



PATRICK LOPES GUALBERTO

**ASPECTOS COMPORTAMENTAIS DE *Crematogaster*
quadriformis ROGER, 1863 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)
FRENTE A *Hypothenemus hampei* (FERRARI, 1867)
(COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) E A
VOLÁTEIS DE FRUTOS DE CAFÉ**

**LAVRAS-MG
2024**

PATRICK LOPES GUALBERTO

**ASPECTOS COMPORTAMENTAIS DE *Crematogaster quadriformis* ROGER, 1863
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) FRENTE A *Hypothenemus hampei* (FERRARI,
1867) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) E A VOLÁTEIS DE
FRUTOS DE CAFÉ**

Dissertação 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 Mestre.

Profa. Dra. Brígida Souza
Orientadora
Dra. Janet Alfonso Simonetti
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2024**

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

Gualberto, Patrick Lopes.

Aspectos comportamentais de *Crematogaster quadriformis* Roger, 1863 (Hymenoptera: Formicidae) frente a *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) e a voláteis de frutos de café / Patrick Lopes Gualberto. - 2024.

69 p. : il.

Orientador(a): Brígida Souza.

Coorientador(a): Janet Alfonso Simonetti.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Controle Biológico. 2. Entomófagos. 3. Predação. I. Souza, Brígida. II. Simonetti, Janet Alfonso. III. Título.

PATRICK LOPES GUALBERTO

**ASPECTOS COMPORTAMENTAIS DE *Crematogaster quadriformis* ROGER, 1863
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) FRENTE A *Hypothenemus hampei* (FERRARI,
1867) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) E A VOLÁTEIS DE
FRUTOS DE CAFÉ**

**BEHAVIORAL ASPECTS OF *Crematogaster quadriformis* ROGER, 1863
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) AGAINST *Hypothenemus hampei* (FERRARI,
1867) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) AND VOLATILES
FROM COFFEE FRUITS**

Dissertação 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 Mestre.

Aprovada em 22/01/2024

Profa. Dra. Brígida Souza UFLA

Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza UFLA

Prof. Dr. Alexandre José Ferreira Diniz UNESP

Profa. Dra. Brígida Souza
Orientadora
Dra. Janet Alfonso Simonetti
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2024**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que contribuíram
com meu crescimento durante o curso de mestrado,
minha família, amigos e professores

AGRADECIMENTOS

Agradeço a

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Entomologia pela oportunidade concedida de realizar o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

As pessoas que me acompanharam durante o mestrado e auxiliaram de alguma forma em sua realização: Nilda Lopes Gualberto, Edvaldo Jose Gualberto, Ana Luisa Rodrigues Silva, Geisiany Lopes Gualberto, Fabio Mancini, Lorena Lopes Mancini, Gabriel Felipe Arruda da Silva, Gabriel Millioreli, Othon Steves, Fabricio Teixeira Gomes, Leonardo Dutra Barbosa , Miguel Winter, Brígida Souza, Janet Alfonso-Simonetti, Grazielle Moreira, Alexandre José Ferreira Diniz, Bruno Henrique Sardinha de Souza, Ronald Zanetti, Gabriel Jacques, Maria Fernanda Peñaflor

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

RESUMO GERAL

As formigas possuem diferentes funções em um ecossistema de acordo com a espécie, e algumas delas têm sido relatadas atuando como inimigos naturais da broca-do-café *Hypothenemus hampei*. O controle da broca-do-café representa um problema para cafeicultores, especialmente por fatores relacionados à biologia deste inseto, os quais dificultam o acesso e consequente eficácia de produtos fitossanitários. Conhecendo-se o potencial de formigas predadoras para o controle populacional da broca, dentro e fora dos frutos, o objetivo deste trabalho foi avaliar o papel de *Crematogaster quadriformis* sobre *H. hampei*; sua interferência sob o inimigo natural *Chrysoperla externa*, que atua sobre o bicho-mineiro-do-cafeeiro *Leucoptera coffeella*; além de sua atratividade e preferência à frutos em diferentes estágios de maturação: infestados e não infestados pela broca-do-café. Os experimentos foram realizados em laboratório sob condições controladas em duas etapas. Inicialmente foi investigado o ataque de formigas aos indivíduos da broca-do-café e aos crisopídeos. Na segunda etapa foi avaliado o papel que os voláteis de frutos de café em diferentes estágios de maturação exercem na atratividade pelas formigas. Adicionalmente, foi avaliado a preferência destes predadores entre frutos infestados e não infestados pela broca-do-café, nos diferentes estágios. As formigas *C. quadriformis* apresentaram potencial como inimigos naturais contra a broca-do-café, elas também realizaram a predação intraguilda do crisopídeo, de modo que poderiam interferir negativamente em seu papel como inimigo natural. Estas formigas são atraídas por frutos de café em estágio maduro e não percebem a diferença entre frutos infestados ou não. Deste modo *C. quadriformis* é atraída pelos voláteis do cafeeiro e realiza o controle de *H. hampei*, porém, também realiza predação intraguilda de *C. externa*.

Palavras-chave: Controle Biológico. Entomófagos. Predação.

GENERAL ABSTRACT

Ants have different functions in an ecosystem according to the species, and some of them have been reported acting as natural enemies of the coffee borer *Hypothenemus hampei*. The control of the coffee borer represents a problem for coffee growers, especially due to factors related to the biology of this insect, making access and consequent effectiveness of phytosanitary products difficult. Knowing the potential of predatory ants for population control of the borer, inside and outside the fruits, the objective of this work was to evaluate the role of *Crematogaster quadriformis* on *H. hampei*; its interference with the natural enemy *Chrysoperla externa*, which acts on the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*; in addition to its attractiveness and preference for fruits at different stages of maturation: infested and not infested by the coffee borer. The experiments were carried out in the laboratory under controlled conditions in two stages. Initially, the attack of ants on individuals of the coffee borer and lacewings was investigated. In the second stage, the role that volatiles from coffee fruits at different stages of maturation play in their attractiveness to ants was evaluated. Additionally, the preference of these predators between fruits infested and not infested by the coffee borer was evaluated, at different stages. The ants *C. quadriformis* showed potential as natural enemies against the coffee borer, they also carried out intraguild predation on the lacewing, so they could negatively interfere with its role as a natural enemy. These ants are attracted to ripe coffee fruits and cannot tell the difference between infested or uninfested fruits. In this way, *C. quadriformis* is attracted to the coffee plant and controls *H. hampei*, however, it also performs intraguild predation on *C. externa*.

Keywords: Biological Control. Entomophagous Insects. Predation.

SUMÁRIO

Referencial teórico.....	13
Diversidade e funções ecológicas das formigas.....	13
Relações das formigas com a complexidade do habitat.....	14
Formigas do gênero <i>Crematogaster</i>	15
A importância do café.....	16
A broca-do-café.....	17
Interação tritrófica mediada por voláteis entre planta, herbívoro e inimigo natural.....	19
Predação intraguilda.....	20
Referências bibliográficas.....	22
Capítulo 1 Potencial da formiga <i>Crematogaster quadriformis</i> como inimigo natural de <i>Hypothenemus hampei</i> e sua interferência sobre <i>Chrysoperla externa</i>	39
Resumo.....	39
Abstract.....	40
Introdução.....	41
Material e métodos.....	42
Obtenção e manutenção dos insetos.....	42
Ensaio de preferência predatória entre <i>C. externa</i> e <i>H. hampei</i>	43
Análise estatística.....	45
Resultados.....	45
Preferência predatória entre ovos do crisopídeo e adultos da broca-do-café.....	45
Preferência predatória entre larva do crisopídeo e adultos da broca-do-café.....	46
Discussão.....	48
Conclusão.....	50
Referências bibliográficas.....	51
Capítulo 2 Atratividade de <i>Crematogaster quadriformis</i> por frutos de café infestados ou não por <i>Hypothenemus hampei</i>	54

Resumo.....	54
Abstract.....	55
Introdução.....	56
Material e métodos.....	56
Obtenção e manutenção dos insetos e frutos.....	56
Ensaio de olfatométrica.....	58
Análise estatística.....	59
Resultados.....	60
Frutos verdes x ar.....	60
Frutos verdes brocados x ar.....	61
Frutos verdes brocados x frutos verdes não brocados.....	61
Frutos maduros x ar.....	62
Frutos maduros brocados x frutos maduros.....	63
Frutos maduros brocados x frutos verdes brocados.....	64
Discussão.....	65
Conclusão.....	66
Referências bibliográficas.....	67

Introdução

As formigas (Hymenoptera: Formicidae) podem ser encontradas em todos os continentes do mundo (ANTWEB, 2023), ocupando diversos nichos ecológicos e compreendendo vários níveis tróficos (BACCARO, et al., 2015). Estes insetos vivem em colônias e apresentam comportamento social, o que proporciona diversas vantagens, devido à divisão de trabalho e realização de tarefas em equipe (HÖLLDOBLER E WILSON, 1990).

No Brasil, devido à ampla extensão territorial, existe uma grande diversidade de biomas terrestres, que apresentam diferentes condições climáticas, tipos de solo, vegetação e bacias hidrográficas. (ARRUDA et al., 2017). Fatores que fazem com que o país possua também uma das maiores diversidades de formigas do mundo (DUNN et al., 2007).

Em climas tropicais, as formigas estão entre os insetos mais diversos e abundantes (LONGINO, CODDINGTON, E COLWELL, 2002), se dispersando de maneiras distintas em diferentes habitats. Seu comportamento é influenciado pelas condições ambientais (FISHER, 2010), havendo formigas adaptadas a locais sombreados e a locais ensolarados (ANDERSEN et al., 2012). Estes insetos são sensíveis a mudanças ambientais, ao tipo de solo e vegetação e ao preparo e manejo do solo (SCHMIDT et al., 2013; BARETTA et al., 2014). Quanto mais complexo for o ambiente, maior será a riqueza e diversidade desses organismos (HOLDEFER et al., 2017), que desempenham importantes tarefas no funcionamento e na manutenção de muitos ecossistemas atuando como predadoras, herbívoras, necrófagas, realizando mutualismo com outros organismos e movimentando o perfil do solo (PAL, 2006; DENMEAD, 2016; SUBEDI, 2016).

Agroecossistemas cafeeiros são habitat para diferentes tipos de organismos, incluindo a entomofauna (ONISHI et al., 2016; MORRIS et al., 2018; BEILHE et al., 2020). Entretanto, as estratégias convencionais de manejo utilizadas na cultura alteram o comportamento das formigas e seu potencial para realizar serviços ecossistêmicos (ARISTIZÁBAL E METZGER, 2019; JIMÉNEZ-SOTO et al., 2019). Por exemplo, a ausência de sombreamento e a utilização de produtos químicos diminui a biodiversidade nas plantações (PERFECTO E VANDERMEER, 2015). Enquanto sistemas agrícolas convencionais possuem uma baixa riqueza de espécies de formigas (ARMBRECHT E PERFECTO, 2003), plantações de café conduzidas de forma orgânica e sombreada apresentam uma maior abundância destes insetos (HUSNI et al., 2019).

Em certos casos as formigas podem ser consideradas indesejadas, mas existem relatos de que a maior atividade de formicídeos em cafeeiros está relacionada à menor infestação pela

broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) (VANDERMEER et al., 2002; JIMENEZ-SOTO et al., 2019).

Há relatos sobre o aumento da aptidão das plantas de um agroecossistema estar associado à presença de formigas, por atacarem artrópodes herbívoros, demonstrando potencial para o controle de uma grande variedade de insetos-praga (ANJOS et al., 2002; TRAGER et al., 2010; OFFENBERG, 2015).

Dentre os insetos que as formigas podem atacar, se encontram: o besouro da casca *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Curculionidae), que ocorre em coníferas (TRIGOS-PERAL et al., 2021); as moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha* Schiner, 1868 (Diptera: Tephritidae) (FERNANDES et al., 2012); o percevejo *Tessaratomia papillosa* (Drury, 1770) (Hemiptera: Tessaratomidae), praga da lichia (WU et al., 2018); a mariposa *Prays oleae* (Bernard, 1788) (Lepidoptera: Praydidae) na cultura do citros (MORRIS et al., 2002).

Existem certas espécies de formigas que realizam a predação da broca-do-café *H. hampei* (ARMBRECHT, 2016), podendo atacá-la tanto no solo (TRIBBLE E CARROLL, 2014), quanto na planta de café *Coffea arabica* Linnaeus, 1753 (Rubiaceae) (LARSEN E PHILPOTT, 2010; GONTHIER et al., 2013). As espécies menores, como *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863) *Pheidole protensa* Wilson, 2003, *Solenopsis picea* Emery, 1896 e *Pseudomyrmex simplex* (Smith, 1877), são capazes de adentrar o fruto de café brocado e realizar a predação de ovos, larvas, pupas e adultos (LARSEN E PHILPOTT, 2010; MORRIS E PERFECTO, 2016). Já espécies maiores, como *Azteca sericeasur* Longino, 2007, e *Pheidole synanthropica* Longino, 2009, realizam a predação de adultos da broca no meio externo (JIMENEZ SOTO et al., 2013). Estes inimigos naturais são muito abundantes em sistemas tropicais (HÖLLDOBLER E WILSON, 1990; FERNÁNDEZ, 2003).

O cafeeiro bem como outras espécies botânicas, tem a capacidade de produzir uma grande diversidade de compostos voláteis que podem afetar outros organismos (BRUCE et al., 2005), inclusive quando atacadas por herbívoros, ocasião em que emitem compostos voláteis para atrair inimigos naturais que possam controlá-los (KARBAN, 1997). Não apenas a parte vegetativa, mas também os frutos de café podem liberar diversos compostos orgânicos voláteis, como álcoois, acetato, terpenos, sesquiterpenos e aldeídos, e frutos de café infestados ou não por *H. hampei* liberam diferentes compostos voláteis (ORTIZ et al., 2004; BRASSIOLI et al., 2019).

Quando forrageiam, as formigas dependem de pistas químicas (KNADEN, 2016) e o seu forrageamento é fortemente associado às plantas (HEIL, 2003). Existem evidências que

esses insetos usam pistas químicas do ambiente para encontrar recursos alimentares e criar pontos de referência para se locomover (KNADEN, 2016).

Assim, as formigas poderiam perceber os diferentes voláteis emitidos pelos frutos de café e utilizarem-se desses compostos para forragear na direção desejada sendo atraídas pela broca-do-café.

Como a cultura do café apresenta importância econômica para o Brasil, gerando uma contribuição significativa para o mercado agrícola (ICO, 2022), e a broca-do-café é um dos problemas para sua produção, causando danos de aproximadamente 500 milhões de dólares anualmente (VEGA et al., 2015), é importante que se estudem estratégias sustentáveis para o manejo da broca, que pode ser auxiliado por formigas encontradas no cafeeiro. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial da formiga *Crematogaster quadriformis* Roger, 1863 (Hymenoptera: Formicidae) como agente de controle biológico da broca-do-café, desde a sua atração por compostos voláteis, até possíveis relações de predação intraguilda com inimigos naturais do cafeeiro.

Referencial teórico

Diversidade e funções ecológicas das formigas

A família Formicidae (Hymenoptera) apresenta 23 subfamílias, 517 gêneros e 28.707 espécies e subespécies descritos (ANTWEB, 2023). As espécies de formigas estão presentes em quase todo o globo terrestre, distribuídas em 546 diferentes estados geográficos (ZIEGLER, et al., 2023). Uma imensa parte desta diversidade é encontrada no Brasil, onde 12 subfamílias, 124 gêneros e 1.656 espécies e subespécies já foram registrados (ANTWEB, 2023).

A diversidade e riqueza de espécies de formigas sofrem alteração de acordo com as condições climáticas e ambientais de um local (DUNN et al., 2009; BERNADOU et al., 2014). Desse modo, elas têm sido grandemente utilizadas como indicadores ecológicos de ecossistemas, onde desempenham vários serviços ambientais (ANDERSEN E MAJER, 2004; UNDERWOOD E FISHER, 2006).

As colônias de formigas geralmente são subterrâneas e, durante a construção de suas galerias, podem movimentar os agregados alterando a estrutura do solo (CAMMERAAT E RISCH, 2008; BOTTINELLI et al., 2015), aumentando a capacidade de retenção de água e a sua fertilidade (FARJI-BRENER E WEREKRAUT, 2017). Ao depositar materiais de origem vegetal e animal próximos ou dentro de suas colônias, favorecem a decomposição e a ciclagem de nutrientes (KENDRICK et al., 2015; WILLS E LANDIS, 2018).

Ao interagirem com certas rochas, as formigas podem desencadear um aumento de até 335 vezes na absorção de CO₂, auxiliando a redução do aquecimento global (DORN, 2014). Portanto, esses insetos são capazes de alterar as características físicas e químicas do solo de modo benéfico.

Quando estão forrageando, formigas coletoras podem transportar e dispersar sementes, evitando que sejam predadas e que ocorra competição entre as filhas e a planta-mãe, podendo, inclusive, levá-las a locais com maior disponibilidade de nutrientes (AZCÁRATE E PECO, 2007; NESS E MORIN, 2008; WILLS E LANDIS, 2018). Além da dispersão primária, as formigas podem realizar a dispersão secundária de sementes ao remover os restos de fruto e deixar as sementes limpas e aptas para germinar (LEAL, 2003).

Presentes em quase todos os agroecossistemas, as formigas também atuam como inimigos naturais realizando controle de insetos-praga, (DIAS et al., 2013; MORRIS et al., 2018), e as práticas de manejo adotadas nos locais de cultivo podem favorecer este controle biológico natural (ARMBRECHT E GALLEGO, 2007; TEODORO et al., 2010).

Relações das formigas com a complexidade do habitat

As condições ambientais de um local são fundamentais na seleção de espécies que o compõe. Ao longo de um gradiente com diferentes características ambientais, os traços funcionais das espécies presentes irão variar de acordo com tal gradiente (KEDDY, 1992; SOMMER et al., 2014; BISHOP et al., 2015; PETERS et al., 2016). A modificação de habitats naturais em habitats antropogênicos faz com que as condições bióticas e abióticas sejam modificadas, criando um filtro ambiental, onde somente parte das espécies permanecem (TEMPERTON et al., 2004). A fragmentação e a perda do habitat natural em nível de paisagem e local, se tornaram grandes ameaças à biodiversidade (HORVÁTH et al., 2019). De modo contrário, a riqueza da vegetação pode favorecer a diversidade natural, inclusive predadores que poderiam controlar potenciais pragas, sendo assim, uma maior biodiversidade poderia afetar indiretamente as populações de pragas (LETOURNEAU et al., 2011).

As composições de espécies diferem de acordo com os biomas, regiões e habitats em que elas ocorrem. É um grande desafio para a ecologia identificar quais mecanismos e fatores moldam a biodiversidade, em termos de estrutura funcional e composição (MCGILL et al., 2006, AGRAWA et al., 2007).

Assembleias de formigas diferem de acordo com diversos fatores em escalas variadas, inicialmente escalas mais abrangentes, como o clima de uma região (GIBB et al., 2015), assim, a riqueza e diversidade de espécies são maiores com uma temperatura mais elevada e diminuem com o aumento da precipitação pluvial (DUNN et al., 2009). Posteriormente, passam para escalas menores como o habitat e sua complexidade em cada local (ANDERSEN 1986; CALCATERRA et al., 2010; GIBB E PARR, 2013), por exemplo, as conexões entre as plantas através de folhas, galhos e cipós podem melhorar a eficiência do forrageamento (TORRES-CONTRERAS E VASQUEZ, 2004; CLAY et al., 2010).

Como variáveis que interferem na complexidade de um habitat, a quantidade de serrapilheira, teor de acidez do solo, porcentagem de umidade, tamanho da área sombreada, queimadas, uso de inseticidas na agricultura, intensificação de atividade agrícola, são alguns dos fatores que influenciam a abundância e a diversidade das formigas (SPOLIDORO, 2009; MARTINS et al., 2010; SANTOS et al., 2021). Os distúrbios antropogênicos têm uma grande influência sobre as comunidades desses himenópteros, já que na maioria dos casos simplificam o ambiente, causando alterações sobre o modo de interação entre espécies, favorecendo formigas com comportamento dominante (SUAREZ et al., 2008; TSCHINKEL

E KING, 2017). Devido à sensibilidade e resposta a esses fatores, as formigas têm sido utilizadas como indicadores de mudanças no ambiente (TIEDE et al., 2017).

Os fatores que afetam a comunidade de formigas são geralmente indiretos, através da modificação da estrutura do habitat (FAGUNDES et al., 2015; SILVEIRA et al., 2016; VASCONCELOS et al., 2017). Como exemplo, a queima de uma floresta leva à diminuição do número de espécies especializadas em habitats fechados pelas árvores, e ao aumento do número de espécies especializadas em habitats abertos (ANDERSEN et al., 2012; PAOLUCCI, SCHOEREDER, ANDERSEN, 2017). Havendo diferentes composições de espécies em um ambiente, haverá também diferentes respostas para cada espécie (ANDERSEN, 2019). Desta forma, as características de um habitat vão interagir com as comunidades de formigas de diferentes maneiras, e isto pode ser observado dentro de um mesmo gênero, como em *Crematogaster* Lund, 1831 em que o fogo poderia favorecer algumas espécies e desfavorecer outras (SENSENIG et al., 2017).

Nos agroecossistemas cafeeiros, as formigas apresentam uma grande diversidade e abundância, estando presentes no solo e nas plantas sendo consideradas importantes inimigos naturais (PHILPOT E ARMBRECHT, 2006; MORRIS et al., 2018).

A composição da paisagem, estrutura da vegetação, manejo da terra, tamanho da área sombreada, podem afetar a comunidade de formigas presentes no cafeeiro (PHILPOTT et al., 2006; ARISTIZÁBAL E METZGER, 2018; GARCÍA et al., 2018; PERFECTO E VANDERMEER, 2020).

A presença de sombra em lavouras de café está relacionada a uma alta diversidade de formigas e outros inimigos naturais (PHILPOTT et al., 2004; ARMBRECHT E GALLEGO, 2007; PERFECTO et al., 2014), Fortes (2019), por exemplo, constatou que existe uma maior diversidade de formicídeos no sistema de café orgânico em relação ao sistema convencional, e quanto mais modificado o ambiente é em relação a um ambiente natural menor a diversidade de formigas (PERFECTO et al., 2005). A idade das formigas também pode ser reduzida em monocultivos de café conduzidos a pleno sol, devido a fatores como luminosidade e quantidade de serrapilheira (PERFECTO E VANDERMEER, 2002; ARMBRECHT et al., 2005)

Formigas do gênero *Crematogaster*

O gênero *Crematogaster* Lund, 1831 (Hymenoptera: Formicidae) apresenta distribuição mundial, e ocorre em todos os estados do Brasil (BACARO et al., 2015). Embora

distribuídas pelo mundo, a grande maioria das espécies ocorre nos trópicos (GARCIA et al., 2013), e até o momento, foram descritas 521 espécies e 260 subespécies (BOLTON, 2023).

Estas formigas podem ser encontradas em diversos habitats, como florestas, savanas, bosques ou matagais, e nestes ambientes elas apresentam comportamento dominante e agressivo em relação às demais formigas (LONGINO, 2003; BLAIMER, 2010). As colônias também podem ser construídas em diversos locais, como, árvores vivas, madeira em decomposição caules ocos, plantas mirmecófitas, serrapilheira, solo, ninhos abandonados de cupins, e conforme a espécie e algumas delas podem ser mistas, havendo o compartilhamento do local com uma colônia de outra espécie (HOSOISHI et al., 2010; BACARO et al., 2015). Em suas colônias, estas formigas têm a capacidade de produzir papelão, a partir da mastigação de fibras vegetais. Este produto é utilizado para formar novas galerias e controlar aberturas (LONGINO, 2003; EGUCHI, BUI E YAMANE 2011).

O gênero *Crematogaster* pode ser reconhecido através do gáster em formato de coração em espécimes observados em vista dorsal (BACARO et al., 2015), e pela fixação do pós-pecíolo no 4º segmento abdominal, com ausência do nó peciolar (BLAIMER, 2010). Estas características permitem que as formigas tenham a capacidade de atacar presas e inimigos utilizando o ferrão em um raio de 360º (RADCHENKO E DLUSSKY, 2019). O ferrão é bem desenvolvido, mas não é utilizado para ferocar, ou seja, não penetra no corpo da vítima, ele é utilizado para liberação do veneno e como meio para espalhá-lo sobre a vítima (KUGLER, 1978; SCHIFANI et al., 2023). Certas espécies quando forrageiam podem capturar e fragmentar presas enquanto outras formigas da colônia aplicam veneno sobre ela (RICHARD et al., 2001). Além das presas, o ferrão também é utilizado para repelir ou matar formigas competidoras (MARLIER et al., 2004).

A maior parte das espécies deste gênero, é composta por formigas predadoras generalistas e onívoras (LONGINO, 2003), entretanto, uma das fontes de alimento mais comum é o *honeydew* liberado pelos hemípteros (BACARO et al., 2015). Estes insetos se alimentam de diversos artrópodes, como por exemplo o adulto do percevejo asiático *Halyomorpha halys*, (Stål, 1855) (Heteroptera: Pentatomidae) sendo capazes também de predarem ovos de outros percevejos (CASTRACANI et al., 2017; WU et al., 2018). Há registros de que também podem preda o besouro *H. hampei* (VARÓN et al., 2004), e ovos e ninfas de aranha (JACKSON, NELSON E SALM, 2008).

A importância do café

O café é uma importante commodity agrícola (VEGRO, 2020), que emprega em torno de 25 milhões de pessoas (FAO, 2015), e gera uma receita de mais de US\$ 200 bilhões ao ano, em nível mundial (BOZZOLA et al., 2021).

Apesar do grande número de países produtores de café, 70% da produção ofertada é proveniente de somente quatro deles, Brasil, Vietnã, Colômbia e Indonésia. Já ao se tratar do consumo, Estados Unidos, União Europeia, Brasil e Japão são responsáveis por dois terços da demanda mundial (ICO, 2021).

A comercialização do café tem exercido um papel de grande importância para os países exportadores, sendo a maior fonte econômica para vários deles (ICO, 2023). Os países desenvolvidos são os principais importadores de café, enquanto os países em desenvolvimento são os principais exportadores (VEGRO et al., 2020).

O mercado cafeeiro foi essencial para o crescimento econômico do Brasil, se tornando parte de sua história (FONT, 1987; FURTADO, 2007). De acordo com o MAPA (2022), o país apresenta condições climáticas propícias para a cultura em 15 regiões, e essas condições possibilitaram que o Brasil se tornasse o maior produtor e exportador no mundo (ABIC, 2020), com 1,9 milhões de hectares plantados (IBGE, 2023). Em 2023, foram produzidas 54 mil sacas (CONAB, 2023), e aproximadamente 37% desta produção foi destinada ao consumo interno (ICO, 2021). A partir destes números, a cafeicultura pode sustentar uma grande quantidade de empregos no Brasil (KRUGER, 2007).

O estado de Minas Gerais é responsável por mais de 50% da produção brasileira (CONAB, 2023), e o sul de Minas é a maior região produtora do Brasil (COSTA, 2020), constituída principalmente por cafeicultores familiares (ALMEIDA, 2016).

A produção do cafeeiro, assim como em diversas outras culturas, é afetada por vários insetos-praga, entre eles a broca-do-café, *H. hampei*, que é uma das mais importantes para a cultura, estando presente em todas as regiões cultiváveis do mundo (LUZ et al., 2019).

A broca-do-café

No contexto mundial, já foi registrada a ocorrência de mais de 900 espécies de artrópodes associadas à cultura do café (KIMANI et al., 2002). Entretanto, mesmo diante desta grande diversidade, apenas 20 deles são classificados como relevantes para a produção de grãos (ODOUR E SIMONS, 2003). Dentre esses, se encontra a broca-do-café, que é considerada a principal praga da cultura em todo o mundo (VEGA et al., 2009; CURE et al., 2020), presente em todos os países produtores, com exceção da Austrália e do Nepal

(JOHNSON et al., 2020; SUN et al., 2020). Na esfera mundial, este inseto causa um prejuízo aproximado de 500 milhões de dólares, e de 215 a 358 milhões de dólares anualmente para o Brasil (SANTOS et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013; VEGA et al., 2017).

A broca-do-café apresenta metamorfose completa, com as fases de ovo, larva, pupa e adulta. Os machos vivem aproximadamente 40 dias, e as fêmeas vivem aproximadamente 156 dias (SANTINATTO et al., 2016). Esse é um dos poucos insetos capazes de completar seu ciclo de vida dentro dos frutos de café, em razão de simbioses bacterianas que se encontram em seu intestino e realizam a degradação da cafeína (CEJA-NAVARRO et al., 2015; VEGA et al., 2021).

Inicialmente a fêmea da broca realiza um orifício para entrada na região da coroa do fruto, e a partir daí, abre túneis até o endosperma onde realiza a oviposição. Ao eclodirem, as larvas se alimentam dos grãos, causando danos diretos e indiretos. Como danos diretos, ocorrem perdas em quantidade e qualidade (VEGA et al., 2009; PARRA et al., 2013) e como danos indiretos, se abrem portas de entrada para micro-organismos como *Erwinia stewartii* (Smith, 1898), *Erwinia salicis* (Day, 1924), *Aspergillus niger* van Tieghem, 1867 e *Fusarium solani* (Mart., 1881) (SPONAGEL, 1994; DAMON, 2000; MORALES et al., 2000). A qualidade do café pode ser prejudicada na medida em que, conforme os critérios de classificação, pode passar do tipo 2 para o tipo 7, de acordo com o nível de infestação pela broca (SOUZA et al., 2013).

O método de controle mais utilizado contra a broca-do-café é o químico, que deve ser realizado quando as infestações atingirem entre 3 e 5% de frutos brocados (INFANTE et al., 2014). Porém, apesar do uso de inseticidas, muitas vezes excessivo, a broca continua causando grandes prejuízos (OLIVEIRA et al., 2013; JOHNSON et al., 2020). O uso repetitivo de um mesmo produto faz com que sejam selecionados inseto-pragas com resistência ao seu princípio ativo, através da pressão de seleção (SILVA et al., 2015). O mau uso de produtos fitossanitários também ocasiona o ressurgimento de pragas secundárias, a morte de insetos benéficos, intoxicação de seres humanos e do meio ambiente (REIS et al., 2015; HUTTER et al., 2018; LEITE et al., 2020, LEITE, 2021).

Existem estratégias de manejo para o controle da broca-do-café que podem ser utilizadas em conjunto ao método químico. O controle cultural, através da remoção de frutos na pós-colheita, é recomendado para prevenir que o inseto se espalhe (ARISTIZÁBAL et al., 2017). A utilização de compostos voláteis emitidos pelo cafeeiro e por plantas companheiras tem sido investigada para atrair inimigos naturais (MENDESIL et al., 2009; DUFOU, 2013; CASTRO et al., 2017).

O controle biológico é outro método que tem sido muito estudado, existindo diversos agentes de controle natural que podem ser utilizados, sendo predadores, parasitoides ou entomopatógenos (JARAMILLO et al., 2006; MASCARIN et al., 2010). Dentre os inimigos naturais mais conhecidos, destacam-se: *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), o fungo *Beauveria bassiana* Vuillemin, 1912, tripes predadores da família Phlaeothripidae, percevejos da família Anthocoridae e diversas espécies de formigas predadoras (BUSTILLO et al., 2002; RUTHERFORD E PHIRI, 2006; NEVES, 2007; PHILPOTT et al., 2008; JARAMILLO et al., 2010; REZENDE et al., 2014; MORRIS E PERFECTO, 2016; JOHNSON et al., 2020).

Resultados de pesquisa revelaram que o uso isolado de agentes de controle, como fungos entomopatogênicos ou parasitoides, não são capazes de controlar de forma efetiva as populações da broca-do-café (GUTIERREZ E BAUMGATNER 1984; GUTIERREZ 1996; DAMON 2000; SILVA et al., 2006). Desse modo, faz-se necessário conhecer outros inimigos naturais com potencial para atuar contra a broca em um sistema cafeeiro, para que a ação conjunta de inimigos naturais possa ser aproveitada e o controle seja efetivo.

Interação tritrófica mediada por voláteis entre planta, herbívoro e inimigo natural

As plantas, de uma maneira geral, emitem metabólitos primários e secundários. Os metabólitos secundários têm diversas funções, entre elas mediar interações com o ambiente através dos compostos orgânicos voláteis (PICHERSKY et al., 2006; DUDAREVA et al., 2013). Em 90 diferentes famílias de Gimnospermas e Angiospermas, já foram identificados mais de 1700 compostos voláteis, que são liberados por raízes, caules, folhas, flores e frutos (KNUDSEN et al., 2006; FARRÉ-ARMENGOL et al., 2016).

A interação entre plantas e insetos é mediada pelo envio e recebimento de informações que, na maioria dos casos, são de caráter visual e olfativo (SCHROEDER et al., 2017; BOUWMEESTER et al., 2019). Os voláteis liberados pelas plantas são captados pelos receptores olfativos dos insetos, que permitem que eles localizem seu alimento (BRUCE et al., 2005).

Plantas podem alterar a composição dos voláteis que estão liberando quando são atacadas por herbívoros (TURLINGS E ERB, 2018; HU et al., 2021). Esses compostos diferem conforme o tipo de dano causado pelo inseto (DICKE, VAN LOON E SOLER, 2009), de modo que para insetos sugadores, as plantas utilizam em maioria a rota do ácido

salicílico, e para mastigadores a do ácido jasmônico (LEITNER, BOLAND E MITHÖFER, 2005; YONEYA E TAKABAYASHI, 2014; AARTSMA et al., 2017). Ao serem expostas a esses voláteis, plantas próximas os utilizam como um sinal de alerta aumentando suas defesas antes de serem atacadas por um inseto (BALDWIN et al., 2006; LIU E BRETTELL, 2019; MARKOVIC et al., 2019). Plantas também podem utilizar os voláteis de plantas vizinhas para competir por água, nutrientes e luz (KEGGE E PIERIK, 2010). Estes compostos são captados através das ceras da cutícula foliar (SUGIMOTO et al., 2016; CAMACHO et al., 2020). Desse modo, os voláteis podem atravessar a cutícula e serem percebidos pelos receptores voláteis (HEIL, 2014; LORETO E D'AURIA, 2022).

Os compostos voláteis induzidos por herbivoria podem atuar sobre os inimigos naturais, atraindo predadores e parasitoides para realizar o controle da praga que está causando danos à planta (TURLINGS E WÄCKERS, 2004; TURLINGS E ERB, 2018). Associações com certas espécies de formigas são outra estratégia utilizada pelas plantas para se protegerem de herbívoros, de modo que enquanto a planta fornece abrigo e presas como alimento, a formiga oferece proteção (RICO-GRAY E OLIVEIRA, 2007).

As formigas, assim como outros insetos, percebem tais voláteis por meio das antenas e dos palpos, que apresentam grande número de sensilas que detectam as informações químicas do ambiente (HALLEM et al., 2006; BENTON, 2007). O seu sucesso evolutivo pode ser justificado pelo seu sistema de comunicação, que é essencial para o seu ciclo de vida (GORDON E MEHDIABADI, 1999; DORNHAUS et al., 2012).

Predação intraguilda

As interações interespecíficas e intraespecíficas entre os insetos determinam a distribuição ecológica e abundância em um ecossistema (DENO et al., 1995; KAPLAN E DENNO, 2007). Alguns agroecossistemas podem sustentar grande quantidade de interações entre insetos, embora estas sejam mais simples do que as encontradas em ambientes naturais. A coexistência de diferentes espécies é essencial para que seja mantida a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos desses organismos (LEVINE et al., 2017; JIAO et al., 2020), porém, já é esperado que predadores de uma mesma guilda, quando possuem necessidades semelhantes, interfiram entre si (BROWN et al., 2015; CASTRO-GUEDES et al., 2020).

Uma das interações de maior importância para o controle biológico é a relação entre os inimigos naturais. Quando ocorre uma interação trófica onde um inimigo natural ataca outro inimigo natural, além de sua presa compartilhada, ocorre a predação intraguilda (POLIS et al., 1989; MOHAMMADPOUR et al., 2020). Em um programa de controle biológico de pragas,

mais de um agente de controle pode ser utilizado para manejar o mesmo inseto-praga (DENOTH et al., 2002, VALFAIE et al., 2020). No entanto, quando utilizados predadores generalistas é difícil determinar sua interação em insetos não alvo, de modo que eles poderiam inclusive realizar a predação de outros predadores (SHEPPARD E HARWOOD, 2005; MACFADYEN et al., 2015; PAULA et al., 2016).

A predação intraguilha é relacionada a diversos fatores. A densidade de presas disponíveis em um ambiente (LUCAS E ROSENHEIM, 2011; MIRANDE et al., 2015) e a estrutura física do habitat podem aumentar a frequência de ocorrência dessas interações (SCHMIDT E RYPSTRA, 2010; YU et al., 2019), sendo que em habitats mais simples há maiores chances de encontro entre predadores do que em habitats complexos (RITCHIE E JOHNSON, 2009; POZZEBON et al., 2015).

Já a direção e a intensidade com que ocorre a predação intraguilha, são determinadas por características do predador e da presa, como o tamanho relativo do corpo, ontogenia e mobilidade (LUCAS et al., 1998; FONSECA et al., 2018). Os estágios juvenis de desenvolvimento geralmente são mais vulneráveis, pois larvas tendo tegumento pouco esclerotizado, têm maior chance de serem atacadas do que adultos de corpo esclerotizado (DE CLERCQ et al., 2003; SEITER E SCHAUSBERGER, 2015).

Com a ocorrência da predação intraguilha o inimigo natural pode ser afetado mesmo quando não é morto pelo predador. Pode haver a redução de seu forrageamento para evitar a presença dos predadores, ou até mesmo a sua exclusão do habitat (SNYDER E IVES, 2001; SNYDER E IVES, 2003; FINKE E DENNO, 2004; MARQUES et al., 2018). O equilíbrio entre predador e presa intraguilha é um dos fatores que determina se este será um bom agente de controle biológico (GURR et al., 2004; SNYDER, 2019). Caso não bem elucidado, o aumento da abundância de um inimigo natural em um local poderia reduzir indiretamente a supressão de uma ou mais pragas de importância (SNYDER E IVES, 2001; FINKE E DENNO, 2002; MARTIN et al., 2013).

REFERÊNCIAS

- AARTSMA, Y.; BIANCHI, F.; VAN DER WERF, W.; POELMAN, E.; DICKE, M. Herbivore-induced plant volatiles and tritrophic interactions across spatial scales. **New Phytologist**, v.216, p.1054–1063, 2017.
- ABIC. **O café brasileiro na atualidade**, 2021. Disponível em: ><https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/o-cafe-brasileiro-na-atualidade/>< Acesso em: 02 jul. 2023.
- AGRAWAL, A. A.; ACKERLY, D. D.; ADLER, F.; ARNOLD, A. E.; CACERES, C.; DOAK, D. F.; POST, E.; HUDSON, P. J.; MARON, J.; MOONEY, K. A.; POWER, M.; SCHEMSKE, D.; STACHOWICZ, J.; STRAUSS, S.; TURNER, M. G.; WERNER, E. Filling key gaps in population and community ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.5, p.145-152. 2007.
- ALMEIDA, L. F.; ZYLBERSZTAJN, D. Key Success Factors in the Brazilian Coffee Agrichain: Present and Future Challenges. **Food System Dynamics**, v.8, p.45-53. 2016.
- ANDERSEN, A. N. Diversity, seasonality and community organization of ants at adjacent heath and woodland sites in southeastern Australia. **Australian Journal of Zoology**, v.34, p.53-64. 1986.
- ANDERSEN, A. N. Responses of ant communities to disturbance: Five principles for understanding the disturbance dynamics of a globally dominant faunal group. **Journal of Animal Ecology**, v.88, p.350-362. 2019.
- ANDERSEN, A. N.; MAJER, J. D. Ants show the way Down Under: invertebrates as bioindicators in land management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.2, p.291-298. 2004.
- ANDERSEN, A. N.; WOINARSKI, J. C. Z.; PARR, C. L. Savanna burning for biodiversity: Fire management for faunal conservation in Australian tropical savannas. **Austral Ecology**, v.37, p.658–667. 2012.
- ANDERSEN, A. N.; WOINARSKI, J. C. Z.; PARR, C. L. Savanna burning for biodiversity: Fire management for faunal conservation in Australian tropical savannas. **Austral Ecology**, v.37, p.658–667. 2012.
- ANJOS, D. V.; TENA, A.; VIANA-JUNIOR, A. B.; CARVALHO, R. L.; TOREZAN-SILINGARDI, H.; DEL-CLARO, K.; PERFECTO, I. The effects of ants on pest control: A meta-analysis. **Proceedings of the Royal Society B**. 289: 20221316. 2022.
- ANTWEB. Disponível em <<https://www.antweb.org/project.do?name=allantwebants>> Acesso em 06/jun/2023.
- ARISTIZÁBAL L. F.; JOHNSON, M.; SHRINER, S.; HOLLINGSWORTH, R.; MANOUKIS, N.; MYERS, R.; BAYMAN, P.; ARTHURS, S. Integrated pest management of coffee berry borer in Hawaii and Puerto Rico: Current status and prospects. **Insects**, v.8, p.1–16. 2017.

ARISTIZÁBAL, N.; METZGER, J. P. Landscape structure regulates pest control provided by ants in sun coffee farms. **Journal of Applied Ecology**, v.56, p.21–30. 2019.

ARMBRECHT, I. **Agroecología y Biodiversidad**. Cali - Colombia: Programa Editorial, Universidad del Valle, 2016.

ARMBRECHT, I.; GALLEGO, M. C. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. **Entomologia Experimentalis Applicata**, v.124, p.261–267. 2007.

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**, v.097, p. 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**, v.19, p.897-907. 2005.

ARRUDA, D. M.; FERNANDES-FILHO, E. I.; SOLAR, R. R. C.; SCHAEFER, C. E. G. R. (2017) Combining climatic and soil properties better predicts covers of Brazilian biomes. **The Science of Nature**, v.104. 2017.

AZCÁRATE, F. M.; PECO, B. Harvester ants (*Messor barbarus*) as disturbance agents in Mediterranean grasslands. **Journal of Vegetation Science**, v.18, p.103–110. 2007.

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: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA. 2015. 388p.

BALDWIN, I. T.; HALITSCHKE, R.; PASCHOLD, A.; VON DAHL, C. C.; PRESTON, C. A. Volatile signaling in plant-plant interactions: “Talking trees” in the genomics era. **Science**, v.311, p.812–815. 2006.

BARETTA, D.; BARTZ, M. L. C.; FACHINI, I.; ANSELMINI, R.; ZORTÉA, T.; BARETTA, C. R. D. M. 2014. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.871-879. 2014.

BEILHE, 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**, v.131. 2019.

BENTON, R. Sensitivity and specificity in *Drosophila* pheromone perception. **Trends in Neurosciences**, v.30, p.512-519. 2007.

BERNADOU, A.; ESPADALER, X.; LE GOFF, A.; FOURCASSIÉ, V. Ant community organization along elevational gradients in a temperate ecosystem. **Insectes Sociaux**, v.62, p.59 -71. 2014.

BISHOP, T. R.; ROBERTSON, M. P.; VAN RENSBURG, B. J.; PARR, C. L. Contrasting species and functional beta diversity in montane ant assemblages. **Journal of Biogeography**, v.42, p.1776–1786. 2015.

BLAIMER, B. B. Taxonomy and Natural History of the Crematogaster (Decacrema)-group (Hymenoptera: Formicidae) in Madagascar. **Zootaxa**, v.2714, p.1–39. 2010.

BLASSIOLI-MORAES, M. C.; MICHEREFF, M. F. F.; MAGALHÃES, D. M.; MORAIS, S. D.; HASSEMER, M. J.; LAUMANN, R. A.; MENEGHIN, A. M.; BIRKETT, M. A.; WITHALL, D. M.; MEDEIROS, J. N.; CORRÊA, C. M. C.; BORGES, M. Influence of constitutive and induced volatiles from mature green coffee berries on the foraging behaviour of female coffee berry borers, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Arthropod-Plant Interactions**, v.13, p.349–358, 2019.

BOLTON, B. **AntCat**. Disponível em <<https://www.antcat.org/catalog/429870>> Acesso em 28 de junho de 2023.

BOTTINELLI, N.; JOUQUET, P.; CAPOWIEZ, Y.; PODWOJEWSKI, P.; GRIMALDI, M.; PENG, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, v.146, p.118–124. 2015.

BOUWMEESTER, H.; SCHUURINK, R. C.; BLEEKER, P. M.; SCHIESTL, F. The role of volatiles in plant communication. **The Plant Journal**, v.100, p.892–907. 2019.

BOZZOLA, M.; CHARLES, S.; FERRETTI, T.; GERAKARI, E.; MANSON, H.; ROSSER, N.; GOLTZ, P. **The Coffee Guide**. 4. Ed. United Nations Publications, 2021.

BROWN, P. M. J.; INGELS, B.; WHEATLEY, A.; RHULE, E. L.; DE CLERCQ, P.; VAN LEEUWEN, T.; THOMAS, A. Intraguild predation by *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) on native insects in Europe: molecular detection from field samples. **Entomological Science**, v.18, p.130-133. 2015.

BRUCE, T. J. A.; WADHAMS, L. J.; WOODCOCK, C. M. Insect host location: A volatile situation. **Trends in Plant Science**, v.10, p.269–274. 2005.

BRUCE, T. J. A.; WADHAMS, L. J.; WOODCOCK, C. M. Insect host location: A volatile situation. **Trends in Plant Science**, v.10, p. 269–274, 2005.

BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. **Neotropical Entomology**, v.31, p.635-639. 2002.

CALCATERRA, L. A.; CUEZZO, F.; CABRERA, S. M.; BRIANO, J. A. Ground ant diversity (Hymenoptera: Formicidae) in the Iberá Nature Reserve, the largest wetland of Argentina. **Annals of the Entomological Society of America**, v.103, p.71-83. 2010.

CAMACHO-CORONEL, X.; MOLINA-TORRES, J.; HEIL, M. Sequestration of exogenous volatiles by plant cuticular waxes as a mechanism of passive associational resistance: a proof of concept. **Frontiers in Plant Science**, v.11. 2020.

CAMMERAAT, E. L. H.; RISCH, A. C. 2008. The impact of ants on mineral soil properties and processes at different spatial scales. **Journal of Applied Entomology**, v.123, p.285–294. 2008.

CASTRACANI, C.; BULGARINI, G.; GIANNETTI, D.; SPOTTI, F. A.; MAISTRELLO, L.; MORI, A.; GRASSO, D. A. Predatory ability of the ant *Crematogaster scutellaris* on the

brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys*. **Journal of Pest Science**, v.90, p.1181–1190. 2017.

CASTRO, A. M.; TAPIAS, J.; ORTIZ, A.; BENAVIDES, A.; GONGORA, C. E. Identification of attractant and repellent plants to coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.164, p.120–130. 2017.

CASTRO-GUEDES, C. F. D.; ALMEIDA, L. M. D.; MOURA, M. O. Asymmetric intraguild predation of *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae) on a native Coccinellidae guild. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.64. 2020.

CEJA-NAVARRO, J. A.; VEGA, F. E.; KARAOZ, U.; HAO, Z.; JENKINS, S.; LIM, H. C.; KOSINA, P.; INFANTE, F.; NORTHEN, T.; BRODIE, E. Gut microbiota mediate caffeine detoxification in the primary insect pest of coffee. **Nature Communications**, v.6, p.1-9. 2015.

CLAY, N. A.; BAUER, M.; SOLIS, M.; YANOVIK, S. P. Arboreal substrates influence foraging in tropical ants. **Ecological Entomology**, v.35, p.417-423. 2010.

CONAB – **Acompanhamento da safra brasileira: Café**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>> Acesso em: 02 jul. 2023.

COSTA, B.R. **Brazilian specialty coffee scenario**. In: COSTA, B.R. Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil. São Paulo: Elsevier, cap.3, p.51-63, 2020.

CURE, J. R.; RODRÍGUEZ, D.; GUTIERREZ, A. P.; PONTI, L. The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (*Hypothenemus hampei*). **Scientific Reports**, v.10. 2020.

DAMON, A. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Bulletin of Entomological Research**, v.90, p.453-465. 2000.

DE CLERCQ, P.; PEETERS, I.; VERGAUWE, G. Thas, O. Interaction between *Podisus maculiventris* and *Harmonia axyridis* two predators used in augmentative biological control in greenhouse crops. **BioControl**, v.48, p.39–55. 2003.

DENMEAD, L.H. **Ant diversity, function, and services across tropical land-use systems in Indonesia**. 2016, 184p. Dissertação (Doutorado). Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, 2016.

DENNO, R. F.; MCCLURE, M. S.; OTT, J. R. Interactions in Resurrected. **The Annual Review of Entomology**, v.40, p.297–331. 1995.

DENOTH, M.; FRID, L.; MYERS, J.H. Multiple agents in biological control: Improving the odds? **Biological Control**, v.24, p.20–30. 2002.

DIAS, N. D. S.; ZANETTI, R.; SANTOS, M. S.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; BROGLIO, S. M. F.; DELABIE, J. H. C. The impact of coffee and pasture agriculture on predatory and omnivorous leaf-litter ants. **Journal of Insect Science**, v.13. 2013.

DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A.; SOLER, R. Chemical complexity of volatiles from plants induced by multiple attack. **Nature Chemical Biology**, v.5, p.317–324, 2009.

DORN R. I. Ants as a powerful biotic agent of olivine and plagioclase dissolution. **Geology**, v.42, p.771-774. 2014.

DORNHAUS, A.; POWELL, S.; BENGSTON, S. Group size and its effects on collective organization. **The Annual Review of Entomology**, v.57, p.123–141. 2012.

DUDAREVA, N.; KLEMPIEN, A.; MUHLEMANN, J. K.; KAPLAN, I. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. **New Phytologist**, v.198, p.16–32. 2013.

DUFOUR, B.P.; ETIENNE, L.; RIBEYRE, F.; AVELINO, J. Field study of the attractant and repellent potential of volatile organic compounds for the coffee berry borer. In: 24th International Conference on Coffee Science, 24, 2012, San José – Costa Rica. **Anais...** Paris: ASIC, 2013. 922-926.

DUNN, R. R.; AGOSTI, D.; ANDERSEN, A. N.; ARNAN, X.; BRUHL, C. A.; CERDÁ, X.; ELLISON, A. M.; FISHER, B. L.; FITZPATRICK, M. C.; GIBB, H.; GOTELLI, N. J.; GOVE, A. D.; GUENARD, B.; JANDA, M.; KASPARI, M.; LAURENT, E. J.; LESSARD, J.; LONGINO, J. T.; MAJER, J. D.; MENKE, S. B.; MCGLYNN, T. P.; PARR, C. L.; PHILPOTT, S. M.; PFEIFFER, M.; RETANA, J.; SUAREZ, A. V.; VASCONCELOS, H. L.; WEISER, M. D.; SANDERS N. J. Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness. **Ecology Letters**, v.12, p.324–333. 2009.

DUNN, R. R.; AGOSTI, D.; ANDERSEN, A. N.; ARNAN, X.; BRUHL, C. A.; CERDA, X.; ELLISON, A. M.; FISHER, B. L.; FITZPATRICK, M. C.; GIBB, H.; GOTELLI, N. J.; GOVE, A. D.; GUENARD, B.; JANDA, M.; K ASPARI, M.; LAURENT, E. J.; LESSARD, J. P.; LONGINO, J. T.; MAJER, J. D.; MENKE, S. B.; MCGLYNN, T. P.; PARR, C. L.; PHILPOTT, S. M.; PFEIFFER, M.; RETANA, J.; SUAREZ, A. V.; VASCONCELOS, H. L.; WEISER, M. D.; SANDERS, N. J. Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness. **Ecology Letters**, v.12, p.324-333. 2009.

DUNN, R. R.; SANDERS, N. J.; FITZPATRICK, M. C.; LAURENT, E. J.; LESSARD, J. P.; AGOSTI, D.; ANDERSEN, A. N.; BRUHL, C. B.; CERDA, X.; ELLISON, A. M.; FISHER, B. L.; GIBB, H.; GOTELLI, N.; GOVE, A. D.; GUENARD, B.; JANDA, M.; KASPARI, M.; LONGINO, J. T.; MAJER, J. D.; MCGLYNN, T. P.; MENKE, S. B.; PARR, C. L.; PHILPOTT, S. M.; PFEIFFER, M.; RETANA, J.; SUAREZ, A. V.; VASCONCELOS, H. L. Global ant (Hymenoptera : Formicidae) biodiversity and biogeography - a new database and its possibilities. **Myrmecological News**, v.10, p.77–83. 2007.

EGUCHI, K.; BUI, T. V.; YAMANE, S. Generic synopsis of the Formicidae of Vietnam. Part 1 – Myrmicinae and Pseudomyrmecinae. **Zootaxa**, v.2878, p.1-61. 2011.

FAGUNDES, R.; ANJOS, D. V.; CARVALHO, R.; DEL-CLARO, K. Availability of food and nesting-sites as regulatory mechanisms for the recovery of ant diversity after fire disturbance. **Sociobiology**, v.62, p.1–9. 2015.

FAO. **Statistical Coffee Pocketbook**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.

FARJI-BRENER, A. G.; WERENKRAUT, V. The effects of ant nests on soil fertility and plant performance: a meta-analysis. **Journal of Animal Ecology**, v.86, p.866–877. 2017.

- FARRÉ-ARMENGOL, G.; FILELLA, I.; LLUSIA, J.; PEÑUELAS, J. Bidirectional Interaction between phyllospheric microbiotas and plant volatile emissions. **Trends in Plant Science**, v.21, p.854–860. 2016.
- FERNANDES, W. D.; SANT'ANA, M. V.; RAIZER, J.; LANGE, D. Predation of fruit fly larvae *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) by ants in grove. **Psyche**, v.1, p. 1-7. 2012.
- FERNÁNDEZ, F. **Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical**. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2003
- FINKE, D. L.; DENNO, R. F. Intraguild predation diminished in complex-structured vegetation: implications for prey suppression. **Ecology**, v.83, p.643-652. 2002.
- FINKE, D. L.; DENNO, R. F. Predator diversity dampens trophic cascades. **Nature**, v.429, p.407-410. 2004.
- FISHER, B. L. Biogeography. In: LACH, L.; PARR, C. L.; ABBOTT, K. L. **Ant Ecology**. Oxford: Oxford University Press, 2010. pp. 18–37.
- FONSECA, M. M.; PALLINI, A.; LIMA, E.; JANSSEN, A. Ontogenetic stage-specific reciprocal intraguild predation. **Oecologia**, v.188, p.743–751. 2018.
- FONT, M. Coffee Planters, Politics, and Development in Brazil. **Latin American Research Review**, v.22, p.69-90. 1987.
- FORTES, A. R. **Levantamento da mirmecofauna em agrossistemas cafeeiros**. 2019. 38 p. Monografia (Graduação). Instituto Federal de Educação Ciência e tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Machado. Machado, Brasil. 2019.
- FURTADO, C. **Formação Econômica do Brasil**. 32.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2005.
- GARCIA, H. F.; WIESEL, E.; FISCHER, G. The ants of Kenya (Hymenoptera: Formicidae) —faunal overview, first species checklist, bibliography, accounts for all genera, and discussion on taxonomy and zoogeography. **Journal of East African Natural History**, v.101, p.127-222. 2013.
- GARCÍA-CÁRDENAS, R.; MONTOYA-LERMA, J.; ARMBRECH, I. Ant diversity under three coverages in a Neotropical coffee landscape. **Revista de Biología Tropical**, v.66, p.1373-1389. 2018.
- GIBB, H.; PARR, C. L. Does structural complexity determine the morphology of assemblages? An experimental test on three continents. **Plos One**, v.8 (5). 2013.
- GIBB, H.; STOKLOSA, J.; WARTON, D. I.; BROWN, A. M.; ANDREW, N. R.; CUNNINGHAM, S. A. Does morphology predict trophic position and habitat use of ant species and assemblages? **Oecologia**, v.177, p.519-531. 2015.
- GONTHIER, D. J.; ENNIS, K. K.; PHILPOTT, S. M.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Ants defend coffee from berry borer colonization. **BioControl**, v.58, p.815–820. 2013

- GORDON, D. M.; MEHDIABADI, N. J. Encounter rate and task allocation in harvester ants. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v.45, p.370–377. 1999.
- GURR, G.; WRATTEN, S.; ALTIERI, M. Ecological engineering: a new direction for agricultural pest management. **Australia Farm Business Management Journal**, v.1, p.28-35. 2004.
- GUTIERREZ, A. P. **Applied Population Ecology: A Supply-Demand Approach**. 1. Nova Jersey: Wiley, 1996.
- GUTIERREZ, A. P.; BAUMGÄRTNER, J. U. Multitrophic level models of predator-prey energetics: II: A realistic model of plant- herbivore-parasitoid-predator interactions. *The Canadian Entomologist*, v.116, p.933–949. 1984.
- HALLEM, E.A.; DAHANUKAR, A.; CARLSON, J. R. Insect odor and taste receptors. **Annual Review of Entomology**, v.51, p.113–135. 2006.
- HEIL, M. Herbivore-induced plant volatiles: targets, perception and unanswered questions. **New Phytologist**, v.204, p.297–306, 2014.
- HEIL, M.; MCKEY, D. Protective ant-plant interactions as model systems in ecological and evolutionary research. **The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.34, p.425-453, 2003.
- HOLDEFER DR, LUTINSKI JA & GARCIA FRM. Does organic management of agroecosystems contribute to the maintenance of the richness of ants? **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, p.3455-3468. 2017.
- HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E.O. **The Ants**. Harvard University Press. 1990.
- HORVÁTH, Z.; PTACNIK, R.; VAD, C. F.; CHASE, J. M. Habitat loss over six decades accelerates regional and local biodiversity loss via changing landscape connectance. **Ecology Letters**, v.22, p.1019-1027. 2019.
- HOSOISHI, S.; OGATA, K. The ant genus *Crematogaster* Lund, subgenus *Physocrema* Forel, in the Indochinese Peninsula. **Asian Myrmecology**, v.2, p.1-10. 2009.
- HU, L.; ZHANG, K.; WU, Z.; XU, J.; ERB, M. Plant volatiles as regulators of plant defense and herbivore immunity: molecular mechanisms and unanswered questions. **Current Opinion in Insect Science**, v.44, p.82–88. 2021.
- HUSNI, H.; JAUHARLINA, J.; SAIFULLAH, S. Composition and structure community of arthropods in organic and conventional arabica coffee plantation. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** v.260, n.012158. 2019.
- HUTTER, H. P.; KUNDI, M.; LEMMERER, K.; POTESER, M.; WEITENSFELDER, L.; WALLNER, P.; MOSHAMMER, H. Subjective symptoms of male workers linked to occupational pesticide exposure on coffee plantations in the Jarabacoa region, Dominican Republic. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.15. 2018.

IBGE. **Levantamento de safra da produção agrícola**. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil> Acesso em 02 jul 2023.

ICO. **Monthly Coffee Market Report**, 2022. Disponível em <<https://www.ico.org/Market-Report-21-22-e.asp>> Acesso em 31 jul. 2022.

ICO. **Monthly Coffee Market Report**. Disponível em < <https://www.ico.org/Market-Report-22-23-e.asp>> Acesso em 02 jul. 2023.

ICO. **Trade Statistics Tables**, 2021. Disponível em <https://www.ico.org/trade_statistics.asp> Acesso em 02 jul. 2023.

INFANTE, F., PEREZ, J., VEGA, F.E. The coffee berry borer: the centenary of a biological invasion in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.74, p.125–126. 2014.

JACKSON R. R.; NELSON, X. J.; SALM, K. The natural history of *Myrmarachne melanotarsa*, a social ant-mimicking jumping spider. **Journal of Zoology**, v.35, p.225-235. 2008.

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

JARAMILLO, J.; CHAPMAN, E. G.; VEGA, F. E.; HARWOOD, J. D. Molecular diagnosis of a previously unreported predator–prey association in coffee: *Karnyothrips flavipes* Jones (Thysanoptera: Phlaeothripidae) predation on the coffee berry borer. **Naturwissenschaften**, v.97, p.291–298. 2010.

JARAMILLO, J.; TORTO, B.; MWENDA, D.; TROEGER, A.; BORGEMEISTER, C.; POEHLING, H. M.; FRANCKE, W. Coffee Berry Borer Joins Bark Beetles in Coffee Klatch. **Plos One**, v.8, p.2–15. 2013.

JIAO, S.; YANG, Y.; XU, Y.; ZHANG, J.; LU, Y. Balance between community assembly processes mediates species coexistence in agricultural soil microbiomes across eastern China. **Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology**, v.14, p.202-216. 2020.

JIMENEZ-SOTO, E.; CRUZ-RODRÍGUEZ, J. A.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) and its interactions with *Azteca instabilis* and *Pheidole synanthropica* (Hymenoptera: Formicidae) in a shade coffee agroecosystem. **Environmental Entomology**, v.42, p.915–924. 2013.

JIMÉNEZ-SOTO, E.; MORRIS, J. R.; LETOURNEAU, D. K.; PHILPOTT, S. M. Vegetation connectivity increases ant activity and potential for ant-provided biocontrol services in a tropical agroforest. **Biotropica**, v.51, p.50–61. 2019.

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**, v.882, p.2–35. 2020.

KAPLAN, I.; DENNO, R. F. Interspecific interactions in phytophagous insects revisited: A quantitative assessment of competition theory. **Ecology Letters**, v.10, p.977–994. 2007.

KARBAN, R.; BALDWIN, I. T. **Induced Responses to Herbivory**. 2. Ed. Chicago: University of Chicago Press, 1997

KEDDY, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. **Journal of Vegetation Science**, v.3, p.157–164. 1992.

KEGGE, W.; PIERIK, R. Biogenic volatile organic compounds and plant competition. **Trends in Plant Science**, v.15, p.126–132. 2010.

KENDRICK, J.; RIBBONS, R. R.; CLASSEN, A. T.; ELLISON, A. M. Changes in canopy structure and ant assemblages affect soil ecosystem variables as a foundation species declines. **Ecosphere**, v.6. 2015.

KENNE, M.; SCHATZ, B.; DURAND, J.-L.; DEJEAN, A. Hunting strategy of a generalist ant species proposed as a biological control agent against termites. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.94, p.31–40. 2000.

KIMANI, M.; LITTLE, T.; JANNY, G. M. **Introduction to Coffee Management through Discovery Learning**. Kenya: CABI Bioscience, 2002.

KNADEN, M.; GRAHAM, P. The sensory ecology of ant navigation: from natural environments to neural mechanisms. **The Annual Review of Entomology**, v.61, p. 63-76, 2016.

KNUDSEN, J. T.; ERIKSSON, R.; GERSHENZON, J.; STÅHL, B. Diversity and distribution of floral scent. **The Botanical Review**, v.72, p.1–120. 2006.

KRUGER, D. I. Coffee production effects on child labor and schooling in rural Brazil. **Journal of Development Economics**, v.82, p.448–63. 2007.

KUGLER, C. Pygidial glands in the myrmicine ants (Hymenoptera, Formicidae). **Insecta Sociata**, v.25, p.267-27. 1978.

LARSEN, A.; PHILPOTT, S. M. 2010. Twig-nesting ants: the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas. Mexico. **Biotropica**, v.42, p.342–347. 2010.

LEAL, I. R. Dispersão de sementes por formigas. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária, 2003. p.593-624.

LEITE, S. A.; SANTOS, M. P.; COSTA, D. R.; MOREIRA, A. A.; GUEDES, R. N. C.; CASTELLANI, M. A. Time-concentration interplay in insecticide resistance among populations of the Neotropical coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.23, p.232–241. 2021.

LEITE, S. A.; SANTOS, M. P.; RESENDE-SILVA, G. A.; COSTA, D. R.; MOREIRA, A. A.; LEMOS, O. L.; GUEDES, R. N.; CASTELLANI, M. Area-wide survey of chlorantraniliprole resistance and control failure likelihood of the neotropical coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Journal of Economy Entomology**, v.113, p.1399–1410. 2020.

- LEITNER, M.; BOLAND, W.; MITHÖFER, A. Direct and indirect defences induced by piercing-sucking and chewing herbivores in *Medicago truncatula*. **New Phytologist**, v.167, p.597-606, 2005.
- LETOURNEAU, D. K.; ARMBRECHT, I.; RIVERA, B. S.; LERMA, J. M.; CARMONA, E. J.; DAZA, M. C.; ESCOBAR, S.; GALINDO, V.; GUTIÉRREZ, C.; LOPEZ, S. D.; MEJIA, J. L.; RANGEL, A. M. A.; RANGEL, J. H.; RIVERA, L.; SAAVEDRA, C. A.; TORRES, A. M.; TRUJILLO, A. R. 2011. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. **Ecological Applications**, v.21, p.9-21. 2011.
- LEVINE, J. M., BASCOMPTE, J., ADLER, P. B., ALLESINA, S. Beyond pairwise mechanisms of species coexistence in complex communities. **Nature**, v.546, p.56- 64. 2017.
- LIU, H.; BRETTELL, L. E. Plant defense by VOC-induced microbial priming. **Trends in Plant Science**, v.24, p.187–189. 2019.
- LONGINO, J. T. The *Crematogaster* (Hymenoptera, Formicidae, Myrmicinae) of Costa Rica. **Zootaxa**, v.151, p.1-150. 2003.
- LONGINO, J. T.; CODDINGTON, J.; COLWELL, R. K. The ant fauna of a tropical rain forest: Estimating species richness three different ways. **Ecology**, v.83, p.689–702. 2002.
- LORETO, F.; D'AURIA, S. How do plants sense volatiles sent by other plants? **Trends in Plant Science**, v.27, p.29–38. 2022.
- LUCAS, É.; CODERRE, D.; BRODEUR, J. Intraguild predation among aphid predators: characterization and influence of extraguild prey density. **Ecology**, v.79, p.1084-1092. 1998.
- LUCAS, É.; ROSENHEIM, J. A. Influence of extraguild prey density on intraguild predation by heteropteran predators: A review of the evidence and a case study. **Biological Control**, v.59, p.61-67. 2011.
- LUZ, E. C. A.; SILVA, R. A.; SOUZA, J. C.; MATOS, C. S. M. Estudo da eficiência de inseticidas no controle da broca-do-café *Hypothenemus hampei*. In: X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 10º, 2019, Vitória. **Anais ... Brasília: Embrapa café**. 2019.
- MACFADYEN, S.; DAVIES, A. P.; ZALUCKI, M. P. Assessing the impact of arthropod natural enemies on crop pests at the field scale. **Insect Science**, v.22, p.20–34. 2015.
- MAPA. **Café no Brasil e Ementário do Café**. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>> Acesso em 02 jul. 2023.
- MARKOVIC, D.; COLZI, I.; TAITI, C.; RAY, S.; SCALONE, R.; GREGORY, A. J.; MANCUSO, S.; NINKOVIC, V. Airborne signals synchronize the defenses of neighboring plants in response to touch. **Journal of Experimental Botany**, v.70, p.691–700. 2019.
- MARLIER, J.; QUINET, Y.; DE BISEAU, J. Defensive behaviour and biological activities of the abdominal secretion in the ant *Crematogaster scutellaris* (Hymenoptera: Myrmicinae). **Behavioural processes**, v.67, p.427-40. 2004.

- MARQUES, R. V.; SARMENTO, R. A.; OLIVEIRA, A. G.; RODRIGUES, D. D. M.; VENZON, M.; PEDRO-NETO, M.; PALLINI, A.; JANSSEN, A. Reciprocal intraguild predation and predator coexistence. **Ecology and evolution**, v.8, p.6952-6964. 2018.
- MARTIN, E. A.; REINEKING, B.; SEO, B.; STEFFAN-DEWENTER, I. Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.110, p.5534–5539. 2013.
- MARTINS, L.; ALMEIDA, F. S.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; VARGAS, A. B. Efeito da complexidade estrutural do ambiente sobre a comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) no município de Resende, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v.9, p.174-179. 2010.
- MASCARIN, G. M.; PAULI, G. Bioprodutos à base de fungos entomopatogênicos. In: VENZON, M.; JÚNIOR, T. J. P.; PALLINI, A. **Controle alternativo de pragas e doenças na agricultura orgânica**. Viçosa: Epamig, 2010. v. 4, p. 169-195.
- MCGILL, B. J.; ENQUIST, B. J.; WEIHER, E.; WESTOBY, M. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**, v.21, p.178-185. 2006.
- MIRANDE, L.; DESNEUX, N.; HARAMBOURE, M.; SCHNEIDER, M. I. Intraguild predation between an exotic and a native coccinellid in Argentina: the role of prey density. **Journal of Pest Science**, v.88, p.155-162. 2015.
- MOHAMMADPOUR, M.; HOSSEINI, M.; MICHAUD, J. P.; KARIMI, J.; HOSSEININAVEH, V. The life history of *Nabis pseudoferus* feeding on *Tuta absoluta* eggs is mediated by egg age and parasitism status. **Biological Control**, v.151. 2020.
- MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G.; SITTERTZ-BHATKAR, H.; SALDAÑA, G. Symbiotic relationship between *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) and *Fusarium solani* (Moniliales: Tuberculariaceae). **Annals of the Entomological Society of America**, v.93, p.541–547. 2000.
- MORRIS, J. R.; JIMENEZ-SOTO, M. E.; PHILPOT, S. M.; PERFECTO, I. Ant- mediated biological control of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari): Diversity, ecological complexity, and conservation biocontrol. **Myrmecological News**, v.26, p.1–17. 2018.
- MORRIS, J. R.; JIMENEZ-SOTO, M. E.; PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I. Ant- mediated biological control of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari): Diversity, ecological complexity, and conservation biocontrol. **Myrmecological News**, v.26, p.1–17. 2018.
- MORRIS, J. R.; PERFECTO, I. Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.233, p.224–228. 2016.
- MORRIS, J. R.; PERFECTO, I. Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.233, p.224–228. 2016.

- MORRIS, J.; JIMENEZ-SOTO, E.; PHILPOT, S. M.; PERFECTO, I. Ant-mediated (Hymenoptera: Formicidae) biological control of the coffee berry borer: diversity, ecological complexity, and conservation biocontrol. **Myrmecological News**, v.26, p. 1-17. 2018.
- MORRIS, T. I.; SYMONDSON, W. O. C.; KIDD, N. A. C.; CAMPOS, M. The effect of different ant species on the olive moth, *Prays oleae* (Bern.), in Spanish olive orchard. **Journal of Applied Entomology**, v.126, p.224–230. 2002.
- NESS, J. H.; MORIN, D. F. 2008. Forest edges and landscape history shape interactions between plants, seed-dispersing ants and seed predators. **Biological Conservation**, v.141, p.838–847. 2008.
- 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, 2007, Londrina, PR. **Anais...** Londrina, PR: Instituto Agronômico do Paraná, 2007. p.233-248.
- ODOUR, G. I.; SIMONS, S. A. Biological control in IPM for Coffee. In: NEUENSCHWANDER, P.; BORGEMEISTER, C.; LANGEWALD, J. **Biological Control in IPM Systems in Africa**. Wallingford: CAB International Publishing, 2003. p.347–362.
- OFFENBERG, J. Ants as tools in sustainable agriculture. **Journal of Applied Ecology**, v.52, p.1197–1205. 2015
- 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, p.1-15. 2013,
- ONISHI, Y.; JAITRONG, W.; SUTTIPRAPA, P.; BURANAPANICHPAN, S.; CHANBANG, Y.; ITO, F. Ant Species Diversity in Coffee Plantation in Chiang Mai Province, Northern Thailand. **The Thailand Natural History Museum Journal**, v.10, p. 33-48. 2016.
- PAL, K. K.; GARDENER, B. M. Biological control of plant pathogens. **The Plant Health Instructor**. 2006.
- PAOLUCCI, L. N., SCHOEREDER, J. H., & ANDERSEN, A. N. (2017). Fire induced forest transition to derived savannas: Cascading effects on ant communities. **Biological Conservation**, v.214, p.295–302. 2017.
- PARRA, J. R. P.; REIS, P. R. Manejo integrado para as principais pragas da cafeicultura, no Brasil. **Revista Visão Agrícola, Piracicaba**, v.12, p.47-50. 2013.
- PAULA, D. P. B.; LINARD, B.; CRAMPTON-PLATT, A.; SRIVATHSAN, A.; TIMMERMANS, M.; SUJII, E.; PIRES, C.; SOUZA, L.; ANDOW, D.; VOGLER, A. Uncovering trophic interactions in arthropod predators through DNA shotgun-sequencing of gut contents. **PLoS One**, v.11. 2016.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. 2015 **Coffee agroecology: A new approach to understanding agricultural biodiversity, ecosystem services and sustainable development**. 1 ed. London: Routledge, 2006.

- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: ants in coffee plantations in southern Mexico. **Conservation Biology**, v.16, p.174-182. 2002.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. The assembly and importance of a novel ecosystem: The ant community of coffee farms in Puerto Rico. **Ecology and Evolution**, v.10, p.12650-12662. 2020.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; MAS, A.; PINTO, L. S. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. **Ecological Economics**, v.54, p.435-446. 2005.
- PETERS, M. K.; PEISKER, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; HOISS, B. Morphological traits are linked to the cold performance and distribution of bees along elevational gradients. **Journal of Biogeography**, v.43, p.2040–2049. 2016.
- PHILPOT, S. M.; ARMBRECHT, I. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. **Ecological Entomology**, v.31, p.369-377. 2006.
- PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Effects of management intensity and season on arboreal ant diversity and abundance in coffee agroecosystems. **Biodiversity Conservation**, v.15, p.139-155. 2006.
- PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Effects of predatory ants on lower trophic levels across a gradient of coffee management complexity. **Journal of Animal Ecology**, v.77, p.505–511. 2008.
- PICHERSKY, E.; NOEL, J. P.; DUDAREVA, N. Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. **Science**, v.311, p.808–811. 2006.
- POLIS, G. A.; MYERS, C. A.; HOLT, R. D. The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.20, p.297- 330. 1989.
- POZZEBON, A.; LOEB, G. M.; DUSO, C. Role of supplemental foods and habitat structural complexity in persistence and coexistence of generalist predatory mites. **Scientific reports**, v.5, p.1-13. 2015.
- RADCHENKO, A. G.; DLUSSKY, G. M. First record of the ant genus *Crematogaster* (Hymenoptera: Formicidae) from the Late Eocene European ambers. **Annales Zoologici**, v.69, p.417-421. 2019.
- REIS, M. R.; FERNANDES, F. L.; LOPES, E. A.; GORRI, J. E. R.; ALVES, F. M. Pesticide residues in coffee agroecosystems. In: PREEDY, V. R. **Coffee in Health and Disease Prevention**. London: Academic Press, 2015. 235–244.
- REZENDE, M. Q.; VENZON, M.; PEREZ, A. L.; CARDOSO, I. M.; JANSSEN, A. Extrafloral nectaries of associated trees can enhance natural pest control. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.188, p.198-203. 2014.

- RICHARD, F. J.; FABRE, A.; DEJEAN, A. Predatory behavior in dominant arboreal ant species: the case of *Crematogaster* sp. (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Insect Behavior**, v.14, p.271–282. 2001.
- RICO-GRAY, V.; OLIVEIRA, P. S. **The ecology and evolution of ant– plant interactions**. Chicago: University of Chicago Press, 2007.
- RITCHIE, E. G.; JOHNSON, C. N. Predator interactions, mesopredator release and biodiversity conservation. **Ecology letters**, v.12, p.982-998. 2009.
- RUTHERFORD, M. A.; PHIRI, N. **Pests and diseases of coffee in Eastern Africa: A technical and advisory manual**. Wallingford, UK: Centre for Agriculture and Bioscience International. 2006.
- SANTINATO, R.; SANTINATO, F.; ECKHARDT, C. F. Aplicação de Orobor N1 associada à inseticida no controle da broca-do-café In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 42, 2016, Serra Negra. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2016. P.2.
- SANTOS, M. R. A. D.; SILVA, A. G.; LIMA, R. A.; LIMA, D. K. S.; SALLET, L. A. P.; TEIXEIRA, C. A. D.; FACUNDO, V. A. Atividade inseticida do extrato das folhas de *Piper hispidum* (Piperaceae) sobre a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*). **Brazilian Journal of Botany**, v.33, p.319-324. 2010.
- SCHIFANI, E.; GIANNETTI, D.; GRASSO, D. A. Predatory Abilities of Two Mediterranean Ants on the Eggs and Larvae of the Codling Moth *Cydia pomonella*. **Insects**, v.14, p.97. 2023.
- SCHMIDT, F. A.; RIBAS, C. R.; SCHOEREDER, J. H. How predictable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. **Ecological Indicators**, v.24, p.158-166. 2013.
- SCHMIDT, J. M.; RYPSTRA, A. L. Opportunistic predator prefers habitat complexity that exposes prey while reducing cannibalism and intraguild encounters. **Oecologia**, v.164, p.899-910. 2010.
- SCHROEDER, M.L.; GLINWOOD, R.; IGNELL, R.; KRUGER, K. The role of visual and olfactory plant cues in aphid behaviour and the development of non-persistent virus management strategies. **Arthropod-Plant Interactions**, v.11, p.1–13. 2017.
- SEITER, M.; SCHAUSBERGER, P. Maternal intraguild predation risk affects offspring anti-predator behavior and learning in mites. **Scientific Reports**, v.5. 2015.
- SENENIG, R. L.; KIMUYU, D. K.; GUAJARDO, J. C. R.; VEBLEN, K. E.; RIGINOS, C.; YOUNG, T. P. Fire disturbance disrupts an acacia ant–plant mutualism in favor of a subordinate ant species. **Ecology**, v.98, p.1455–1464. 2017.
- SHEPPARD, S. K.; HARWOOD, J. D. Advances in molecular ecology: tracking trophic links through predator–prey food-webs. **Functional Ecology**, v.19, p.751–62. 2005.
- SILVA, C. L.; SIQUEIRA FILHO, G. M.; PALERMO JUNIOR, J. A. Associação de produtos químicos no controle da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), em comparação ao

- produto padrão de mercado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS. 41. 2015. Poços de Caldas-MG. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2015.
- SILVA, F. C. D.; VENTURA, M. U.; MORALES, L. Capture of *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera, Scolytidae) in response to trap characteristics. **Scientia Agricola**, v.63, p.567-571. 2006.
- SILVEIRA, J. M.; LOUZADA, J.; BARLOW, J.; ANDRADE, R.; MESTRE, L.; SOLAR, R.; LACAU, S.; COCHRANE, M. A. A multi-taxa assessment of biodiversity change after single and recurrent wildfires in a Brazilian Amazon forest. **Biotropica**, v.48, p.170–180. 2016.
- SNYDER, W. E. Give predators a complement: conserving natural enemy biodiversity to improve biocontrol. **Biological Control**, v.135, p.73-82. 2019.
- SNYDER, W. E.; IVES, A. R. Generalist predators disrupt biological control by a specialist parasitoid. **Ecology**, v.82, p.705-716. 2001.
- SNYDER, W. E.; IVES, A. R. Interactions between specialist and generalist natural enemies: parasitoids, predators, and pea aphid biocontrol. **Ecology**, v.84, p.91-107. 2003.
- SOMMER, B.; HARRISON, P. L.; BEGER, M.; PANDOLFI, J. M. Trait-mediated environmental filtering drives assembly at biogeographic transition zones. **Ecology**, v.95, p.1000–1009. 2014.
- SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; SILVA, R. A.; CARVALHO, T. A. F.; PEREIRA, A. B. Chemical control of the coffee berry borer with cyantraniliprole. **Coffee Science**, v.8, p.404-410. 2013.
- SOUZA, J. R.; CARVALHO, G.; MOURA, A.; COUTO, M.; BRAGA, M. J. Toxicity of some insecticides used in maize crop on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) immature stages. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.74, p.234-239. 2014.
- SPOLIDORO, M. V. **Levantamento de mimercofauna de solo (Hymenoptera, Formicidae) em cultivo orgânico de café (Coffea Arabica)**. 2009. 73p. Dissertação (Mestrado em ciências). Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. São Paulo. 2009.
- SPONAGEL KW, **La broca del café *Hypothenemus hampei* en plantaciones de café robusta en la Amazonía Ecuatoriana**. Giessen: Wissenschaftlicher Fachverlag, 1994.
- SUAREZ, A. V.; HOLWAY, D. A.; TSUTSUI, N. D. Genetics and behavior of a colonizing species: the invasive Argentine ant. **The American Naturalist**, v.172, p.72-84. 2008.
- SUGIMOTO, K.; MATSUI, K.; TAKABAYASHI, J. Uptake and conversion of volatile compounds in plant–plant communication. In: BLANDE, J. D.; GLINWOOD, R. **Deciphering Chemical Language of Plant Communication**. Springer International Publishing, 2016. pp. 305–316.
- TEMPERTON, V. M. V. M.; HOBBS, R. J.; NUTTLE, T.; HALLE, S. **Assembly rules and restoration ecology. Bridging the gap between theory and practice**. Washington DC, USA: Island Press, 2004.

TEODORO, A.; SOUSA-SOUTO, L.; KLEIN, A. M.; TSCHARNTKE, T. (2010). Seasonal contrasts in the response of coffee ants to agroforestry shade-tree management. **Environmental Entomology**, v.39, p.1744–1750. 2010.

TIEDE, Y.; SCHLAUTMANN, J.; DONOSO, D. A.; WALLIS, C. I. B.; BENDIX, J.; BRANDL, R.; FARWIG, N. Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. **Ecological indicators**, v.83, p.527–537. 2017.

TORRES-CONTRERAS, H., VASQUEZ, R. A field experiment on the influence of load transportation and patch distance on the locomotion velocity of *Dorymyrmex goetschi* (Hymenoptera, Formicidae). **Insectes Sociaux**, v.51, p.265–270. 2004.

TRAGER, M. D.; BHOTIKA, S.; HOSTETLER, J. A.; ANDRADE, G. V.; RODRIGUEZ-CABAL, M.; MCKEON, C. S.; OSENBERG, C. W.; BOLKER, B. M. Benefits for plants in ant–plant protective mutualisms: a meta-analysis. **PLoS One**. 5: e14308. 2010.

TRIBLE, W.; CARROLL, R. 2014. Manipulating tropical fire ants to reduce the coffee berry borer. **Ecological Entomology**, v.39, p.603–609. 2014.

TRIGOS-PERAL, G.; JUHÁSZ, O.; KISS, P. J.; MÓDRA, G.; TENYÉR, A.; MAÁK, I. Wood Ants: Important Components of the Forest "Immunity System". **Research Square**. 2021.

TSCHINKEL, W. R.; KING, J. R. Ant community and habitat limit colony establishment by the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Functional Ecology**, v.31, p.955–964. 2017.

TURLINGS, T.C.; ERB, M. Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: Mechanisms, ecological relevance, and application potential. **Annual review of entomology**, v.63, p.433–452. 2018.

TURLINGS, T.C.; WÄCKERS, F. Recruitment of predators and parasitoids by herbivore-injured plants. **Advances in Insect Chemical Ecology**, v.2, p.21–75. 2004.

UNDERWOOD, E. C.; FISHER, B. L. The role of ants in conservation monitoring: If, when, and how. **Biological Conservation**, v.132, p.166–182. 2006.

VAFSAIE, E. K.; PEMBERTON, H. B.; GU, M.; KERNS, D.; EUBANKS, M. D.; HEINZ, K. M. A comparison of repetitive releases of single or multiple natural enemy species on the suppression of *Bemisia tabaci* infesting poinsettias. **Biological Control**, p.151. 2020.

VANDERMEER, J.; PERFECTO, I.; NUNEZ, G. I.; PHILPOTT, S. M.; BALLINAS, G. Ants (*Azteca* sp.) as potential biological control agents in shade coffee production in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, v.56, p. 271–276. 2002.

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**, v.73, p.42–50. 2004.

VASCONCELOS, H. L.; MARAVALHAS, J. B.; CORNELISSEN, T. Effects of fire disturbance on ant abundance and diversity: A global meta- analysis. **Biodiversity and Conservation**, v.26, p.177–188. 2017.

- VEGA, F. E.; EMCHE, S.; SHAO, J.; SIMPKINS, A.; SUMMERS, R. M.; MOCK, M. B.; EBERT, D.; INFANTE, F.; AOKI, S.; MAUL, J. Cultivation and genome sequencing of bacteria isolated from the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), with emphasis on the role of caffeine degradation. **Frontiers in Microbiology**, v.12. 2021.
- 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 (en línea). **Terrestrial Arthropod Reviews**, v. 2, p.129-147. 2009.
- VEGA, F. E.; INFANTE, F.; JOHNSON, A. J.; The Genus *Hypothenemus*, with Emphasis on *H. Hampei*, the Coffee Berry Borer. In: VEJA, F. E.; HOFSTETTER, R. W. **Bark Beetles**. Elsevier, 2015. C.11, p.427–494.
- VEGA, F. E.; SIMPKINS, A.; RODRIGUEZ-SOTO, M. M.; INFANTE, F.; BIEDERMANN, P. H. Artificial diet sandwich reveals subsocial behaviour in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **The Journal of Applied Entomology**, v.141, p.470–476. 2017.
- VEGRO, C. L. R.; ALMEIDA, L. F. Global coffee market: Socioeconomic and cultural dynamics. In: ALMEIDA, L. F.; SPERS, E. E. **Coffee consumption and industry strategies in Brazil**. Woodhead publishing series in consumer sci & strat market, 2020.
- WILLS, B. D.; LANDIS, D. A.; 2018. The role of ants in north temperate grasslands: a review. **Oecologia**, v.186, p.1–16. 2018.
- WU, Y. H.; TZENG, H. Y.; YANG, C. C. S. Ants as egg predators of the invasive litchi stink bug (*Tessaratomia papillosa*; Hemiptera: Tessaratomidae): identification and predation efficiency. **Formosan Entomologist**, v.38, p.97–102. 2018.
- YONEYA, K.; TAKABAYASHI, J. Plant communication mediated by airborne signals: ecological and plant physiological perspectives. **Plant Biotechnology Journal**, v.31, p.409-416, 2014.
- YU, X.L.; FENG, Y.; FU, W. Y.; SUN, Y.; LIU, T. Intraguild predation between *Harmonia axyridis* and *Aphidius gifuensis*: effects of starvation period, plant dimension and extraguild prey density. **BioControl**, v.64, p.55–64. 2019.
- ZIEGLER, M.; NARULA, N.; JANICKI, J.; DELIGKARIS, K. **Overall species richness**. Disponível em < <https://antmaps.org/index.html?> > Acesso em 06/jun/2023.

CAPÍTULO 1

Potencial da formiga *Crematogaster quadriformis* como inimigo natural de *Hypothenemus hampei* e sua interferência sobre *Chrysoperla externa*

RESUMO

Existem certas espécies de formigas que realizam a predação da broca-do-café *Hypothenemus hampei*, em seus estádios imaturos e adultos, uma praga de grande importância econômica no Brasil e no mundo. Entre as formigas que podem atacar a broca, se encontram aquelas do gênero *Crematogaster*, que já foram registradas atacando adultos da broca. Porém, além da broca-do-café estas formigas poderiam atacar também o crisopídeo *Chrysoperla externa*, pois apresentam hábito onívoro. Este crisopídeo vem sendo comercializado para o controle do bicho-mineiro *Leucoptera coffeella*, na cultura do café, assim é possível que ocorra o encontro entre as formigas e o crisopídeo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a preferência de ataque das formigas, entre ovos de crisopídeo, larvas de crisopídeo e adultos da broca. Os ensaios foram realizados em laboratório sob condições controladas de temperatura ($25\pm 2^\circ$) e umidade ($70\pm 10\%$). Foram realizados dois experimentos, ambos com três bioensaios e 15 repetições para cada ensaio. Para cada repetição foi utilizada uma colônia de *Crematogaster quadriformis*, cujas formigas ficaram em jejum por 24h antes de se iniciar os experimentos. Para o primeiro experimento, duas larvas de crisopídeo de primeiro instar e dois adultos da broca foram colocados em cada colônia a disposição das formigas, sendo avaliado o ataque à broca, às larvas de crisopídeo, ou a ambos por 30 minutos. Para o segundo experimento dez ovos do crisopídeos ovipositados em folhas de café, e dois adultos da broca-do-café foram colocados em cada repetição, sendo avaliado o ataque a broca, aos ovos, ou a ambos por 30 min. As formigas apresentam preferência por atacar adultos da broca em relação aos ovos ($p=0,02$) e larvas do crisopídeo ($p<0,01$). Já a probabilidade de atacarem somente a broca é a mesma de atacarem a ambos broca e larva do crisopídeo ($p=1,00$) e broca e ovos do crisopídeo ($p=0,83$). Ao encontrar o crisopídeo e a broca, mesmo havendo preferência pela broca, a formiga também pode atacar o crisopídeo. Sendo assim, a formiga *C. quadriformis* possui potencial como agente de controle de *H. hampei*, porém também realiza predação intraguilda em relação a *C. externa*.

Palavras-chave: Controle biológico. Inimigo natural. Café. Inseto-praga.

ABSTRACT

There are certain species of ants that prey on the coffee borer *Hypothenemus hampei*, in its immature and adult stages, a pest of great economic importance in Brazil and the world. Among the ants that can attack the borer are those of the *Crematogaster* genus, which have already been recorded attacking borer adults. However, in addition to the coffee borer, these ants could also attack the lacewing *Chrysoperla externa*, as they have an omnivorous habit. This lacewing has been sold for the control of the leafminer *Leucoptera coffeella*, in coffee farming, so it is possible for an encounter between ants and the lacewing to occur. Therefore, the objective of this work was to evaluate the attack preference of ants, between lacewing eggs, lacewing larvae and borer adults. The tests were carried out in the laboratory under controlled conditions of temperature ($25\pm 2^\circ$) and humidity ($70\pm 10\%$). Two experiments were carried out, both with three bioassays and 15 replications for each assay. For each repetition, a colony of *Crematogaster quadriformis* was used, whose ants were fasting for 24 hours before starting the experiments. For the first experiment, two first-instar lacewing larvae and two borer adults were placed in each replicate, and attack on the borer, the lacewing larvae, or both for 30 minutes was assessed. For the second experiment, two first-instar lacewing larvae and two borer adults were placed in each colony at the disposal of the ants, and the attack on the borer, the eggs, or both for 30 min was evaluated. Ants show a preference for attacking borer adults over eggs ($p=0.02$) and lacewing larvae ($p<0.01$). The probability of attacking only the borer is the same as that of attacking both the borer and lacewing larvae ($p=1.00$) and both borer and lacewing eggs ($p=0.83$). When encountering the lacewing and the borer, even if there is a preference for the borer, the ant can also attack the lacewing. Therefore, the ant species *C. quadriformis* has potential as an agent to control *H. hampei*, but it also performs intraguild predation in relation to *C. externa*.

Keywords: Biological control. Natural enemy. Coffee. Insect pest.

Introdução

O café é uma importante *commodity* agrícola, sendo o Brasil seu maior produtor e exportador mundial, que ocupa a segunda posição entre os países que mais consomem a bebida (ABIC, 2020). O país destina uma área de 1.808.462,5 hectares para a produção dos grãos de café, tanto do arábica (*Coffea arabica* Linnaeus) quanto do café conilon (*Coffea canephora* Pierre) e, em 2023, o Brasil apresentou uma produção de 54 mil sacas (CONAB, 2023). Por ser uma das bebidas mais consumidas no mundo, o café é uma das mercadorias com maior importância econômica para vários países como, por exemplo, Brasil, Indonésia, Etiópia, Filipinas, México, Colômbia e Vietnã (ICO, 2023), gerando uma receita anual de mais de US\$ 200 bilhões mundialmente (BOZZOLA et al., 2021).

A cultura do café é acometida por diversos problemas fitossanitários. Ao se tratar dos insetos-praga que podem atacar o cafeeiro, a broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae), apresenta grande importância econômica no Brasil e no mundo (SANTOS et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013). Esse inseto completa seu ciclo de vida no interior dos frutos, onde se alimenta, se desenvolve e se reproduz, tornando difícil o seu controle através de aplicações de produtos químicos. A broca pode causar danos diretos e indiretos em todos os estágios de maturação do fruto. Como danos diretos ocorre a perda de qualidade e peso do grão, e como danos indiretos pode ocorrer a entrada de microrganismos que afetam a qualidade do café (VEGA et al., 2009; VEJA et al., 2014).

A poluição do meio ambiente se encontra entre as questões de maior importância atualmente (RIBEIRO, 2019), e a sociedade cada vez mais se preocupa com a sustentabilidade e origem de seus produtos (NIELSEN BRASIL, 2019). Desse modo, é necessário que se busque métodos de manejo sustentáveis para a condução dos sistemas agrícolas, inclusive para solucionar problemas causados pela broca na cultura do cafeeiro.

O controle biológico de pragas é uma estratégia sustentável que pode ser utilizada para o controle da broca-do-café. Na Colômbia existem relatos de formigas (Hymenoptera: Formicidae) atuando como inimigos naturais em todas as fases do ciclo de vida da broca (CÁRDENAS E POSADA, 2001; VÉLEZ et al., 2011). Os pesquisadores Bustillo et al. (2002) organizaram uma lista de inimigos naturais da broca-do-café encontrados na Colômbia e, entre eles, são citadas espécies de formigas dos gêneros: *Crematogaster* Lund, 1831 *Pheidole* Westwood, 1839, *Brachymyrmex* Mayr, 1868, *Solenopsis* Westwood, 1840, *Paratrechina* Motschulsky, 1863, *Wasmannia* Forel, 1893 e *Prenolepsis* Mayr, 1861. Outros autores relataram que formigas de tamanho pequeno podem entrar no fruto brocado e remover a praga (GALLEGO E ARMBRECHT, 2005; LARSEN E PHILPOTT, 2010). No México,

Gonthier et al. (2013) observaram, ainda, que existem espécies de formigas que podem atacar adultos no cafeeiro enquanto eles estão procurando frutos para colonizarem. Apesar de existirem vários estudos com formigas no controle biológico no mundo, isso não ocorre no Brasil, que apresenta somente dois trabalhos já considerados muito antigos. O primeiro destes trabalhos foi publicado em 1939, por Fonseca e Araújo, e o segundo por Benassi em 1999. Assim, estudos envolvendo formigas predadoras e sua atuação sobre a broca-do-café se fazem necessários.

Mesmo que possam ser consideradas eficientes para o controle biológico, é importante que as formigas não afetem outros agentes de controle. Existem estudos que constataram que formigas podem reduzir a abundância de outros inimigos naturais, comprometendo sua atuação (WAY E KHOO, 1992; EUBANKS, 2001; EUBANKS et al., 2002; WIELGOSS et al., 2014).

Como o crisopídeo *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) vem sendo comercializado para o controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), é possível que as formigas afetem negativamente a sua atuação, sendo prejudiciais ao controle biológico do bicho-mineiro. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar a capacidade das formigas *Crematogaster quadriformis* atuarem como agentes de controle da broca-do-café e sua potencial interferência no controle biológico realizado pelos crisopídeos.

Material e métodos

Obtenção e manutenção dos insetos

Para a realização dos ensaios foi necessária a obtenção e manutenção de formigas *C. quadriformis*, do crisopídeo *C. externa*, e da broca-do-café *H. hampei*. Os experimentos foram conduzidos e a criação dos insetos foi mantida em condições controladas, com temperatura de $25^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar de $70\pm 10\%$, e fotofase de 12h, no Laboratório de Controle Biológico com Entomófagos (LCBE), no Departamento de Entomologia (DEN) da Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL).

As colônias de formigas foram coletadas próximas a plantas de café, em agroecossistemas da região de Lavras-MG. Para a coleta foram utilizadas pás de jardinagem, e coletou-se o máximo de indivíduos possíveis de cada colônia. Após as coletas as formigas foram mantidas no laboratório, e um espécime de cada colônia foi enviado ao Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo para identificação até nível de espécie.

Todas as colônias, coletadas nos agroecossistemas cafeeiros, e utilizadas para os experimentos foram identificadas pela Dra. Mônica Antunes Ulysséa como pertencentes a espécie *Crematogaster quadriformis* Roger, 1863.

As colônias foram mantidas em recipientes plásticos (1000 mL), que apresentavam uma conexão para um segundo pote (250 mL). A tampa do recipiente maior foi cortada e substituída por tecido voile para permitir a circulação de ar (figura 1). Dentro dos potes foram distribuídos pedaços de papelão como refúgio para os insetos e a água foi fornecida em algodão umedecido. A dieta consistiu de pão, mel e presunto, fornecendo proteínas, carboidratos e lipídios. A manutenção dos potes foi realizada a cada três dias. Toda a metodologia de criação de formigas e de execução dos ensaios foi desenvolvida pelo autor a partir de testes realizados anteriormente aos experimentos.

Figura 1 - Recipiente utilizado para criação de *Crematogaster quadriformis*



Fonte: Do autor: 2023

Espécimes da broca-do-café foram coletadas em plantas de café *C. arabica* da cultivar Topázio a partir de frutos de café brocados, reconhecidos pelo orifício de entrada na região da coroa do fruto. A lavoura tem sete anos e as coletas foram realizadas três dias antes da realização de cada ensaio envolvendo a broca. Em laboratório, os frutos foram abertos com auxílio de um bisturi, e os adultos retirados.

Os exemplares de *C. externa* utilizados nos experimentos foram obtidos da criação mantida no Laboratório de Controle Biológico com Entomófagos (LCBE), descrita por Carvalho e Souza (2009), presente no DEN, UFLA.

Ensaio de preferência de ataque entre *C. externa* e *H. hampei* por *C. quadriformis*

Visando conhecer a preferência de operárias de *C. quadriformis* entre *C. externa* e *H. hampei* e confirmar seu potencial como inimigo natural da broca, foram realizados dois

experimentos. O primeiro envolveu ovos do crisopídeo e adultos da broca, e o segundo larvas de primeiro instar do crisopídeo e adultos da broca.

Para o primeiro experimento foram coletadas folhas de café da cultivar Topázio, em cultivos estabelecidos na UFLA. As folhas foram levadas para laboratório onde foram lavadas com água e detergente para eliminar possíveis patógenos. Em seguida os pecíolos foram colocados individualmente em frascos de vidro (20 mL) com água, visando manter a turgescência das folhas. Para obter folhas com posturas de crisopídeo, quinze frascos foram colocados em uma gaiola com adultos em período reprodutivo durante 48 horas (figura 2). Após a oviposição padronizou-se 10 posturas por folha, e os ovos excedentes foram removidos cortando-se o pedicelo com uma tesoura.

Figura 2 - Folhas de café em gaiola com crisopídeos para obtenção de posturas



Fonte: Do autor (2023).

Foram conduzidos três bioensaios, com 15 repetições cada, as quais correspondem a colônias de formigas, mantidas em jejum durante 24 horas antes do início dos experimentos. Em cada repetição, uma folha com ovos do crisopídeo e dois adultos da broca-do-café foram colocados nas arenas que correspondem ao próprio recipiente de criação de cada colônia, pois se tratando de insetos sociais, a mudança de local para os ensaios pode afetar o

comportamento das formigas. Observou-se durante 30 minutos ocorrência de ataques aos ovos, aos adultos ou a ambos.

Para o segundo experimento foram utilizadas larvas de primeiro instar do crisopídeo e adultos da broca-do-café. Foram conduzidos três bioensaios, contendo 15 repetições cada, as quais corresponderam à cada colônia, mantida em jejum durante 24 horas antes do início dos experimentos, onde foram colocadas as presas. Em cada repetição, duas larvas de crisopídeo e dois adultos da broca-do-café foram colocados nas arenas e observou-se a ocorrência de ataque à larva, ao adulto ou a ambos durante 30 minutos.

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas através do Software R (R CORE TEAM, 2023), considerando nível de confiança de 95%. Inicialmente, utilizando o teste de Shapiro-Wilk, testou-se se os dados apresentavam distribuição normal, mas, devido a sua natureza, eles não respeitaram os pressupostos de normalidade. Tanto no primeiro quanto no segundo experimento, a formiga possuía duas opções de escolha (atacar o crisopídeo ou a broca). Desta maneira, os dados foram associados a ensaios de Bernoulli com probabilidade de sucesso de $\frac{1}{2}$, permitindo observar se há preferência da formiga sobre uma das presas.

A escolha das formigas entre as presas foi analisada por meio de modelos lineares generalizados (GLM) com distribuição de erros binomial, sendo as presas as variáveis explicativas. A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para realizar as comparações.

Resultados

Preferência predatória entre ovos do crisopídeo e adultos da broca-do-café

As formigas optaram por atacar somente os ovos do crisopídeo em 11,11% das vezes (Figura 4), tanto a broca-do-café quanto os ovos em 40,74% das vezes, e atacar somente a broca em 48% das vezes. Ao escolher entre a broca-do-café e os ovos do crisopídeo as formigas têm preferência por atacar a broca, com diferença significativa ($p=0,02$). Entre atacar a broca ou a ambos não há diferença significativa, não havendo preferência de escolha ($p=0,83$). E entre atacar o ovo ou ambas as presas também não houve diferença significativa, não sendo constatada preferência ($p=0,057$). (Figura 3)

Figura 3 – Probabilidade de ataque de *Crematogaster quadriformis* entre ovos de crisopídeo e broca-do-café

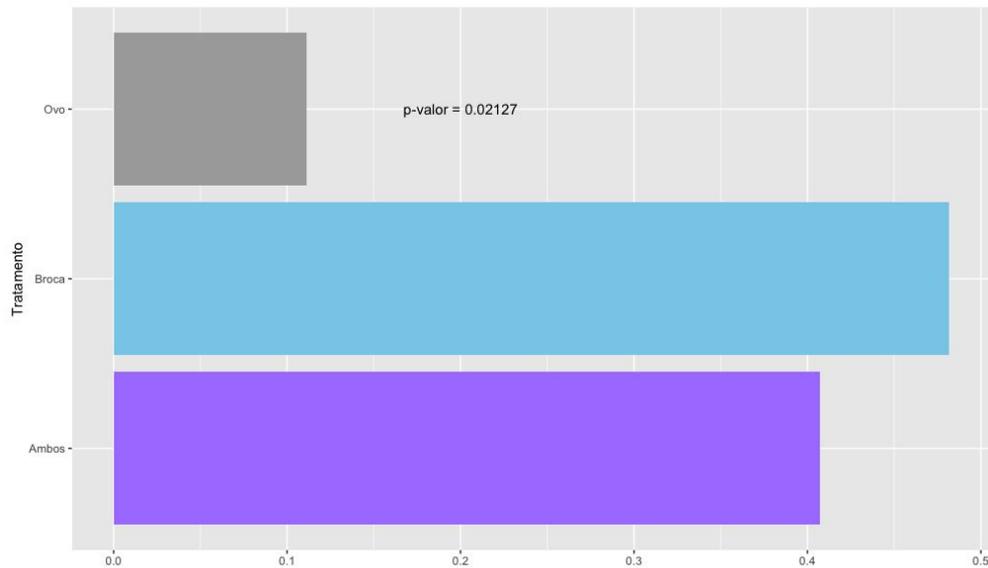


Figura 4 - Operária de *Crematogaster quadriformis* atacando ovo de *Chrysoperla externa*



Fonte: Do autor (2023)

Preferência predatória entre larva do crisopídeo e adultos da broca-do-café

O ataque exclusivo das formigas à broca-do-café correspondeu a 46,6% das vezes (Figura 6), elas atacaram tanto a broca quanto a larva do crisopídeo 43,3% das vezes, e atacaram somente a larva do crisopídeo 10% das vezes (Figura 7). Desse modo, ao escolher entre a broca-do-café e a larva do crisopídeo as formigas têm preferência por atacar a broca, com diferença significativa ($p=0,01$). Já entre atacar a broca ou a ambos as formigas não apresentam preferência, não havendo diferença significativa ($p=1,00$). Por outro lado, entre atacar ambos e atacar a larva do crisopídeo houve diferença significativa, de modo que as formigas preferem atacar ambas as presas ($p=0,02$). (Figura 5).

Figura 5 – Probabilidade de ataque de *Crematogaster quadriformis* entre larvas de crisopídeo e broca-do-café

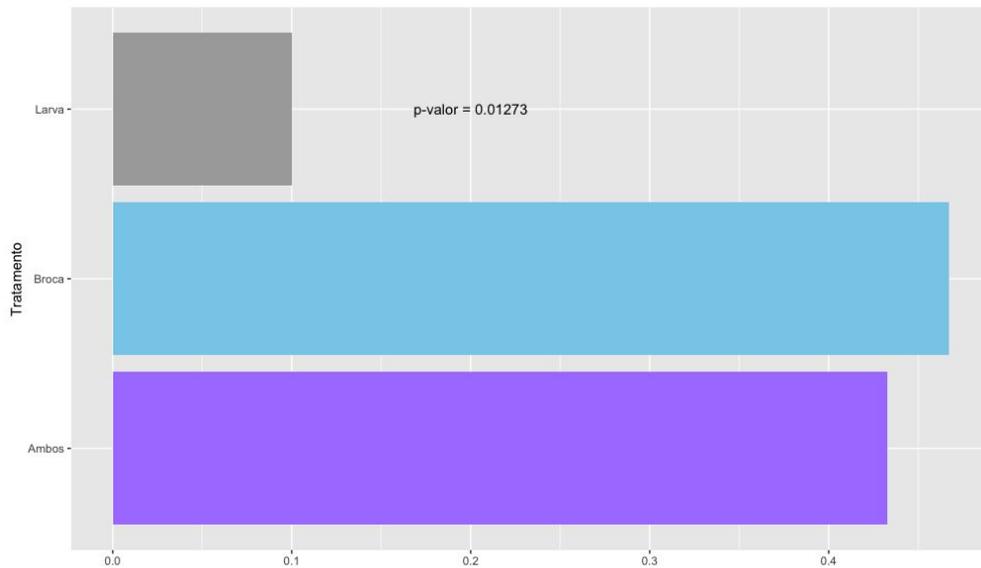


Figura 6 – Operária de *Crematogaster quadriformis* atacando adulto de *Hypothenemus hampei*



Fonte: Do autor (2023)

Figura 7 - Operária de *Crematogaster quadriformis* atacando larva de *Chrysoperla externa*



Fonte: Do autor (2023)

Discussão

As formigas *C. quadriformis* apresentaram potencial como inimigos naturais da broca-do-café, já que apresentaram uma preferência por atacarem adultos de *H. hampei*. Não foram encontrados trabalhos se tratando sobre essa espécie de formiga atuando no controle biológico de pragas. Resultados de outros estudos realizados com formigas predadoras encontradas no cafeeiro indicaram que formigas atuam como agentes de controle deste inseto-praga. Morris e Perfecto (2016) constataram que as formigas *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863) e *Solenopsis picea* Emery, 1896 podem adentrar os frutos e remover os estágios imaturos da broca. Diferentemente destes casos, em nosso estudo, as formigas não apresentaram a capacidade de adentrar os frutos, por seu tamanho ser superior ao orifício gerado pela broca. Portanto, essas formigas realizam a predação somente dos adultos fora dos frutos.

O controle biológico realizado pelas formigas antes que a broca-do-café adentre o fruto também já foi estudado. Gonthier et al. (2013), observaram que ramos de café com a presença de formigas apresentam redução de 50% no número de frutos brocados em relação a ramos com ausência de formigas, demonstrando que as formigas poderiam evitar a infestação e não somente remover os insetos de frutos já brocados.

As espécies *Azteca sericeasur* Longino, 2007 e *Pheidole synanthropica* Longino, 2009 já foram observadas atacando adultos da broca antes que eles possam colonizar os frutos (PERFECTO e VANDERMEER, 2006; ARMBRECHT e GALLEGOS, 2007; JIMENEZ-SOTO et al., 2013). Em experimentos realizados, foi possível observar formigas atacando a broca-do-café no início da infestação no fruto, como pode ser observado na figura 8, porém, não foi possível obter número suficiente de observações deste comportamento de modo a realizar análises estatísticas. Sendo assim, estes experimentos não foram considerados como parte da dissertação.

Figura 8: Operária de *Crematogaster quadriformis* impedindo que fruto de café seja infestado por *Hypothenemus hampei*



Fonte: Do autor (2023)

Na Costa Rica, Varón et al. (2004) observaram que a formiga *Crematogaster torosa* Mayer, 1870 pode realizar porcentagem significativa de predação da broca-do-café em laboratório, porém, o mesmo não foi observado em campo. Já na Colômbia os pesquisadores Constantino et al. (2022) demonstraram que a espécie *Crematogaster crinosa* Mayr, 1862 pode apresentar altas taxas de predação da broca-do-café em campo, porém, apenas quando foi utilizado atrativo nas plantas de café, produzido com 150g de linguiça de frango em 500 mL de água.

As formigas do gênero *Crematogaster*, podem preda outros insetos-praga presentes no cafeeiro, como cochonilhas (GALLEGO et al., 2009) e o bicho-mineiro-do-cafeeiro *Leucoptera coffeella* (LOMELI-FLORES et al., 2008). Apesar de proporcionar diversos benefícios ao cafeeiro, as formigas também poderiam apresentar certos efeitos deletérios, através de suas interações com outros inimigos naturais, como demonstrado nesse trabalho através da predação intraguilada de ovos e larvas do crisopídeo. O crisopídeo *Chrysoperla externa* pode realizar o controle do bicho-mineiro *L. coffeella* (FIGUEIREDO et al., 2021) e já foi observado realizando a predação da broca-do-café *H. hampei* (BOTTI et al., 2022).

No Brasil, *C. externa* vem sendo comercializado por algumas empresas para o controle do bicho mineiro do cafeeiro. A empresa comercializa os ovos do predador, e o número de ovos a serem liberados varia de acordo com o nível de infestação da praga. Como as fases de ovo e larva de 1º instar de *C. externa* foram atacadas por formigas, é possível que os resultados obtidos em laboratório sejam reproduzidos em campo. Desta forma, as formigas poderiam interferir no controle biológico realizado pelos crisopídeos através da predação.

Mesmo que a predação do crisopídeo possa não ocorrer em campo, há efeitos não consumíveis que poderiam afetar a atuação deste inimigo natural (DAVENPORT E CHALCRAFT, 2013). A presença de um inimigo natural generalista poderia influenciar o comportamento de outro inimigo natural, diminuindo sua taxa de forrageamento ou até mesmo deslocando-o para outro local, para que consiga escapar da predação (MEADOWS et al., 2017; INGERSLEW E FINKE, 2018). No contexto deste trabalho, a presença de formigas poderia inibir os crisopídeos, fazendo com que eles diminuíssem o controle do bicho-mineiro, porém, para comprovar tal hipótese, são necessários mais trabalhos a nível de campo.

Conclusão

As formigas *Crematogaster quadriformis* possuem preferência por atacar a broca-do-café, porém, também podem atacar tanto os ovos quanto as larvas de 1º instar do crisopídeo. Sendo assim, estas formigas apresentam potencial como agentes de biocontrole de *H. hampei*.

REFERÊNCIAS

- ABIC. **O café brasileiro na atualidade**, 2021. Disponível em:
><https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/o-cafe-brasileiro-na-atualidade/>< Acesso em: 26 jul. 2023.
- ARMBRECHT, I.; GALLEGGO, M.C. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v.124, p.261–267. 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 Entomologica do Brasil**, v.24, p.635 – 638. 1995.
- BOTTI, J. M. C.; MARTINS, E. F.; FRANZIN, M. L.; VENZON, M. Predation of Coffee Berry Borer by a Green Lacewing. **Neotropical Entomology**, v.51, p.160–163. 2022.
- BOZZOLA, M.; CHARLES, S.; FERRETTI, T.; GERAKARI, E.; MANSON, H.; ROSSER, N.; GOLTZ, P. **The Coffee Guide**. 4. Ed. United Nations Publications, 2021.
- BUSTILLO P., A. E., CÁRDENAS M., R., POSADA F., F.J. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. **Neotropical Entomology**, v.31, p.635 – 639. 2002.
- CÁRDENAS, M. R.; POSADA, F. J. **Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales**. Armenia, Colombia: Comité Departamental de Cafeteros del Quindío. 2001.
- CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Métodos de criação e produção de crisopídeos. In: BUENO, V. H. P. **Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2009. p.77-115.
- CONAB – **Acompanhamento da safra brasileira: Café**. Disponível em:
><https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>< Acesso em: 02 jul. 2023.
- CONSTANTINO-CHUAIRE, L. M.; BENAVIDES-MACHADO, P.; ESCOBAR-RAMÍREZ, S.; MONTOYA-LERMA, J.; ARMBRECHT, I. Capacidad depredadora de las hormigas *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* en camp con una solución atrayente. **Revista Colombiana de Entomología**, v.48. 2022.
- DAVENPORT, J. M.; CHALCRAFT, D. R. Nonconsumptive Effects in a Multiple Predator System Reduce the Foraging Efficiency of a Keystone Predator. **Ecology and Evolution**, v.3, p.3063–3072. 2013.
- 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.
- EUBANKS, M. D.; BLACKWELL, S. A.; PARRISH, C. J.; DELAMAR, Z. D.; HULL-SANDERS, H. Intraguild predation of beneficial arthropods by red imported fire ants in cotton. **Environmental Entomology**, v.31, p.1168-1174. 2002.

- FIGUEIREDO, G. P.; DAMI, B. G.; SOUZA, J. M. R.; PAULA, W. B. S.; E. O.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; VACARI, A. M. Releases of *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) Eggs for the Control of the Coffee Leaf Miner, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Arthropod Management Tests**, v.46. 2021.
- FONSECA, J.O.P.; ARAUJO, R.L. Insetos inimigos do *Hypothenemus hampei* (Ferr); a broca do café. **Boletim Biológico**, São Paulo, v.4, p.486-504. 1939.
- GALLEGO, R. 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**, v.76, p.32–40. 2005.
- GALLEGO-ROPERO, M. C.; MONTOYA-LERMA, J.; ARMBRECHT, I. ¿Es la sombra benéfica para la diversidad de hormigas y peso del café? Una experiencia en Pescador, Cauca, Colombia. **Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de História Natural**, v.13, p.106-116, 2009.
- GONTHIER, D.J.; ENNIS, K.K.; PHILPOTT, S.M.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Ants defend coffee from berry borer colonization. **Biological Control**, v.58, p.815–820, 2013.
- ICO. **Monthly Coffee Market Report**. Disponível em < <https://www.ico.org/Market-Report-22-23-e.asp>> Acesso em 02 jul. 2023.
- INGERSLEW, K. S.; FINKE, D. L. Multi-Species Suppression of Herbivores through Consumptive and Non-Consumptive Effects. **PLoS One**, v.13, p.1–17. 2018.
- JIMENEZ-SOTO, E.; CRUZ-RODRÍGUEZ, J. A.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) and its interactions with *Azteca instabilis* and *Pheidole synanthropica* (Hymenoptera: Formicidae) in a shade coffee agroecosystem. **Environmental Entomology**, v.42, p.915–924. 2013
- LARSEN, A.; PHILPOTT, S. M. Twig-nesting ants: the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, Mexico. **Biotropica**, v.42, p.342–347. 2010.
- LOMELI-FLORES, R; BERNAÇ, J. S; BARRERA, J. F. QUEIROZ ROBLEDO, L. Hormigas depredadoras del minador de la hoja del café, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera Lyonettidae) em el soconusco, Chapas, México. In: **XXXI congreso nacional de control biológico**. Novembro 2008. Zacatecas, Zac. 313-316p
- MEADOWS, A. J.; OWEN, J. P.; SNYDER, W. E. Keystone Nonconsumptive Effects within a Diverse Predator Community. **Ecology and Evolution**, v.7, p.10315–10325. 2017.
- MORRIS, J.; PERFECTO, I. Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.233, p.224-228. 2016.
- NIELSEN **Os brasileiros estão cada vez mais sustentáveis e conscientes**. Disponível em: <<https://www.nielsen.com/pt/insights/2019/brasileiros-estao-cada-vez-mais-sustentaveis-e-conscientes/>>. Acesso em: 26 jul. 2023.

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, p.1-15. 2013,

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. The effect of an ant-hemipteran mutualism on the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.117, p.218–221. 2006.

R CORE TEAM. R: The R Project for Statistical (4.3.1). Disponível em <https://www.r-project.org/>. Acesso em 01 ago 2023.

RIBEIRO, H. Poluição, um veneno silencioso para a saúde humana. **Ciência elementar**, v.7. 2019.

SANTOS, M. R. A. D.; SILVA, A. G.; LIMA, R. A.; LIMA, D. K. S.; SALLET, L. A. P.; TEIXEIRA, C. A. D.; FACUNDO, V. A. Atividade inseticida do extrato das folhas de *Piper hispidum* (Piperaceae) sobre a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*). **Brazilian Journal of Botany**, v.33, p.319-324. 2010.

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**, v.73, p.42-50. 2004.

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 (en línea). **Terrestrial Arthropod Reviews**, v.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**, v.9, p.1-7. 2014.

VÉLEZ, M.; BUSTILLO, A. E.; POSADA, F. J. Hormigas de la zona central cafetera y perspectivas de su uso en el control de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). In: RESÚMENES XXVIII CONGRESO. SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA, 28º, 2011, Colombia. **Anais ... Colombia: Yer impresos**, 2011.

WAY, M. J.; KHOO, K. C. Role of ants in pest management. **The Annual Review of Entomology**, v.37, p.479–503. 1992.

WIELGOSS, A.; TSCHARNTKE, T.; RUMEDE, A.; FIALA, B.; SEIDEL, H.; SHAHABUDDIN, S.; CLOUGH, Y. Interaction complexity matters: disentangling services and disservices of ant communities driving yield in tropical agroecosystems. **Proceedings of the Royal Society B**, v.281, 2014.

CAPÍTULO 2

Atratividade de *Crematogaster quadriformis* por frutos de café infestados ou não por *Hypothenemus hampei*

RESUMO

A comunicação química é essencial para as formigas se organizarem como sociedade, dividindo tarefas e transmitindo avisos através de feromônios. Além da comunicação intraespecífica, os compostos voláteis do ambiente também são essenciais para estes insetos, para a localização de alimento, direcionamento, e monitoramento do ambiente. Já que frutos de café bem como a broca-do-café *Hypothenemus hampei* podem liberar compostos voláteis, formigas predadoras poderiam realizar a percepção desses voláteis sendo direcionadas para sua presa. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é avaliar a atratividade das formigas para frutos de café em diferentes estágios de maturação, e também infestados ou não por *H. hampei*. Este trabalho foi realizado em laboratório sob condições controladas de temperatura ($25 \pm 2^\circ$) e umidade relativa ($70 \pm 10\%$). As respostas das formigas aos diferentes odores foram avaliadas em olfatômetro com tubo em Y, oferecendo duas opções de escolha. Foi utilizada uma formiga operaria de *Crematogaster quadriformis* mantida em jejum por 24h antes do início do experimento, para cada resposta. Em cada uma das combinações foram obtidas 40 respostas. As combinações consistiram em a) Frutos verdes x Ar; b) Frutos verdes infestados por *H. hampei* x Ar; c) Frutos verdes x Frutos verdes infestados por *H. hampei*; d) Frutos maduros x Ar; e) Frutos maduros x Frutos maduros infestados por *H. hampei*; f) Frutos verdes x Frutos maduros; g) Frutos verdes infestados por *H. hampei* x Frutos maduros infestados por *H. hampei*. As formigas foram atraídas por frutos de café e apresentaram preferência por frutos maduros em relação a frutos verdes ($p=0,01$) e por maduros brocados em relação a verdes brocados ($p=0,001$). Porém as formigas não apresentam preferência entre frutos brocados e não brocados, tanto para frutos verdes ($p=0,2$) quanto para frutos maduros ($p=0,2$). Deste modo, as formigas seriam atraídas para o cafeeiro, sendo mais atraídas por frutos maduros.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Compostos orgânicos voláteis. Controle biológico.

ABSTRACT

Chemical communication is essential for ants to organize themselves as a society, dividing tasks and transmitting warnings through pheromones. In addition to intraspecific communication, volatile compounds from the environment are also essential for these insects, for locating food, targeting, and monitoring the environment. Since coffee fruits as well as the coffee borer *Hypothenemus hampei* can release volatile compounds, predatory ants could perceive these volatiles by being directed towards their prey, the coffee borer. Therefore, the objective of this work is to evaluate the attractiveness of ants to coffee fruits at different stages of maturation, and also infested or not by *H. hampei*. This work was carried out in the laboratory under controlled conditions of temperature ($25 \pm 2^\circ$) and relative humidity ($70 \pm 10\%$). The ants' responses to different odors were evaluated in a Y-tube olfactometer, offering two options to choose from. A *Crematogaster quadriformis* worker ant was used, fasting for 24 hours before the start of the experiment, for each response. In each of the combinations, 40 responses were obtained, so that the combinations consisted of a) Green fruits x Air; b) Green fruits infested by *H. hampei* x Air; c) Green fruits x Green fruits infested by *H. hampei*; d) Ripe fruits x Air; e) Ripe fruits x Ripe fruits infested by *H. hampei*; f) Green fruits x Ripe fruits; g) Green fruits infested by *H. hampei* x Ripe fruits infested by *H. hampei*. The ants were attracted to coffee fruits and showed a preference for ripe fruits over green fruits ($p=0.01$) and also for ripe ones over green ones ($p=0.001$). However, ants do not show a preference between brocaded and non-brocaded fruits, both for green fruits ($p=0.2$) and for ripe fruits ($p=0.2$). In this way, ants would be attracted to the coffee tree, being more attracted to ripe fruits.

Keywords: Biological control. *Coffea arabica*. Volatile organic compounds

Introdução

As plantas interagem com outros organismos por meio da liberação de compostos orgânicos voláteis, podendo alterar sua composição de acordo com as diferentes condições às quais são expostas (DOUMA et al., 2017; VICHEROVA et al., 2020). Ao se tratar do café (*Coffea arabica* Linnaeus), seus frutos podem liberar vários compostos voláteis, como álcoois, benzóis, ésteres, aldeídos, monoterpenos, furanos, cetonas e hidrocarbonos, cujas quantidades variam de acordo com sua fase de maturação (ORTIZ et al., 2004).

Os odores emitidos pelo fruto do café são utilizados como uma sinalização química pela broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae), que a utiliza para encontrar seu hospedeiro (JARAMILLO et al., 2013; DE LA ROSA-CANCINO et al., 2021). Os frutos maduros são preferidos pela broca, em detrimento aos frutos verdes (NJIHIA et al., 2014; CRUZ-LOPES et al., 2016; VEGA et al., 2017).

Quando atacadas por herbívoros, as plantas alteram a composição dos voláteis que liberam (DEGEN et al., 2004; BUSKO et al., 2019). Esta alteração também ocorre em frutos de café infestados ou não por *H. hampei* (ROJAS, 2005), havendo, inclusive, compostos liberados diretamente pela broca-do-café, que se misturam àqueles emitidos pelo fruto (ROJAS, CASTILLO E VIRGEN, 2006; ROMÁN-RUIZ et al., 2012). Esses voláteis liberados por plantas atacadas são utilizados para atrair inimigos naturais que irão suprimir os insetos-praga (TURLINGS E ERB, 2018).

Existem certas espécies de formigas que ocorrem no cafeeiro, como as do gênero *Crematogaster* Lund, 1831 (Hymenoptera: Formicidae), que podem atacar a broca-do-café *H. hampei* (BUSTILLO et al., 2002; GONTHIER et al., 2013), considerada uma praga de grande importância para a cultura do café (CURE et al., 2020). Como formigas são capazes de monitorar o ambiente (SOUZA et al., 2016) e são atraídas pelo odor do alimento quando estão forrageando (MORGAN, 2009), é possível que elas reconheçam e sejam atraídas pelas pistas voláteis emitidas por frutos de café infestados pela broca. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar se as formigas da espécie *Crematogaster quadriformis* são atraídas por frutos de café infestados ou não por *H. hampei*.

Material e métodos

Obtenção e manutenção dos insetos e frutos

Para a execução dos experimentos foi necessária a criação de *C. quadriformis* e a obtenção de adultos de *H. hampei*. A criação da formiga foi mantida em condições

controladas, com temperatura de $25^{\circ}\pm 2$ °C, umidade relativa de $70\pm 10\%$, e fotofase de 12h, no Laboratório de Controle Biológico com Entomófagos (LCBE), localizado no Departamento de Entomologia (DEN) da Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL), Universidade Federal de Lavras (UFLA).

As formigas foram coletadas em colônias identificadas em agroecossistemas cafeeiros na região de Lavras - MG. O maior número possível de formigas foi coletado em cada colônia, com o auxílio de pás de jardinagem e um espécime de cada foi enviado ao Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, para identificação até nível de espécie

Todas as colônias, coletadas nos agroecossistemas cafeeiros, e utilizadas para os experimentos foram identificadas pela Dra. Mônica Antunes Ulysséa como pertencentes a espécie *Crematogaster quadriformis* Roger, 1863.

As colônias foram mantidas em recipientes plásticos (1000 mL), que se conectam a outro recipiente (250 mL) através de um tubo plástico. Para permitir a entrada e saída de ar, a tampa do recipiente de 1000 mL foi cortada e substituída por tecido voile (figura 9). Foram adicionados pedaços de papelão como refúgio. A dieta foi composta por pão, mel e presunto, assim fornecendo carboidratos, proteínas e lipídios. A água foi fornecida em algodão umedecido. Foi realizada a manutenção das unidades de criação a cada três dias. Toda a metodologia de criação de formigas foi desenvolvida pelo autor a partir de testes realizados anteriormente aos experimentos.

Figura 9 - Recipiente de criação para *Crematogaster quadriformis*



Fonte: Do autor: 2023

Os frutos de café e adultos da broca foram coletados também em agroecossistemas cafeeiros de *C. arábica*, cultivados com a cultivar Topázio. Nas lavouras, que apresentavam 7 anos de idade, foram coletados frutos verdes e maduros, brocados e não brocados. Os frutos

brocados foram abertos com auxílio de um bisturi, e o inseto adulto da broca foi retirado e utilizado para infestar novos frutos.

Foram preparados potes plásticos transparentes (500 mL) para individualizar cada tipo de fruto a ser infestado (verdes e maduros), para posterior utilização nos ensaios de olfatosmetria. Cada pote foi forrado com papel toalha para absorção da umidade e evitar a proliferação de fungos. Em cada pote foram colocados 50 frutos, e para cada fruto, duas fêmeas da broca-do-café. Os frutos ficaram disponíveis para infestação por um período de sete dias antes de serem utilizados nos experimentos. A confirmação da infestação foi realizada a partir da observação de resíduos deixados no orifício de perfuração um dia antes dos ensaios.

Ensaio de olfatosmetria

Os experimentos de olfatosmetria foram realizados no Laboratório de Ecologia Química (LEQIIP) do Departamento de Entomologia da UFLA. As respostas das formigas às fontes de odor foram avaliadas em um olfatômetro de tubo em Y, de dupla escolha (20cm de comprimento do braço principal, 18,5 cm de comprimento os braços laterais, dois cm de diâmetro interno e ângulo de 120 graus entre os braços). Os ensaios foram realizados no período da manhã, iniciando às sete horas, sob condições controladas de temperatura de $25^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $70\pm 10\%$.

As formigas operárias foram mantidas em jejum por 24 horas antes dos ensaios. Cada repetição consistiu na resposta de uma formiga, que entrava pelo braço central do olfatômetro e observada por oito minutos. Foram obtidas 40 respostas para cada combinação. Considerou-se uma escolha quando a formiga ultrapassou uma linha localizada no terço distal de um dos braços laterais do olfatômetro e permaneceu nessa região por 20 segundos. Quando o inseto não adentrou no olfatômetro durante o período de dez minutos, a repetição foi considerada como 'não resposta'.

As seguintes combinações de odores foram fornecidas para as escolhas de preferência: a) Frutos verdes x Ar; b) Frutos verdes infestados por *H. hampei* x Ar; c) Frutos verdes x Frutos verdes infestados por *H. hampei*; d) Frutos maduros x Ar; e) Frutos maduros x Frutos maduros infestados por *H. hampei*; f) Frutos verdes x Frutos maduros; g) Frutos verdes infestados por *H. hampei* x Frutos maduros infestados por *H. hampei*.

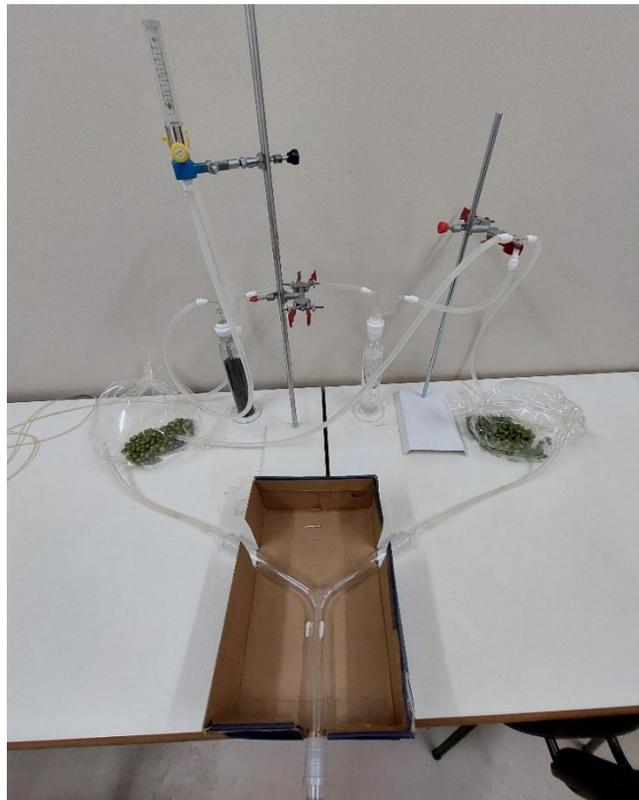
As posições dos tratamentos foram invertidas no olfatômetro a cada três respostas, para evitar tendências na escolha. Após cada quatro repetições, o tubo em Y do olfatômetro

foi trocado. Os tubos foram lavados com detergente e enxaguados com água, álcool 70% e, por fim, secos em estufa a 100°C.

Para realização dos bioensaios, foram utilizados 60 frutos de café por tratamento. Estes frutos foram colocados em sacos de plástico poliéster (41cm x 33cm), cujos vértices quais foram cortados, criando aberturas para a entrada de mangueiras de silicone. Essas mangueiras, por sua vez, conectaram os tratamentos aos braços laterais do olfatômetro. Os frutos foram trocados a cada 15 respostas.

Uma bomba compressora de ar foi utilizada para introduzir o ar do ambiente ao sistema, que foi filtrado e umidificado pela passagem em filtro de carvão ativado e água destilada, respectivamente. Em seguida, o ar foi conduzido aos tratamentos e aos braços laterais do olfatômetro, a uma vazão de 350 mL/min/braço, pré-definida a partir de testes com diferentes vazões (Figura 10).

Figura 10 – Representação do tubo em Y, tratamentos testados e mangueiras de condução de odores.



Fonte: Do autor: 2023

Análise estatística

A normalidade dos dados foi analisada através do teste Shapiro-Wilk, e, devido à natureza dos dados, não houve normalidade. Para cada um dos ensaios realizados, a formiga possuía duas opções de escolhas (ser atraída para um odor ou para outro). Sendo assim, os dados foram associados aos ensaios de Bernoulli, onde cada uma das escolhas irá acontecer ou não com probabilidade de sucesso de $\frac{1}{2}$. A escolha ou preferência das formigas em cada uma das setes combinações foi analisada por meio de modelos lineares generalizados (GLM) com distribuição de erros binomial, sendo que os fatores da combinação foram modelados como variáveis explicativas. A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para realizar as comparações entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas através do Software R (R CORE TEAM, 2023), com nível de confiança de 95%.

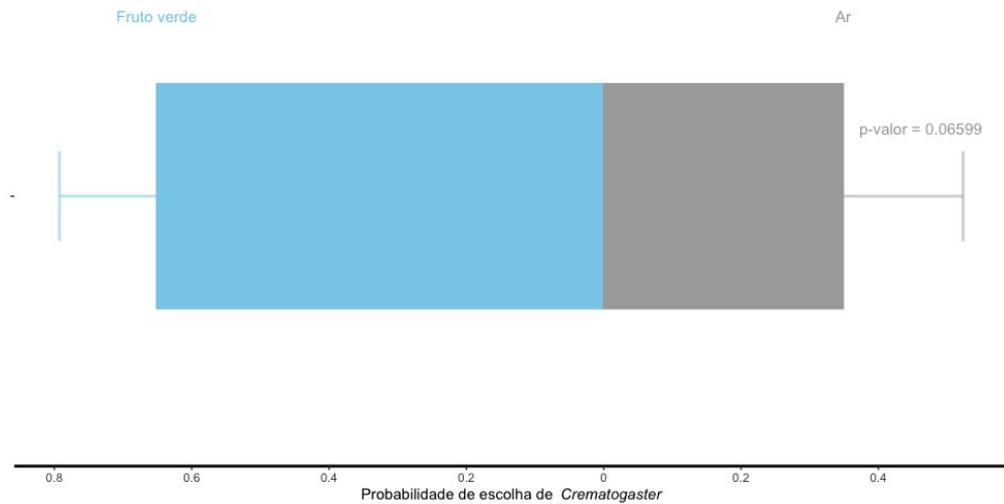
Resultados

Olfatometria

Frutos verdes x ar

Na combinação frutos verdes contra ar, não houve diferença significativa na escolha das formigas entre os odores. As formigas foram atraídas 65% das vezes para os frutos de café verde e 35% das vezes para o ar ($p=0,06$). (Figura 11).

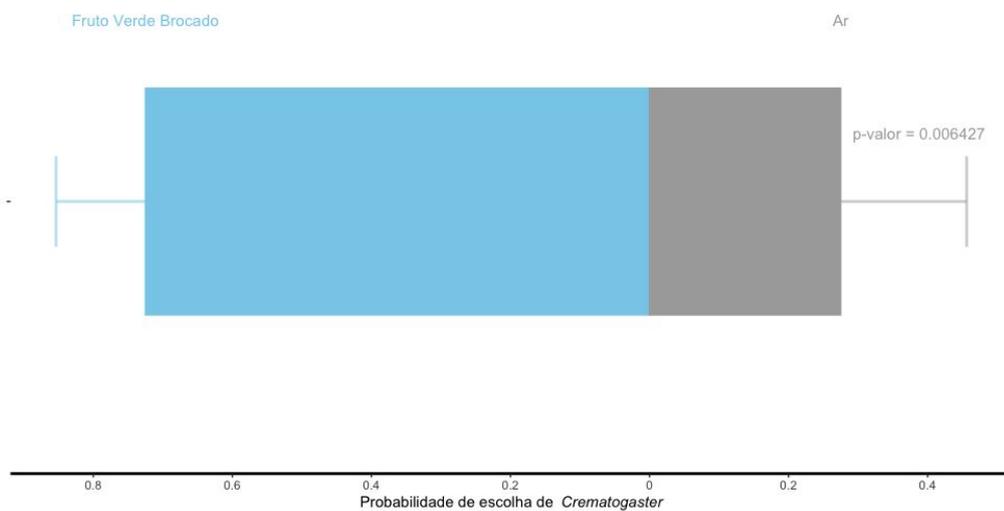
Figura 11 – Escolha entre frutos verdes de café (*Coffea arabica*) e ar, apresentada por operárias de *Crematogaster quadriformis* em testes de olfatometria em tubo Y.



Frutos verdes brocados x ar

Na combinação frutos verdes brocados contra ar, houve diferença significativa e as formigas foram atraídas para os frutos verdes brocados em 72,5% das vezes, em relação a 27,5% das vezes para o ar ($p=0,006$). (Figura 12).

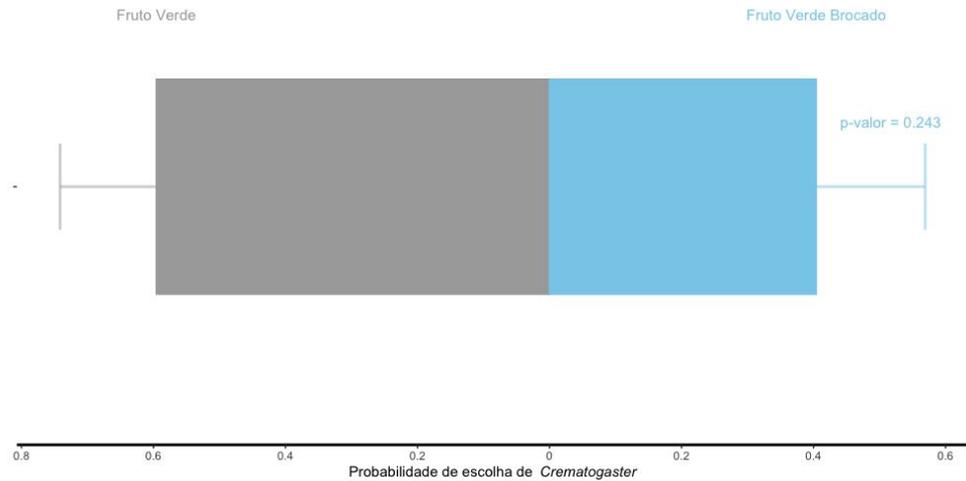
Figura 12 – Escolha entre frutos verdes de café (*Coffea arabica*) brocados por *Hypotenemus hampei* e ar, apresentada por operárias de *Crematogaster quadriformis* em testes de olfatometria em tubo Y.



Frutos verdes brocados x frutos verdes não brocados

Na combinação frutos verdes contra frutos verdes brocados não houve diferença significativa, as formigas foram atraídas para os frutos verdes brocados 40% das vezes, e para os frutos verdes 60% das vezes ($p=0,2$). (Figura 13).

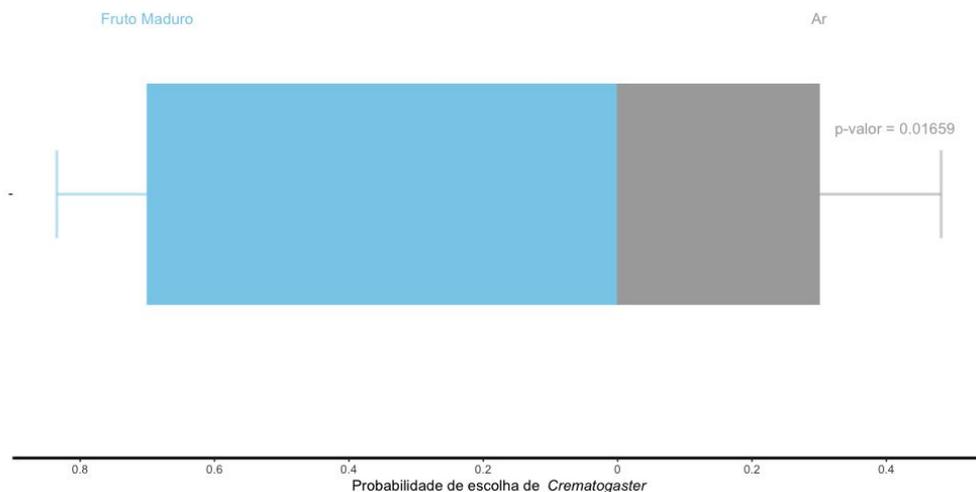
Figura 13 - Escolha entre frutos verdes de café (*Coffea arabica*) e frutos verdes brocados por *Hypotenemus hampei*, apresentada por operárias de *Crematogaster quadriformis* em testes de olfatometria em tubo Y.



Frutos maduros x ar

Na combinação frutos maduros contra ar, houve diferença significativa e as formigas foram atraídas para os frutos maduros 70% das vezes, contra 30% das vezes para o ar ($p=0,01$). (Figura 14).

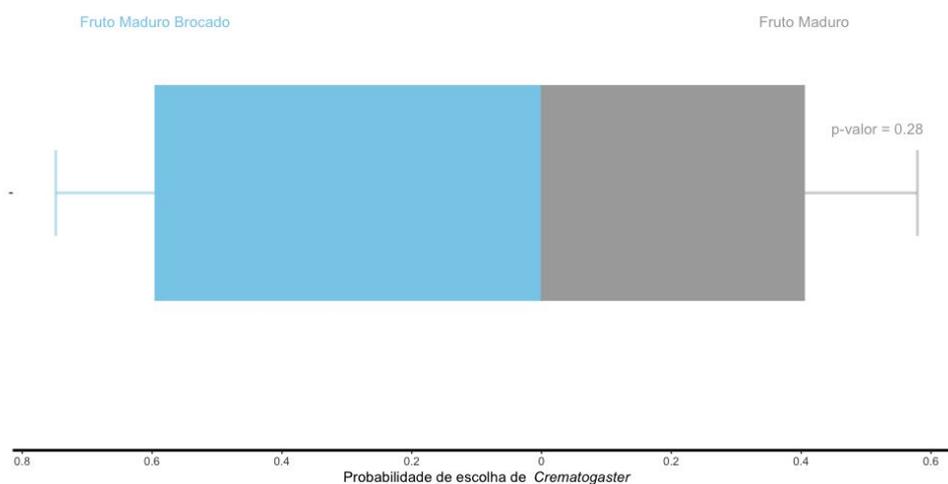
Figura 14 - Escolha entre frutos maduros de café (*Coffea arabica*) e ar, apresentada por operárias de *Crematogaster quadriformis* em testes de olfatometria em tubo Y.



Frutos maduros brocados x frutos maduros

Na combinação frutos maduros brocados contra frutos maduros, não houve diferença significativa, de modo que as formigas foram atraídas para os frutos maduros brocados 60% das vezes, contra 40% das vezes para os frutos maduros ($p=0,2$). (Figura 15).

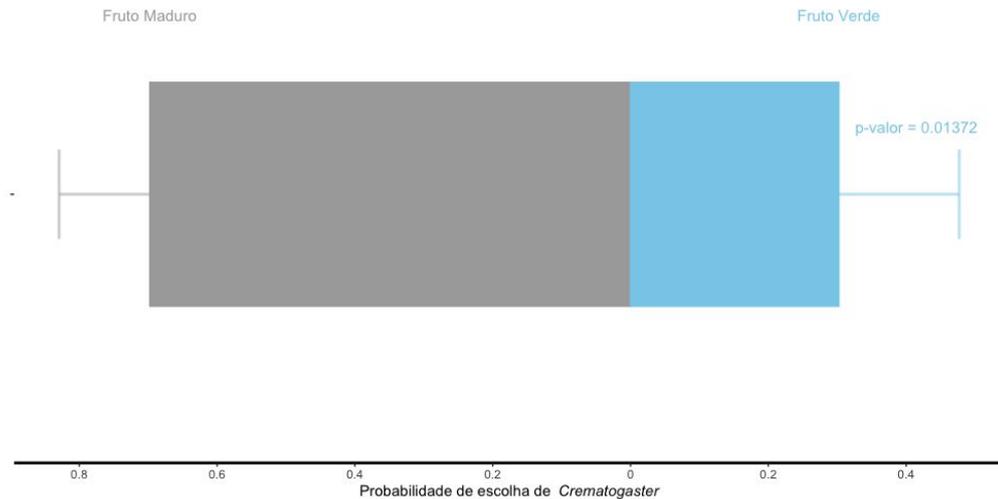
Figura 15 - Escolha entre frutos de café (*Coffea arabica*) maduros brocados por *Hypotenemus hampei* e frutos maduros apresentada por operárias de *Crematogaster quadriformis* em testes de olfatométrica em tubo Y.



Frutos maduros x frutos verdes

Na combinação frutos maduros contra frutos verdes, houve diferença significativa e as formigas foram atraídas para os frutos maduros 70% das vezes contra 30% das vezes para os frutos verdes ($p=0,01$). (Figura 16).

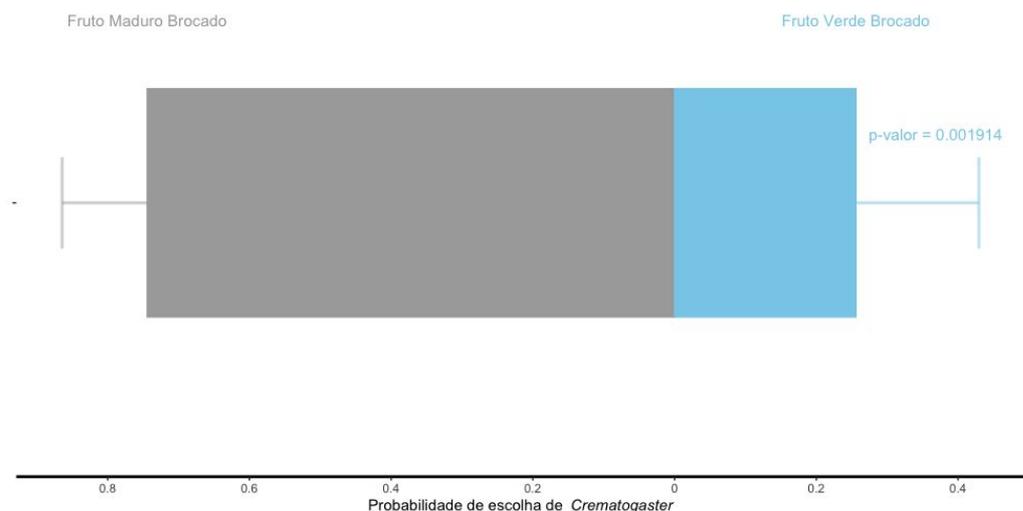
Figura 16 - Escolha entre frutos de café (*Coffea arabica*) maduros e frutos verdes apresentada por operárias de *Crematogaster quadriformis* em testes de olfatométria em tubo Y.



Frutos maduros brocados x frutos verdes brocados

Na combinação frutos maduros brocados contra frutos verdes brocados, houve diferença significativa, de modo que as formigas foram atraídas para os frutos maduros brocados 74% das vezes contra 26% das vezes para os frutos verdes brocados ($p=0,001$). (Figura 17).

Figura 17 - Escolha entre frutos de café (*Coffea arabica*) maduros brocados por *Hypotenemus hampei* e frutos verdes brocados, apresentada por operárias de *Crematogaster quadriformis* em testes de olfatométria em tubo Y.



Discussão

Formigas *C. quadriformis* tem a capacidade de perceber e distinguir os diferentes voláteis emitidos pelos frutos de café. Trabalhos que estudaram a resposta olfativa destas e de formigas pertencentes a outros gêneros são ainda muito escassos, e, até onde se sabe, este foi o primeiro a avaliar sua atração a frutos de café e à *H. hampei*.

Estudos que avaliaram a atração *Crematogaster scutellaris* à vespa do figo *Blastophaga psenes* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Agaonidae), demonstram que a formiga foi capaz de perceber sua presa e ser atraída por ela em sistema de olfatométria (SCHATZ et al., 2003; SCHATZ E HOSSAERT 2010). A formiga *Tapinoma nigerrimum* (Nylander, 1856), que apresenta hábito predador e tamanho corporal semelhante ao gênero *Crematogaster*, também foi capaz de localizar larvas da mosca-das-frutas *Ceratitidis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) através dos odores liberados por elas (CAMPOLO et al., 2015). Estes estudos reforçam a hipótese de que formigas podem ser atraídas por suas presas através do olfato.

Pesquisas realizadas com a broca-do-café demonstram que esta praga é mais atraída para frutos de café maduros (CRUZ-LOPES et al., 2016; VEGA et al. 2017). As formigas *C. quadriformis* também foram mais atraídas por frutos maduros do que verdes ($p = 0,01$) e por frutos maduros brocados do que verdes brocados ($p = 0,001$), implicando que o seu encontro com frutos infestados por *H. hampei* seria facilitado.

Moraes et al. (2019) identificaram 27 compostos orgânicos voláteis em frutos verdes de café infestados ou não pela broca. Em suas análises, eles descobriram que quando os frutos são infestados, certos compostos tem sua produção alterada, como: limoneno diminui sua produção; (E)-ocimeno aumenta sua produção; conoflorina aumenta sua produção; (E,E)- α -farneseno aumenta sua produção; (E)-4,8-dimetil-1,3,7-nonatrieno (DMNT) aumenta sua

produção; (E,E)-4,8,12-trimetil-1,3,7,11-tridecatetraeno (TMTT) aumenta sua produção. Outros compostos também são alterados, mas de forma menos marcante.

Román-Ruíz et al. (2012) isolaram e identificaram 24 compostos voláteis liberados pelas fezes de *H. hampei*, observando que os constituintes em maior quantidade se tratavam de 1-Octen-3-ol seguido de terpenoide, e os terpenoides isolados foram atrativos para o parasitoide *Prorops nasuta* Waterston, 1923 (Hymenoptera: Bethyridae). Ortiz et al. (2004) identificaram os compostos voláteis liberados por frutos nos seus diferentes estágios de maturação. Frutos maduros liberam principalmente álcoois, sendo o etanol o composto encontrado em maior quantidade, enquanto frutos verdes apesar de possuir também o etanol como principal constituinte libera aproximadamente 12% da quantidade liberada pelo fruto maduro.

Como as formigas do *C. quadricoloris* foram mais atraídas por frutos maduros, pode-se concluir que elas apresentam maior afinidade por álcoois. Entretanto, a sua falta de preferência entre os frutos brocados e não brocados indica que elas não poderiam perceber a diferença dos voláteis liberados, ou de que esses voláteis seriam camuflados pela grande quantidade de álcoois liberados.

Recomendamos estudos mais aprofundados sobre a atratividade destas formigas e de adultos da broca-do-café ao etanol e demais compostos liberados por frutos maduros, de forma isolada. Dessa maneira, se atrair apenas as formigas, alguma destas substâncias poderia ser utilizada como um atrativo que aumentaria a abundância destes inimigos naturais em condições de campo. Também seria interessante estudar a atratividade e capacidade predatória em condições de campo destas formigas sobre *H. hampei*, avaliando seu potencial de controle sobre os adultos da praga no período de trânsito na busca por novos frutos a serem infestados.

Conclusão

Através da análise das respostas de *C. quadricoloris* às sete combinações realizadas, podemos constatar que elas não são capazes de distinguir entre frutos de café infestados ou não por *H. hampei*. Entretanto, confirmou-se que estas formigas são atraídas para o cafeeiro, apresentando preferência por frutos de café maduros em relação aos frutos verdes, o que possibilitaria o seu encontro com a praga, que também é atraída por frutos neste estágio de maturação.

REFERÊNCIAS

- BUSKO, M.; GORAL, T.; BOCZKOWSK, M.; PERKOWSKI, J. Relationships between volatile organic compounds with an emphasis on terpene compounds and genetic matrix in inoculated and non-inoculated winter wheat cultivars. *Chemistry and Ecology*, v.35, p.971-986. 2019.
- BUSTILLO P., A. E.; CÁRDENAS M., R.; POSADA F. F. J. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. *Neotropical Entomology*, v.31, p.635-639. 2002
- CAMPOLO, O.; PALMERI, V.; MALACRINÒ, A.; LAUDANI, F.; CASTRACANI, C.; MORI, A.; GRASSO, D. A. Interaction between ants and the Mediterranean fruit fly: New insights for biological control. *Biological Control*, v.90, p. 120-127. 2015.
- CRUZ-LOPES, L.; DÍAZ-DÍAZ, B.; ROJAS, J. C. Coffee volatiles induced after mechanical injury and beetle herbivory attract the coffee berry borer and two of its parasitoids. *Arthropod-Plant Interactions*, v.10, p.151–159. 2016.
- CURE, J. R.; RODRÍGUEZ, D.; GUTIERREZ, A. P.; PONTI, L. The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (*Hypothenemus hampei*). *Scientific Reports*, v.10. 2020.
- DE LA ROSA-CANCINO, W.; ALAVEZ-ROSAS, D.; ROJAS, J. C. Host con- specific infestation level guides the preference of *Hypothenemus hampei* for robusta coffee berry volatiles. *Arthropod-Plant Interactions*, v.15, p.573-582. 2021.
- DEGEN, T.; DILLMANN, C.; MARION-POLL, F.; TURLINGS, T. C. High genetic variability of herbivore-induced volatile emission within a broad range of maize inbred lines. *Plant Physiology*, v.135, p.1928-1938. 2004.
- DOUMA, J. C.; VERMEULEN, P. J.; POELMAN, E. H.; DICKE, M.; ANTEN, N. P. R. When does it pay off to prime for defense? A modeling analysis. *New Phytologist*, v.216, p.782– 797. 2017.
- GONTHIER, D.J.; ENNIS, K.K.; PHILPOTT, S.M.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Ants defend coffee from berry borer colonization. *Biological Control*, v.58, p.815-820, 2013.
- JARAMILLO, J.; TORTO, B.; MWENDA, D.; TROEGER, A.; BORGEMEISTER, C.; POEHLING, H. M.; FRANCKE, W. Coffee Berry Borer Joins Bark Beetles in Coffee Klatch. *Plos One*, v.8, p.2-15. 2013.
- MORAES, M. C. B.; MICHEREFF, M. F. F.; MAGALHÃES, D. M.; MORAIS, S. D.; HASSEMER, M. J.; LAUMANN, R. A.; MENEGHIN, A. M.; BIRKETT, M. A.; WITHALL, D. M.; MEDEIROS, J. N.; CORRÊA, C. M. C.; BORGES, M. Influence of constitutive and induced volatiles from mature green coffee berries on the foraging behaviour of female coffee berry borers, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Arthropod-Plant Interactions*, v.13, p.349-358. 2019.
- MORGAN, D. E. Trail pheromones of ants. *Physiological Entomology*, v.34, p.1-17. 2009.

- NJIHIA, T.; JARAMILLO, J.; MURUNGI, L.; MWENDA, D.; ORINDI, B.; POEHLING, H. M.; TORTO, B. Spiroacetals in the colonization behaviour of the coffee berry borer: a push-pull system. **Plos One**, v.9. 2014.
- ORTIZ, A. R.; ORTIZ, A. F.; VEGA, F. E.; POSADA, F. Volatile composition of coffee berries at different stages of ripeness and their possible attraction to the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.5914–5918. 2004.
- R CORE TEAM. R: The R Project for Statistical (4.3.1). Disponível em <https://www.r-project.org/>. Acesso em 01 ago 2023.
- ROJAS, J. C. Ecología química de la broca del café y sus parasitoides. In: BARRERA, J. F. (Ed.). **Simposio sobre situación actual y perspectivas de la investigación y manejo de la broca del café em Costa Rica, Cuba, Guatemala y México**. Tapachula: Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, 2005. p. 12-21.
- ROJAS, J. C.; CASTILLO, A.; VIRGEN, A. Chemical cues used in host location by *Phymastichus coffea*, a parasitoid of coffee berry borer adults, *Hypothenemus hampei*. **Biological Control**, v.37, p.141-147. 2006.
- ROMÁN-RUIZ, A. K.; MALO, E. A.; HUERTA, G.; CASTILLO, A.; BARRERA, J. F.; ROJAS, J. C. Identification and origin of host-associated volatiles attractive to *Prorops nasuta*, a parasitoid of the coffee berry borer. **Arthropod-Plant Interactions**, v.6, p. 611-620. 2012.
- SCHATZ, B.; ANSTETT, M.; OUT, W.; HOSSAERT-MCKEY, M. Olfactive detection of fig wasps as prey by the ant *Crematogaster scutellaris* (Formicidae; Myrmicinae). *Naturwissenschaften*, v,90, p.456–459. 2003.
- SCHATZ, B.; HOSSAERT-MCKEY, M. Ants use odours cues to exploit fig-fig wasp interactions. **Acta Oecologica**, v.36, p.107-113. 2010.
- SOUZA, J. L. P.; BACCARO, F. B.; LANDEIRO, V. L.; FRANKLIN, L; MAGNUSSON, W. E.; PEQUENO, P. A. C. L.; FERNANDES, I. O. F. Taxonomic sufficiency and indicator taxa reduce sampling costs and increase monitoring effectiveness for ants. **Diversity and Distributions**, v.22, p.111-122. 2016.
- TURLINGS, T.C.; ERB, M. Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: Mechanisms, ecological relevance, and application potential. **Annual review of entomology**, v.63, p.433–452. 2018.
- VEGA, F. E.; SIMPKINS, A.; MIRANDA, J.; HAMLY, J. M.; INFANTE, F.; CASTILLO, A.; WAKARCHUK, D.; COSSÊ, A. A potential repellent against coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Journal of Insect Science**, v.132, p.1–9. 2017.
- VICHEROVÁ, E.; GLINWOOD, R.; HÁJEK, T.; ŠMILAUER, P.; NINKOVIC, V. Bryophytes can recognize their neighbours through volatile organic compounds. *Scientific Reports*, v.10. 2020.