P.; BLISKA, F. M. M. Panorama da cafeicultura orgânica e perspectivas para o setor. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 33-36. 2007.
- GOMES, E.C.F.; RIBEIRO, G.T.; SOUZA, T.M.S.; SOUSA-SOUTO, L. Ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) in three different stages of forest regeneration in a fragment of Atlantic Forest in Sergipe, Brazil. **Sociobiology**, v.61, p.250-257. 2014.
- GONTHIER D.J.; ENNIS K.K.; PHILPOTT S.M.; VANDERMEER J.; PERFECTO I. Ants defend coffee from berry borer colonization. **BioControl**., 58, 815–820. 2013.
- GOTELLI, N. J., e A. CHAO. Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data. Pages 195–211 in S. A. Levin, editor. **Encyclopedia of biodiversity**. Second edition. Volume 5. Academic Press, Waltham, MA, USA. 2013.
- GUERRERO, R. J.; SARMIENTO, C. E. Distribucion altitudinal de hormigas (Hymenoptera, Formicidae) en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). **Acta Zoológica Mexico**. 26(2) p.279-302. 2010.
- HOLDEFER, D. R.; LUTINSKI, J. A.; GARCIA, F. R. M. Does organic management of agroecosystems contribute to the maintenance of the richness of ants? *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 38, n. 6, p. 3455-3468, nov./dez. 2017.
- HÖLLDOBLER BERT; WILSON, O. The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies, W.W. Norton, ISBN 978-0-393-06704-0. 2008.
- HOLWAY, D. A.; LACH, L.; SUAREZ, A.V.; TSUTSUI, N. D.; CASE, T. J. The causes and consequences of ant invasions. **Annual Review of Ecology and Systematics**, V.33, p.181-233. 2002.

- IBARRA-ISASSI, J.; HANDA, I. T.; ARENAS CLAVIJO, A.; ESCOBAR-RAMÍREZ, S.; ARMBRECHT, I.; LESSARD, J. P. Shade-growing practices lessen the impact of coffee plantations on multiple dimensions of ant diversity. **Journal of Applied Ecology**. 58: 919 - 930. 2021. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13842>.
- JETTER, K. M.; HAMILTON, J.; KLOTZ, J. H. Red imported fire ants threaten agriculture wildlife and homes. **California Agriculture**, v. 56, n. 1, p. 26-34. 2002.
- JHA S.; CHRISTOPHER M. BACON; STACY M. PHILPOTT; V. ERNESTO MÉNDEZ; PETER LÄDERACH; ROBERT A. RICE. Shade coffee: update on a disappearing refuge for biodiversity. **Bioscience**. United Kingdom, 64, 416–428. 2014.
- KASPARI, M.; POWELL, S.; LATTKE, J.; O'DONNELL, S. Predation and patchiness in the tropical litter: do swarm-raiding army ants skim the cream or drain the bottle? **Journal of Animal Ecology**. 80(4): 818-823. 2011.
- KASPARI, M. Testando modelos baseados em recursos de patchiness em quatro assembleias de formigas da serrapilheira neotropical. **Oikos** 76: 443 – 454. 1996.
- LACH, L.; PARR, C. L.; ABBOTT, K. L. (EDS) *Ant Ecology*. Oxford University Press. Oxford, UK. pp. 137-156. 2010.
- LANGE, D. M.; VILELA, A. A.; GRAZIELLA, D. D.; ERDOGMUS, M.; BARBOSA, A. B.; COSTA, S. C.; STEFANI, V. Temporal dynamic of foraging of epigeic ants in an urban forest fragment. **Bioscience Journal of Uberlandia**. 31(5): 1501-1511. 2015.
- LANGELLOTTO, G.; DENNO, R. Responses of invertebrate natural enemies to complex-structured habitats: a meta-analytical synthesis. **Oecologia**, USA. 139, 1–10. 2004.
- LARSEN, A.; PHILPOTT, S. M. Twig-nesting ants: the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, Mexico. **Biotropica** 42 (3), 342–347. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00603.x>.
- LASMAR, C. J.; QUEIROZ, A. C. M.; RABELLO, A. M.; FEITOSA, R. M.; CANEDO-JÚNIOR, E. O.; SCHMIDT, F. A.; CUISSI, R. G. e RIBAS, C. R. Testing the effect of pitfall-trap installation on ant sampling. **Insectes Sociaux**, v.64, p.445–451. 2017.
- LASSAU, S. A.; HOCHULI, D. F. Effects of habitat complexity on ant assemblages. **Ecography** 27(2): 64-157. 2004.
- LATTKE, J. E. Estado da arte sobre a taxonomia e filogenia de Ponerinae do Brasil. In: DELABIE, Jacques H. C. et al. *As formigas poneromorfas do Brasil*. Ilheus: Editus, p. 55-73. 2015.
- LATTKE, J. E. Revisión del género *Apterostigma* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo*, v.34, n.5, p.121-221. 1997.
- LONGINO, J. T. *O Crematogaster* (Hymenoptera, Formicidae, Myrmicinae) da Costa Rica. **Zootaxa** 151:1-150. 2003.
- LONGINO, J. T. A taxonomic review of the genus *Myrmelachista* (Hymenoptera: Formicidae) in Costa Rica. **Zootaxa**, n. 1141, p. 1-54. 2006.
- LOSEY, J. E. E.; VAUGHAN, M. O valor econômico dos serviços ecológicos fornecidos por insetos. **BioScience**, 56 (4), 311- 323. 2006.

- LUTINSKI, J. A.; GUARDA, C.; LUTINSKI, C. J.; DORNELES, F.; PEDROSO, J.; BUSATO, M. A.; GARCIA, F. R. M., Assembleias de formigas (Hymenoptera: Formicidae) respondem ao processo de recuperação de áreas de preservação permanente? **Brazilian Journal of Environmental Sciences** (Online), v. 50, 112-127. 2018. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180402>.
- LUTINSKI, J. A.; LUTINSKI, C. J.; LOPES, B. C.; MORAIS, A. B. B. de. Estrutura da comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em quatro ambientes com diferentes níveis de perturbação antrópica. **Ecología Austral**, Buenos Aires, v. 24, n. 2, p. 229-237. 2014.
- MARTINS, C. Análises moleculares das formigas lava-pés (*Solenopsis* spp.) (Hymenoptera: Formicidae) e da presença da endobactéria *Wolbachia*. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro - Rio Claro: [s.n.]. 2010.
- MARTINS, L.; ALMEIDA, F. S.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; VARGAS, A. B. Efeito da complexidade estrutural do ambiente sobre as comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) no município de Resende, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 174-179. 2011.
- MARTINS, M. F. O.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; BROWN, G. G.; ROSA, M. G.; ZAGATTO, M. R. G.; SANTOS, A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; NIVA, C. C.; BARTZ, M. L. C.; FEITOSA, R. M. Accessing the subterranean ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) in native and modified subtropical landscapes in the Neotropics. **Biota Neotropica**, v. 20, (1), 1-16. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0782>.
- MERA, V. Y. A.; GALLEGO, R. M. C.; ARMBRECHT, I. Interacciones entre hormigas e insectos en follaje de cafetales de sol y sombra, Cauca-Colombia **Revista Colombiana de Entomología** 36 (1): 116-126. 2010.
- MIRANDA, T. A.; SANTANNA, A. da S.; VARGAS, A. B.; ALMEIDA, F. S. Aspectos estruturais do ambiente e seus efeitos nas assembleias de formigas em ambientes de floresta e bosque. **Cadernos UniFOA, Volta Redonda**, v. 21, n.1, p. 63-72, abr. 2013.
- MITROVICH, M. J.; MATSUDA, T.; PEASE, K. H.; FISHER, R. Ants as a measure of effectiveness of habitat conservation planning in Southern California. **Conservation Biology**. 24(5):1239-1248. 2010.
- MORRIS, J. R.; JIMÉNEZ-SOTO, E.; PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I. Antmediated (Hymenoptera: Formicidae) biological control of the coffee berry borer: Diversity, ecological complexity, and conservation biocontrol. **Myrmecological News**, 26, 1–17. 2018.
- MORRIS, J. R.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. A Keystone Ant Species Provides Robust Biological Control of the Coffee Berry Borer Under Varying Pest Densities. **PLoS ONE** 10: e0142850. 2015.
- MORRISON, L.W. Long-term impacts of an arthropod-community invasion by the imported fire ant, *Solenopsis invicta*. **Ecology**, v. 83, n. 8, p. 2337-2345. 2002.
- NAKANO, M. A.; OLIVEIRA DE MIRANDA, V. F.; RODRIGUES DE SOUZA, D.; FEITOSA, R. M.; MORINI, M. S. C. Occurrence and natural history of *Myrmelachista* Roger (Formicidae: Formicinae) in the Atlantic Forest of southeastern Brazil. **Revista Chilena de Historia Natural** 86: 169-179, 2013

- NEVES, F. S., BRAGA, R. F., ESPÍRITO-SANTO, M. M., DELABIE, J. H. C., FERNANDES, W. & SÁNCHEZ-AZOFEIFA, A. Diversity of Arboreal Ants In a Brazilian Tropical Dry Forest: Effects Of Seasonality and Successional Stage. **Sociobiology**, 56(1), pp. 1-18. 2010.
- NEWSON, J.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Differential effects of ants as biological control of the coffee berry borer in Puerto Rico. **Biological Control**, Volume 160. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104666>
- NIEMALA, J.; HAILA, Y.; PUNTTILA, P.; NIEMELA, J. A importância da heterogeneidade de pequena escala em florestas boreais: variação na diversidade em invertebrados do chão da floresta ao longo do gradiente de sucessão. **Ecografia** 19: 352 – 368. 1996.
- OKSANEN, F. J.; BLANCHET, G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P. M.; STEVENS, H. H.; SZOEC, E.; WAGNER, H. 2020. Vegan: Community Ecology. Package. **R package version 2.5-7**. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- OKSANEN, J.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; O'HARA, B.; STEVENS, M. H. H. **VEGAN: Community Ecology Package** (R package version 3.3-3). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013.
- OLIVEIRA, I. R. P.; FERREIRA, A. N.; VIANA JÚNIOR, A. B.; DANTAS, J. O.; SANTOS, M. J. C.; MARTA RIBEIRO, M. J. B. Diversidade de formigas (Hymenoptera; Formicidae) edáficas em três estágios sucessionais de mata atlântica em São Cristóvão, Sergipe. **Agroforestalis News**, v.1, n.1, p. 48-58. 2016.
- OSSOLA, A.; NASH, M. A.; CHRISTIE, F. J.; HAHS, A. K.; LIVESLEY, S. J. Urban habitat complexity affects species richness but not environmental filtering of morphologically-diverse ants. **PeerJ**. 3: e1356. 2015. doi10.7717/peerj.1356.
- PERFECTO, I.; RICE, R.; GREENBERG, R.; VAN DER VOORT, M. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. **BioScience**, 46(8), 598-608. 1996.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: ants in coffee plantations in southern Mexico. **Conservation Biology**. 16 174-182. 2002.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; PHILPOTT, S. M. Complex ecological interactions in the coffee agroecosystem. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. Vol. 45:137-158. 2014. (Volume publication date November 2014) <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091923>.
- PHILPOTT, S. M., e ARMBRECHT, I. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. **Ecological Entomology**, 31(4), 369–377. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x>
- PHILPOTT, S. M.; ARENDT, W. J.; ARMBRECHT, I.; BICHER, P.; DIESTCH, T. V.; GORDON, C.; GREENBERG, R.; PERFECTO, I.; REYNOSO-SANTOS, R.; SOTO-PINTO, L.; TEJEDA-CRUZ, C.; WILLIAMS-LINERA, G.; VALENZUELA, J.; ZOLOTOFF, J. M. Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: review of the evidence on ants, birds, and trees. **Conservation Biology**. 22, 1093–1105. 2008.

- PHILPOTT, S. M.; GREENBERG, R.; BICHER, P.; PERFECTO, I. Impacts of major predators on tropical agroforest arthropods: Comparisons within and across Texas. **Oecologia**. 140, 140–149. 2004.
- PHILPOTT, S. M.; SERBER, Z.; DE LA MORA, A. Influências de interações de espécies com formigas agressivas e filtragem de habitat na colonização de ninhos e composição da comunidade de formigas arborícolas que nidificam galhos. **Entomologia Ambiental**. 47:309-317. 2018. doi:10.1093/ee/nvy015.
- POWELL, S. Ecological specialization and the evolution of a specialized caste in *Cephalotes* ants. **Functional Ecology** 22 (5), 902-911. 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01436.x>
- POWELL, S.; DEL-CLARO, K.; FEITOSA, R. M.; BRANDÃO, C. R. F.; Mimicry and eavesdropping enable a new form of social parasitism in ants. **The American Naturalist** 184 (4), 500-509. 2014. <http://dx.doi.org/10.1086/677927>.
- RAMOS, L. S.; ZANETTI, R.; DELABIE, J. H. C.; LACAU, S.; SANTOS, M. F. S. S.; NASCIMENTO, I. C.; MARINHO, C. G. S. Comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) de serapilheira em áreas de cerrado "Stricto senso" em Minas Gerais. **Lundiana**, v.4, n.2, p.95-102. 2003.
- RATCHFORD, J. S., S. E. WITTMAN, E. S. JULES, A. M. ELLISON, N. J. GOTELLI Y N. J. SANDERS 2005. The effects of fire, local environment and time on ant assemblages in fens and forests. **Diversity and Distributions**. 11(6): 487- 497.
- REIS, P.; ROCHA, W.; FALCÃO, L.; GUERRA, T.; NEVES, F. Ant Fauna on *Cecropia pachystachya* Trécul (Urticaceae) Trees in an Atlantic Forest Area, Southeastern Brazil. **Sociobiology**, 60(3), pp. 222-228. 2013.
- RIBAS, C. R.; CAMPOS, R. B. F.; SCHMIDT, F. A.; SOLAR, R. R. C. Ants as Indicators in Brazil: A Review with suggestions to Improve the Use of Ants in Environmental Monitoring Programs. **Psyche**, v.2012, 23p. 2012. doi: 10.1155/2012/636749
- RIBAS, C. R.; SCHOEREDER, J. H. Ant communities, environmental characteristics and their implications for conservation in the Brazilian **Pantanal Biodiversity and Conservation**. 16(5): 1511-1520. 2007.
- RIBAS, C. R.; SCHOEREDER, J. H.; PIC, M.; SOARES, S. M. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. **Austral Ecology** 28(3):305-314. 2003.
- RICCI, M. dos S. F.; ARAÚJO, M. do C. F.; FRANCH, C. M. de C. **Cultivo orgânico do café: recomendações técnicas**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. 101 p. 2002.
- RIVAS, S. P.; CARRILLO-RUIZ, H.; BONILLA, A.; FIGUEROA-CASTRO, D. M.; ANDRES-HERNANDEZ, A. R. Effect of disturbance on the ant community in a semiarid region of central Mexico. **Applied Ecology and Environmental Research**. 12: 703-716. 2014.
- RIVERA, L.F.; ARMBRECHT, I. Diversidad de tres gremios de hormigas en cafetales de sombra, de sol y bosques de Risaralda. **Revista Colombiana de Entomología** 31(1):89-96. 2005.

- ROCHA, W. O. *et al.*, Formigas (Hymenoptera: Formicidae) bioindicadoras de degradação ambiental em Poxoréu, Mato Grosso, Brasil. *Floresta e Ambiente*, **Seropédica**, v. 22, n. 1, p. 88-98, mar. 2015.
- RODRIGUEZ, P. A.; BARRIOS, H.; MERCADO, A. Listado de los géneros y especies de hormigas asociadas al borde de um bosque em Achiote, Panamá. **Scientia** (Panamá), v. 21, n. 2, p.113-134, 2011.
- ROJAS, P. Las hormigas del suelo en Mexico: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). **Acta Zoológica Mexico**. Número especial 1 p.189-238. 2001.
- SANDFOR, M. P.; MANLEY, P. N.; MURPHY, D. D. Effects of urban development on ant communities: implications for ecosystem services and management. **Conservation Biology** 23(1): 131-141. 2008.
- SANTOS, G. M. de M.; RESENDE, J. J. Predação de *Syntermes molestus* (Burmeister, 1839) (Isoptera-Termitidae) por *Camponotus blandus* (Fr. Smith, 1858) (Hymenoptera-Formicidae) em Feira de Santana-Ba. **Sitientibus**, n.15, p.175-182. 1996.
- SANTOS, GILBERTO M. M.; DÁ TTILO, WESLEY; PRESLEY, STEVENJ. The seasonal dynamic of ant-flower networks in a semi-arid tropical environment. **Ecological Entomology**, pp. 1-10. 2014.
- SANTOS, M.; LOUZADA, J. N. C.; DIAS, N.; ZANETTI. R.; DELABIE, J. H. C.; NASCIMENTO, I. C. Riqueza de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serapilheira em fragmentos de floresta semidecídua da Mata Atlântica na região do Alto do Rio Grande, MG, Brasil. *Iheringia*, **Série Zoologia**, Porto Alegre 96: 95-101. 2006. doi: 10.1590/S0073-47212006000100017
- SANTOS, MARLINA. R. A.; SOUZA-CAMPANA, D. R.; DOS SANTOS MARTINS, D.; DE CASTRO MORINI, M. S. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em cultivos consorciados de café conilon (*Coffea canefora* Pierre ex Froehner). **Revista Científica UMC** Edição Especial PIBIC, outubro. 2019. ISSN 2525-5250
- SCHMIDT, F. A.; DIEHL, E. What is the effect of soil use on ant communities? **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 381-388. 2008.
- SILVA, E. N. M. Estrutura da comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) associada a duas paisagens de Caatinga em Milagres-Bahia. **M. Sc. thesis**, Universidade Estadual de Feira de Santana, 47 p. 2011.
- SILVA, R. R.; SILVESTRE, R. R. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em Seara, Oeste de Santa Catarina. **Biotemas**, 13 p.85-105. 2000.
- SILVESTRE, R. Estrutura de comunidades de formigas do Cerrado. Ribeirão Preto-SP: FFCL-USP, 216p. Originalmente apresentada como **Tese de doutorado**, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto-SP. 2000.
- SILVESTRE, R.; BRANDAO, C. R. F.; SILVA, R. R. Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del Cerrado. En: F. Fernandez (Ed.), **Introducción a las hormigas de la Región Neotropical**. Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander von Humboldt, Bogota, Colombia. Smithsonian Institution Press. XXVI + pp. 398. 2003.

- SILVESTRE, R.; SILVA, R. R. Guildas de formigas da Estação Ecológica Jataí, Luiz Antônio – SP – Sugestões para aplicação do modelo de guildas como bio-indicadores ambientais. **Biotemas**, 14 (1): 37 – 69. 2001.
- SOARES, S. A.; ANTONIALLI-JUNIOR, W. F.; LIMA JUNIOR, S. E. Diversidade de formigas epigéicas (Hymenoptera, Formicidae) em dois ambientes no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 54, n. 1, p. 76-81. 2010.
- STORK, N. E.; SRIVASTAVA, D. S.; EGGLETON, P.; HODDA, M.; LAWSON, G.; LEAKEY, R. R. B.; WATT, A. D. Consistency of effects of tropical-forest disturbance on species composition and richness relative to use of indicator taxa. **Conservation Biology**. Volume 31, Issue 4, August 2017, Pages 924-933. 2017. <https://doi.org/10.1111/cobi.12883>
- SUGUITURU, S. S.; MORINI, M. S. C.; FEITOSA, R. M.; SILVA, R. R. **Formigas do alto Tietê**. 1. ed. Bauru: Canal 6. 2015.
- TORO, E.; ORTEGA, O. E. Composición y diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en algunas áreas protegidas del valle de Aburra. **Revista Colombiana de Entomología**. 32(2): 214-220. 2006.
- VANDERMEER J.; PERFECTO I.; PHILPOTT S. Ecological complexity and pest control in organic coffee production: uncovering an autonomous ecosystem service. **Bioscience**. 60, 527–537. 2010.
- VARGAS, A. B.; MAYHE-NUNES, A. J.; QUEIROZ, J. M.; SOUZA, G. O.; RAMOS, E. F. Efeitos de fatores ambientais sobre a mirmecofauna em comunidade de restinga no Rio de Janeiro, RJ. **Neotropical Entomology** 36(1): 28-37. 2007.
- VARGAS, A. B.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; QUEIROZ, J. M.; SOUZA, G. O.; RAMOS, E. F. Efeitos de fatores ambientais sobre a mirmecofauna de comunidade de restinga no Rio de Janeiro, RJ. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 28-37. 2007.
- VARÓN, E.; HANSON, P.; BORBÓN, O.; CARBALLO, M.; HILJE, L. Potencial de hormigas como depredadoras de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Costa Rica. **Manejo integrado de Plagas y Agroecología** 73: 42-50. 2004.
- VÁZQUEZ, L. L.; MATIENZO, Y.; ALFONSO-SIMONETTI, J.; MORENO, D.; ÁLVAREZ, A. Diversidad de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en cafetales afectados por *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Fitosanidad** 13(3): 163-168. 2009.
- VILLAREAL, H.; ALVAREZ, M.; CORDOBA, F.; FAGUA, G.; GAST, F.; MENDOZA, H.; OSPINA, M.; UMANA, M. **Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad**. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, Colombia. pp. 235. 2006.
- VOGT, J.T.; GRANTHAM, R.A.; SMITH, W.A.; ARNOLD, D.C. Prey of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) in Oklahoma peanuts. **Biological Control**, v. 30, n. 1, p.123-128. 2001.
- WANG C., J. S. STRAZANAC, L. BUTLER Association between ants (Hymenoptera: Formicidae) and habitat characteristics in oak-dominated mixed forests. **Environmental Entomology**. 30(5): 842–847. 2001.

Wild, A. L. A catalogue of the ants of Paraguay (Hymenoptera: Formicidae), pp. 1-55 in **Zootaxa** 1622 on page 41. 2007

WILSON, E. O. ¿Which are the most prevalent ant genera? **Studia Entomologica** 19: 187-200. 1976.

WILSON, E. O. La hiperdiversidad como fenomeno real: el caso de *Pheidole* p. 363-370. In: F. Fernández (ed.). **Introducción a las hormigas de la región Neotropical Bogotá**, Colômbia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, xxv + 424 p. 2003.

WILSON, E. O.; HOLLOBLER, B. The rise of the ants: a phylogenetic and cological explanation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. **PNAS perspective**. 102 (21) p.7411- 7414. 2005.

WOJCIK, D. P.; ALLEN, C.R.; BRENNER, R. J.; FORYS, E. A.; JOUVENAZ, D. P.; LUTZ, R. S. Red imported fire ants: impact on biodiversity. **American Entomologist**, v. 47, n. 1, p.6- 23. 2001.

YANG, L.H.; GRATTON, C. Insetos como condutores de processos ecossistêmicos. **Opinião atual em Insect Ciência**, 2, 26-32. 2014.

7 APÊNDICE A

Tabela 2 - Riqueza de espécies e frequência relativa (presença/ausência) de espécimes de formigas em diferentes métodos de coleta e sistemas de cultivo de café: Orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL). Poço fundo, 2019

SUBFAMÍLIA/ESPÉCIES	FREQUÊNCIA RELATIVA					
	<i>Pitfall traps</i>			Isclas atrativas (solução açucarada)		
	OSM	OSL	CSL	OSM	OSL	CSL
Myrmicinae						
<i>Pheidole gertrudae</i> Forel, 1886	1	5	1	1	-	-
<i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908	35	37	32	-	-	1
<i>Pheidole triconstricta</i> Forel, 1886	9	10	18	-	6	1
<i>Pheidole tristis</i> (Smith, F., 1858)	4	-	1	-	-	-
<i>Pheidole</i> sp. 1	-	-	-	4	1	1
<i>Pheidole</i> sp. 2	-	1	1	-	2	4
<i>Pheidole</i> sp. 3	-	-	-	-	2	1
<i>Pheidole</i> sp. 4	-	-	-	1	-	-
<i>Pheidole</i> sp. 6	44	41	49	-	-	-
<i>Pheidole</i> sp. 7	36	20	20	-	-	-
<i>Solenopsis</i> nr. <i>invicta</i> Buren, 1972	4	20	28	-	-	1
<i>Solenopsis</i> sp. 1	-	-	-	4	-	2
<i>Solenopsis</i> sp. 2	6	5	6	4	3	5
<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)	20	18	34	-	-	-
<i>Acromyrmex coronatus</i> (Fabricius, 1804)	10	2	2	-	-	-
<i>Crematogaster</i> nr. <i>evallans</i> Forel, 1907	7	13	16	-	-	-
<i>Crematogaster</i> compl. <i>crinosa</i> sp. 1 Mayr, 1862	-	-	-	11	1	1
<i>Crematogaster chodati</i> Forel, 1921	-	-	-	1	-	-
<i>Crematogaster</i> nr. <i>obscurata</i> Emery, 1895	-	-	-	1	-	1

Continua...

Tabela 2. Continuação

SUBFAMÍLIA/ESPÉCIES	FREQUÊNCIA RELATIVA					
	<i>Pitfall traps</i>			Isclas atrativas (solução açucarada)		
	OSM	OSL	CSL	OSM	OSL	CSL
Myrmicinae						
<i>Crematogaster</i> sp. 1	-	-	-	1	-	-
<i>Cyphomyrmex minutus</i> Mayr, 1862	4	14	4	-	-	-
<i>Mycocepurus goeldii</i> (Forel, 1893)	10	10	7	-	-	-
<i>Tetramorium simillimum</i> (Smith, F., 1851)	10	-	-	-	-	-
<i>Pogonomyrmex naegelii</i> Forel, 1878	3	3	1	-	-	-
<i>Apterostigma</i> gr. <i>pilosum</i> sp. 1 Mayr, 1865	1	-	-	-	-	-
<i>Cardiocondyla emeryi</i> Forel, 1881	1	-	-	-	-	-
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	10	5	1	1	-	1
<i>Strumigenys eggersi</i> Emery, 1890	2	-	-	-	-	-
<i>Mycetomoellerius</i> sp. 1	-	1	1	-	-	-
<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	-	-	-	4	8	3
<i>Nesomyrmex schwebeli</i> (Forel, 1913)	-	-	-	1	-	-
<i>Nesomyrmex</i> nr. <i>asper</i> (Mayr, 1887)	-	-	-	1	-	-
Dolichoderinae						
<i>Dorymyrmex brunneus</i> Forel, 1908	8	34	3	-	3	-
<i>Linepithema neotropicum</i> Wild, 2007	62	75	56	-	-	-
<i>Linepithema humile</i> (Mayr, 1868)	-	-	-	1	5	6
Formicinae						
<i>Brachymyrmex patagonicus</i> Mayr, 1868	19	18	21	-	-	-
<i>Brachymyrmex</i> nr. <i>heeri</i> Forel, 1874	2	3	9	-	-	-

Continua...

Tabela 2. Continuação

SUBFAMÍLIA/ESPÉCIES	FREQUÊNCIA RELATIVA					
	<i>Pitfall traps</i>			Isclas atrativas (solução açucarada)		
	OSM	OSL	CSL	OSM	OSL	CSL
Formicinae						
<i>Brachymyrmex australis</i> Forel, 1901	-	-	-	-	-	1
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1	-	-	-	-	-	1
<i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894	25	36	27	-	-	-
<i>Camponotus ager</i> (Smith, F., 1858)	11	24	4	-	-	-
<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)	13	4	9	4	4	1
<i>Camponotus (Myrmobrachys) crassus</i> Mayr, 1862	8	12	4	5	2	10
<i>Camponotus (Myrmobrachys) novogranadensis</i> Mayr, 1870	-	-	-	1	2	-
<i>Camponotus sericeiventris</i> (Guérin-Méneville, 1838)	-	-	-	2	-	-
<i>Nylandeira</i> sp. 1	4	9	9	-	-	-
<i>Myrmelachista</i> nr. <i>rudolphi</i> Forel, 1903	-	-	-	1	-	-
Ectatomminae						
<i>Ectatomma permagnum</i> Forel, 1908	17	30	21	-	-	-
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	2	3	2	-	-	-
<i>Holcaponera striatula</i> (Mayr, 1884)	8	37	31	-	-	-
<i>Gnamptogenys sulcata</i> (Smith, 1858)	-	2	2	-	-	-
<i>Typhlomyrmex lavra</i> Lattke, 2002	-	-	1	-	-	-
Ponerinae						
<i>Hypoponera</i> sp. 1	-	1	1	-	-	-
<i>Hypoponera</i> sp. 2	-	1	3	-	-	-
<i>Hypoponera</i> sp. 3	1	-	1	-	-	-

Continua...

Tabela 2. Continuação

SUBFAMÍLIA/ESPÉCIES	FREQUÊNCIA RELATIVA					
	OSM	<i>Pitfall traps</i>		Isclas atrativas (solução açucarada)		
		OSL	CSL	OSM	OSL	CSL
Ponerinae						
<i>Odontomachus chelifer</i> (Latreille, 1802)	14	7	3	-	-	-
<i>Odontomachus meinerti</i> Forel, 1905	3	1	-	-	-	-
<i>Pachycondyla striata</i> Smith, F., 1858	6	34	23	-	-	-
<i>Neoponera marginata</i> (Roger, 1861)	-	2	1	-	-	-
<i>Neoponera verenae</i> (Forel, 1922)	-	1	-	-	-	-
Dorylinae						
<i>Labidus praedator</i> (Smith, F., 1858)	3	6	12	-	-	-
Pseudomyrmecinae						
<i>Pseudomyrmex schuppi</i> (Forel, 1901)	2	-	-	1	-	-
<i>Pseudomyrmex termitarius</i> (Smith, F., 1855)	1	-	1	-	-	-
<i>Pseudomyrmex gr. pallidus</i> sp. 1 (Smith, F., 1855)	-	-	-	1	-	-
<i>Pseudomyrmex gr. pallidus</i> sp. 2 (Smith, F., 1855)	-	-	-	1	-	-
Frequência total	426	545	466	52	39	41
Riqueza (S_{obs})	38	37	39	22	12	17
Riqueza total (S_{obs})		46			30	
Riqueza estimada <i>Bootstrap</i>	40,57±1,49	39,73±1,29	43,56±1,92	26,22±1,77	13,38±1,09	21,24±1,66
Shannon-Wiener (H')	2,82±0,1	2,82±0,02	2,84±0,06	1,86±0,19	1,28±0,16	1,61±0,22

Fonte: da autora (2021)

APÊNDICE B

Tabela 3 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletada em armadilhas do tipo *pitfall traps* que mais contribuiu para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico a pleno sol (OSL), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).

Espécies	Abundância média		CSL - OSL		
	CSL	OSL	C %	C.C %	<i>p</i> - value
<i>Dorymyrmex brunneus</i>	0.37	4.25	3.0	6,5	<i>p</i> < 0.001

Fonte: da autora (2021)

Tabela 4 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas em armadilhas do tipo *pitfall traps* que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico sombreado (OSM), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).

Espécies	Abundância média		CSL - OSM		
	CSL	OSM	C %	C.C %	<i>p</i> - value
<i>Solenopsis nr. invicta</i>	3.50	0.50	2.9	18,0	<i>p</i> = 0.03
<i>Linepithema neotropicum</i>	7.00	7.75	2.8	23,9	<i>p</i> = 0.04
<i>Camponotus rufipes</i>	1.12	1.62	1.3	70,4	<i>p</i> = 0.03
<i>Acromyrmex coronatus</i>	0.25	1.25	1.1	77,8	<i>p</i> = 0.02
<i>Tetramorium simillimum</i>	0.00	1.25	0.9	84,1	<i>p</i> < 0.001
<i>Brachymyrmex nr. heeri</i>	1.12	0.25	0.9	88,0	<i>p</i> = 0.01
<i>Pheidole tristis</i>	0.12	0.50	0.4	92,9	<i>p</i> = 0.03
<i>Hypoponera</i> sp. 2	0.37	0.00	0.3	93,7	<i>p</i> = 0.02
<i>Typhlomyrmex lavra</i>	0.12	0.00	0.1	99,4	<i>p</i> = 0.03

Fonte: da autora (2021)

Tabela 5 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas em armadilhas do tipo *pitfall traps* que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas orgânico a pleno sol (OSL) e orgânico sombreado (OSM), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).

Espécies	Abundância média		OSL - OSM		
	OSL	OSM	C %	C.C %	p - value
<i>Dorymyrmex brunneus</i>	4.25	1.00	3.0	12,7	$p < 0.001$
<i>Holcaponera striatula</i>	4.62	1.00	3.3	6,6	$p = 0.02$
<i>Pachycondyla striata</i>	4.25	0.75	2.9	18,5	$p < 0.001$
<i>Camponotus ager</i>	3.00	1.37	2.3	33,9	$p = 0.04$
<i>Cyphomyrmex minutus</i>	1.75	0.50	1.3	71,3	$p = 0.04$
<i>Neoponera verena</i>	0.12	0.00	0.1	98,7	$p = 0.04$

Fonte: da autora (2021)

Tabela 6 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas em iscas atrativas (solução açucarada) que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os períodos de coleta (fase de formação dos frutos – Ff, e fase da pós-colheita – pós. colh), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).

Espécies	Abundância média		Ff – pós. colh		
	Ff	pós. colh	C %	C.C %	p - value
<i>Camponotus (Myrmobrachys) crassus</i>	1.33	0.45	11.1	12,6	$p = 0.03$
<i>Cephalotes pusillus</i>	1.44	0.18	9.8	23,8	$p = 0.01$
<i>Solenopsis</i> sp. 2	0.11	1.00	8.9	33,9	$p = 0.005$
<i>Pheidole triconstricta</i>	0.77	0.00	6.0	58,1	$p = 0.03$
<i>Pheidole</i> sp. 3	0.33	0.00	2.4	80,6	$p = 0.03$

Fonte: da autora (2021)

Tabela 7 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas nas iscas atrativas (solução açucarada) que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico a pleno sol (OSL), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).

Espécies	Abundância média		CSL - OSL		
	CSL	OSL	C %	C.C %	p - value
<i>Pheidole triconstricta</i>	0.12	1.00	9.0	46,8	$p = 0.01$
<i>Dorymyrmex brunneus</i>	0.00	0.50	4.8	76,1	$p = 0.02$
<i>Camponotus (Myrmobrachys) novogranadensis</i>	0.00	0.33	3.6	80,4	$p = 0.02$

Fonte: da autora (2021)

Tabela 8 - Análises de SIMPER envolvendo a espécie coletada nas iscas atrativas (solução açucarada) que mais contribuiu para a dissimilaridade entre os sistemas orgânico a pleno sol (OSL) e orgânico sombreado (OSM), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).

Espécies	Abundância média		OSL - OSM		
	OSL	OSM	C %	C.C %	p – value
<i>Crematogaster compl. crinosa</i> sp. 1	0.16	1.83	12.1	13,8	$p = 0.004$

Fonte: da autora (2021)

Tabela 9 - Análises de SIMPER envolvendo as espécies coletadas nas iscas atrativas (solução açucarada) que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas convencional a pleno sol (CSL) e orgânico sombreado (OSM), com a contribuição média (C%) e a contribuição cumulativa da espécie (C.C%).

Espécies	Abundância média		CSL - OSM		
	CSL	OSM	C %	C.C %	p – value
<i>Crematogaster compl. crinosa</i> sp. 1	0.12	1.83	14.7	17,5	$p < 0.001$
<i>Camponotus sericeiventris</i>	0.00	0.33	2.2	75,7	$p = 0.009$
<i>Nesomyrmex schwebeli</i>	0.00	0.16	1.8	80,2	$p = 0.01$
<i>Crematogaster</i> sp. 1	0.00	0.16	1.3	83,9	$p = 0.02$
<i>Myrmelachista nr. rudolphi</i>	0.00	0.16	1.3	85,5	$p = 0.02$
<i>Pseudomyrmex schuppi</i>	0.00	0.16	1.3	87,1	$p = 0.02$
<i>Nesomyrmex nr. asper</i>	0.00	0.16	0.9	91,9	$p = 0.03$
<i>Pheidole gertrudae</i>	0.00	0.16	0.9	93,0	$p = 0.03$
<i>Pheidole</i> sp. 4	0.00	0.16	0.9	94,1	$p = 0.03$
<i>Pseudomyrmex</i> gr. <i>pallidus</i> sp. 1	0.00	0.16	0.9	95,3	$p = 0.03$
<i>Pseudomyrmex</i> gr. <i>pallidus</i> sp. 2	0.00	0.16	0.9	96,4	$p = 0.03$

Fonte: da autora (2021)

CAPÍTULO 2

Relação entre as assembleias de formigas e a broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) em diferentes sistemas de cultivo de café em Poço Fundo-MG

Resumo

O café é a commodity mais comercializada mundialmente. No Brasil, a cultura do café é uma das atividades agrícolas mais importantes, sendo, o país, o maior produtor e exportador mundial, respondendo por cerca de 40% da produção total. Entretanto, a produção de café brasileira é ameaçada por diversos insetos pragas. Dentre eles, o mais importante é a broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, que acomete a cafeicultura em qualquer região onde seja cultivado. Para o seu controle, são adotadas diferentes estratégias, que envolvem o uso de inseticidas químicos, integração de controladores biológicos, instalação de armadilhas de captura e várias práticas culturais. A presença de formigas como predadoras e agentes controladores em agroecossistemas cafeeiros tem sido estudada contra a broca. Por esses motivos, o objetivo deste trabalho foi avaliar a incidência da broca-do-café nos frutos da planta e no solo em diferentes agroecossistemas cafeeiros, bem como determinar a presença das formigas visando à regulação de *H. hampei* nos frutos. Também foi determinada a abundância, frequência relativa (presença/ausência), riqueza e diversidade das assembleias de formigas encontradas nos frutos de café coletados. As amostragens foram realizadas em quatro propriedades pertencentes à produtores associados à Cooperativa de Produtores Familiares (COOPFAM), no município de Poço Fundo, MG. Os tratamentos foram compostos por três tipos de sistema de condução dos cultivos: 1) convencional a pleno sol (CSL); 2) orgânico a pleno sol (OSL) e 3) orgânico sombreado (OSM), adotados em quatro propriedades, totalizando 12 agroecossistemas monitorados. As amostragens compreenderam a colheita dos frutos em dois lados da planta, incluindo o terço superior, médio e inferior e coletando-se dez frutos por terço em cada um dos lados, totalizando-se 60 frutos/planta. Também foram amostrados frutos caídos ao solo, coletando-se, aproximadamente, 40 frutos na região da projeção da copa. No período de estudo foram coletadas 22 espécies/morfoespécies de formigas, distribuídas em 11 gêneros e quatro subfamílias, com 12 espécies registradas nos frutos da planta e 15 naqueles do chão. A subfamília com maior número de táxons foi Myrmicinae, com oito gêneros e 17 espécies. Nos três tratamentos, o percentual de infestação da broca atingiu o nível de dano econômico, com as maiores taxas de infestação encontradas no tratamento (CSL), que apresentou uma média de 8.9 % nos frutos da planta e 11.1% nos frutos do chão. Esse tratamento foi seguido pelo (OSM), com 8.4 % na planta e 7.9 % no chão e, por último, o que apresentou menor índice de infestação foi o tratamento (OSL), com 5.8 % na planta e 6.3 % no chão. A comparação entre a frequência relativa das formigas e o nível de infestação pela broca mostrou uma estreita relação entre o tratamento com menor índice de infestação pela praga e aqueles com maior riqueza e frequência de formigas. As espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas de cultivos foram *L. neotropicum*, *C. crinosa* sp. 1, que apresentaram maior abundância média em frutos coletados na planta, e *H. striatula*, exclusiva dos frutos do chão. Este trabalho registra os primeiros relatos sobre a relação entre frutos de café na planta e aqueles caídos ao chão na busca por informações sobre formigas predadoras de *H. hampei* nos agroecossistemas cafeeiros do município Poço Fundo-MG. Os resultados obtidos proporcionam maior entendimento sobre o comportamento das comunidades de formigas nesses estratos em diferentes sistemas de condução das lavouras cafeeiras, e proveem informações importantes para posteriores ações de conservação e realização de outros estudos ecológicos e taxonômicos na área.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, *Hypothenemus hampei*, Formicidae, Sistemas de manejo

Abstract

Coffee is the most traded commodity worldwide. In Brazil, coffee cultivation is one of the most important agricultural activities, the country being the largest producer and exporter in the world, accounting for about 40% of total production. However, Brazilian coffee production is threatened by several insect pests. Among them, the most important is the coffee borer, *Hypothenemus hampei*, which affects coffee growing in any region where it is cultivated. For its control, different strategies are adopted, which involve the use of chemical insecticides, integration of biological controllers, installation of capture traps and various cultural practices. The presence of ants as predators and controlling agents in coffee agroecosystems has been studied against the borer. For these reasons, the objective of this work was to evaluate the incidence of the coffee berry borer in the fruits of the plant and in the soil in different coffee agroecosystems, as well as to determine the presence of ants aiming at the regulation of *H. hampei* in the fruits. The abundance, relative frequency (presence/absence), richness and diversity of the ant assemblages found in the collected coffee fruits were also determined. Sampling was carried out on four properties belonging to producers associated with the Cooperativa de Produtores Familiares (COOPFAM), in the municipality of Poço Fundo, MG. The treatments consisted of three types of crop management system: 1) conventional in full sun (CSL); 2) organic in full sun (OSL) and 3) organic in shade (OSM), adopted in four properties, totaling 12 monitored agroecosystems. The sampling comprised the harvesting of fruits on two sides of the plant, including the upper, middle and lower thirds, and ten fruits were collected per third on each side, totaling 60 fruits/plant. Fruits that had fallen to the ground were also sampled, collecting approximately 40 fruits in the region of the crown projection. During the study period, 22 species/morphospecies of ants were collected, distributed in 11 genera and four subfamilies, with 12 species recorded in the fruits of the plant and 15 in those on the ground. The subfamily with the highest number of taxa was Myrmicinae, with eight genera and 17 species. In the three treatments, the borer infestation percentage reached the economic damage level, with the highest infestation rates found in the treatment (CSL), which presented an average of 8.9 % in the fruits of the plant and 11.1% in the fruits of the ground. This treatment was followed by (OSM), with 8.4% on the plant and 7.9% on the ground and, finally, the treatment (OSL) showed the lowest infestation rate, with 5.8% on the plant and 6.3% on the ground. The comparison between the relative frequency of ants and the level of infestation by the borer showed a close relationship between the treatment with the lowest rate of infestation by the pest and those with the highest richness and frequency of ants. The species that most contributed to the dissimilarity between cropping systems were *L. neotropicum*, *C. crinosa* sp. 1, which presented the highest average abundance of fruits collected on the plant, and *H. striatula*, which was exclusive to fruits on the ground. This work records the first reports on the relationship between coffee fruits on the plant and those fallen to the ground in the search for information about predatory ants of *H. hampei* in the coffee agroecosystems of the municipality of Poço Fundo-MG. The results obtained provide a better understanding of the behavior of ant communities in these strata in different systems of management of coffee plantations, and provide important information for later conservation actions and the realization of other ecological and taxonomic studies in the area.

Keywords: *Coffea arabica*, *Hypothenemus hampei*, Formicidae, Management systems

1 INTRODUÇÃO

O café é a commodity mais comercializada mundialmente (VEGRO e ALMEIDA, 2020), com um rendimento anual estimado em mais de 70 bilhões de dólares em diversos países em desenvolvimento. Estima-se que aproximadamente 20 milhões de famílias em todo o mundo dependem dessa cultura para sua subsistência (VEGA et al., 2015). No Brasil é uma das atividades agrícolas mais importantes, sendo o maior produtor e exportador, respondendo por cerca de 40% do total da produção mundial (ALMEIDA e ZYLBERSZTAJN, 2017; VOLSI et al., 2019; CONAB, 2020). O Estado de Minas Gerais é responsável por mais de 46% da produção nacional, com 21,45 milhões de sacas colhidas, sendo o maior produtor e exportador nacional de café arábica (CONAB, 2020).

Ainda que seja o produto agrícola mais comercializado no mundo, a produção de café na região é ameaçada por diversos insetos pragas (REIS et al., 2002 e JARAMILLO et al., 2006). Os prejuízos econômicos causados pelas pragas à cultura do cafeeiro foram estimados em cerca de 900 milhões de dólares ao ano (OLIVEIRA et al., 2013). Segundo Reis et al. (2002), são consideradas pragas primárias no Brasil, o bicho-mineiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville e Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) e a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae).

A broca é a praga mais importante da cafeicultura mundial, sendo responsável por perdas quantitativas e qualitativas na produção (INFANTE et al., 2012; CURE et al., 2020). Segundo Silva et al., 2020, existem estudos referentes às perdas quantitativas os quais demonstram que a queda natural dos frutos, ocasionada pelo ataque da broca, pode atingir 13% em cultivos de *Coffea arabica* L. (Arábica) e em torno de 46% em *Coffea canephora* Pierre & Froehner (Conillon). No Brasil, os prejuízos anuais causados por essa praga ultrapassam os 300 milhões de dólares (OLIVEIRA et al., 2013; MOTA et al., 2017).

O controle da broca-do-café não é simples, porque ela passa grande parte do seu ciclo de vida no interior dos frutos e, segundo Constantino (2011), tem sua densidade populacional fortemente influenciada pelas condições climáticas. Por isso, o manejo mais adequado para o controle de *H. hampei* deve ser realizado integrando métodos culturais, comportamental, biológico e químico.

Entre as principais práticas culturais recomendadas atualmente para se reduzir o reservatório de *H. hampei* na entressafra, ressalta-se a colheita bem feita, visto que, dentre os frutos secos deixados nas árvores e no solo, em torno de 75% estão infestados com *H. hampei* (ARISTIZÁBAL et al., 2016; JOHNSON et al., 2020; SILVA et al., 2020). Por outra parte, o

uso de agrotóxicos continua sendo a medida de controle mais comum das pragas do cafeeiro no Brasil (LEITE et al., 2020; VENZON, 2021). Particularmente para a broca, estão registrados 26 produtos comerciais no Agrofite/Mapa (2020), pertencentes aos grupos químicos diamida antranílica, tetranortriterpenoide, semicarbazone, fenilpirazol, avermectina, espinosinas, éter difenílico e organofosforado (SILVA et al., 2020). Apesar disso, a broca-do-café continua causando grandes perdas econômicas (OLIVEIRA et al., 2013; INFANTE et al., 2014; JOHNSON et al., 2020).

Com relação ao controle biológico da broca-do-café na região Neotropical, encontra-se o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* (Bals. -Criv.) Vuill., que pode ser aplicado nos cafeeiros ou ocorrer naturalmente nas lavouras (NEVES, 2007; MASCARIN e JARONSKI, 2016; GRECO et al., 2018). Além desse fungo, existem diversas espécies de parasitoides: *Prorops nasuta* (Waterson, 1923), *Cephalonomia stephanoderis* (Betren, 1961), *Heterospilus coffeicola* (Schimideknecht, 1924) e *Phymastichus coffea* (LaSalle 1990) (HANSON e GAULD, 2006; ARISTIZÁBAL et al., 2016; CARVALHO et al., 2019). Adicionalmente, se reportam espécies de inimigos naturais, como crisopídeos e formigas (MORRIS e PERFECTO, 2016; BOTTI et al., 2021; ROSADO et al., 2021).

As formigas, segundo Gonthier et al., 2013; Jiménez-Soto et al., 2013; Veja et al., 2015 e Morris et al., 2015, 2018, são agentes bem-sucedidos no controle biológico da broca do café. Na Colômbia, foram encontradas associadas a todos os estágios de *H. hampei*, alcançando uma remoção de cerca de 7% de imaturos do interior dos frutos (VÉLEZ et al., 2000; 2001; CÁRDENAS E POSADA, 2001). No México, Gonthier et al. (2013) verificaram que pelo menos seis espécies de formigas podem impedir que adultos da broca em deslocamento sobre as plantas de café colonizem os frutos. Por outra parte, Gallego e Armbrecht (2005), na Colômbia, e Larsen e Philpott (2010), no México, constataram que espécies de formigas menores podem entrar nos orifícios feitos nos frutos pelos adultos da broca e removê-los de suas galerias. Gallego e Armbrecht (2005) ainda constataram uma redução de 55% de adultos de *H. hampei* presentes nos frutos de café. Também na Colômbia, Vélez et al. (2003) encontraram a formiga *Gnamptogenys* sp. se alimentando de adultos da broca-do-café em ensaios de laboratório.

Mais recentemente, Newson et al. (2021) reportaram em cultivos de café em Porto Rico, as espécies *Solenopsis invicta* Buren, 1972 e *W. auropunctata* como agentes potenciais na redução do dano e da sobrevivência da broca-do-café. Em pesquisa conduzida em laboratório por Morris e Perfecto (2016), no México, *W. auropunctata* e *S. picea* foram observadas removendo larvas e pupas da broca, sendo, *W. auropunctata*, reconhecida como mais eficiente.

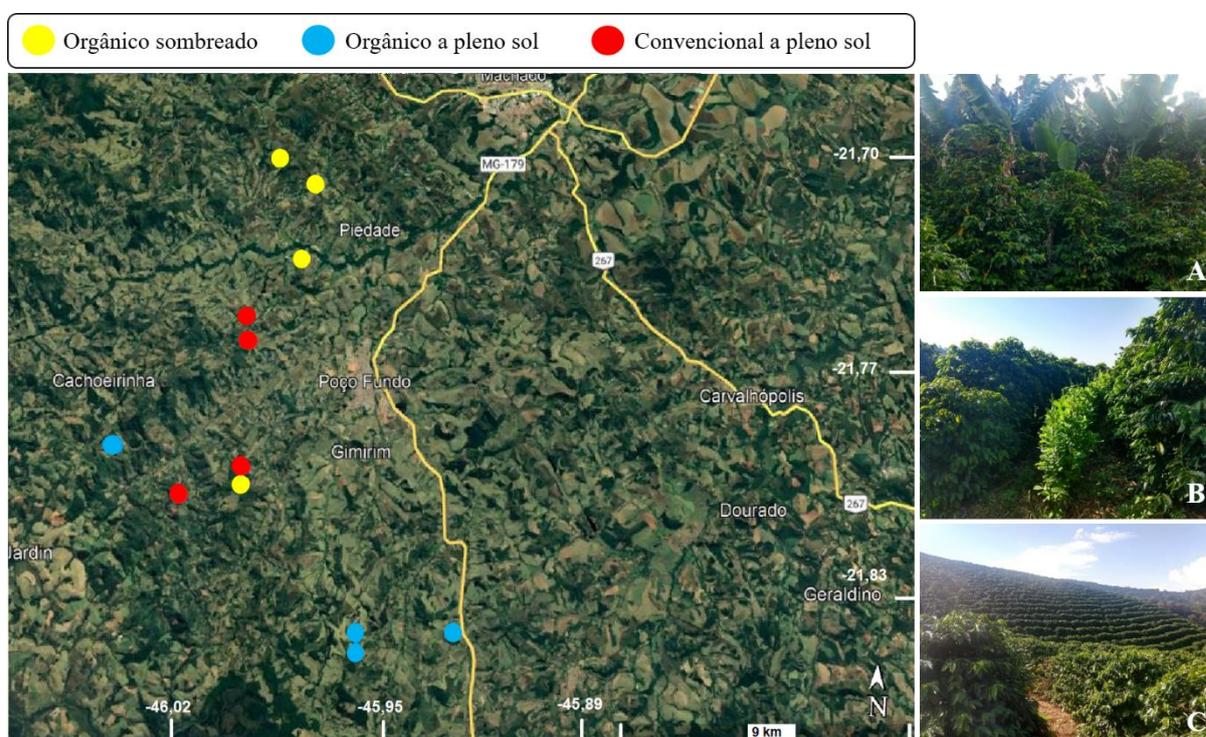
Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a incidência da broca-do-café nos frutos remanescentes na planta e naqueles caídos ao chão, em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, bem como determinar a presença das formigas visando a regulação de *H. hampei* nos frutos. Objetivou-se, também, determinar a abundância, frequência (presença/ausência), riqueza e diversidade das assembleias de formigas encontradas nos frutos de café coletados nos diferentes sistemas de cultivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em 12 agroecossistemas cafeeiros conduzidos sob três diferentes sistemas de cultivo: 1) orgânico sombreado (OSM), 2) orgânico a pleno sol (OSL) e 3) convencional a pleno sol (CSL). Para cada um dos sistemas estudados, foram tomadas amostras de quatro propriedades, todas pertencentes a produtores associados à Cooperativa de Produtores Familiares de Poço Fundo e região (COOPFAM), localizadas no município de Poço Fundo (21°46'59" S, 45°57'13" W), MG, Brasil (Figura 1). As características agronômicas dos sistemas de cultivo onde foram conduzidos os trabalhos são apresentadas na Tabela 1 no Apêndice A.

Figura 1 Distribuição dos agroecossistemas cafeeiros: a) orgânico sombreado (OSM): amarelo; b) orgânico a pleno sol (OSL): azul e c) convencional a pleno sol (CSL): vermelho. Poço Fundo, MG. 2019.



Fonte: da autora, adaptado de Google Earth© (2021)

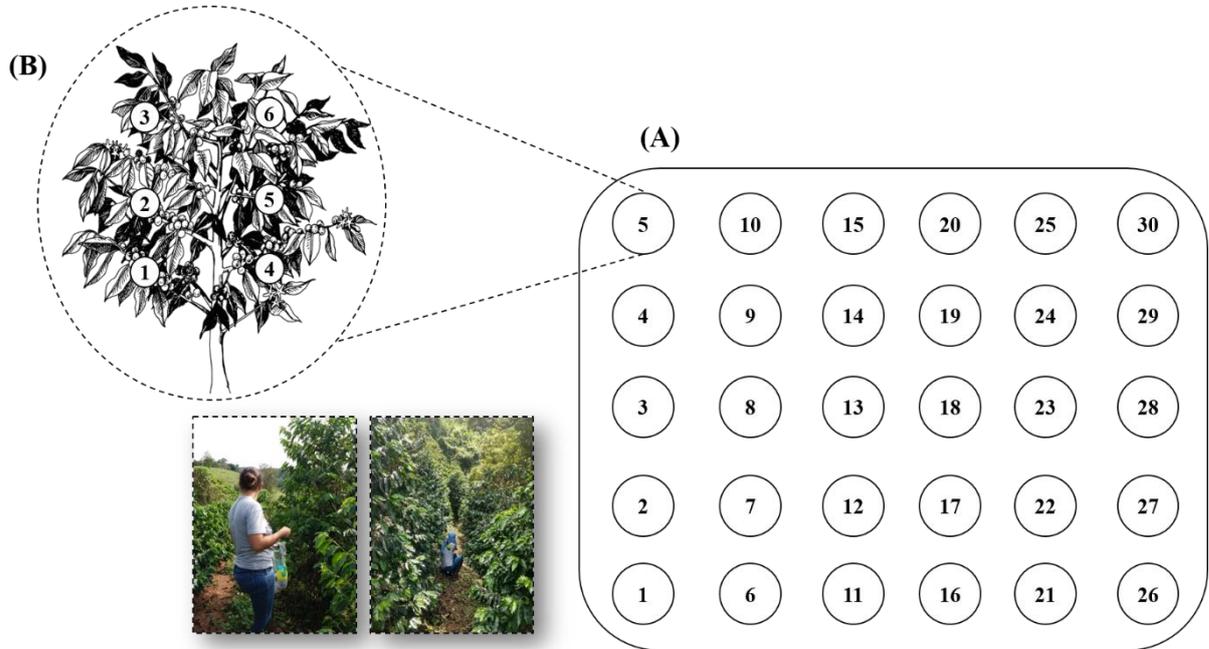
2.2 Incidência da broca-do-café nos frutos e presença das formigas

A incidência da broca-do-café e a presença de formigas nos frutos foram verificadas em duas fases fenológicas da planta de café: 1) maio 2019 (fase de formação dos frutos) e 2) setembro 2019 (fase pós-colheita). Em cada uma das doze propriedades foram delimitados seis transectos, onde foram estabelecidos cinco pontos de amostragem. Cada ponto foi representado por uma planta de café, onde se coletaram grãos, tanto na planta como na superfície do solo, cuja área de coleta foi correspondente à projeção da parte aérea do cafeeiro. Totalizaram-se 30 plantas por tratamento (Figura 2a).

A coleta dos frutos em cada uma das plantas foi feita manualmente, nos dois lados da linha de plantio, tomando-se amostras dos terços superior, médio e inferior (Figura 2b). Coletaram-se dez frutos por terço e por lado, num total de 60 frutos/planta. Para os frutos caídos no chão, foram coletados 40 frutos/área correspondente à projeção da copa. Tanto os frutos coletados nas plantas, como aqueles caídos no chão foram acondicionados isoladamente em

potes hermeticamente fechados e levados para o laboratório onde se realizou triagem dos frutos broqueados.

Figura 2 Distribuição dos pontos de amostragem adotados em cada uma das propriedades de produção de café, em Poço fundo, MG.

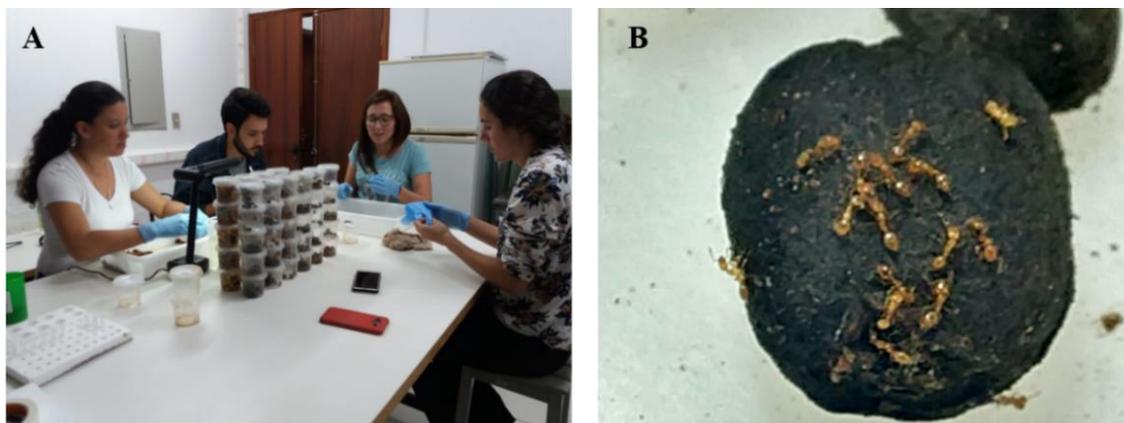


Fonte: da autora (2021)

2.3 Triagem e identificação do material

Após o recolhimento dos frutos, todo o material foi trasladado para o Departamento de Entomologia (DEN), Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Em laboratório, esses frutos foram abertos para verificar a presença de *H. hampei* e de formigas, essas últimas também procuradas no interior dos recipientes de armazenamento (Figura 3).

Figura 3 Triagem de frutos de café broqueados por *Hypotenemus hampei* em laboratório. A) Atividade de triagem; B) Representantes de formigas encontradas nas amostras. DEN/ESAL/UFLA.



Fonte: da autora (2019)

Realizou-se a separação e classificação das formigas em morfoespécies, conservando-as em frascos contendo álcool etílico a 70%. Em uma etapa posterior, realizou-se a montagem em alfinete entomológico e identificação até o nível de gênero utilizando-se as chaves de Baccaro et al. (2015). Consecutivamente, representantes das morfoespécies foram entregues ao Dr. Rodrigo M. Feitosa, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, que procedeu a identificação até o menor nível taxonômico possível. Os espécimes identificados serão depositados no Centro de Coleções da UFLA, Lavras, MG, e na coleção entomológica Padre Jesus Santiago Moure, em Curitiba, PR.

2.4 Análise de dados

A relações das formigas com *H. hampei* foram determinadas levando-se em conta os diferentes sistemas de cultivo do café (orgânico sombreado, orgânico a pleno sol e convencional a pleno sol). Determinou-se a incidência da broca-do-café nos frutos coletados na planta e no solo por meio da metodologia para o cálculo do índice de infestação de *H. hampei* publicada pela EPAMIG, Sul de Minas (Souza et al., 2015). Utilizou-se a planilha de monitoramento para cada talhão (propriedade), diferindo, contudo, pelo fato de os frutos terem sido removidos. Nas plantas, coletou-se um total de 1.800 frutos (dez frutos tomados de seis pontos = 60 x 30 cafeeiros/talhão) e, para os frutos do chão, totalizaram-se 1.200 (quatro pontos na área de projeção da copa = 40 x 30 cafeeiros/talhão). Para o cálculo do índice de infestação dos frutos coletados na planta, dividiu-se o total de frutos broqueados (TFB) por 18 (fator fixo); e para

aqueles coletados no chão, dividiu-se por 12 (fator fixo), seguindo a metodologia da EPAMIG com modificações.

Para as formigas encontradas nos frutos efetuou-se uma análise descritiva da composição taxonômica das espécies, subfamílias e grupos funcionais dos espécimes representados e realizou-se uma análise de riqueza de espécies, frequência relativa (presença/ausência) dos táxons nos diferentes sistemas de cultivo de café. Os grupos funcionais foram descritos conforme proposto por Delabie et al. (2000) e Silvestre et al. (2003), para as comunidades de formigas da Mata Atlântica e do Cerrado no Brasil, respectivamente.

As riquezas de formigas referentes aos tratamentos foram comparadas por meio das curvas de rarefação de Coleman. O nível de completitude das amostragens foi determinado por meio do estimador de riqueza de espécie não-paramétrico Bootstrap, que prediz o número possível de espécies presentes, embora não detectadas, nas amostras. A análise de Bootstrap estima, iterativamente, a riqueza de espécies a partir da proporção de amostras nas quais cada espécie é encontrada (GOTELLI e CHAO, 2013). A diversidade das assembleias de formigas foi analisada por meio do índice de Shannon-Wiener (H').

Para verificar possíveis diferenças na composição das assembleias de formigas entre as variáveis (frutos da planta e frutos do chão) e tratamentos (sistemas de cultivo), se realizou uma análise multivariada permutacional de variância (PERMANOVA, ANDERSON, 2001) usando a distância de Bray-Curtis e 1000 permutações. A função 'Adonis' no pacote vegan (OKSANEN et al., 2013) foi usada para PERMANOVA.

A frequência de captura de formigas e o índice de infestação da broca foram analisados por um modelo linear generalizado com distribuição Quasipoisson devido ao fato de apresentar uma superdispersão. Para determinar o efeito dos tratamentos, foi utilizado um teste qui-quadrado da razão de verossimilhança seguido de comparações pelo teste de Tukey com correção de Bonferroni ($p = 0,05$). A qualidade do ajuste foi determinada através de um gráfico seminormal com um envelope de simulação.

Utilizou-se ANOSIM para testar as diferenças nas dissimilaridades de assembleias de formigas. Foi aplicado um teste de porcentagem de similaridade SIMPER usando uma matriz de distância Bray-Curtis e 1000 permutações (CLARKE, 1993), que permite determinar quais espécies contribuíram mais pelas diferenças. A análise SIMPER fornece um percentual de dissimilaridade entre os tratamentos e uma descrição da contribuição de cada espécie para tal dissimilaridade. Uma análise de ordenação (NMDS) foi empregada para representar os resultados da análise ANOSIM, utilizando a distância de Bray-Curtis para a ordenação.

Finalmente, um método estatístico exploratório multidimensional, análise de Correspondência Canônica (CCA), foi adotado para estudar as correlações entre a frequência das formigas e as variáveis altitude das propriedades, idade dos cafezais, área de plantio, produção de café e porcentual de infestação de *H. hampei*. As análises foram executadas através do programa R versão 4.0 (R Core Team, 2020), utilizando-se o pacote Vegan (OKSANEN et al., 2020).

3 RESULTADOS

3.1 Composição taxonômica e riqueza da mirmecofauna presente nos frutos

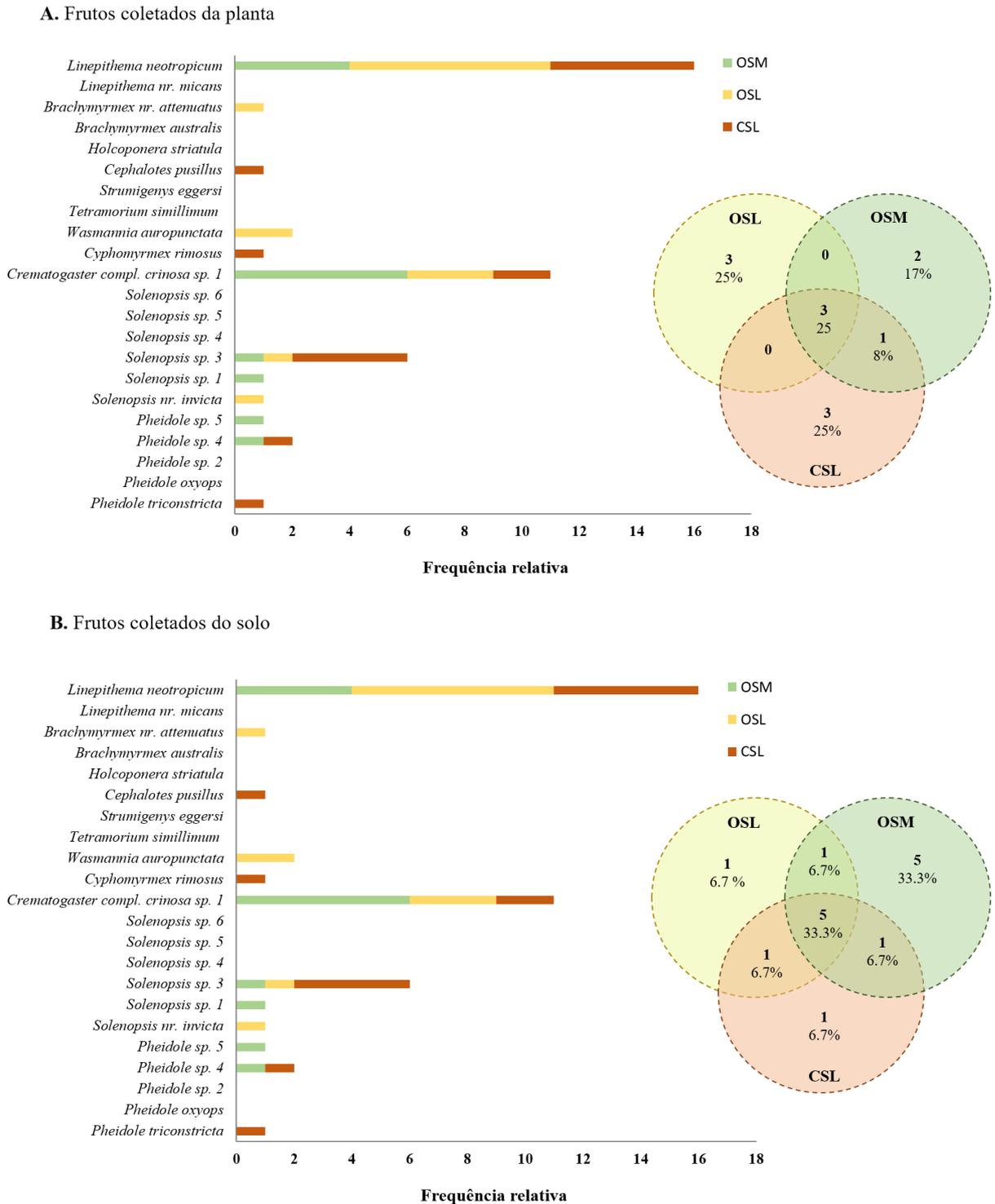
No período de estudo foram coletadas 22 espécies/morfoespécies de formigas, distribuídas em 11 gêneros e quatro subfamílias, com 12 espécies registradas nos frutos da planta e 15 nos frutos caídos ao chão (Apêndice B, Tabela 2). A subfamília com maior número de táxons foi Myrmicinae, com oito gêneros e 17 espécies.

Os diferentes sistemas de manejo estudados compartilharam, para os frutos coletados da planta, uma riqueza de três espécies: *Linepithema neotropicum* Wild, 2007, *Crematogaster* compl. *crinosa* sp. 1 Mayr, 1862 e *Solenopsis* sp. 3, representando 25% do total de espécies (Figura 4a). Já para os frutos coletados do chão, foram cinco espécies compartilhadas, *L. neotropicum*, *Holcaponera striatula* (Mayr, 1884), *Strumigenys eggersi* Emery, 1890, *Pheidole oxyops* Forel, 1908 e *Pheidole triconstricta* Forel, 1886, correspondendo a 33.3% do total de espécies constatadas (Figura 4b).

No sistema orgânico sombreado, 33.3% das espécies de formigas coletadas no chão foram exclusivas desse estrato, sendo esse o tratamento e a variante (solo) com o maior número de espécies exclusivas constatadas no nosso estudo (Figura 4b; Apêndice B, Tabela 2). As espécies representadas foram: *C. crinosa* sp. 1, *Tetramorium simillimum* (Smith, F., 1851), *Brachymyrmex australis* Forel, 1901, *Linepithema* nr. *micans* (Forel, 1908) e *Solenopsis* sp. 6.

Por outro lado, as espécies com maior frequência total foram *L. neotropicum* (26.5%), *C. crinosa* sp. 1 (12.7%), *Solenopsis* sp. 3 (10.6%), *P. triconstricta* (7.4%) e *H. striatula* (7.4%) (Apêndice B, Tabela 2). Entre elas, *P. triconstricta* e *H. striatula* foram mais frequentes nos frutos apanhados no chão, e *L. neotropicum*, *C. crinosa* sp. 1 e *Solenopsis* sp. 3, nos frutos coletados nas plantas.

Figura 4 Diagramas da frequência relativa das espécies de formigas (Formicidae) compartilhadas entre os tratamentos compostos por cultivos de café sob os sistemas orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL) e as variáveis: A) frutos coletados da planta, e B) frutos coletados do solo (área correspondente à projeção da copa).



Fonte: da autora (2021)

3.2 Grupos funcionais

As 22 espécies de formigas amostradas nas áreas de café foram classificadas em sete grupos funcionais (Apêndice B, Tabela 2), os quais foram nomeados de acordo com Delabie et al. (2000), Silvestre et al. (2003). As espécies pertencentes ao grupo “dominantes onívoras de solo e serapilheira” (DOS) foram as mais frequentes, com 14 espécies (63.6%) do total; seguidas pelas oportunistas de solo e vegetação (OSV), com 3 espécies (13.6%). Os demais grupos funcionais foram menos frequentes, sendo representados por apenas uma espécie cada (Apêndice B, Tabela 2). Verificou-se que, entre as quatro espécies mais frequentes, três são do grupo das dominantes onívoras de solo e serapilheira (DOS) e uma pertence ao grupo das onívoras arbóreas, que ocasionalmente se alimentam em estratos inferiores (OAI) (Apêndice B, Tabela 2).

Quanto às variáveis, verificou-se que, nos frutos coletados da planta, foram observados representantes de cinco grupos funcionais (entre os sete representados no total), entre eles o grupo das dominantes onívoras de solo e serapilheira (DOS) e o grupo das onívoras arbóreas, que ocasionalmente se alimentam em estratos inferiores (OAI), e que foram presentes nos três tratamentos. O grupo das cultivadoras de fungo a partir de material em decomposição (CFD) e arborícolas que se alimentam de pólen (AEP) foram exclusivas do tratamento convencional a pleno sol (CSL) e, por último, o grupo das oportunistas de solo e vegetação (OSV), que somente foram encontradas no tratamento orgânico a pleno sol (OSL) (Apêndice C, Figura 5a).

Da mesma forma, nos frutos coletados no chão também ocorreram representantes de cinco grupos funcionais (entre os sete definidos). O grupo das ponerineas predadoras generalistas de solo e serapilheira (PPG), das predadoras especialistas de solo e serapilheira (PES) e das dominantes onívoras de solo e serapilheira (DOS) foram encontradas nos três tratamentos, ao passo que as oportunistas de solo e vegetação (OSV) e aquelas que ocasionalmente se alimentam em estratos inferiores (OAI) foram exclusivas do tratamento orgânico sombreado (OSM) (Apêndice C, Figura 5b).

3.3 Diversidade e estimativas de riqueza de espécies

Analisando-se as curvas de acumulação de espécies para os frutos coletados das plantas, com uma riqueza observada total de 12 espécies, verifica-se que elas apresentam uma certa tendência à assíntota, mas, continuam ascendentes (Apêndice D, Figura 6a). Para os frutos

coletados no chão, com uma riqueza observada de 15 espécies, se constata que as curvas continuam ascendentes, não atingindo a assíntota (Apêndice D, Figura 6b).

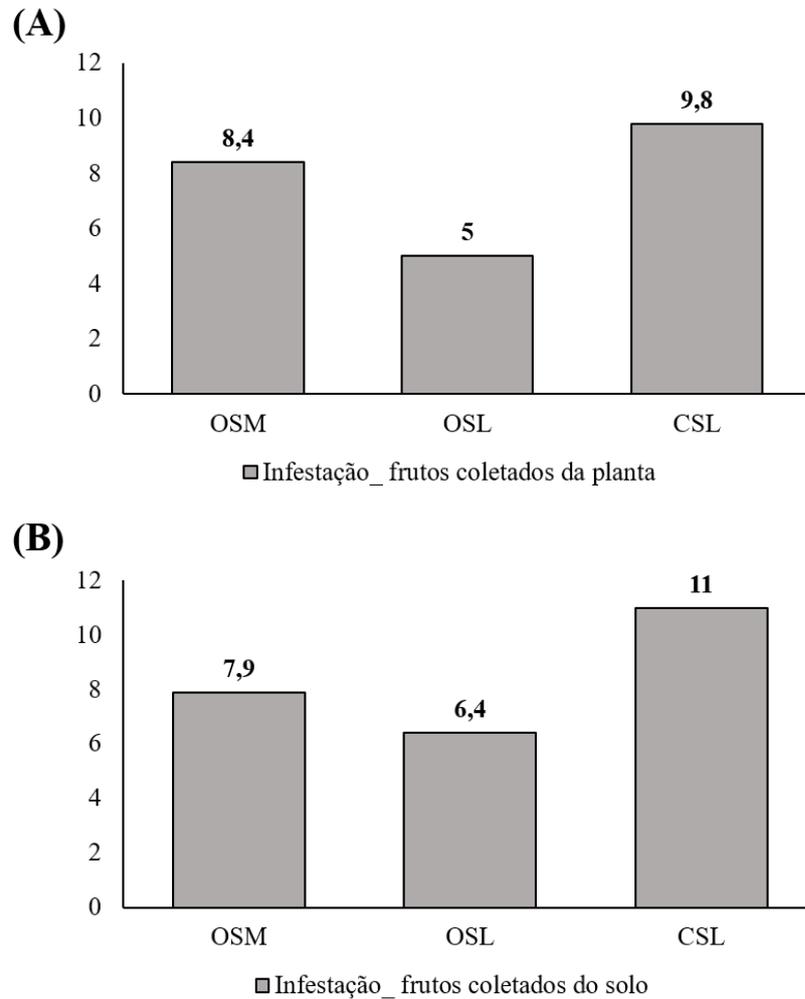
A suficiência amostral obtida pelo estimador de riqueza de espécies não-paramétrico, baseado na incidência (Bootstrap), para as áreas de café amostradas, permitiu constatar que as curvas continuam ascendentes, não atingindo a assíntota (Apêndice D, Figuras 6 c, d). Porém, por meio da riqueza estimada verifica-se que os valores não estão muito acima da riqueza observada (Apêndice B, Tabela 2). Apesar de estabilizadas, as estimativas da riqueza também apontam para uma tendência de aumento da riqueza de espécies (Apêndice D, Figuras 6 c, d). Para os frutos coletados na planta, a suficiência amostral foi de 81% e para os frutos apanhados no chão, foi de 92%, indicando que o esforço amostral foi adequado para cada tratamento e variante.

O índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') não diferiu de forma significativa entre tratamentos (OSM, OSL, CSL), para os frutos da planta (One-way anova; $F_{2,6} = 0.006$; $p = 0.9940$), bem como para os frutos do chão ($F_{2,6} = 0,03$; $p = 0.9688$) (Apêndice B, Tabela 2).

3.4 Incidência da broca-do-café e presença de formigas nos diferentes sistemas de cultivo de café e nos frutos coletados da planta e frutos coletados no solo

Entre os tratamentos estudados, as maiores taxas de infestação por *H. hampei* foram encontradas no sistema convencional a pleno sol (CSL), com uma média de 9.8 % nos frutos coletados na planta e 11 % naqueles coletados do chão. Os valores obtidos para esse sistema foram seguidos por aqueles verificados no tratamento orgânico sombreado (OSM), com 8.4 % na planta e 7.9 % no chão e, por último, o tratamento orgânico a pleno sol (OSL), que apresentou menor índice de infestação, com 5 % nos frutos coletados na planta e 6.4 % naqueles coletados no chão. Por conseguinte, a porcentagem de infestação pela broca, nos três tratamentos, atingiu o nível de dano econômico (Figuras 7 a, b).

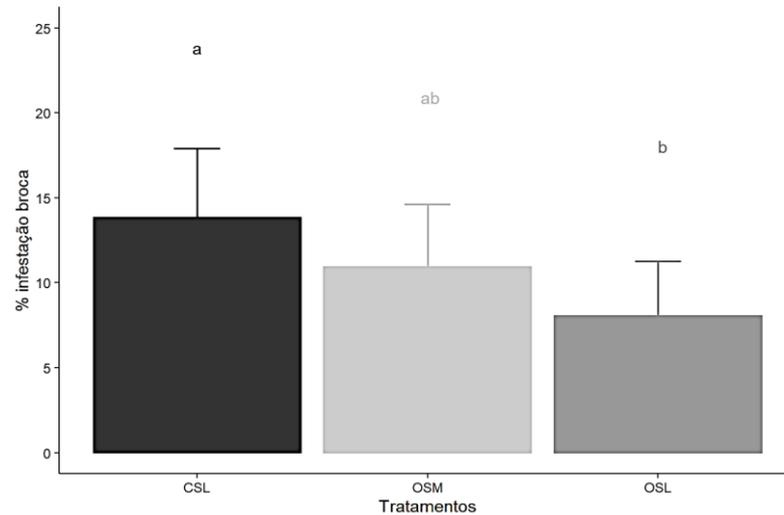
Figura 7 Comportamento da incidência de *Hypothenemus hampei* nos tratamentos estudados: Orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL); (A) frutos coletados da planta (B) frutos coletados do solo (área correspondente à projeção da copa).



Fonte: da autora (2021)

O resultado da análise do total de frutos broqueados por variante (frutos coletados da planta e frutos coletados do solo) não mostrou diferença significativa entre eles (GLM; $\chi^2=2.39$, d.f.=1, $p=0.12$). No entanto, entre os tratamentos houve diferença significativa (GLM; $\chi^2=7.27$, d.f.=2, $p=0.02$) (Figura 8).

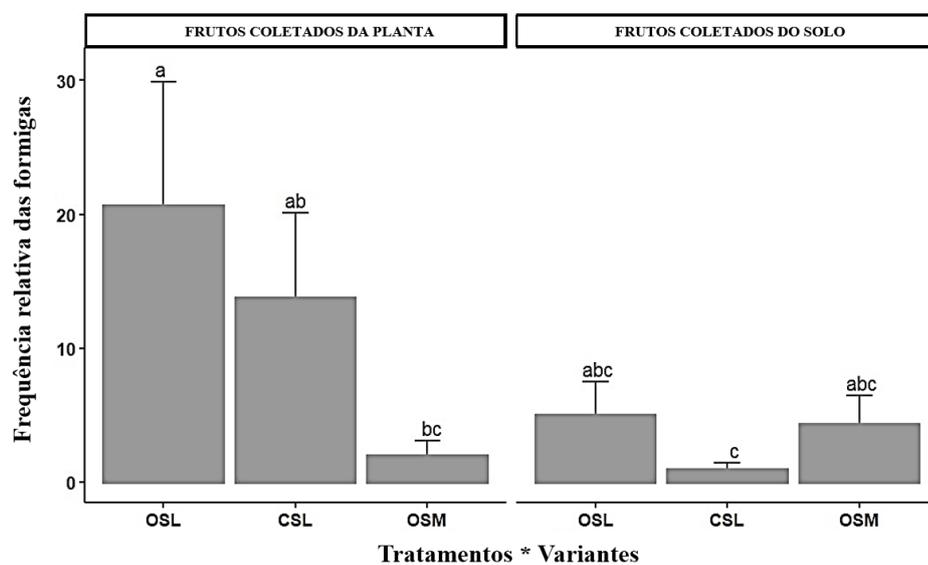
Figura 8 Comportamento total da incidência de infestação de *Hypothenemus hampei* nos tratamentos Orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL).



Fonte: da autora (2021)

Os resultados obtidos para a análise da frequência relativa de formigas mostraram o efeito de interação entre as variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados do solo) e os tratamentos (OSM, OSL, CSL) (GLM; $\chi^2=10.59$, d.f.=2, $p<0.01$) (Figura 9).

Figura 9 Frequência relativa das formigas nas variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados do solo) e nos tratamentos orgânico sombreado (OSM), orgânico a pleno sol (OSL) e convencional a pleno sol (CSL).



Fonte: da autora (2021)

Observou-se que o percentual de infestação de *H. hampei* no tratamento orgânico a pleno sol (OSL) foi de 5 %, em relação aos frutos da planta (Figura 7a). Apesar de ter atingido o nível máximo de controle estabelecido para o controle da broca-do-café no Brasil, verifica-se uma relação entre o tratamento com menor índice de infestação pela broca e aqueles com maior abundância de formigas (Figura 9; Apêndice B, Tabela 2), embora esses resultados não sejam conclusivos. Por outra parte, no tratamento orgânico sombreado (OSM) observou-se um índice alto (8.4 %) de infestação da broca e uma baixa abundância das formigas, no que se refere aos frutos coletados na planta (Figuras 7a e 9)

Com relação aos frutos coletados no chão, verificou-se comportamento similar ao constatado no tratamento convencional a pleno sol (CSL), ou seja, um elevado índice de infestação e menor riqueza de espécies e frequência relativa de formigas (Figuras 7b e 9; Apêndice B, Tabela 2).

3.5 Relação da composição das assembleias de formigas com os diferentes sistemas de cultivo de café e as variáveis: frutos coletados da planta e frutos coletados no solo

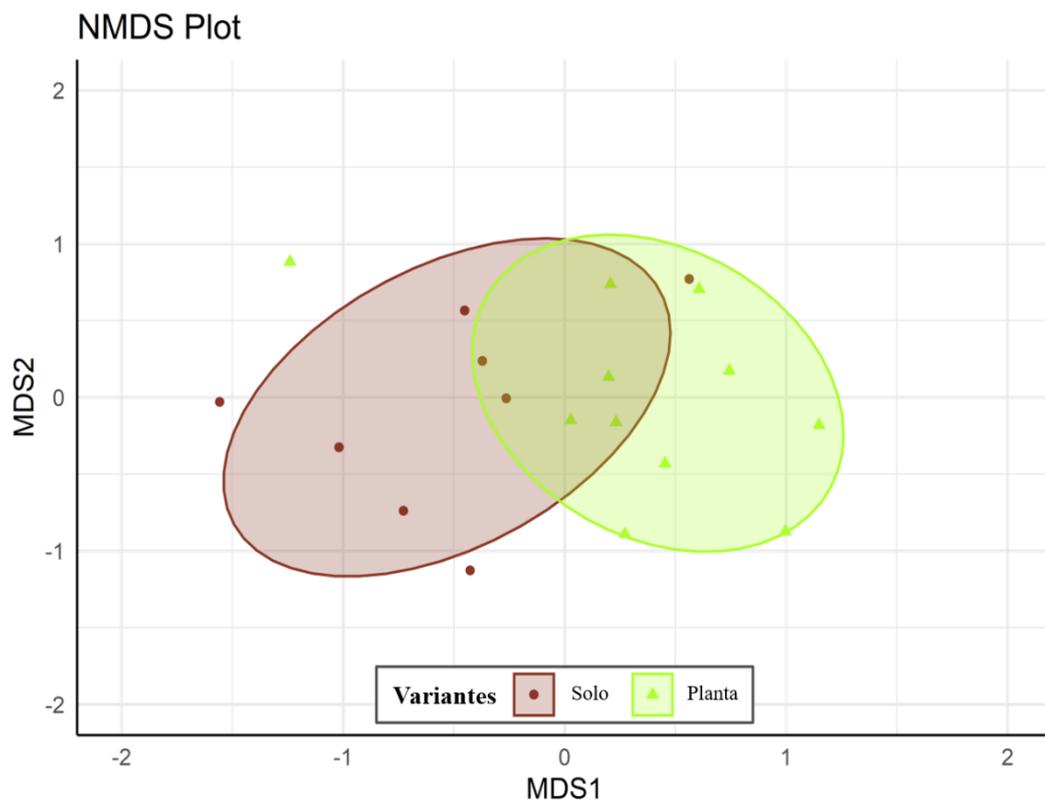
Com relação à frequência total das assembleias de formigas, os resultados da análise realizada não evidenciaram diferença significativa entre as variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados no solo) (GLM; $\chi^2=0,1$, d.f.=1, $p=0.99$) e, tampouco, entre tratamentos (OSL, OSM, CSL) ($\chi^2=0.1$, d.f.=2, $p=0.91$), mas, diferenças significativas ($F_{2,13} = 2.2397$; $p = 0.03$) foram verificadas na composição das assembleias de formigas entre variáveis e tratamentos por meio da análise de Permanova (Bray-Curtis; $F_{1,13} = 5.3287$; $p < 0.001$).

Os resultados da análise multivariada por contraste com a função Adonis2, entre tratamentos e variáveis, demonstraram diferenças significativas para as variáveis entre os tratamentos CSL - OSL (Permanova, Bray-Curtis; $F_{1,11} = 2.4003$; $p = 0.03$) e OSL - OSM ($F_{1,11} = 2.4003$; $p = 0.03$). Em contrapartida, a análise para detecção de diferenças entre os tratamentos demonstrou diferença significativa apenas entre os sistemas OSL - OSM ($F_{1,10} = 2.2071$; $p = 0.04$).

Por meio da representação gráfica realizado pelo NMDS (Escalonamento Multidimensional Não-Métrico), para as duas variáveis, observam-se agrupamentos bem definidos das comunidades de formigas (Figura 10). O teste ANOSIM, Bray-Curtis ($R=0,292$; $p=0.005$) comprovou o observado pelo NMDS, pois houve diferença significativa na

similaridade da composição das assembleias de formigas nas diferentes variáveis (planta e chão).

Figura 10 Representação gráfica da ordenação por escalonamento não-métrico (NMDS) utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis, baseada na frequência das formigas presentes nas diferentes variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados no solo); com um Stress: 0.12. ANOSIM, Bray-Curtis ($R=0,292$; $p=0.005$)



Fonte: da autora (2021)

A análise de SIMPER para as variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados do solo) revelou que as espécies de formigas que mais contribuíram para a dissimilaridade foram *L. neotropicum* e *C. crinosa* sp. 1, com maior abundância média nos frutos coletados na planta, e *H. striatula*, exclusiva dos frutos coletados no chão (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados das análises de SIMPER realizadas para as espécies de formigas que mais contribuíram para a dissimilaridade entre as variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados no solo), mostrando a abundância média por grupo (Abun. Média), a contribuição média para a dissimilaridade das espécies (C%) e a contribuição cumulativa ordenada (C.C%).

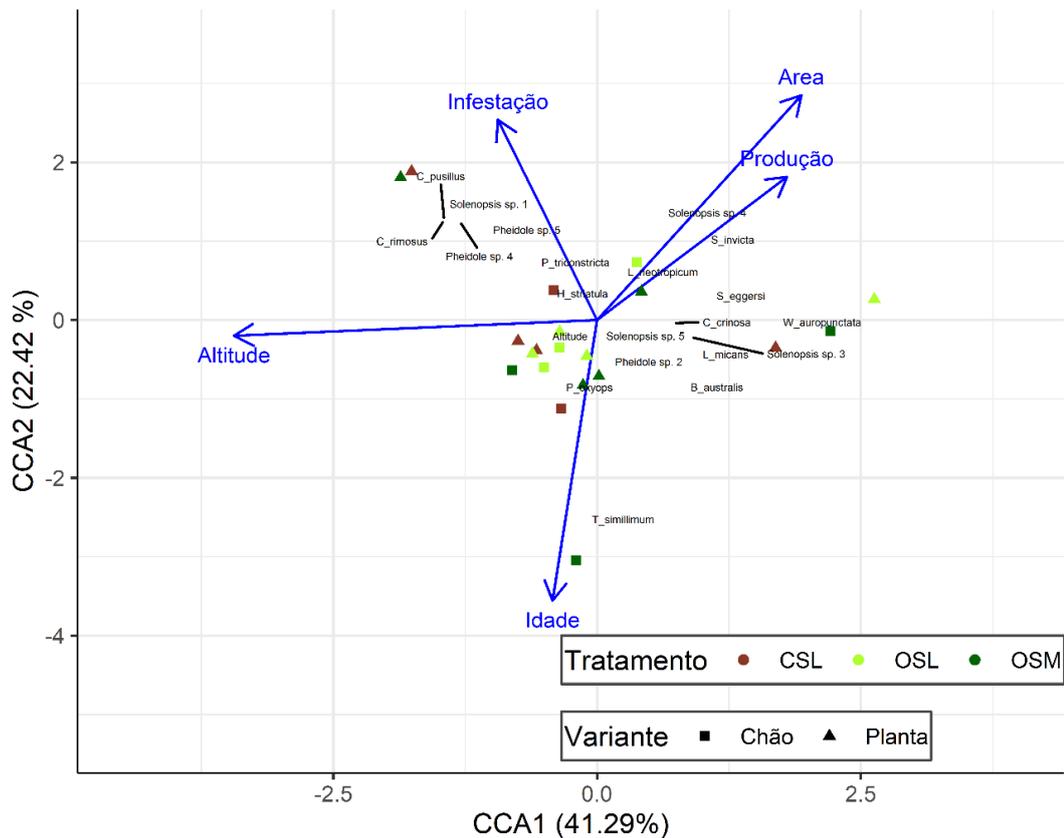
Espécies	Abun. média			
	Planta	Solo	C %	C.C %
<i>Linepithema neotropicum</i>	3.33	1.12	16.6	18.8
<i>Crematogaster compl. crinosa</i> sp. 1	0.91	0.12	10.83	31.51
<i>Holcaponera striatula</i>	0.00	0.87	10.16	43.37

Fonte: da autora (2021)

Por meio dos resultados da análise de Correspondência Canônica observa-se uma explicação de 41.29 % para o eixo 1 e de 22.42% para o eixo 2, com confiabilidade total de 63.71% (Figura 11). Verificou-se que as espécies *P. triconstricta*, *Pheidole* sp. 4, *Pheidole* sp. 5, *Solenopsis* sp. 1, *C. rimosus* e *Cephalotes pusillus* (Klug, 1824) estão mais relacionadas aos frutos coletados na planta, para os tratamentos CSL e OSM, com uma associação à baixa infestação da broca-do-café. Com relação à variável idade dos cafeeiros, verificou-se que a espécie *T. simillimum* foi exclusiva de frutos coletados no solo no sistema OSM.

Observou-se, ainda, que as variáveis área de plantio e produção dos cafeeiros independentemente do sistema, estão exercendo maior influência sobre as espécies *Solenopsis* sp. 4, *S. invicta* e *L. neotropicum* (Figura 11). Verificou-se, também, que ambas as variáveis (área de plantio e produção dos cafeeiros) afetaram apenas *L. neotropicum* com baixa frequência quando nos tratamentos orgânicos, independentemente do sombreamento (OSL e OSM). Nos frutos coletados no solo, no tratamento orgânico a pleno sol, e naqueles coletados na planta, no tratamento orgânico sombreado (Apêndice B, Tabela 2). Por último, as espécies *Pheidole* sp. 2, *Pheidole* sp. 5, *Solenopsis* sp. 3, *C. crinosa* sp. 1, *W. auropunctata*, *S. eggersi*, *B. australis*, e *L. micans* não se relacionaram com nenhuma das variáveis (área de plantio, produção dos cafeeiros, altitude, idade dos cafeeiros e infestação de *H. hampei*) (Figura 11)

Figura 11 Análise de Correspondência Canônica (CCA) com base nas variáveis área de plantio, produção dos cafeeiros, altitude, idade dos cafeeiros e infestação de *Hypothenemus hampei* por tratamento (OSM= orgânico sombreado, OSL= orgânico a pleno sol, CSL= convencional a pleno sol) e variáveis (frutos coletados da planta e frutos coletados no solo) para o ano 2019. Pontos representam os tratamentos (OSM= verde escuro, OSL= verde claro e CSL= vermelho) As variáveis estão representadas por quadrado para frutos coletados do solo e triângulo para frutos coletados da planta.



Fonte: da autora (2021)

4 DISCUSSÃO

4.1 Composição taxonômica e riqueza da mirmecofauna presente nos frutos

Por meio do levantamento realizado, constatou-se que a subfamília com maior número de táxons foi Myrmicinae. Segundo Ward et al. (2014), essa subfamília mostra-se recorrente em termos de riqueza e composição de espécies, com ampla gama de estratégias alimentares, de nidificação, forrageamento e reprodutivas, ocupando diversos nichos. Elas podem ser predadoras (generalistas ou especialistas), detritívoras, granívoras, herbívoras e onívoras (HÖLLDOBLER e WILSON, 2008). Ainda, segundo Bolton (2022), Myrmicinae abarca,

aproximadamente, 50% das espécies de Formicidae, fato que contribui para ser encontrada com alta frequência na maioria das amostragens realizadas.

Entre os gêneros com maior número de espécies destacaram-se *Pheidole*, com cinco espécies, e *Solenopsis*, com seis. *Pheidole* é um gênero considerado hiperdiverso, sendo o mais rico em número de espécies entre todos os representantes de Formicidae (WILSON, 1976; BOLTON, 2016). Em nosso estudo, representantes desse gênero foram observados com maior frequência no solo e não apresentaram preferência por nenhum dos sistemas de manejo estudados. Wilson (2003) relata que esse é um gênero dominante, associado especialmente ao solo, resistente ao calor e possui uma ampla distribuição na região Neotropical.

O gênero *Solenopsis* também possui grande diversidade, abundância, adaptações e distribuição na região Neotropical, e abarca um amplo número de espécies predadoras epigeicas, em sua maior parte, generalistas (PACHECO e MACKAY, 2013). Verificou-se que a totalidade das espécies desse gênero foi mais frequente nas lavouras orgânicas sombreadas e nos frutos de café caídos ao chão. Segundo Baccaro et al. (2015), esse gênero inclui formigas generalistas que forrageiam na serapilheira, vegetação baixa e em troncos. Além disso, existem relatos de algumas espécies de *Solenopsis* predando a broca-do-café (GALLEGO-ROPERO e ARMBRECHT, 2005; ARMBRECHT e GALLEGO, 2007). A predominância desse gênero no sistema orgânico sombreado pode ter relação com a frequência de *H. hampei* uma vez que esse sistema foi o segundo com maior índice de infestação, entre os três sistemas estudados.

A maior frequência verificada para as espécies *L. neotropicum*, *C. crinosa* sp. 1, *Solenopsis* sp. 3, *P. triconstricta* e *H. striatula* reitera os resultados obtidos por Aristazábal e Metzger (2018) que também constataram *Linepithema*, *Crematogaster*, *Solenopsis*, *Pheidole*, *Camponotus*, *Neoponera* e *Brachymyrmex* como os gêneros mais comumente observados em cultivos de café a pleno sol no Sudeste do Brasil. Representantes desses gêneros também foram constatados com alta frequência em cafeeiros do México e da Colômbia (PERFECTO e VANDERMEER, 2002; ARMBRECHT e PERFECTO, 2003; ARMBRECHT e GALLEGO, 2007 e DE LA MORA e PHILPOTT, 2010).

Nesse sentido, observou-se que a espécie *L. neotropicum* ocorreu em todos os tratamentos estudados, porém, com maior frequência nos frutos coletados das plantas de café cultivadas a pleno sol (OSL e CSL). Segundo Wild (2007), representantes desse gênero são majoritariamente observados em habitats conservados, embora possam ser facilmente encontrados em ambientes antropizados, caracterizando-se por formar colônias com grande número de indivíduos. Nossos resultados corroboram, aqueles obtidos, na Colômbia, por Urrutia-Escobar e Armbrecht (2013), que constataram 55% dos eventos de frequência de *L.*

neotropicum para cafezais ao sol e, também, com os resultados de Arenas-Clavijo e Armbrrecht (2017) que registraram a *L. neotropicum* como a segunda espécie mais abundante em lavouras de café colombianas. Conforme Mera Velasco, Gallego Ropero e Armbrrecht (2010), *L. neotropicum* possui estreita relação mutualística com hemípteros, pragas comuns em cafezais e problemáticas em vários sistemas agrícolas. Essa relação com esses insetos sugadores poderia ser uma hipótese para a frequência dessa espécie de formiga em todos os sistemas estudados, com maior frequência nos cafezais a pleno sol.

Com relação a *C. crinosa* sp. 1, espécie de hábito generalista, verificou-se maior preferência pelos frutos de plantas cultivadas sob o sistema orgânico sombreado. Essas observações reiteram os relatos de Longino (2003) sobre a dominância dessas formigas na fauna arbórea e o hábito de nidificarem em madeira morta e em caules ocos. Ademais, Baccaro et al. (2015) relatam que as formigas desse gênero se alimentam de substâncias açucaradas excretadas por hemípteros, em nectários extraflorais, além de preda outros insetos. Com relação à predação, Varón et al. (2004) avaliou em ensaios de laboratório o potencial de predação de *C. crinosa* em diferentes estágios da broca, observando-se maior preferência por ovos e larvas. Por outro lado, varios autores relatam que espécies desse gênero conseguem entrar em frutos de café para atacarem a broca (PERFECTO; VANDERMEER; PHILPOTT, 2010; VELASCO; GALLEGO-ROPERO; ARMBRECHT, 2010), além de predarem o bicho-mineiro-do-cafeeiro (LOMELI-FLORES et al., 2008). Assim, a maior frequência de *C. crinosa* sp. 1 em cafeeiros sombreados, como verificado por meio dos nossos resultados, também pode estar relacionada à maior incidência da broca-do-café encontrada nesses ambientes.

Finalmente, outra espécie que foi bem representativa e exclusiva dos frutos de café apanhados do solo, nos três tratamentos, foi *H. striatula*. Essa formiga é predadora de larvas de Lepidoptera, Coleoptera, Diptera e de outras formigas (DELABIE, 2015). No nosso trabalho, poderiam ter sido grandes as possibilidades de encontrá-las predando *H. hampei*. Além disso, Pacheco et al. (2013) relatam que essa espécie é considerada indicadora da qualidade do hábitat.

4.2 Grupos funcionais

Os espécimes de formigas coletados foram classificados em sete grupos funcionais, entre os quais, o grupo das espécies dominantes onívoras de solo e serapilheira (DOS) foi o melhor representado, com 63.6% do total, seguido pelo grupo das espécies oportunistas de solo e vegetação (OSV), com 13.6%.

O grupo DOS ocorreu com maior frequência, uma vez que inclui espécies com hábito alimentar bem diversificado, recrutam em grande quantidade e são agressivas em relação a outras espécies de formigas (SILVESTRE, 2003). Neste grupo encontram-se as espécies dos gêneros *Pheidole*, *Solenopsis*, *Wasmannia* e *Linepithema*. Com relação à composição das espécies desse grupo, observou-se que as formigas foram mais frequentes nos frutos coletados das plantas cultivadas no sistema orgânico a pleno sol (OSL) e nos frutos coletados no chão no sistema convencional a pleno sol (CSL).

Uma possível explicação para a maior frequência dessas formigas nos ambientes a pleno sol está relacionada a esses tratamentos serem sistemas mais perturbados, e a dominância, tanto para o grupo funcional de espécies dominantes quanto para o grupo das oportunistas, ser esperada nesses sistemas (UNDERWOOD e FISHER, 2006; ULRICH e ALMEIDA-NETO, 2012; GARCÍA-MATINEZ et al., 2015). Além disso, o sistema convencional a pleno sol (CSL) foi um dos tratamentos que apresentou maior índice de infestação da broca-do-café, relação a ser considerada tendo em vista os reportes de diversos autores, em vários países, quanto à associação de espécies como *S. invicta*, *W. auropunctata*, *Solenopsis picea* Emery 1896, *Solenopsis geminata* e *Pheidole megacephala* como predadoras de *H. hampei* (VARON, 2004; VÁZQUEZ et al., 2009; MERA et al., 2010; MORRIS et al., 2015, 2018; NEWSON et al., 2021).

Com relação ao grupo das espécies oportunistas de solo e vegetação (OSV) encontradas nos frutos das plantas de café orgânico a pleno sol, e nos frutos caídos ao chão, no tratamento orgânico sombreado, a frequência pode ter sido influenciada pela maior heterogenidade do hábitat. Esses sistemas são compostos por diversos tipos de espécies cultivadas de forma consorciada com o café, como, por exemplo, a banana (*Musa* spp.), crotalaria (*C. spectabilis*) e feijão guandu (*C. cajan*). Segundo Silvestre (2003), as espécies oportunistas constroem seus ninhos em diversos locais, recrutam em grande quantidade e evitam interações agressivas com outras formigas, embora sejam espécies também encontradas em ambientes perturbados. Fazem parte deste grupo espécies dos gêneros *Tetramorium*, *Camponotus*, *Pheidole*, *Paratrechina* e *Brachymyrmex*.

4.3 Diversidade e estimativas de riqueza de espécies

Os resultados obtidos para a estimativa de riqueza e diversidade de espécies indicam que o esforço amostral foi adequado para cada tratamento e variante (fruto e chão), apesar de não ter atingido a assíntota. Esses resultados reiteram aqueles obtidos na mesma localidade, por

Forte (2019), que constatou a similaridade entre a riqueza estimada e a riqueza observada no sistema convencional, o que não foi observado nos sistemas orgânico e sem agrotóxicos (SAT). Esses resultados são clássicos em amostragens de comunidades de formigas nas regiões tropicais, uma vez que, para grupos hiperdiversos, como as formigas, é sempre necessário um grande esforço amostral para que a assíntota da curva seja atingida (SILVA e SILVESTRE, 2000).

O índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') não evidenciou diferenças significativas entre os tratamentos, para nenhuma das duas variáveis, contudo, cabe ressaltar a tendência para uma maior diversidade de formigas associadas aos frutos coletados no chão em cafezais convencionais a pleno sol em relação aos orgânicos. Porém, alguns estudos registram maior diversidade em lavouras de café sombreado em relação às aquelas conduzidas a pleno sol (GARÍA et al., 2008), condição que favorece o estabelecimento de diversas comunidades de formigas (PERFECTO e VANDERMEER, 2005; GARCÍA-CÁRDENAS et al., 2018). Essa tendência para um índice de diversidade maior, constatado no tratamento convencional a pleno sol, pode estar relacionada à alta incidência da broca-do-café, aumentando a riqueza de espécies predadoras (ONISHI et al., 2016; EILHE et al., 2019), ainda que não seja o tratamento com uma das abundâncias mais altas.

4.4 Incidência da broca-do-café e presença de formigas nos diferentes sistemas de cultivo de café e nos frutos coletados da planta e frutos coletados no solo

Constatou-se, nos três tratamentos estudados, que a infestação da broca-do-café foi superior a 3-5%, atingindo o nível de dano econômico. O sistema convencional a pleno sol (CSL) apresentou o maior índice de infestação, tanto em frutos coletados da planta como naqueles coletados no chão. Esses resultados são similares aqueles obtidos por Lopes et al. (2009), em estudo realizado no mesmo local, os quais demonstram que as lavouras de café convencional apresentaram maior incidência de *H. hampei*, ainda que não tenham atingido níveis capazes de causar dano econômico. Nossos resultados suportam a hipótese de que a não utilização de inseticidas para o controle da broca-do-café nos cultivos convencionais a pleno sol, contribuiu para os altos índices de infestação pela broca. O tratamento com a segunda maior incidência de *H. hampei* foi o orgânico sombreado, assemelhando-se aos resultados de Bosselmann et al. (2009), na Colômbia, que relataram maior índice de infestação pela broca-do-café em plantações cultivadas à sombra.

Quando comparamos o percentual de infestação da broca no tratamento orgânico a pleno sol com a frequência relativa das formigas observou-se que quando maior frequência, menor incidência causada pela broca. Esta relação pode estar associada à utilização de adubos verdes como crotalaria e feijão guandu, coberturas, consórcios e a serrapilheira, resultante da queda de folhas dos cafeeiros melhorando as características do solo e, conseqüentemente, a possibilidade de assembleias de formigas mais diversas.

Entretanto, no tratamento convencional a pleno sol, na variante de frutos do chão o comportamento foi bem diferente, com um índice de infestação bem alto e uma baixa frequência de formigas. Nossa hipótese é que no tratamento convencional a pleno sol apesar de não ser aplicado inseticidas, se foi utilizado adubação sintética (NPK), compostagem, glifosato para as ervas daninha, Impact e outros fungicidas de solo, o que pode ter influenciado na abundância das formigas. Gallego e Armbrrecht (2005) relatam que cafeeiros a pleno sol diminuem a variedade de alimentos no solo e por conseguinte a nidificação de formigas, o que impacta na menor riqueza nesses ambientes.

Por outra parte, Dias et al. (2008) mencionam que o solo descoberto devido à aplicação de herbicidas para controle de ervas daninhas e retirada da serrapilheira abaixo do arbusto de café expõe as espécies de formiga à maior amplitude térmica e à perturbação mecânica, diminuindo assim a quantidade e qualidade de recursos disponíveis.

4.5 Relação da composição das assembleias de formigas com os diferentes sistemas de cultivo de café e as variáveis: frutos coletados da planta e frutos coletados no solo

Houve diferença significativa entre as variáveis (frutos coletados na planta e no chão) e os tratamentos (sistemas de cultivo) com relação à composição de espécies. A maior riqueza e frequência de espécies foram verificadas nos frutos coletados no chão e no tratamento orgânico sombreado. Esses resultados estão de conformidade com os relatos de Martins et al. (2011) e Miranda et al. (2013) que apontam a relação entre o aumento no número de espécies de formigas à medida que os ambientes se tornam mais complexos, capazes de fornecer recursos para o estabelecimento de novas populações.

Uma das espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade entre as variáveis foi *H. striatula*, coletada exclusivamente nos frutos do solo. Segundo Latke (1990) e Camacho (2013), essa é uma espécie usualmente coletada no solo, já que geralmente nidificam em troncos, serrapilheira e nas primeiras camadas do solo. São predadoras generalistas de outros artrópodes e se encontram amplamente distribuídas por todo o Brasil. Com base nessas informações, *H.*

striatula poderia estar atuando como predadora da broca-do-café em frutos caídos ao chão nos sistemas cafeeiros estudados nesta pesquisa. Na Colômbia, Vélez et al. (2003) encontraram em ensaios de laboratório preferência pelos estágios adultos da broca a *Gnamptogenys* sp., outra espécie de Ectatommiinae, coincidindo com informações de que algumas espécies desta subfamília podem ser predadoras de *H. hampei*. O mesmo autor relata que *Gnamptogenys* sp., é uma formiga como hábitos de nidificarem em madeira no solo e típica de cafezais sombreados.

Por meio da análise de Correspondência Canônica, observou-se que *P. triconstricta*, *Pheidole* sp. 4, *Pheidole* sp. 5, *Solenopsis* sp. 1, *C. rimosus*, *C. pusillus* tiveram baixa relação com o percentual de infestação da broca-do-café, o que foi decorrente da presença reduzida dessas espécies nos sistemas cafeeiros estudados. *C. rimosus*, encontrada unicamente nos frutos das plantas do tratamento convencional a pleno sol, é uma espécie da tribo Attini, não cortadora de folhas, e dependente de fungos que crescem em material vegetal misturado com restos de insetos mortos. Segundo Longino (2004), operárias de *C. rimosus* perfuram a superfície do solo na busca por pequenas partes de insetos para uso como substrato nos jardins de fungos, também são visitantes de nectários extraflorais de *Passiflora pittieri* Mast., pode ser observada em áreas abertas, às vezes em cavidades subarbóreas, como partes podres em troncos de árvores, e madeira morta suspensa na vegetação.

Cephalotes pusillus é uma formiga onívora, arborícola, que nidifica em cavidades ou fendas da vegetação, ainda que, eventualmente, forrageiam na serapilheira (BACCARO et al., 2005). Em nosso estudo, essa espécie foi encontrada no sistema convencional a pleno sol, resultado que contrasta com Forte (2019), que verificou maior abundância em cafezais orgânicos e SAT. Lomeli-Flores et al. (2008) registraram espécies desse gênero predando ovos do bicho-mineiro do cafeeiro.

Entretanto, podemos inferir, segundo nossos resultados que *P. triconstricta* tem preferência por forrageamento no solo e por ambientes mais antropizados e a pleno sol. Se apresentou com baixa frequência na variante dos frutos coletados da planta no sistema de cultivo CSL e para os frutos coletados no solo, esteve presente nos três sistemas, também com maior frequência no CSL. As espécies *Pheidole* sp. 4, *Pheidole* sp. 5 e *Solenopsis* sp. 1, foram exclusivas na variante dos frutos coletados das plantas e com maior preferência por o sistema OSM, espécies destes gêneros estão relatadas na literatura como predadoras, onívoras e dominantes. Segundo Suguituru et al. (2015), Abeijon et al. (2019) os gêneros *Solenopsis* e *Pheidole* são importantes no controle natural de pragas agrícolas.

Quanto às variáveis área do plantio e produção dos cafeeiros, *Solenopsis* sp. 4, *S. invicta* e *L. neotropicum* foram as mais relacionadas, sendo as espécies mais frequentes nos tratamentos

a pleno sol. Essa associação com a presença do sol pode estar relacionada com a frequência de pulgões e cochonilhas nesses ambientes, ou com as infestações por *H. hampei*, com elevada incidência nesses tratamentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo avaliamos a riqueza, diversidade e composição taxonômica das assembleias de formigas em diferentes agroecossistemas cafeeiros do município de Poço Fundo, Minas Gerais. Além disso, relacionamos a presença desses insetos com o porcentual de infestação da broca-do-café, considerando que frutos deixados na planta ou no chão podem representar riscos de altas incidências de *H. hampei* na safra seguinte. Para isso, amostramos esses frutos remanescentes que servem como abrigo no período da entressafra.

Para obtermos essas informações identificamos as comunidades de formigas que poderiam estar atuando como predadoras dentro dos frutos de café nesses dois ambientes (planta e chão). Observamos maior riqueza de espécies e frequência nos frutos do chão, no tratamento orgânico sombreado (OSM), provavelmente em resposta a uma maior complexidade desse ambiente. Essas informações mostraram a influência das características dos ambientes conforme sejam manejados de forma mais intensa ou conservam maior diversidade vegetal consorciada.

Nos cafeeiros estudados, foi encontrado um total de 22 espécies, 11 gêneros e quatro subfamílias. A subfamília com maior número de táxons representados foi Myrmicinae, com oito gêneros e 17 espécies. As espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas estudados foram *L. neotropicum*, *C. crinosa* sp. 1, com a maior abundância média na variante frutos coletados da planta, e *H. striatula*, exclusiva dos frutos amostrados do chão. Como se conhece que duas dessas espécies têm hábitos predatórios, pesquisas futuras sobre a capacidade predatória e aspectos comportamentais a serem realizados em laboratório e, posteriormente, pesquisas em campo poderão avaliar melhor a relação de associação ou de dependência dessas formigas com a broca-do-café, para que se possa sugerir-las como agentes de controle biológico.

Para finalizar, cabe-nos mencionar que este trabalho constitui o primeiro estudo que envolve coletas de frutos de café deixados na planta e frutos caídos ao chão com o objetivo de se conhecer as espécies de formigas predadoras de *H. hampei* nos agroecossistemas cafeeiros do município Poço Fundo-MG. Assim, esta pesquisa fornece um melhor entendimento sobre a composição das comunidades de formigas nesses estratos associados a cafeeiros conduzidos sob

diferentes sistemas de cultivo, resultados esses que proveem importantes informações para posteriores ações de conservação e realização de outros estudos ecológicos e taxonômicos nessa importante região produtora de café do estado de Minas Gerais e do Brasil.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. F.; ZYLBERSZTAJN, D. Key Success Factors in the Brazilian Coffee Agrichain: Present and Future Challenges. *INT. J. Food System Dynamics*, São Paulo, 8 (1) p.45-53. 2017. Available online at www.fooddynamics.org
- ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; ARTHURS, S. P. Integrated pest management of coffee berry borer: Strategies from Latin America that could be useful for coffee farmers in Hawaii. *Insects* 7, 1–24. 2016. [doi: 10.3390/insects7010006](https://doi.org/10.3390/insects7010006).
- ARISTIZÁBAL, NATALIA; METZGER, JEAN PAUL. Landscape structure regulates pest control provided by ants in sun coffee farms. *Journal of Applied Ecology*, (56), 21 –30. 2018. [doi:10.1111/1365-2664.13283](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13283)
- ARMBRECHT, I.; PERFECTO, I. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97(1), 107-115. 2003.
- ARMBRECHT, I.; GALLEGO, M. C.; Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 124 (3), 261–267. 2007. <https://doi.org/10.1111/eea.2007.124.issue-310.1111/j.1570-7458.2007.00574.x>.
- BOLTON, B. **Bolton World Catalog**. Versão 8.48. California Academy of Science (Accessed 10 January 2022.) at: <https://www.antweb.org>. 2022.
- BOSELDMANN, A. S.; DONS, K.; OBERTHUR, T.; OLSEN, C. S.; REABILD, A.; USMA, H. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 129, 253–260. 2009.
- BOTTI, J. M. C., MARTINS, E. F., FRANZIN, M. L., e VENZON, M. Predation of coffee berry borer by a green lacewing. *Neotropical Entomology*. 2021. [doi: 10.1007/s13744-021-00884-0](https://doi.org/10.1007/s13744-021-00884-0). [Epub ahead of print].
- BRANDAO, C. R. F., SILVA, R. R.; DELABIE, J. H. C. Neotropical ants (Hymenoptera) functional groups: nutritional and applied implications. En: Panizzi, A. R. y J. R. P. Parra (eds.), **Insect bioecology and nutrition for integrated pest management**. CRC, Boca Raton. pp. 213-236. 2012.
- BROWN, JR.; W. L. Diversity of ants. In: Agosti, D., Majer, J. D., Alonso, L. E., Schultz T. (eds). *Ants: standard method for measuring and monitoring biodiversity*. Washington DC. Smithsonian Institution, p. 45-79. 2000.
- CAMACHO, GABRIELA PROCÓPIO Estudo taxonômico do grupo striatula de Gnamptogenys Roger (Hymenoptera: Formicidae: Ectatomminae) para o Brasil. **M.Sc., Universidade Federal de Viçosa**. Orientador: José Henrique Schoederer. Coorientadores: Rodrigo dos Santos Machado Feitosa e Cristiano Lopes Andrade. Julho. 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira Café: Primeiro levantamento SAFRA 2020**. v.6, n.1. 2020.

CONSTANTINO, L. M.; NAVARRO, L.; BERRIO, A.; ACEVEDO, F. R.; RUBIO, D.; BENAVIDES, P. Aspectos biológicos, morfológicos y genéticos de *Hypothenemus obscurus* e *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Revista Colombiana de Entomología**. Bogotá, v. 37, n. 2, p. 173-182. 2011.

CURE, J. R.; RODRÍGUEZ, D.; GUTIERREZ, A. P.; AND PONTI, L. The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (*Hypothenemus hampei*). **Sci. Rep.** 10:12262. 2020. [doi: 10.1038/s41598-020-68989-x](https://doi.org/10.1038/s41598-020-68989-x)

DE LA MORA, A.; PHILPOTT, S. M. Wood-nesting ants and their parasites in forests and coffee agroecosystems. **Environmental Entomology** 39: 1473–1481. 2010.

DELABIE, J. H.; AGOSTI, D.; NASCIMENTO, I. D. Litter ant communities of the Brazilian Atlantic rain forest region. Sampling ground-dwelling ants: case studies from the world's rain forests. Curtin University of Technology School of Environmental **Biology Bulletin**, (18). 2000.

DELABIE, J. H. C.; FEITOSA, R. M.; SERRÃO, J. E.; MARIANO, C. D. S. F.; MAJER, J. D. As formigas poneromorfas do Brasil. SciELO-Editus-Editora da UESC. 478 p. 2015.

DIAS, N. S.; ZANETTI, R.; SANTOS, M. S.; LOUZADA, J.; DELABIE, J. Interação de fragmentos florestais com agroecossistemas adjacentes de café e pastagem: respostas das comunidades de formigas (Hymenoptera, Formicidae). **Iheringia, Série Zoologia**, v.98, n.1, p.136-142. 2008.

EILHE, L. B.; ROUDINE, S.; PEREZ, J. A. Q.; ALLINNE C.; DAOUT D.; MAUXION, R.; CARVAL, D. Pest-regulating networks of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in agroforestry systems, **Crop Protection**. 2019.

ELSIE, B. GRECO; MARK, G. WRIGHT; JUAN BURGUEÑO e STEFAN, T. JARONSKI. Efficacy of *Beauveria bassiana* applications on coffee berry borer across an elevation gradient in Hawaii. **Biocontrol Science and Technology**, 28:11. 2018. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1493088>

FORTES, A. R. Levantamento da mirmecofauna em agrossistemas cafeeiros. 38 p. **Monografia de graduação**. Instituto Federal de Educação Ciência e tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Machado. Machado, Brasil. 2019.

GALEGO-ROPERO, M. C. G.; ARMBRECHT, I. Depredación por hormigas sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Curculionidae: Scolytinae) en cafetales cultivados bajo dos niveles de sombra en Colômbia. **Manejo integrado de Plagas y Agroecología** (Costa Rica). n.76. p.32-40. 2005.

GALLEGO M.C.; ARMBRECHT I. Predação por formigas sobre a broca do café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytinae) em cafezais cultivados sob dois níveis de sombra na Colômbia. **Revista de Manejo Integrado de Pragas e Agroecologia** (Costa Rica) **76**: 1-9. 2005.

GARCÍA, R.; ZABALA, G.; BOTERO, J. E. Hormigas cazadoras en paisajes cafeteros de Colombia. En E. Jiménez, F. Fernández, T. M. Arias, & F. H. Lozano-Zambrano (Eds.), **Sistemática, biogeografía y conservación de las hormigas cazadoras de Colombia** (pp.

461-478). Bogotá, Colombia: Instituto de investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt. 2008.

GARCÍA-CÁRDENAS, R.; MONTOYA-LERMA, J.; ARMBRECHT, I. Ant diversity under three coverages in a Neotropical coffee landscape. **Revista de Biología Tropical** 66 1373-1389 *Rev. biol. Trop* [online]. vol.66, n.4, pp.1373-1389. ISSN 0034-7744. 2018. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.30610>.

GARCIA-MARTINES, M. A.; MARTINEZ-TLAPA, D. L.; PEREZ-TOLEDO, G. R.; QUIROZ-ROBLEDO, L. N.; CASTANO-MENESES, G.; LABORDE, J.; VALENZUELA-GONZALEZ, J. E. Taxonomic, species and functional group diversity of ants in a tropical anthropogenic landscape. **Tropical conservation science**. 8(4): 1017-1032. 2015.

GONTHIER, D. J.; ENNIS, K. K.; PHILPOTT, S. M.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Ants defend coffee from berry borer colonization. **BioControl**. 58, 815–820. 2013.

HANSON, P. E.; GAULD, I. D. Hymenopteras de la region Neotropical. Gainesville. **American Entomological Institute**. v. 77 994p. 2006.

HOLDOBLER, B.; WILSON, E. O. *The Ants*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass. pp. 732. 1990.

INFANTE, F.; PÉREZ, J.; VEGA, F. E. Redireccionar pesquisas para controle de pragas do café. **Natureza** 489:502. 2012.

INFANTE, F.; PÉREZ, J.; VEGA, F. E. The coffee berry borer: the centenary of a biological invasion in Brazil. *Braz. Journal of Biology* 74, 125–126. 2014. [doi: 10.1590/1519-6984.15913](https://doi.org/10.1590/1519-6984.15913)

JARAMILLO, J.; BORGEMEISTER, C.; BAKER, P. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): searching for sustainable control strategies. **Bulletin of Entomological**. Res 96: 223–233. 2006.

JOHNSON, M. A.; RUIZ-DIAZ, C. P.; MANOUKIS, N. C.; RODRIGUES, J. C. V. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), a global pest of coffee: Perspectives from historical and recent invasions, and future priorities. **Insects** 882, 2–35. 2020. [doi: 10.3390/insects11120882](https://doi.org/10.3390/insects11120882)

LARSEN, A.; PHILPOTT, S. M. Twig-nesting ants: the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, Mexico. **Biotropica** 42, 342–347. 2010. [doi: 10.1111/j.1744-7429.2009.00603.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00603.x)

LATTKE, J. E. Revisión del género *Gnamptogenys* Mayr para Venezuela. **Acta Terramaris**, 2: 1-47. 1990.

LEITE, S. A., SANTOS, M. P., RESENDE-SILVA, G. A., COSTA, D. R., MOREIRA, A. A., LEMOS, O. L., Area-wide survey of chlorantraniliprole resistance and control failure likelihood of the Neotropical coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Journal of Economic Entomology**. 113, 1399–1410. 2020. [doi: 10.1093/jee/toaa017](https://doi.org/10.1093/jee/toaa017)

LOMELI-FLORES, R; BERNAÇ, J. S; BARRERA, J. F. QUEIROZ ROBLEDO, L. Hormigas depredadoras del minador de la hoja del café, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera Lyonetiidae) em el soconusco, Chapas, México. In: **XXXI Congreso Nacional de Control Biológico**. Novembro Zacatecas, Zac. 313-316p. 2008.

- LOPES, PAULO ROGÉRIO; FERRAZ, JOSÉ MARIA GUZMAN; THEODORO, VANESSA CRISTINA DE ALMEIDA; LOPES, IARA MARIA; NICONELLA, GILBERTO. Infestação da broca-do-café em agroecossistemas convencional, organo-mineral e orgânico na região sul de Minas Gerais. In: Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil (6.: 2009: Vitória, ES). **Anais Brasília, D.F: Embrapa - Café**, 2011 (1 CD-ROM), 5p. 2009.
- MASCARIN, G. M.; JARONSKI, S. T. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. 32:177. 2016. [doi: 10.1007/s11274-016-2131-3](https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3)
- MERA V. Y. A.; GALLEGO, R. M. C.; ARMBRECHT, I. Interacciones entre hormigas e insectos en follaje de cafetales de sol y sombra, Cauca-Colombia. **Revista Colombiana de Entomología**. 36 (1): 116-126. 2010.
- MORRIS, J. R.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. A Keystone Ant Species Provides Robust Biological Control of the Coffee Berry Borer Under Varying Pest Densities. **PLoS ONE**. 10(11): e0142850. 2015. [doi:10.1371/journal.pone.0142850](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142850)
- MORRIS, J. R.; PERFECTO, I. Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages Agriculture. **Ecosystems and Environment**. 233, 224–228. 2016.
- MORRIS, J. R.; JIMENEZ-SOTO, E.; PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I. Ant-mediated (Hymenoptera: Formicidae) biological control of the coffee berry borer: diversity, ecological complexity, and conservation biocontrol. **Myrmecological News** 26, 1–17. 2018.
- MOTA, L. H. C.; SILVA, W. D.; SERMARINI, R. A.; DEMÉTRIO, C. G. B.; BENTO, J. M. S.; DELALIBERA, I. Jr. Autoinoculation trap for management of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) with *Beauveria bassiana* (Bals.) in coffee crops. **Biological Control** 111, 32–39. 2017. doi: 10.1016/j.biocontrol.2017.05.007
- NEVES, P. M. O. J. Utilização de *Beauveria bassiana* no manejo da broca-do-café no Brasil. broca-do-café. In: MANEJO DABROCA-DO-CAFÉ WORKSHOP, Londrina, PR. Anais [...]. Londrina, PR: Instituto Agronômico do Paraná. p. 233-248. 2007. Disponível em: <https://s3.saeast1.amazonaws.com/dgcedi/documents/5a83c8f93bad36a3e7bbd915711ac1942e91c5c1.pdf#page=234>. (Acesso em: 18 mai. de 2020).
- NEWSON, J.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Differential effects of ants as biological control of the coffee berry borer in Puerto Rico. **Biological Control**, Volume 160. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104666>
- OLIVEIRA, C. M.; AUAD, A. M.; MENDES, S. M.; FRIZZAS, M. R. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**. v. 137, n. 1-2, p. 1-15. 2013.
- ONISHI, Y.; JAITRONG, W.; SUTTIPRAPA, P.; BURANAPANICHPAN, S.; CHANBANG, Y.; ITO, F. **The Thailand Natural History Museum J.** 10 33-48. 2016.
- PACHECO, J. A.; MACKAY, W. P. The systematics and biology of the New World thief ants of the genus *Solenopsis* (Hymenoptera: Formicidae). **Edwin Mellen Press**, Lewiston, New York, 501 p. 2013.

- PACHECO, J. A.; MACKAY, W. P. The systematics and biology of the New World thief ants of the genus *Solenopsis* (Hymenoptera: Formicidae). Lewiston, New York: **Edwin Mellen Press**, 501 pp. 2013.
- PACHECO, R.; VASCONCELOS, H. L.; GROG, S.; CAMACHO, G. P.; FRIZZO, T. L. M. The importance of remnants of natural vegetation for maintaining ant diversity in Brazilian agricultural landscapes. **Biodiversity and Conservation**, 22: 983-997. 2013.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Coffee agroecology: A new approach to understanding agricultural biodiversity, ecosystem services and sustainable development London, UK and New York, NY, 358 pp. 2015.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: ants in coffee plantations in southern Mexico. **Conservation Biology**, 16(1), 174-182. 2002.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; PHILPOTT, S. M. Complejidad ecológica y el control de plagas en um cafetal orgânico: develando un servicio ecossistêmico autónomo. **Agroecología**. v.5, n.41, 51p, 2010.
- REIS, P. R.; SOUZA, J. C.; VENZON, M. Manejo ecológico das principais pragas do cafeeiro. **Informação Agropecuaria**. 23, 83–99. 2002.
- ROSADO, M. C.; ARAÚJO, G. J.; PALLINI, A.; VENZON, M. Cover crop intercropping increases biological control in coffee crops. **Biological Control** 160:104675. 2021. [doi: 10.1016/j.biocontrol.2021.104675](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104675)
- SILVA, R. R.; SILVESTRE, R. R. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em Seara, Oeste de Santa Catarina. **Biotemas**, 13 p.85-105. 2000.
- SILVA, N. J. L.; SALES, LARA; GOMES, K. F; PAIVA, G. T. S.; ANDRADE, G. C. Broca-do-café. **Revista Cultivar Grandes Culturas** • Ano XX • Nº 257. Outubro, 2020. ISSN - 1516-358X. www.revistacultivar.com.br
- SILVESTRE, R. Estructura de comunidades de formigas de Cerrado. Ribeirao Preto, FFCL-USP. (**Tesis de Doctorado**). 216 pp. 2003.
- ULRICH, W.; ALMEIDA-NETO, M. On the meaning of nestedness: back to the basis. **Ecography**. 35(10): 865–871. 2012.
- UNDERWOOD, E. C.; FISHER, B. L. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. **Biological Conservation** 132(2): 166–182. 2006.
- URRUTIA-ESCOBAR, M. X.; ARMBRECHT, I. Effect of two agroecological management strategies on ant (Hymenoptera: Formicidae) diversity on coffee plantations in southwestern Colombia. **Environmental Entomology**, 42(2), 194-203. 2013.
- VARÓN E. H.; HANSON P.; BORBÓN O.; CARBALLO M.; HILJE L. Potencial de hormigas como depredadoras de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Costa Rica. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**. Costa Rica, No. 73 p.42-50. 2004.
- VAZQUEZ L. L.; MATIENZO, Y.; ALFONSO-SIMONETTI, J.; MORENO, D.; ALVAREZ, A. Diversidad de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) em cafetales afectados por *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Fitosanidad** 13(3): 163-168. 2009.

- VEGA, F. E.; INFANTE, F.; JOHNSON, A. J. *The Genus Hypothenemus*, Biology and Ecology of Native and Invasive Species with Emphasis on *H. hampei*, The Coffee Berry Borer in Bark Beetles (eds Vega, F. E. & Hofstetter, R. W.) Elsevier, London. 427–494. 2015.
- VEGRO, C. L. R.; ALMEIDA, L. F. Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics. In: VEGRO, C.L.R.; ALMEIDA, L.F. Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil. São Paulo. Elsevier, cap 1, p.3-19. 2020.
- VELASCO, Y. A. M.; GALLEGU-ROPERO, M. C.; ARMBRECHT, I. Interacciones entre hormigas e insectos en follaje de cafetales de sol y sombra, Cauca-Colombia. **Revista Colombiana de Entomología**. v.36, n.1, p.116-126. 2010.
- VÉLEZ M; BUSTILLO A. E e POSADA F. J. Predação de *Hypothenemus hampei* por *Solenopsis geminata* e *Gnamptogenys* sp. (Hymenoptera: Formicidae). **Livro de Resumos XXX Congresso** (ed. pela Sociedade colombiana de Entomologia), SOCOLEN. Memorias, p. 96. Universidade Autônoma, Cali, Colômbia. 2003.
- VENZON M. Agro-ecological management of coffee pests in Brazil. **Frontiers in Sustainable Food Systems**. 5:721117. 2021. [doi: 10.3389/fsufs.2021.721117](https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.721117)
- VOLSI, B.; TELLES, T. S.; CALDARELLI, C. E.; CAMARA, M. R. G. D. The dynamics of coffee production in Brazil. **PLoS ONE** 14 (7): e0219742. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219742>
- WARD, P. S.; BRADY, S. G.; FISHER, B. L.; SCHULTZ, T. R. The evolution of myrmicine ants: phylogeny and biogeography of a hyperdiverse ant clade (Hymenoptera: Formicidae). **Systematic Entomology**, 40(1): 61-81. 2014. [doi: 10.1111/syen.12090](https://doi.org/10.1111/syen.12090).
- WILSON, E. O. ¿Which are the most prevalent ant genera? **Studia Entomologica** 19: 187-200. 1976.
- WILSON, E. O. La hiperdiversidad como fenómeno real: el caso de Pheidole. In F. Fernández (Eds.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical* (pp. 363-370). Bogotá, Colombia: Instituto Humboldt. 2003.

7 APÊNDICE A

Tabela 1 - Descrição das fazendas de cafeeiro no município de Poço Fundo, MG, 2019.

SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CAFÉ CONVENCIONAL A PLENO SOL (CSL)				
Fazenda	(I)	(II)	(III)	(IV)
Área	3 ha	1,5 ha	4 ha	1,4 ha
Idade	20 anos	20 anos	10 anos	20 anos
Variedade	Catuai vermelho	Catuai vermelho	Catuai	Mundo Novo
Espaçamento	3 x 1m	3 x 1 m	3 x 1 m	3 x 1 m
Produção (sacas)	60	40	150	100
Adubo utilizado	NPK	NPK	NPK e compostagem	NPK
Agroquímicos	Glifosato, Impact	Não	Não	Glifosato e fungicidas de solo
Consortio	Não	Feijão guandu	Não	Não
Espécies nativas	Embaúba, Pereira	Não	Pereira	Pereira e outras nativas
Serapilheira	Não	Não	Não	Não
Ervas daninhas	Roçadas e glifosato	Roçadas	Roçadas	Roçadas e glifosato
Plantas de cobertura	Nativas	Não	Nativas	Nativas

Continua...

Tabela 1- Continuação

SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CAFÉ ORGÂNICO A PLENO SOL (OSL)				
Fazenda	(I)	(II)	(III)	(IV)
Área de plantio	4,4 ha	3,33 ha	1,67 ha	2,49 ha
Idade	15 anos	20 anos	20 anos, 3 anos	20 anos, 2 anos
Variedade	Catucai, Mundo Novo, Catuaí	Catuaí Amarelo, Acaiá	Mundo Novo, Catucai	Mundo Novo, Catuaí
Espaçamento	3 x 1 m	2,5 x 1m, 3,5 x 1,2m	3 x 1,2m	3,5 x 1,5m, 3,5 x 1,2m
Produção (sacas)	150	80	60	100
Adubo utilizado	Torta de mamona, farinha de carne e ossos	Adubos verdes Crotalaria, Feijão guandu	Adubos orgânicos	Adubos orgânicos
Agroquímicos	Não	Não	Não	Não
Consortio	Não	Leguminosas	Não	Não
Espécies nativas	Embaúba, Pereira	Não	Embaúba	Embaúba, Pereira
Serapilheira	Não	Não	Não	Não
Ervas daninhas	Roçadas	Roçadas	Roçadas	Roçadas
Plantas de cobertura	Nativas	Nativas	Nativas	Nativas

Continua...

Tabela 1- Continuação

SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CAFÉ ORGÂNICO SOMBREADO (OSM)				
Fazenda	(I)	(II)	(III)	(IV)
Área	1,8 ha	1,6 ha	1 ha	1,7 ha
Idade	19 anos	20 anos	50 anos, 2 anos	15 anos
Variedade	Mundo Novo	Icatu, Mundo Novo	Mundo Novo, Arara	Catuáí vermelho
Espaçamento	3 x 1m	3 x 1 m	3 x 1 m, 2 x 1,25m	3 x 1 m
Produção (sacas)	50	40	10	38
Adubo utilizado	Farinha de carne e ossos, torta de mamona	Farinha de carne e ossos, torta de mamona	Farinha de carne e ossos, torta de mamona	Farinha de carne e ossos, torta de mamona
Agroquímicos	Não	Não	Não	Não
Consortio	Feijão e Banana	Banana	Não	Feijão Guandu
Espécies nativas	Peroba, Ipê, Jacarandá	Peroba, Ipê, Embaúba	Plantadas Mogno e Cedro australiano	Embaúba, Pereira
Serapilheira	Não	Não	Não	Não
Ervas daninhas	Roçada	Roçada	Roçada	Roçada
Plantas de cobertura	Nativas	Nativas	Nativas	Nativas

* Nomes científicos: **Crotalaria** (*Crotalaria spectabilis*); **Feijão guandu** (*Cajanus cajan*); **Embaúba** (*Cecropia pachystachya*); **Banana** (*Musa* spp.); **Cedro australiano** (*Toona ciliata*); **Mogno** (*Swietenia macrophylla*); **Ipês** (*Handroanthus albus*, *Handroanthus impetiginosus*); **Jacarandá** (*Jacaranda mimosifolia*); **Peroba** (*Aspidosperma polyneuron*) e **Pereira** (*Platycyamus regnellii*).

Fonte: da autora (2021)

APÊNDICE B

Tabela 2 - Riqueza de espécies e frequência (presença/ausência) de formigas em diferentes sistemas de cultivo de café. OSM= orgânico sombreado
OSL= orgânico a pleno sol e CSL= convencional a pleno sol.

SUBFAMÍLIA/ESPÉCIES	GF	FREQUÊNCIA					
		Planta			Solo		
		OSM	OSL	CSL	OSM	OSL	CSL
Myrmicinae							
<i>Pheidole triconstricta</i> Forel, 1886	DOS	-	-	1	2	1	3
<i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908	DOS	-	-	-	1	1	1
<i>Pheidole</i> sp. 2	DOS	-	-	-	1	1	-
<i>Pheidole</i> sp. 4	DOS	1	-	1	-	-	-
<i>Pheidole</i> sp. 5	DOS	1	-	-	-	-	-
<i>Solenopsis</i> nr. <i>invicta</i> Buren, 1972	DOS	-	1	-	-	2	1
<i>Solenopsis</i> sp. 1	DOS	1	-	-	-	-	-
<i>Solenopsis</i> sp. 3	DOS	1	1	4	3	-	1
<i>Solenopsis</i> sp. 4	DOS	-	-	-	-	-	2
<i>Solenopsis</i> sp. 5	DOS	-	-	-	-	1	-
<i>Solenopsis</i> sp. 6	DOS	-	-	-	6	-	-
<i>Crematogaster</i> compl. <i>crinosa</i> sp. 1 Mayr, 1862	OAI	6	3	2	1	-	-
<i>Cyphomyrmex rimosus</i> (Spinola, 1851)	CFD	-	-	1	-	-	-
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	DOS	-	2	-	-	-	-
<i>Tetramorium simillimum</i> (Smith, F., 1851)	OSV	-	-	-	1	-	-
<i>Strumigenys eggersi</i> Emery, 1890	PES	-	-	-	1	1	1
<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	AEP	-	-	1	-	-	-

Continua...

Tabela 2- Continuação

SUBFAMÍLIA/ESPÉCIES	GF	FREQUÊNCIA					
		Planta			Solo		
		OSM	OSL	CSL	OSM	OSL	CSL
Ectatomminae							
<i>Holcaponera striatula</i> (Mayr, 1884)	PPG	-	-	-	2	3	2
Formicinae							
<i>Brachymyrmex australis</i> Forel, 1901	OSV	-	-	-	1	-	-
<i>Brachymyrmex</i> nr. <i>attenuatus</i> Santschi, 1929	OSV	-	1	-	-	-	-
Dolichoderinae							
<i>Linepithema</i> nr. <i>micans</i> (Forel, 1908)	DOS	-	-	-	1	-	-
<i>Linepithema neotropicum</i> Wild, 2007	DOS	4	7	5	3	1	5
Frequência total		14	15	15	23	11	16
Riqueza (S_{obs}) / tratamento		6	6	7	12	8	8
Riqueza total (S_{obs})			12			15	
Riqueza estimada <i>Bootstrap</i>		7.48±0.96	7.28±0.91	8.62±1.02	13.92±1.74	10.37±1.29	9.78±1.08
Shannon-Wiener (H')		0.64±0.28	0.69±0.30	0.67±0.40	0.80±0.50	0.78±0.29	0.89±0.30

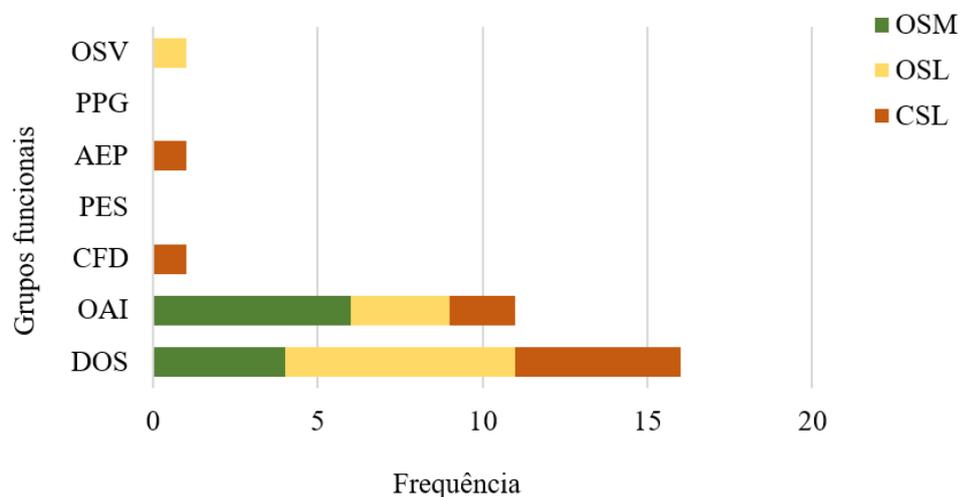
* **Grupos funcionais (GF):** DOS: Dominantes onívoras de solo e serapilheira; OSV: Oportunistas de solo e vegetação; PPG: Ponerineas predadoras generalistas de solo e serapilheira; PES: Predadoras especialistas de solo e serapilheira; CFD: Cultivadoras de fungo a partir de material em decomposição; OAI: Onívoras arbóreas que ocasionalmente se alimenta em estratos inferiores; AEP: Arborícolas que se alimentam de pólen.

Fonte: da autora (2021)

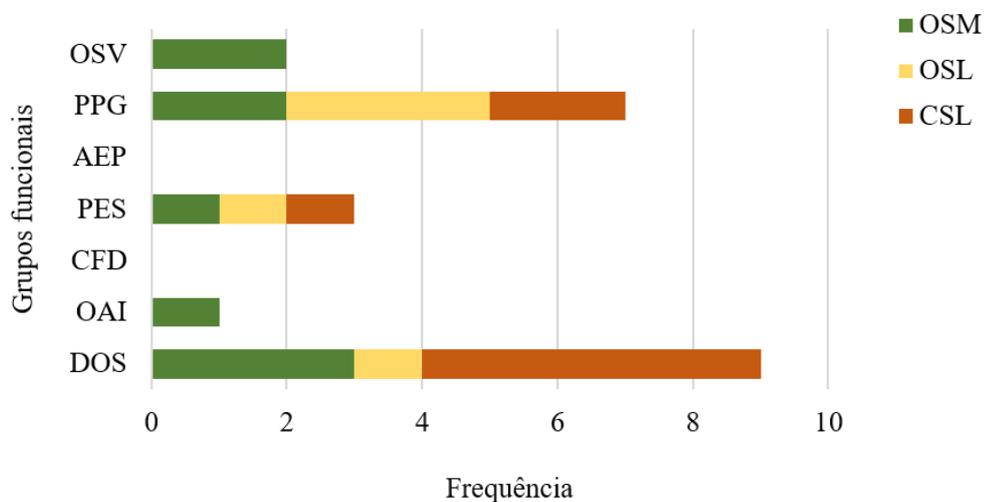
APÊNDICE C

Figura 5 Frequência dos grupos funcionais por variante A) frutos coletados da planta e B) frutos coletados do solo (área correspondente à projeção da copa) e nos tratamentos. Cada cor representa um tratamento: OSM= Orgânico sombreado, OSL= Orgânico a pleno sol e CSL= Convencional a pleno sol. Grupos funcionais: DOS= Dominantes onívoras de solo e serapilheira; OSV= Oportunistas de solo e vegetação; PPG= Ponerineas predadoras generalistas de solo e serapilheira; PES= Predadoras especialistas de solo e serapilheira; CFD= Cultivadoras de fungo a partir de material em decomposição; CFD= Onívoras arbóreas que ocasionalmente se alimentam em estratos inferiores; AEP= Arborícolas que se alimentam de pólen.

A. Frutos coletados da planta



B. Frutos coletados do solo

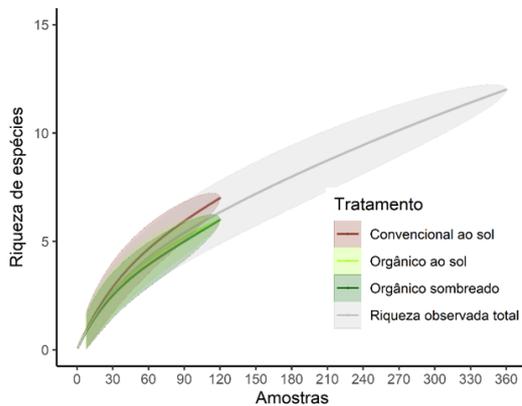


Fonte: da autora (2021)

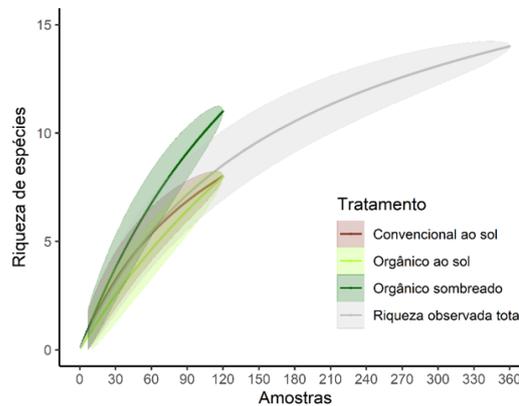
APÊNDICE D

Figura 6 Curvas de rarefação de Coleman (A, B) e de acúmulo de espécies com o estimador de riqueza Bootstrap (C, D). Intervalos de confiança de 95% para os tratamentos: OSM= orgânico sombreado (verde escuro), OSL= orgânico a pleno sol (verde claro) e CSL= convencional a pleno sol (vermelho). A linha cinza mostra a soma total das espécies coletadas. Riqueza de espécies nas plantas (A) e no solo (B). Estimador de riqueza em plantas (C) e no solo (D).

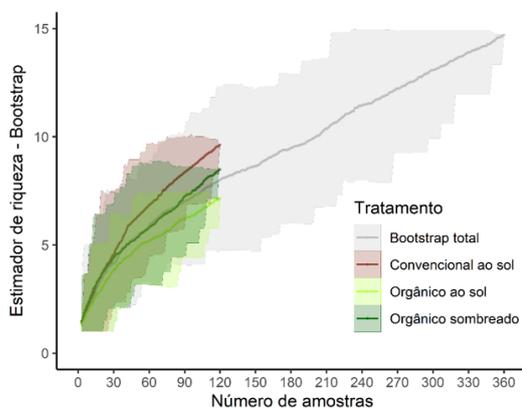
A. Curvas de rarefação de Coleman, frutos da planta



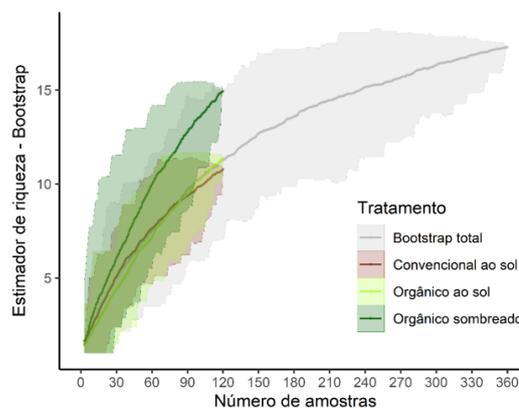
B. Curvas de rarefação de Coleman, frutos do solo



C. Curvas de acúmulo de espécies, frutos da planta



D. Curvas de acúmulo de espécies, frutos do solo



Fonte: da autora (2021)