

LEONEL ADELSON ARAYA ROJAS

**PROTEÇÃO DE FRUTOS DE CAFÉ CONTRA *Hypothenemus hampei* POR
INSETICIDAS: QUANTO MAIS VELHO, MELHOR?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

Orientador: Eliseu José Guedes Pereira

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2020

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A663p
2020
Araya Rojas, Leonel Adelson, 1984-
Proteção de frutos de café contra *Hypothenemus hampei* por
inseticidas : quanto mais velho, melhor? / Leonel Adelson Araya
Rojas. – Viçosa, MG, 2020.
40 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Eliseu José Guedes Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.25-29.

1. Café - Doenças e pragas - Controle. 2. Broca-do-café.
3. Inseticidas. 4. Fitossanidade. 5. Frutos. 6. Resíduos de
inseticidas. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Entomologia.
II. Título.

CDD 22. ed. 633.7397

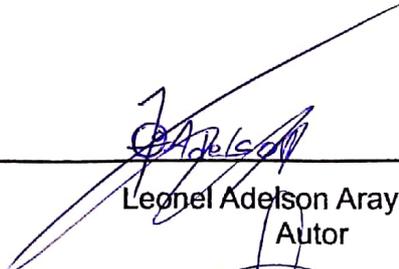
LEONEL ADELSON ARAYA ROJAS

**PROTEÇÃO DE FRUTOS DE CAFÉ CONTRA *Hypothenemus hampei* POR
INSETICIDAS: QUANTO MAIS VELHO, MELHOR?**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Entomologia, para obtenção do título de
Magister Scientiae

APROVADA: 29 de abril de 2020.

Assentimento:



Leonel Adelson Araya Rojas
Autor



Eliseu José Guedes Pereira
Orientador

AGRADECIMENTOS

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

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao departamento de Pós-Graduação em Entomologia e ao Laboratório de Interação Inseto Planta.

Ao professor Eliseu José Guedes Pereira por me orientar e aceitar trabalhar no seu laboratório.

Ao pessoal do laboratório de Interação Inseto Planta, pelo aprendizado, parceria e amizade.

Meus amigos: Camila, Morgana, Silvana, Thadeu, Clébson, Paula, Johana, José, Caro, Tati, Deysy, Kate, Jhon, Johan, PH, Edwin, João, Maribel, Manuel, Eduardo, Laura, Pate, Debora, Tiago, Luana, Astro, Marden, Paloma, Jaça, Maikel, Billy, Daniel e Yuliana, obrigado pelo apoio de sempre.

A Organização de Estados Americanos (OEA), Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) Para Programas de Maestria em Brasil e a CAPES pela bolsa.

Dedico este trabajo a mi madre Blanca Inés Araya Rojas, por su apoyo incondicional en toda mi vida, por su amor e dedicación, a Abigail Araya Villalobos (mi hija). A Ka y a Wen, a Roger Villalobos Fonseca, a los profesores Víctor Cartín y Daniel Rueda, gracias por su ayuda infinita.

RESUMO

ARAYA-ROJAS, Leonel Adelson, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2020. **Proteção de frutos de café contra *Hypothenemus hampei* por inseticidas: quanto mais velho, melhor?**. Orientador: Eliseu José Guedes Pereira.

A broca do café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) é praga-chave em cultivos de café (*Coffea* spp.: Rubiaceae). As fêmeas constroem galerias no mesocarpo e endocarpo e põem ovos na semente, aonde as larvas se alimentam reduzindo o peso dos grãos e sua qualidade. Esse comportamento alimentar endofítico dificulta a exposição dos indivíduos a inseticidas eventualmente pulverizados para proteger contra o broqueamento do grão pela broca do café. Além disso, é necessário a busca por eficazes substitutos ao banido endossulfan, que nos últimos 30-40 anos havia sido o único inseticida utilizado no controle da broca do café. Assim, neste estudo foi avaliado a eficácia e o período residual contra *H. hampei* pelos inseticidas clorpirifós, bifentrina + carbosulfano e ciantraniliprole. Monitorou-se a mortalidade dos insetos após a aplicação da concentração recomendada do inseticida em frutos e folhas de café no laboratório e frutos no campo e além da mortalidade foi avaliada a proteção dos frutos. Nessa última condição, os tratamentos foram aplicados por pulverização nos frutos de café aos 77 dias após início da floração, simulando uma aplicação de inseticida para controle da broca do café. Nos resultados em laboratório, bifentrina + carbosulfano e clorpirifós apresentaram mortalidade $\geq 80\%$ em frutos e folhas, com um tempo letal de 2-4 h, enquanto ciantraniliprole só atingiu tal eficácia quando aplicado nas folhas de café e com 48 h de exposição dos insetos. Em campo, clorpirifós teve a mais longa residualidade, causando mortalidade das brocas $\geq 80\%$ (43 dias) e protegendo a semente, mesmo que os insetos broqueassem até o mesocarpo. Bifentrina + carbosulfano causou mortalidade $\geq 80\%$ até os 22 dias, mas protegeu as sementes até os 43 dias. Ciantraniliprole causou 28% de mortalidade, protegendo as sementes até os 15 dias. Esses resultados indicam que bifentrina + carbosulfano e clorpirifós são inseticidas promissores para proteção de frutos de café contra *H. hampei*. Esta pesquisa permitiu identificar inseticidas com capacidade para proteger grãos de café com bom efeito residual sobre *H. hampei*.

Palavras-chave: Broca do café. Eficácia de controle. Fosforado. Piretroide. Diamida. Proteção do fruto. Período residual.

ABSTRACT

ARAYA-ROJAS, Leonel Adelson, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2020. **Protection of coffee fruit against *Hypothenemus hampei* by insecticides: the older, the better?**. Advisor: Eliseu José Guedes Pereira.

The coffee berry borer (CBB), *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) is a key pest in coffee (*Coffea* spp.: Rubiaceae). The females initially feed on the mesocarp and later on the endocarp, where they build galleries, laying eggs in the seeds. Feeding by the larvae reduce the weight and the quality of the coffee beans. This endophytic feeding behavior is challenging when applying currently available insecticides, which usually require contact exposure before the insects bore into the berry. In addition, there is a need to find effective substitutes for the banned endosulfan, which for the last 30-40 years was the most effective insecticide used against CBB. In this study, the efficacy, the residual effect, and fruit protection were evaluated for the insecticides chlorpyrifos, bifenthrin + carbosulfan, and cyantraniliprole. The bioassays were conducted using leaf- or fruit-dip methods. Insect mortality and the extent of the boring into the coffee berry was monitored after insecticide application at the recommended concentration in coffee fruits and leaves in the laboratory and in the field. In the latter case, the treatments were applied by spraying coffee fruits at 77 days after the beginning of flowering. In the laboratory bifenthrin + carbosulfan and chlorpyrifos showed mortality $\geq 80\%$ on fruits and leaves, with a lethal time of 2-4 h. Cyantraniliprole only reached such efficacy after 48 h of exposure. In the field, chlorpyrifos had the longest residual effect causing mortality $\geq 80\%$ up to 43 days and protecting of the seed; initially, the exposed CBBs died before boring into the fruit and then only penetrating until the mesocarp. Bifenthrin + carbosulfan caused mortality $\geq 80\%$ up to 22 days, but with fruit protection up to 43 days. Cyantraniliprole only caused 28% mortality and somewhat protected the seeds until 15 days. These results indicate that bifenthrin + carbosulfan and chlorpyrifos are promising insecticides for the protection of coffee beans against *H. hampei*. This research allowed us to identify promising insecticides to control the coffee borer effectively, which is important to protect coffee beans, manage the insect population level and slow the development of resistance faster than expected in populations of this key pest.

Keywords: Coffee borer. Control effectiveness. Phosphorus. Pyrethroid. Diamide. Fruit protection. Residual period.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1 Coletas para testes <i>in vitro</i> e manutenção dos insetos	10
2.2 Coletas de insetos para testes <i>in vivo</i>	11
2.3 Avaliação da dinâmica de mortalidade pelos inseticidas <i>in vitro</i>	11
2.4 Residualidade dos inseticidas em campo	12
2.4.1 Aplicação dos inseticidas	12
2.4.2 Avaliação da mortalidade	13
2.5 Avaliação da proteção dos frutos e do efeito subletal dos inseticidas	13
2.6 Análise estatística	14
3 RESULTADOS	15
3.1 Eficácia e rapidez de ação dos inseticidas	15
3.2 Potencial de residualidade dos inseticidas em frutos e folhas <i>in vitro</i>	15
3.3 Período residual <i>in situ</i> (no campo)	16
3.4 Proteção dos frutos de café e efeito subletal dos inseticidas	17
4 DISCUSSÃO	18
5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
TABELAS E FIGURAS	30
Tabela 1. Informações dos inseticidas utilizados na pesquisa com a broca do café. 30	
Tabela 2. Tempo médio de sobrevivência (i.e., média de tempo de exposição).	31
Tabela 3. Estimativas dos coeficientes das equações de regressão que	31
Tabela 4. Distribuição percentual das notas de penetração das brocas do café.	32
Figura 1. Esquema do ciclo de vida da broca do café (<i>Hypothenemus hampei</i>).	33
Figura 2. Desenho esquemático do recipiente de criação da broca	34
Figura 3. Ilustração da escala usada para classificação da colonização ou	34
Figura 4. Curva de mortalidade e tempo letal para brocas do café	35
Figura 5. Dinâmica de mortalidade da broca do café (<i>Hypothenemus hampei</i>)	36
Figura 6. Período residual de três inseticidas na mortalidade da broca do café.	37
Figura 7. Dinâmica do tempo médio de sobrevivência da broca do café	38
Figura 8. Proteção de frutos de café contra a broca (<i>Hypothenemus hampei</i>).	39
Figura 9. Dados de precipitação (mm) e temperatura (°C) nos meses de	40

1 INTRODUÇÃO

O café (*Coffea* spp.: Rubiaceae), é um produto comercial muito popular a nível mundial, sendo uma das *commodities* mais importantes, gerando grande receita na balança comercial dos principais países produtores (Baker 2014, Watts 2016). A atividade cafeeira mundial emprega em uma grande proporção a agricultura familiar e possibilita milhares de empregos entorno de sua cadeia comercial (Watts 2016). Os cultivos de café também são praticados em grandes propriedades, utilizando alto nível tecnológico como é o caso do Brasil (Jezeer et al. 2017). O Brasil é o maior produtor de café e o segundo consumidor a nível mundial, sendo o café um de seus principais produtos agrícolas (Baker 2014).

Apesar da origem africana do café, onde ocorreu a domesticação, tem as maiores extensões cultivadas na Ásia e nas Américas. Por ser uma planta tropical, ela se adaptou facilmente desde o sul do México até o Brasil (Ribeyre and Avelino 2012, Baker 2014). As características agroclimáticas do continente proporcionam atributos organoléuticos únicos aos frutos refletidos na bebida de café, prestigiando a qualidade produto procedente da América (Burgos et al. 2012, Guambi et al. 2017, Julca et al. 2018).

Desde o centro de origem do café na África, a broca do café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari, 1867) acompanha o café, sendo um fitófago monófago bem adaptado à sua planta hospedeira. O inseto é umas das principais pragas nos cultivos de café, causando prejuízos anuais superiores a US\$ 500 milhões (Camilo, Olivares, & Jiménez, 2003; Ribeyre & Avelino, 2012; Pérez, Infante, & Vega, 2015; Watts, 2016; Infante, 2018). Sendo inseto especialista de café, *H. hampei* possui a capacidade de alimentar tanto da polpa quanto das sementes do café, onde desenvolve a sua progênie. Por afeitar a semente que é a estrutura de interesse comercial, o inseto é considerado uma praga-chave (Constantino et al. 2011, Acuña et al. 2012).

As fêmeas adultas de *H. hampei* tem a particularidade de colonizar os frutos de café desde os primeiros meses após a floração (cerca de 77 dias) até a fase de cereja (Camilo et al. 2003, Infante 2018a). A colonização começa pela 'coroa' do fruto (extremidade oposta ao pedúnculo), onde o inseto broqueia para se alimentar da polpa. Esse broqueamento pode ocasionar aborto do fruto em estádios iniciais da frutificação. Se o fruto não é abortado, a broca permanece se alimentando no

mesocarpo (polpa) até quando o endocarpo, (a semente, que é a estrutura de interesse comercial) acumule no mínimo 20% de matéria seca e esteja com cerca de 40% de umidade. Essa condição do fruto coincide com o seu amadurecimento e é quando a fêmea realiza a oviposição nas sementes (constrói galerias) (Camilo et al., 2003; Matiello et al., 2005; Romero & Hernando Alfonso Cortina, 2007; Baker, 2014). Após a eclosão, as larvas se alimentam nas sementes até virarem adultos e reiniciarem o ciclo de vida em novos frutos de café, período que dura de 27 a 30 dias (Figura 1) (Damon, 2000; Constantino et al., 2011; Celestino et al., 2016).

Um importante método de controle populacional da broca é evitar que frutos de café permaneçam nos ramos ou caídos no solo para reduzir a infestação dos frutos da floração subsequente. O hábito endofítico de *H. hampei* o protege de muitos tipos de inimigos naturais e dificulta o controle da praga com inseticida, cujo alvo precisa ser a fase adulta (Damon 2000, Silva et al. 2014, Infante 2018b) . Para proteção da qualidade do produto comercial, busca-se evitar que o inseto penetre os frutos de café, mais precisamente que não broqueie as sementes. Portanto, a aplicação de inseticida deve ser feita no período de trânsito das fêmeas, que se inicia cerca de 77 dias após a floração. Para se obter a eficácia de controle desejada, normalmente 80%, sendo importante que o inseticida tenha uma adequada residualidade e estabilidade em condições ambientais que permitam proteção dos frutos no maior período possível (Araújo et al. 2017).

No Brasil, para controle de *H. hampei* com inseticida apenas um único composto - o organoclorado endosulfan - foi usado até 2013 por cerca de 30-40 anos. Parece que pouco se preocupava com essa dependência em um só composto até que houve a proibição de uso do inseticida por sua alta toxicidade para mamíferos por ter alta solubilidade em tecido gorduroso (lipofílicos). Na ausência de endosulfan, que era de alta eficácia contra a broca do café (Damon, 2000; Chediak et al., 2009; Celestino et al., 2016), a seleção de outros inseticidas eficientes contra a praga passou a ser fundamental para o manejo integrado de *H. hampei*. Essa busca é importante para atender à frequente necessidade de controlar remediadamente a praga e postergar a seleção de resistência que comprometa a eficiência de controle pelos inseticidas disponíveis (Matiello et al. 2005).

Além desse cenário brasileiro, a mudança climática que afeta o planeta tem alterado as condições agroclimáticas onde o café é produzido no mundo. A broca do café parece ter se aclimatado a regiões de maior altitude, ocasionando danos

mesmo em cafeeiros acima dos 1500 metros de altitude, situação que não acontecia anteriormente (Jaramillo et al., 2011; Chu, 2012; Bunn et al., 2015; Santos et al., 2015). Isso faz com que a busca de técnicas e tecnologias efetivas para controlar *H. hampei* torne-se ainda mais importante (Watts 2016).

Além dos inseticidas com registro para pragas em café, há alguns compostos eficazes contra curculionídeos e mais insetos em outras culturas, que tenham efetividade contra a broca do café que possam controlar os ataques do inseto, protegendo as sementes de danos econômicos e possam ser úteis no seu manejo. Diante dessa problemática, o objetivo nesta dissertação foi avaliar a eficácia e o período residual de inseticidas contra *H. hampei* com capacidade no tempo para proteger os frutos até a colheita, já que faz falta informação da residualidade dos produtos para o controle da broca de café, assim com os níveis de proteção dos frutos ou longo do tempo. Informação confiável sobre esses inseticidas poderão ser usadas para seleção daqueles mais apropriados, formando um portfólio de opções quando for necessário curativamente controlar a broca de café.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coletas para testes *in vitro* e manutenção dos insetos

Frutos de café verdes broqueados (sem exposição a inseticidas) foram coletados no campus da Viçosa (UFV), no Vale da Agronomia (20°46'11.7"S 42°52'13.9"O), Viçosa, Minas Gerais, para extrair fêmeas adultas de *H. hampei*. Os frutos foram colocados em tubos de PVC (10 cm \varnothing x 25 cm comprimento), com malha de náilon facilitando a passagem dos insetos para o recipiente coletor na base de cada tubo (Figura 2, adaptado de Hirose & Neves, 2002). Em cada tubo coletor foram colocados em torno de 350 a 400 frutos. Os tubos foram mantidos em condições controladas em laboratório: temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa de $70 \pm 15\%$ e fotoperíodo de 14L:10E. Os insetos coletados foram transferidos para recipientes plásticos com café pergaminho (sem casca), para se alimentarem e permanecerem vivos até os testes com os inseticidas.

2.2 Coletas de insetos para testes *in vivo*

Para os testes com inseticidas no campo, insetos foram coletados em diferentes locais de produção de café. Assim, coletou-se frutos broqueados nestes locais: Vale de Agronomia (UFV), Viveiro de café (UFV) (município de Viçosa, MG, 20°44'38.2"S 42°50'57.6"O), Airões (município de Paula Cândido, MG, 20°48'37.1"S 42°57'54.4"O) e na EPAMIG, Campo Experimental Vale do Piranga (município de Oratórios, MG, 20°24'09.1"S 42°49'07.7"O). Os frutos foram dissecados (em condições de laboratório descritas anteriormente) para extrair a brocas adultas fêmeas, as quais foram utilizadas para os diferentes testes.

2.3 Avaliação da mortalidade pelos inseticidas *in vitro*

Foi avaliada a mortalidade de *H. hampei* quando em exposição ao inseticida em fruto e folha (contaminação tarsal) tratados com a formulação comercial. Foram selecionados dois inseticidas recomendados para controlar *H. hampei*, um antigo, clorpirifós (organofosforado) e ciantraniliprole (diamida) produto recente, para comparar a eficácia dos inseticidas, assim como uma mistura, bifentrina + carbosulfano (piretroide + carbamato), com base em informações sobre a eficácia de controle de curculionídeos em outras culturas, tais como algodão, visado como um inseticida que poderia apresentar eficácia ante *H. hampei*. Foi utilizada a dose de campo recomendada pelo fabricante (Tabela 1). Para testar o potencial de residualidade do inseticida no laboratório, cinco tempos após a aplicação do inseticida foram estudados (0, 1, 2, 3 e 4 dias). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 5 repetições de 10 insetos para cada tratamento, tempo foi independente, sem pseudorepetição, totalizando 50 insetos por tratamento por tempo após a aplicação. Em outras palavras, um total de 1000 brocas foram usadas nos bioensaios, sendo 250 brocas por tratamento.

Usando um Becker contendo 500 mL de calda inseticida em água, frutos e folhas de café foram imersos por 60 s. No controle, os frutos e folhas foram imersos somente em água também por 60 s. Para a secagem, os frutos foram colocados em bandejas plásticas e as folhas foram estendidas em uma bancada com plástico (filme PVC) em temperatura ambiente. Após a secagem, em bandejas plásticas de 16 células a cada célula (5.6 × 3.6 × 3 cm) foi adicionado um fruto ou folha e uma

broca adulta fêmea, onde após da exposição foi avaliada a mortalidade e sobrevivência dos insetos.

As avaliações de mortalidade para determinar as curvas de sobrevivência e o tempo letal mediano foram realizadas a cada 2 h, até 12 h, e a partir deste período a cada 24 h até completar 96 h (Araújo et al. 2017, Plata-Rueda, Martínez, Costa, et al. 2019, Plata-Rueda, Martínez, Da Silva, et al. 2019). Foram considerados mortos aqueles insetos que estavam sem capacidade de deslocamento ou em estado letal (patas distantes do corpo, diferente do estado de tanatose com os membros encolhidos) quando tocados por um pincel fino. Os inseticidas que atingissem mortalidade $\geq 80\%$ de *H. hampei* seriam selecionados, considerando que este é o valor mínimo de mortalidade para um inseticida ser considerado eficiente no Brasil (MAPA, 2020).

2.4 Efeito residual dos inseticidas em campo

2.4.1 Aplicação dos inseticidas

Foi usada a lavoura do viveiro de café do Departamento de Fitopatologia da UFV em Viçosa. Nessa lavoura, as plantas da variedade Catuaí Vermelho IAC 44 encontravam-se em fase em produção (10-12 anos de idade) em condições ambientais expostas sem sombreamento. Foram selecionadas quatro fileiras, e em cada uma delas, plantas com frutos de café verdes em estágio fenológico adequado foram etiquetadas e usadas para aplicar um dos quatro tratamentos com três inseticidas e uma testemunha sem inseticida, foram aplicados em média 50 ramos por tratamento que continham entre 25 e 50 frutos. Cada fileira experimental foi separada de outra por duas fileiras de café como bordaduras para evitar efeito de eventual deriva. Cada inseticida foi aplicado em ramos no terço mediano da planta em ambos lados, simulando uma aplicação normal de campo.

A aplicação dos inseticidas foi feita com um pulverizador costal pressurizado com CO₂ (2,5 bares), proporcionando vazão de 361,6 mL/min e usando bico de pulverização tipo cone TXA 8001 (TeeJet ConeJet), adequado para essa finalidade (Araújo et al. 2017). As plantas e os ramos foram marcados para facilitar a identificação. Aplicou-se as doses recomendadas dos inseticidas selecionados

(Tabela 1). A aplicação foi feita 77 dias (06.XII.2019) após a floração, no estágio fenológico (chumbões) que os frutos são vulneráveis à broca do café.

2.4.2 Avaliação da mortalidade

Nos tempos de 0, 1, 2, 3, 4, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50 e 64 dias após a aplicação dos inseticidas. Para avaliar cada tempo, 50 frutos tratados de café não-broqueados por *H. hampei* foram cuidadosamente coletados e levados ao laboratório. Os frutos foram colhidos em ramos de plantas aleatórias em cada fileira experimental na lavoura de café. No tempo zero, a coleta dos frutos ocorreu cerca de 30 min após a aplicação dos inseticidas. No laboratório, os frutos foram colocados individualmente em bandejas plásticas de 16 células, juntamente com uma broca fêmea adulta por célula. A avaliação da mortalidade de cada tempo após da aplicação nas primeiras 12 h de contato da broca com o fruto, a mortalidade foi avaliada a cada 2 h, e após 12 h de contato, a cada 24 h até 96 h de exposição. Sobrevivência no tempo foi avaliada permitindo estimar dose letal mediana a dias diferentes após coleta, possibilitando regressão de tempo x TL50. As bandejas foram mantidas no laboratório nas mesmas condições descritas anteriormente. O critério de mortalidade também foi o mesmo previamente descrito.

2.5 Avaliação da proteção dos frutos e do efeito subletal dos inseticidas

Foi avaliado se os inseticidas aplicados permitiam proteção dos frutos (precisamente da semente) e se havia efeitos subletais nas brocas (mudanças de comportamento dentro do fruto na movimentação e na alimentação). Os frutos foram dissecados após 96 h de exposição para cada tempo após a aplicação, para atribuídas notas de acordo com o nível de penetração ou posicionamento da broca no fruto de café. Foi utilizada a escala de penetração adaptada de Camilo et al. (2003) (Figura 3), atribuindo-se notas de 1 a 4 da seguinte maneira: 1) a broca não penetrou no fruto, 2) houve broqueamento do fruto, mas não da semente, 3) a broca construiu galeria até as sementes, causando injúria a essa parte do fruto, e 4) a broca ovipositou nas sementes, as observações foram feitas utilizando uma lupa.

2.6 Dados meteorológicos de temperatura e precipitação no período de avaliação dos experimentos

Dados meteorológicos da estação automática: Viçosa (MG) do Instituto Nacional de Meteorologia a partir do 6.XII.2019 ao 2.II.2020 (período de avaliação dos tratamentos) foram usados para apresentar graficamente tanto precipitação como temperatura (Figura 9) (INMET 2020).

2.7 Análise dos dados

Foram feitas análises de sobrevivência para se obter as curvas que descrevem a dinâmica de mortalidade das brocas ao longo do tempo em cada tratamento. No experimento de campo, às 96 h do início da exposição, a taxa de mortalidade obtida no tratamento com água (controle) foi usada para correção da mortalidade natural nos tratamentos com inseticida. Os dados de mortalidade corrigida e de proteção (injúria) dos frutos de café foram submetidos à análise de variância de duas vias. Os fatores (fixos) foram tratamento, tempo após aplicação e interação tratamento × tempo. O fator aleatório no modelo estatístico foi o erro experimental.

Em caso de diferenças significativas ($P < 0,05$) na análise de variância, os dados de mortalidade corrigida em função do tempo após a aplicação foram submetidos à análise de regressão ($P < 0,05$). O modelo foi escolhido com base na lógica do fenômeno descrito, sua simplicidade e proporção de variação explicada pelo modelo (i.e., parcimônia). Utilizou-se a curva de dose-resposta logística (parâmetros a , b , c , d), representada pela equação $y = a + b / (1 + (x/c)^d)$, onde y é a mortalidade corrigida (%) e x é o tempo (dias) após a aplicação (Araújo et al. 2017). Procedimento semelhante foi usado na análise de regressão do tempo letal médio (tempo médio de morte dos indivíduos) em função do tempo após a aplicação dos inseticidas. Semelhantemente para os dados de injúria nos frutos, o modelo ajustado foi a curva dose-resposta de Gompertz (parâmetros b , c , d), representada pela equação $y = b \times \exp(-\exp(-(x-c)/d))$.

Procedimento semelhante foi adotado para a proteção dos frutos contra a colonização da broca, mas aqui o período residual de proteção representa a duração de tempo após aplicação em que as notas de colonização dos frutos tratados com

inseticida foram significativamente inferiores ($P < 0.05$) às da testemunha sem inseticida.

3 RESULTADOS

3.1 Eficácia e rapidez de ação dos inseticidas

As curvas de sobrevivência para brocas expostas ao fruto ou folha tratados com inseticida mostraram diferenças significativas ($P < 0,01$), obtendo-se uma taxa de sobrevivência dos insetos do controle superior a 98%, mesmo após 96 h (Figura 4a, b). A resposta das brocas a clorpirifós e bifentrina + carbosulfano foi semelhante, mas diferente da resposta a ciantraniliprole. Aqueles inseticidas causaram 100% de mortalidade em menos de 4 h (Figura 4a, b). O tempo letal mediano (TL₅₀) das brocas expostas a clorpirifós e bifentrina + carbosulfano (4 a 6 h em fruto ou folha) foi menor que o das brocas expostas a ciantraniliprole (12-48 h) (Figura 4c). Em frutos, a taxa de mortalidade das brocas causada por esse inseticida não superou 66% em 96 h de exposição. Curiosamente, a resposta ao inseticida aplicado em fruto foi diferente da resposta em folha ($P < 0,01$). Em frutos, 50% das brocas já estavam mortas em 12 h de exposição a ciantraniliprole, mas após esse período a sobrevivência se manteve. Já em folha, após 4 dias (96 h) de exposição ao inseticida, a mortalidade das brocas foi de 100 %. O TL₅₀ de ciantraniliprole bem como o tempo médio de mortalidade nas folhas foi mais prolongado (48 h) que nos frutos (12 h) (Figura 4 e Tabela 2)

3.2 Residualidade dos inseticidas em frutos e folhas *in vitro*

Os inseticidas mostraram distintos efeitos residuais em condição de laboratório (Figura 5). Com o decorrer do tempo após a aplicação, a morte das brocas demorou mais para ocorrer, existindo diferenças significativas nas curvas de sobrevivência em relação ao controle e entre alguns tratamentos ($P < 0,01$) (Figura 5).

Consistentemente, clorpirifós e bifentrina + carbosulfano causaram mortalidades de 100% em folhas e frutos. Para atingir essa mortalidade clorpirifós tendeu a demorar mais tempo em frutos (8-32 h) que em folhas (8-12 h) (Figura 5a,

b), enquanto para bifentrina + carbosulfano tal mortalidade ocorreu em um intervalo semelhante 8 a 14 h em folhas e frutos (Figura 5c, d.). As brocas expostas em frutos com ciantraniliprole apresentaram mortalidade $\leq 80\%$, mas em folhas tiveram 100% de mortalidade com 48 e 96 h de exposição (Figura 5d, e).

Os inseticidas clorpirifós e bifentrina + carbosulfano por causar mortalidade $\geq 80\%$ em folhas e frutos e por apresentar residualidade nos cinco tempos após da aplicação foram selecionados para testes em campo, incluindo ciantraniliprole devido à mortalidade $\geq 80\%$ das brocas nas folhas de café e por ser o inseticida que obteve registro durante a emergência fitossanitária de 2014, decorrente das altas infestações da broca do café em Minas Gerais.

3.3 Período residual *in situ* (no campo)

As taxas de mortalidade iniciais da broca do café pelos inseticidas aplicados a campo foram consistentes com aquelas obtidas no laboratório (Figuras 4, 5 e 6). A mortalidade decaiu com o tempo após aplicação de forma diferente para cada inseticida (Figura 6). Clorpirifós e bifentrina + carbosulfano apresentaram semelhante efeito na mortalidade ($\geq 80\%$) até aos 22 dias de avaliação. Depois, houve uma queda acentuada na mortalidade por bifentrina + carbosulfano, a qual voltou a se estabilizar em 20% dos 43 aos 64 dias. Clorpirifós manteve causando mortalidade $\geq 80\%$ até 43 dias após a aplicação, quando parou-se com a avaliação para escrita desta dissertação. Ciantraniliprole não atingiu 80% de mortalidade nas avaliações. O inseticida mostrou efeito de mortalidade ($\sim 28\%$) até os 22 dias e depois o efeito letal foi nulo (Figura 6).

Na Figura 7 pode-se observar que o tempo letal médio (i.e., tempo médio de morte) dos insetos expostos aos três inseticidas aumentou com o tempo após a aplicação, como indicado pela significância das curvas de regressão ($P < 0.05$). Até aos 8 dias, as brocas expostas a clorpirifós e bifentrina + carbosulfano levaram entre 8 e 12 h para morrer. A partir do 8º dia, notou-se uma mudança na rapidez para causar mortalidade pelos inseticidas. Bifentrina + carbosulfano apresentou aumento no tempo para morte das brocas mais brusco do que clorpirifós. Aos 64 dias após aplicação, bifentrina + carbosulfano causaram somente 30% de morte das brocas (Figura 6), que ocorreu entre 72 e 96 h (Figura 7). Até 43 dias após aplicação, clorpirifós ainda matava $\sim 80\%$ das brocas (Figura 6), com cerca de 96 h de

exposição (Figura 7). Ciantraniliprole apresentou tempos letais médios entre 72 e 96 h. Conforme passava o tempo após a aplicação, a rapidez para causar morte diminuiu até 96 h aos 36 dias, quando o efeito residual caiu bruscamente (Figura 7 e 6).

Observando os resultados nas Figuras 6 e 7, nota-se uma correlação negativa ($P < 0,05$) entre a taxa de mortalidade de *H. hampei* e o tempo que leva cada inseticida para matar as brocas. Isto é, à medida que passa o tempo após a aplicação (no campo) deve haver degradação do inseticida no ambiente, a qual parece ocorrer mais lentamente para clorpirifós do que para bifentrina + carbosulfano e ciantraniliprole.

3.4 Proteção dos frutos de café e efeito subletal dos inseticidas

Na Figura 8 estão as médias e erros padrões das notas de broqueamento (injúria) das brocas em frutos tratados e não-tratados com os inseticidas. A proteção dos frutos variou entre os inseticidas, havendo interação inseticida x tempo após a aplicação (ANOVA, $P < 0,05$). Nos frutos controle (não tratados) os valores das notas de colonização do fruto pela broca manteve constante no tempo ($y = 2.54 \pm 0.04$, $P > 0.05$). Com o passar dos dias após a aplicação do inseticida, as brocas penetraram mais profundamente nos frutos como indicado pelas diferentes curvas de aumento nos valores das notas de colonização dos frutos com clorpirifós, bifentrina + carbosulfano e ciantraniliprole ($P < 0.05$). Bifentrina + carbosulfano nos primeiros 8 dias mostrou maior proteção dos frutos, evitando o broqueamento pelos insetos (nota 1, broca não broqueou nem mesmo o exocarpo do fruto). Após 15 dias, a proteção decaiu gradualmente e mesmo aos 22 dias, quando a mortalidade já era $\leq 80\%$, ainda o inseticida mostrou certa proteção dos frutos em relação ao controle (Figura 8). Com clorpirifós, a proteção contra a injúria decaiu inicialmente até cerca de 15 dias e depois se manteve constante (nota 2, broca no mesocarpo, sem broquear a semente). Ciantraniliprole depois de algum tempo da aplicação mostrou um leve aumento na proteção dos frutos, nota < 2 no dia 4 após a aplicação, mas depois as notas 2 e 3 foram as mais recorrentes (Figura 8 e Tabela 4). Mesmo nos frutos não tratados as brocas penetraram até as sementes do café (nota 3), com poucas notas 4, possivelmente pela inadequada condição de umidade e matéria seca do fruto naquele estágio de desenvolvimento (fruto verde).

4 DISCUSSÃO

A resposta da broca do café aos três inseticidas tanto em laboratório como em campo, foi diferente, o que era esperado, devido às suas características toxicológicas. Além de serem de classes diferentes, com propriedades físico-químicas distintas, os inseticidas possuem distintos sítios de ação. Clorpirifós é um organofosforado, bifentrina e carbosulfano pertencem às classes dos piretroides e carbamatos, respectivamente, enquanto ciantraniliprole é uma diamida. Os primeiros agem no sistema nervoso central, inibindo a acetilcolinesterase nas sinapses (clorpirifós e carbamato) ou interferindo na abertura dos canais de Na^{2+} no axônio (bifentrina) (Casida and Durkin 2013, Sparks and Nauen 2015). Já as diamidas ligam-se aos receptores de rianodina nos músculos de alguns insetos, desordenando a liberação de Ca^{2+} do retículo sarcoplasmático, o que compromete a contração muscular (Cordova et al. 2006, Sattelle et al. 2008, Selby et al. 2013, Sparks and Nauen 2015, Troczka et al. 2017).

Assim, é possível deduzir o porquê os inseticidas terem apresentado diferenças na velocidade para matar as brocas. Clorpirifós e bifentrina + carbosulfano por agirem no sistema nervoso central causam rápido efeito letal. No caso de ciantraniliprole, o efeito é mais devagar por ação no sistema muscular, levando à paralização dos músculos com a mortalidade do inseto ocorrendo depois de algum tempo de exposição (Gonring et al. 2019). Isso pode explicar o maior tempo letal desse inseticida e as maiores notas de colonização (menor proteção) de frutos por *H. hampei*.

Os inseticidas clorpirifós e ciantraniliprole aplicadas em frutos e folhas mostraram diferencia na mortalidade das brocas quando expostas em estas estruturas, no caso de clorpirifós foi evidente um maior tempo para que ocorrerá a mortalidade total das brocas expostas em folhas que em frutos. Ciantraniliprole quando as brocas expostas com folhas tardo mais para matar as brocas, mas a principal diferencia foi que ocorreu o 100% da mortalidade das brocas, não assim para aqueles indivíduos que foram expostas ante frutos. De acordo com Gonring et al. (2019), Plata-Rueda et al. (2019), Plata-Rueda et al. (2019), brocas adultas expostas a inseticidas afeita tanto a locomoção como o comportamento, dificultando a troca de gás, indicando que a contaminação tarsal prejudica as brocas e induz a

morte, ocasionada quando as brocas caminha em substrato contaminado e pode inferir na ocorrência da morte dos insetos tratados, explicando porque brocas expostas ante folhas com inseticida ciantraniliprole ocasionou mortalidade total, já que as brocas tiveram mais contato com o inseticida, não assim para aquela expostas os frutos onde o tempo de contato com o inseticida foi menor já que a brocas conseguiam ingressar dentro da dos frutos.

Em campo, o período residual de clorpirifós foi maior que o de bifentrina + carbosulfano embora ambos inseticidas sejam potencialmente eficazes contra a broca. A causa do decaimento diferencial do efeito inseticida deve ser a dissipação (degradação) do composto no ambiente. Clorpirifós protegeu os frutos até 64 dias, mantendo-se níveis acima de 80% de mortalidade das brocas até os 43 dias. Bifentrina + carbosulfano apresentou uma eficiência de controle tão alta quanto clorpirifós, mas ela decaiu abaixo de 80% em menor tempo (22 dias). Ciantraniliprole não mostrou eficácia, menor que 50%, a qual decaiu ainda mais depois de 15 dias após a aplicação.

As variáveis climáticas podem afetar a estabilidade química dos inseticidas aplicados em campo (Dinardo-Miranda et al. 2004, Kattwinkel et al. 2011). Temperatura, pluviométrica, umidade relativa do ar e luminosidade podem interferir na degradação do composto no tempo (Fortunato et al. 2011, Kattwinkel et al. 2011, Granados and Zambolim 2019). Precipitações pluviométricas constantes e/ou de grande volume tendem a diminuir a residualidade dos praguicidas no campo (Arrué et al. 2014). Durante o experimento foi registrado altas precipitações (664 mm no período de avaliação) (Figura 9), porém, surpreendentemente, clorpirifós e bifentrina + carbosulfano apresentaram um maior período residual. Possivelmente, isso está relacionado à baixa solubilidade em água desses inseticidas e sua maior afinidade pela cutina (cera) na cutícula dos frutos. Os respectivos valores de Log Kow e solubilidade em água para os inseticidas são como segue: clorpirifós: 5,3 e 1,4 mg/L; bifentrina: 6,4 mg/L, e carbosulfano: 5,4 mg/L. Na literatura, inseticidas com valores Log Kow > 5 são considerados hidrofóbicos, o que é consistente com a tenacidade deles, mesmo com as chuvas ocorridas (Baskaran et al. 1999, Tariq et al. 2004, Junghans et al. 2006, Walker et al. 2012, Sparks and Nauen 2015, Sapkota et al. 2020).

No caso de ciantraniliprole (Log Kow 1,94-2,02), fortes precipitações pluviométricas após a sua aplicação pode ter afetado a estabilidade do composto no

campo (Arrué et al. 2014, Melo et al. 2015). Nos primeiros dias após a aplicação no campo houve chuvas constantes (Figura 9). Contudo, a mortalidade a campo nos primeiros 4 dias é consistente com os dados em laboratório. Isso indica que a baixa mortalidade está mais relacionada à limitada toxicidade da diamida para *H. hampei*, embora o alto volume de precipitação possa ter reduzido ainda mais sua letalidade devido à alta solubilidade do composto em água (Buchholz et al. 2015, Maloney et al. 2019). Em aplicação do inseticida no campo e imersão do fruto na calda inseticida, Gonring et al. (2019) obtiveram valores de CL₅₀ maiores do que a dose de campo recomendada, indicando baixa potência de ciantraniliprole contra *H. hampei*, consistente com os resultados aqui obtidos.

A temperatura é outro fator importante na estabilidade de compostos inseticidas no campo, Clorpirifós e bifentrina podem sofrer fotólise por luz solar quando expostos a comprimentos de onda > 295 e 290 nm, respectivamente. Foram registradas mudanças na temperatura (que são associadas a radiação ultravioleta) durante o experimento, sendo a temperatura média de 22.2 °C no período de avaliação (Figura 9). Clorpirifós e bifentrina + carbosulfano são inseticidas fotoestáveis, característica favorável a um efeito residual mais prolongado (Lu et al. 2017). Em geral, organofosforados são mais fotoestáveis que os piretroides (Getzin 1981, Miles et al. 1983, Nomura et al. 2008, Martínez Nieto et al. 2009, Ma et al. 2012, Al-Antary et al. 2014, Abbes et al. 2015, Hoffmann et al. 2016, Tariq et al. 2017). Além disso, a estabilidade do clorpirifós pode ser influenciada pelas ceras epicuticulares na superfície dos frutos, protegendo os eventuais subprodutos de transformação pela fotólise (Riccio et al. 2006).

Quanto aos resíduos da degradação de ciantraniliprole em campo, Dong et al. (2012) relataram que nos primeiros dias após a aplicação dos produtos detecta-se altos níveis do inseticida, mas após 7 dias a degradação ocorre rapidamente. Esses dados são consistentes com a aparente estabilidade de ciantraniliprole observada nos primeiros dias em campo e a evidente perda de letalidade após 15 dias. Além disso, sua limitada fotoestabilidade deve ser outro fator importante, sendo que parece haver degradação rápida da diamida sob exposição a fontes de luz (Sharma et al. 2014).

Nesse aspecto, a arquitetura das plantas de café pode também afetar residualidade dos inseticidas no campo por interferir na incidência da luz solar e no impacto das gotas de água das fortes chuvas. Neste trabalho os inseticidas foram

aplicados aos ramos das plantas a uma altura média em cafezal de 10-12 anos com adequado desenvolvimento foliar (Melo et al. 2015, Lu et al. 2017). Isso deve ter protegido da incidência de intensa luz solar e impacto direto das gotas de chuva nos frutos diminuindo a lavagem dos inseticidas aplicados aos frutos. Tudo isso somado à temperatura média de 22 °C e insolação durante o período de avaliação deve ter favorecido a estabilidade dos inseticidas no campo.

Foi medido o nível de proteção dos frutos de café das brocas possibilitado pela aplicação dos inseticidas. Utilizando a escala proposta por Camilo et al. (2003), nota-se uma diminuição gradual da proteção, representada pelo aumento no nível de injúria (colonização) nos frutos de café por *H. hampei*. Consistente com os dados de mortalidade, os inseticidas que possibilitam maior proteção dos frutos foram clorpirifós e bifentrina + carbosulfano. Isso obviamente se deve à rápida mortalidade dos insetos, rapidez de morte que diminuiu, como evidenciado pelo aumento no tempo médio de sobrevivência. No início da aplicação do inseticida, a rápida ocorrência da mortalidade das brocas possibilitou uma adequada proteção, porém essa diminuiu com o tempo após a aplicação, presumidamente porque a concentração do composto inseticida foi se degradando a ponto de o inseticida ser insuficiente para causar mortalidade das brocas pelo contato com o fruto antes de colonizá-lo, esse tempo de contato é de 2-7 h segundo Vega et al. (2015) e Gonring et al. (2019). Nesse tempo, inicialmente há forte efeito letal, mas com a possível degradação do inseticida no ambiente tende a haver efeitos subletais, os quais não foram aqui bem documentados. Por exemplo, é possível que os inseticidas afetem a mobilidade dos insetos no fruto e alterem o comportamento de alimentação, podendo ter consequências na taxa de crescimento populacional (Hannig et al. 2009, Saldalço 2013, Troczka et al. 2017, 2017, Tuelher et al. 2017, Plata-Rueda et al. 2019).

Apesar de ciantraniliprole não ter satisfatória taxa de mortalidade das brocas (maior ou igual a 80%), apresentou certa proteção nos frutos como evidenciado nas notas de colonização do fruto pela broca do café. Esse efeito deve ter ocorrido porque as diamidas, por serem veneno muscular em insetos, devem afetar o seu comportamento de locomoção e alimentação (Cordova et al. 2006, Nauen 2006, Lahm et al. 2009, Selby et al. 2013, Sparks and Nauen 2015, Troczka et al. 2017, Plata-Rueda et al. 2019). Tais efeitos devem ter reduzido o desempenho das brocas

na alimentação e construção de galeria no fruto de café, o que resultou em menor grau de injúria no fruto.

O Comitê Internacional de Prevenção à Resistência a Inseticidas, IRAC, (Sparks and Nauen 2015) tem alertado para alto risco de resistência aos inseticidas, em especial às diamidas. Nos últimos anos vem sendo reportados casos de resistência em muitos lepidópteros (Grávalos et al. 2015, Troczka et al. 2017), problema que inclui o bicho mineiro do café, e que em alguns caso está associado à destoxificação metabólica do inseticida. É possível que baixa eficiência de ciantraniliprole contra a broca do café se deva à tolerância do inseto por meio de mecanismo(s) bioquímico(s) (destoxificação metabólica), que inclusive pode(m) estar associado(s) a microrganismos simbiotes. Sabe-se que *H. hampei* tem uma microflora intestinal responsável pela quebra de cafeína (Ceja-Navarro et al. 2015, Vega, Brown, et al. 2015, Vega et al. 2017, Mariño et al. 2018). Essa microflora pode auxiliar os indivíduos na tolerância ao inseticida e a muitos outros, aos quais *H. hampei* não foi satisfatoriamente suscetível em particular as diamidas, já que os anéis aromáticos das diamidas podem ser substrato para peroxidases e fenoloxidasas (Vega, Brown, et al. 2015). Metilxantina N-desmetilase é outra enzima bacteriana que poderia desmetilar ciantraniliprole (Jeanguenat 2013, Steinbach et al. 2015, Vega, Brown, et al. 2015, Troczka et al. 2017).

Nos bioensaios, foi observado que alguns insetos tempo depois de adentrarem nos frutos estavam em estado de “nocaute”, imóveis. Após várias horas ou dias, algumas dessas brocas recuperam a mobilidade e colonizaram os frutos. Curiosamente, os insetos que antes de entrar nos frutos foram “mortos” (nocauteados e imobilizados) não conseguiram se recuperar, talvez porque o processo de destoxicação seja eficiente somente quando *H. hampei* se alimenta dentro das bagas de café. Além disso, é possível que alguns destes mecanismos atuem juntamente a outros mecanismos endógenos de destoxificação de clorogênicos e toxinas, por exemplo, por ação de carboxilesterases, citocromo P450, glutathione-S-transferases e cassetes de transportadores transmembranares dependentes de ATP (Vega et al. 2015) e também possam estar envolvidos na baixa toxicidade de ciantraniliprole na broca do café. Essa diversidade de processos enzimáticos pode auxiliar na destoxificação metabólica de outros inseticidas, o que deve ser levado em consideração no manejo de resistência aos poucos inseticidas

disponíveis que aqui foram identificados com potencialmente eficazes contra *H. hampei*.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Clorpirifós e bifentrina + carbosulfano são promissores para o controle de *H. hampei* dado que: 1) causam mortalidade $\geq 80\%$ das brocas, 2) protegem as sementes de café e 3) possuem período residual de 43 e 21 dias, respectivamente.

Aplicado sem espelhante adesivo, ciantraniliprole causa mortalidade inferior a 80%, não protege as sementes de café e apresenta efeitos letais detectáveis somente até 15 dias após a aplicação no campo. Portanto, esse inseticida não parece promissor para controle da broca do café. Para certificar dessa conclusão e considerando que o inseticida é solúvel em água, é recomendável testar se adição de adjuvantes na calda inseticida melhora ou não sua eficiência contra *H. hampei*.

Os métodos de bioensaio usando brocas do café do campo e com imersão do fruto de café na calda inseticida para acompanhar os efeitos são adequados por aproximar das condições de exposição ao inseticidas no campo.

Pesquisas recentes indicam uma provável amplificação ancestral de vários genes ligados a mecanismos de resistência a xenobióticos na broca do café. Isso significa que *H. hampei* deva possuir mecanismos para desenvolver resistência a inseticidas, que torna importante a disponibilidade de inseticidas eficientes e efetivos contra o inseto. O conhecimento do período residual é importante para conhecer por quanto tempo o inseticida mantém a efetividade de controle ou proteção dos frutos no campo ($\geq 80\%$) e exerce pressão de seleção para resistência na população da praga.

Diante da realidade das mudanças climáticas, com crescente aquecimento global e ocorrência de repentinas precipitações de grande intensidade, torna-se importante este tipo de trabalho, não só para melhor usar as ferramentas de controle de pragas, mas também para conhecer os efeitos intencionais e não-intencionais dos inseticidas no inseto-alvo sob as novas condições climáticas. Acredita-se que a complexidade do problema com artrópodes-pragas deva aumentar porque eles são geralmente beneficiados pelas mudanças climáticas. Eles tem capacidade de adaptar rapidamente às novas condições do ambiente, causando danos em escala considerável. Os insetos fitófagos nas plantas cultivadas tendem a melhor aproveitar

essas circunstâncias, resultando na ocorrência frequente de elevados níveis populacionais nas culturas (pela capacidade de rápido crescimento populacional, curto ciclo de vida e ampla variabilidade genética). Por tudo isso os inseticidas devem continuar sendo importante ferramenta no manejo integrado de pragas, sendo, portanto útil estudos sobre a eficácia e residualidade deles em pragas-chave na agricultura sob as condições climáticas atuais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbes, K., A. Biondi, A. Kurtulus, M. Ricupero, A. Russo, G. Siscaro, B. Chermiti, and L. Zappalà. 2015.** Combined non-Target effects of insecticide and high temperature on the parasitoid bracon nigricans. *PLoS One*. 10.
- Acuña, R., B. E. Padilla, C. P. Flórez-Ramos, J. D. Rubio, J. C. Herrera, P. Benavides, S. J. Lee, T. H. Yeats, A. N. Egan, J. J. Doyle, and J. K. C. Rose. 2012.** Adaptive horizontal transfer of a bacterial gene to an invasive insect pest of coffee. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109: 4197–4202.
- Al-Antary, T. M., M. M. Al-Dabbas, and A. M. Shaderma. 2014.** Effect of UV-radiation on methomyl, oxamyl and carbosulfan residues in tomato juice. *Fresenius Environ. Bull.* 23: 924–928.
- Araújo, T. A. d., M. C. Picanço, D. de O. Ferreira, J. N. D. Campos, L. de P. Arcanjo, and G. A. Silva. 2017.** Toxicity and residual effects of insecticides on *Ascia monuste* and predator *Solenopsis saevissima*. *Pest Manag. Sci.* 73: 2259–2266.
- Arrué, A., J. V. C. Guedes, L. Storck, A. Swarowsky, D. Cagliari, L. M. Burtet, and J. A. Arnemann. 2014.** Precipitação artificial após aplicação do inseticida clorantlaniliprole associado com adjuvante em plantas de soja. *Cienc. Rural.* 44: 2118–2123.
- Baker, P. 2014.** Global Coffee Production and Land Use Change. *ICO World Coffee Conf.* 1–4.
- Baskaran, S., R. S. Kookana, and R. Naidu. 1999.** Degradation of bifenthrin, chlorpyrifos and imidacloprid in soil and bedding materials at termiticidal application rates. *Pestic. Sci.* 55: 1222–1228.
- Buchholz, A., A. C. O’Sullivan, and S. Trapp. 2015.** What makes a good compound against sucking pests?, pp. 93–109. *In ACS Symp. Ser. American Chemical Society.*
- Bunn, C., P. Läderach, O. Ovalle Rivera, and D. Kirschke. 2015.** A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Clim. Change.* 129: 89–101.
- C.H. Walker, R.M. Sibly, S.P. Hopkin, D. B. P. 2012.** Principles of Ecotoxicology, Fourth Edition. CRC Press. (<https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=szTGbnooH7QC&oi=fnd&pg=PP1&dq=PRINCIPLES+OF+ECOTOXICOLOGY&ots=E7GZrtfBid&sig=jdBBCPUFoGF1mKRQ4jGzJhe4QM#v=onepage&q=PRINCIPLES+OF+ECOTOXICOLOGY&f=false>).
- Camilo, J., F. Olivares, and H. Jiménez. 2003.** Fenología de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) durante el desarrollo del fruto. *Agron. Mesoam.* 14: 59–63.
- Casida, J. E., and K. A. Durkin. 2013.** Neuroactive Insecticides: Targets, Selectivity, Resistance, and Secondary Effects. *Annu. Rev. Entomol.* 58: 99–117.
- Ceja-Navarro, J. A., F. E. Vega, U. Karaoz, Z. Hao, S. Jenkins, H. C. Lim, P. Kosina, F. Infante, T. R. Northen, and E. L. Brodie. 2015.** Gut microbiota mediate caffeine detoxification in the primary insect pest of coffee. *Nat. Commun.* 6.
- Celestino, F., D. Pratissoli, L. Machado, H. Santos Junior, L. Mardgan, and L. Ribeiro. 2016.** Adaptação de técnicas de criação da broca-do-café [*Hypothenemus hampei* (Ferrari)]. 130: 161–168.
- Chediak, M., G. A. Silva, É. Marques, M. C. Picanço, and P. Costa. n.d.** VI

- Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil BIOECOLOGIA DA BROCA DO CAFÉ *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) BIOECOLOGY OF THE COFFEE BERRY BORER *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). VI Simpósio de Pesquisa.
- Chu, Y.-F. 2020.** Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention - Google Livros. (<https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=y0qA89vCr3MC&oi=fnd&pg=PT17&dq=Coffee:+emerging+health+effects+and+disease+prevention&ots=pyKPOplsG8&sig=vZv2fUV4mUuQcYLvcsmbwhFQNno#v=onepage&q=Coffee%3A+emerging+health+effects+and+disease+prevention&f=f>).
- Constantino, L. M., L. Navarro, A. Berrio, F. E. Acevedo, D. Rubio, and P. Benavides. 2011.** Aspectos biológicos, morfológicos y genéticos de *Hypothenemus obscurus* e *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Rev. Colomb. Entomol. 37: 173–182.
- Cordova, D., E. A. Benner, M. D. Sacher, J. J. Rauh, J. S. Sopa, G. P. Lahm, T. P. Selby, T. M. Stevenson, L. Flexner, S. Gutteridge, D. F. Rhoades, L. Wu, R. M. Smith, and Y. Tao. 2006.** Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. Pestic. Biochem. Physiol. 84: 196–214.
- Damon, A. 2000.** A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bull. Entomol. Res. 90: 453–465.
- Dinardo-Miranda, L. L., Á. L. Coelho, and J. M. G. Ferreira. 2004.** Influência da época de aplicação de inseticidas no controle de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae), na qualidade e na produtividade da cana-de-açúcar. Neotrop. Entomol. 33: 91–98.
- Dong, F., X. Liu, J. Xu, J. Li, Y. Li, W. Shan, W. Song, and Y. Zheng. 2012.** Determination of cyantraniliprole and its major metabolite residues in vegetable and soil using ultra-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry. Biomed. Chromatogr. 26: 377–383.
- Filipe dos Santos, C. A., A. E. Leitão, I. P. Pais, F. C. Lidon, and J. C. Ramalho. 2015.** Perspectives on the potential impacts of climate changes on coffee plant and bean quality. Emirates J. Food Agric. 27: 152–163.
- Fortunato, R. P., P. E. Degrande, and P. R. B. da Fonseca. 2011.** Chuva simulada sobre ação inseticida flonicamid no controle do pulgão do algodoeiro. Acta Sci. - Agron. 33: 603–606.
- Getzin, L. W. 1981.** Degradation of Chlorpyrifos in Soil: Influence of Autoclaving, Soil Moisture, and Temperature. J. Econ. Entomol. 74: 158–162.
- Gonring, A. H. R., F. M. de A. Silva, E. da Cruz M. Picelli, R. A. Plata-Rueda, J. E. R. Gorri, and F. L. Fernandes. 2019.** Comparative bioassay methods to determine diamide susceptibility for two coffee pests. Crop Prot. 121: 34–38.
- Granados, E., and L. Zambolim. 2019.** Drying Time of Systemic and Protectant Fungicides on Coffee Leaves Exposed to Artificial Rain for the Control of Leaf Rust. J. Agric. Sci. 11: 329.
- Grávalos, C., E. Fernández, A. Belando, I. Moreno, C. Ros, and P. Bielza. 2015.** Cross-resistance and baseline susceptibility of Mediterranean strains of *Bemisia tabaci* to cyantraniliprole. Pest Manag. Sci. 71: 1030–1036.
- Hannig, G. T., M. Ziegler, and G. M. Paula. 2009.** Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct chemical classes and mode-of-action groups. Pest

- Manag. Sci. 65: 969–974.
- Hirose, E., and P. M. O. J. Neves. 2002.** Técnica para criação e manutenção da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), em laboratório. Neotrop. Entomol. 31: 161–164.
- Hoffmann, K. C., L. Deanovic, I. Werner, M. Stillway, S. Fong, and S. Teh. 2016.** An analysis of lethal and sublethal interactions among type I and type II pyrethroid pesticide mixtures using standard *Hyaella azteca* water column toxicity tests. Environ. Toxicol. Chem. 35: 2542–2549.
- Infante, F. 2018a.** Pest Management Strategies Against the Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). J. Agric. Food Chem. 66: 5275–5280.
- Infante, F. 2018b.** Pest Management Strategies Against the Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). J. Agric. Food Chem. 66: 5275–5280.
- Jaramillo, J., E. Muchugu, F. E. Vega, A. Davis, C. Borgemeister, and A. Chabi-Olaye. 2011.** Some like it hot: The influence and implications of climate change on coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and coffee production in East Africa. PLoS One. 6.
- Jeanguenat, A. 2013.** The story of a new insecticidal chemistry class: The diamides. Pest Manag. Sci.
- Jezeer, R. E., P. A. Verweij, M. J. Santos, and R. G. A. Boot. 2017.** Shaded Coffee and Cocoa – Double Dividend for Biodiversity and Small-scale Farmers. Ecol. Econ.
- Junghans, M., T. Backhaus, M. Faust, M. Scholze, and L. H. Grimme. 2006.** Application and validation of approaches for the predictive hazard assessment of realistic pesticide mixtures. Aquat. Toxicol. 76: 93–110.
- Kattwinkel, M., K. Jan-Valentin, K. Foit, and M. Liess. 2011.** Climate change, agricultural insecticide exposure, and risk for freshwater communities. Ecol. Appl. 21: 2068–2081.
- Lahm, G. P., D. Cordova, and J. D. Barry. 2009.** New and selective ryanodine receptor activators for insect control. Bioorganic Med. Chem. 17: 4127–4133.
- Lu, Z., N. Fang, Y. Liu, Z. Zhang, H. Pan, Z. Hou, Y. Li, and Z. Lu. 2017.** Dissipation and residues of the diamide insecticide chlorantraniliprole in ginseng ecosystems under different cultivation environments. Environ. Monit. Assess. 189: 1–10.
- Ma, Y., Z. Gao, Z. Dang, Y. Li, and W. Pan. 2012.** Effect of temperature on the toxicity of several insecticides to *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae). J. Pestic. Sci. 37: 135–139.
- Maloney, E. M., H. Sykes, C. Morrissey, K. M. Peru, J. V. Headley, and K. Liber. 2019.** Comparing the Acute Toxicity of Imidacloprid with Alternative Systemic Insecticides in the Aquatic Insect *Chironomus dilutus*. Environ. Toxicol. Chem. 39: 587–594.
- Mariño, Y. A., O. E. Ospina, J. C. Verle Rodrigues, and P. Bayman. 2018.** High diversity and variability in the bacterial microbiota of the coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae), with emphasis on *Wolbachia*. J. Appl. Microbiol. 125: 528–543.
- Martínez Nieto, L., G. Hodaifa, S. R. Vives, J. A. G. Casares, and M. S. Casanova. 2009.** Photodegradation of phytosanitary molecules present in virgin olive oil. J. Photochem. Photobiol. A Chem. 203: 1–6.
- Matiello, J. B., R. Santinato, A. W. R. García, S. R. Almeida, and D. R. Fernandes. 2005.** Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendacoes.
- Melo, A. A., J. Usano-Aleman, J. V. C. Guedes, and M. Hunsche. 2015.** Impact

- of tank-mix adjuvants on deposit formation, cuticular penetration and rain-induced removal of chlorantraniliprole. *Crop Prot.* 78: 253–262.
- Miles, J. R. W., C. R. Harris, and C. M. Tu. 1983.** Influence of temperature on the persistence of chlorpyrifos and chlorfenvinphos in sterile and natural mineral and organic soils. *J. Environ. Sci. Heal. Part B.* 18: 705–712.
- Nauen, R. 2006.** Insecticide mode of action: Return of the ryanodine receptor. *Pest Manag. Sci.*
- Nomura, D. K., J. L. Blankman, G. M. Simon, K. Fujioka, R. S. Issa, A. M. Ward, B. F. Cravatt, and J. E. Casida. 2008.** Activation of the endocannabinoid system by organophosphorus nerve agents. *Nat. Chem. Biol.* 4: 373–378.
- Pé Rez, J., F. Infante, and F. E. Vega. 2015.** A Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Bibliography. *J. Insect Sci.* 15: 83.
- Plata-Rueda, A., L. C. Martínez, N. C. R. Costa, J. C. Zanuncio, M. E. de Sena Fernandes, J. E. Serrão, R. N. C. Guedes, and F. L. Fernandes. 2019.** Chlorantraniliprole-mediated effects on survival, walking abilities, and respiration in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 172: 53–58.
- Plata-Rueda, A., L. C. Martínez, B. K. R. Da Silva, J. C. Zanuncio, M. E. de S. Fernandes, R. N. C. Guedes, and F. L. Fernandes. 2019.** Exposure to cyantraniliprole causes mortality and disturbs behavioral and respiratory responses in the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Pest Manag. Sci.* 75: 2236–2241.
- Ribeyre, F., and J. Avelino. 2012.** Impact of field pests and diseases on coffee quality. *Spec. coffee Manag. Qual.* 151–176.
- Riccio, R., M. Trevisan, and E. Capri. 2006.** Effect of surface waxes on the persistence of chlorpyrifos-methyl in apples, strawberries and grapefruits. *Food Addit. Contam.* 23: 683–692.
- Romero, J. V., and G. Hernando Alfonso Cortina. 2007.** Tablas de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) sobre tres introducciones de café. *Rev. Colomb. Entomol.* 33: 10–16.
- Saldalgo, V. 2013.** BASF Insecticide mode of action technical training manual.
- Sattelle, D. B., D. Cordova, and T. R. Cheek. 2008.** Insect ryanodine receptors: Molecular targets for novel pest control chemicals. *Invertebr. Neurosci.*
- Selby, T. P., G. P. Lahm, T. M. Stevenson, K. A. Hughes, D. Cordova, I. B. Annan, J. D. Barry, E. A. Benner, M. J. Currie, and T. F. Pahutski. 2013.** Discovery of cyantraniliprole, a potent and selective anthranilic diamide ryanodine receptor activator with cross-spectrum insecticidal activity. *Bioorganic Med. Chem. Lett.* 23: 6341–6345.
- Sharma, A. K., W. T. Zimmerman, S. K. Singles, K. Malekani, S. Swain, D. Ryan, G. McQuorcodale, and L. Wardrope. 2014.** Photolysis of chlorantraniliprole and cyantraniliprole in water and soil: Verification of degradation pathways via kinetics modeling. *J. Agric. Food Chem.* 62: 6577–6584.
- Silva, W. D., C. M. Costa, and J. M. S. Bento. 2014.** How Old are Colonizing *Hypothenemus hampei* (Ferrari) Females When They Leave the Native Coffee Fruit? *J. Insect Behav.* 27: 729–735.
- Sparks, T. C., and R. Nauen. 2015.** IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pestic. Biochem. Physiol.* 121: 122–128.
- Steinbach, D., O. Gutbrod, P. Lümmer, S. Matthiesen, C. Schorn, and R. Nauen. 2015.** Geographic spread, genetics and functional characteristics of ryanodine receptor based target-site resistance to diamide insecticides in diamondback

- moth, *Plutella xylostella*. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 63: 14–22.
- Tariq †, M. I., S. Afzal ‡, and I. Hussain. 2004.** Adsorption of pesticides by salorthids and camborthids of Punjab, Pakistan. *Toxicol. Environ. Chem.* 86: 247–264.
- Tariq, S. R., D. Ahmed, A. Farooq, S. Rasheed, and M. Mansoor. 2017.** Photodegradation of bifenthrin and deltamethrin—effect of copper amendment and solvent system. *Environ. Monit. Assess.* 189: 1–9.
- Troczka, B. J., M. S. Williamson, L. M. Field, and T. G. E. Davies. 2017.** Rapid selection for resistance to diamide insecticides in *Plutella xylostella* via specific amino acid polymorphisms in the ryanodine receptor. *Neurotoxicology.* 60: 224–233.
- Tuelher, E. S., É. H. da Silva, H. L. Freitas, F. A. Namorato, J. E. Serrão, R. N. C. Guedes, and E. E. Oliveira. 2017.** Chlorantraniliprole-mediated toxicity and changes in sexual fitness of the Neotropical brown stink bug *Euschistus heros*. *J. Pest Sci.* (2004). 90: 397–405.
- Vega, F. E., S. M. Brown, H. Chen, E. Shen, M. B. Nair, J. A. Ceja-Navarro, E. L. Brodie, F. Infante, P. F. Dowd, and A. Pain. 2015.** Draft genome of the most devastating insect pest of coffee worldwide: The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Sci. Rep.* 5: 1–17.
- Vega, F. E., F. Infante, and A. J. Johnson. 2015.** The Genus *Hypothenemus*, with Emphasis on *H. hampei*, the Coffee Berry Borer, pp. 427–494. *In* *Bark Beetles Biol. Ecol. Nativ. Invasive Species*. Elsevier Inc.
- Vega, F. E., A. Simpkins, M. M. Rodríguez-Soto, F. Infante, and P. H. W. Biedermann. 2017.** Artificial diet sandwich reveals subsocial behaviour in the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *J. Appl. Entomol.* 141: 470–476.
- Watts, C. 2016.** The Climate Institute. Australas. Park. Leis. 18: 25.

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Informações dos inseticidas utilizados na pesquisa com a broca do café (*Hypothenemus hampei*).

Inseticida (Grupo Químico)	Nome Comercial	Empresa Fornecedora	Formulação	Dosagem Prod. Com. (mL/ha)	Dosagem Ing. Ativo (g/ha)	Volume de calda (L/ha)
Ciantraniliprole (antranilamida)	Benevia	FMC Química do Brasil	Susp. Conc. em óleo	1500	150	400 - 500
Clorpirifós (organofosforado)	Pirinex 480 BR	Dow Agrosiences	Concentrado emulsionável	1500	720	100 - 300
Bifentrina (piretroide) + carbosulfan (carbamato)	Talisman	FMC Química do Brasil	Concentrado emulsionável	1000	50 + 150	250 - 350

Fonte: Base de dados do AGROFIT — Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil.

Tabela 2. Tempo médio de sobrevivência (i.e., média de tempo de exposição dos indivíduos ao morrerem) da broca do café *Hypothenemus hampei* expostas a três inseticidas.

Inseticida	Tempo médio de sobrevivência (h)	
	Fruto	Folha
Clorpirifós	4	2
Bifentrina+carbosulfano	4	2
Ciantraniliprole	12	48

Tabela 3. Estimativas dos coeficientes das equações de regressão que descrevem a mortalidade da broca do café (*Hypothenemus hampei*) pelos inseticidas ao longo do tempo após a aplicação.

	Bifentrina + carbosulfan		Clorpirifós		Ciantraniliprole	
Equação/	$y = y_0 + a/1 + (x/x_0)^b$		$y = a/1 + (x/x_0)^b$		$y = a/1 + (x/x_0)^b$	
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Estimativa	Erro padrão	Estimativa	Erro padrão
<i>a</i>	71.34	6.79	91.68	2.05	27.69	2.37
<i>b</i>	-4.94	1.81	1.75	0.81	-1.92	1.83
<i>x</i> ₀	24.56	1.95	123.36	51.30	24.15	2.55
<i>y</i> ₀	20.47	4.82	n/a	n/a	n/a	n/a

Tabela 4. Distribuição percentual das notas de penetração das brocas do café (*Hypothenemus hampei*) em frutos tratados com inseticida para comparação com o grupo controle nos diferentes tempos após a aplicação.

Porcentagem de indivíduos na categoria escalar de penetração no fruto de café (nota de 1 a 4)*																
Tempo após a aplicação (dia)	Controle (Testemunha)				Clorpirifós				Bifentrina + Carbosulfan				Ciantraniliprole			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0	10	44	40	6	36	64	0	0	84	16	0	0	12	50	38	0
1	12	42	42	4	36	64	0	0	94	6	0	0	20	36	44	0
2	2	44	50	4	22	78	0	0	80	20	0	0	24	34	42	0
3	2	36	60	2	28	72	0	0	58	42	0	0	20	36	44	0
4	4	20	76	0	20	80	0	0	76	24	0	0	40	34	26	0
8	2	40	58	0	8	92	0	0	56	44	0	0	12	44	44	0
15	8	16	74	2	14	68	18	0	44	38	18	0	22	46	32	0
22	6	30	64	0	32	26	42	0	62	18	20	0	8	42	50	0
29	0	18	82	0	24	64	12	0	34	24	42	0	0	32	68	0
36	2	32	64	2	16	48	36	0	10	30	58	2	8	52	38	2
43	6	48	46	0	16	72	12	0	12	34	54	0				
50	4	52	44	0	8	78	14	0	10	52	38	0				
57	2	50	48	0	10	86	4	0	10	46	44	0				
64	6	58	36	0	8	64	24	4	8	48	36	8				

*Os notas correspondem ao estágio (sequência) de colonização do fruto como segue (ver Figura 3): 1) broca iniciando a perfuração do exocarpo, 2) broca no canal de penetração ainda no exocarpo, 3) broca dentro da galeria já na semente, e 4) broca no interior da semente com sua descendência.

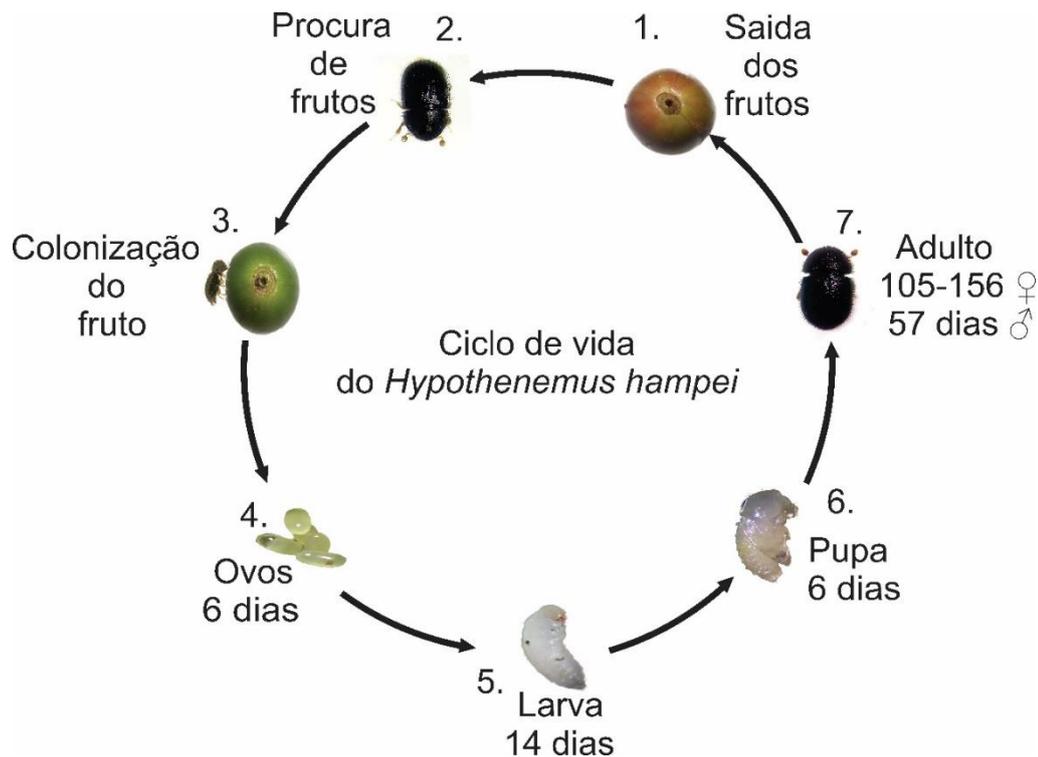


Figura 1. Esquema do ciclo de vida da broca do café (*Hypothenemus hampei*). 1) A fêmea adulta e grávida sai do fruto da safra anterior que caiu no solo ou permaneceu no ramo das plantas. 2) A fêmea procura novo fruto verde sadio para iniciar a colonização. 3) No fruto selecionado, ela se alimenta na galeria feita no mesocarpo até que o fruto apresente cerca de 20% de matéria seca e 40% de humidade. 4) Nessa condição, a fêmea perfura as sementes onde coloca ovos 10-12 ovos em massa, que após 6 dias eclodem e permanece sob cuidado da fêmea fundadora. 5) As larvas alimenta-se da semente e em 14 dias se transformam em pupas. 6) Essas em 6 dias tornam-se adultos em uma razão sexual de cerca de 10 fêmeas para 1 macho, que acasalam-se dentro do fruto. 7) As fêmeas quando em condições ambientais favoráveis, saem para colonizar e iniciar o ciclo novamente, que em média dura de 27 a 30 dias. Fonte: Damon 2001, Camilo et al. 2013, Souza et al. 2014, Vega et al. 2015).

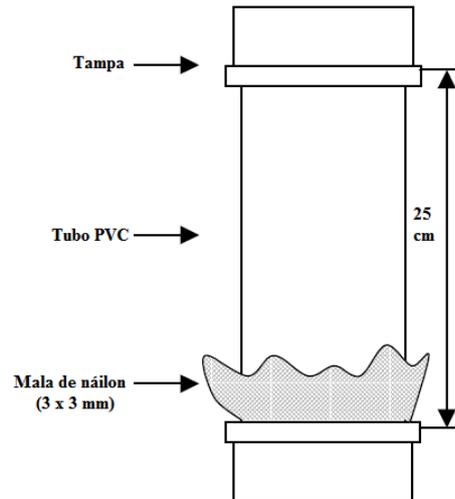


Figura 2. Desenho esquemático do recipiente de criação da broca *Hypothenemus hampei* em frutos de café. Fonte: Hirose & Neves (2002).



Figura 3. Ilustração da escala usada para classificação da colonização ou injúria da broca *Hypothenemus hampei* no fruto de café. 1) broca iniciando a perfuração do exocarpo, 2) broca no canal de penetração ainda no exocarpo, 3) broca dentro da galeria já na semente, e 4) broca no interior da semente com sua descendência. Fonte: adaptada de Camilo et al. (2003).

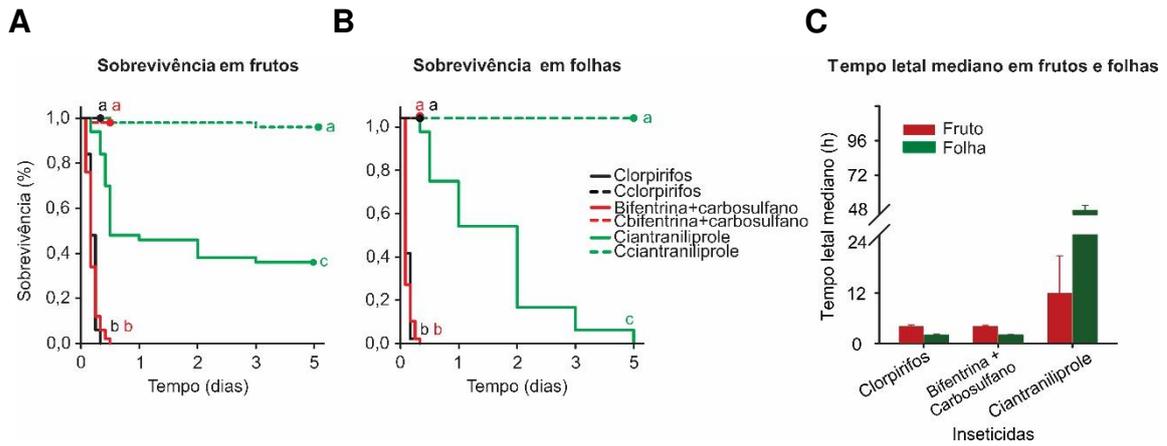


Figura 4. Curva de mortalidade e tempo letal para brocas do café (*Hypothenemus hampei*) expostas a inseticidas em frutos e folhas de café arábica no laboratório. Os frutos ou folhas foram tratados com inseticida na dose de campo recomendada. A mortalidade foi avaliada nos tempos de 1, 3, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 h de exposição ao inseticida. Linhas tracejadas representam a mortalidade do grupo controle, e as linhas contínuas, a mortalidade pelo inseticida. Curvas ou colunas com a mesma letra não são diferentes pelo teste *Holm-Sidak* ou *t* ($P > 0,05$).

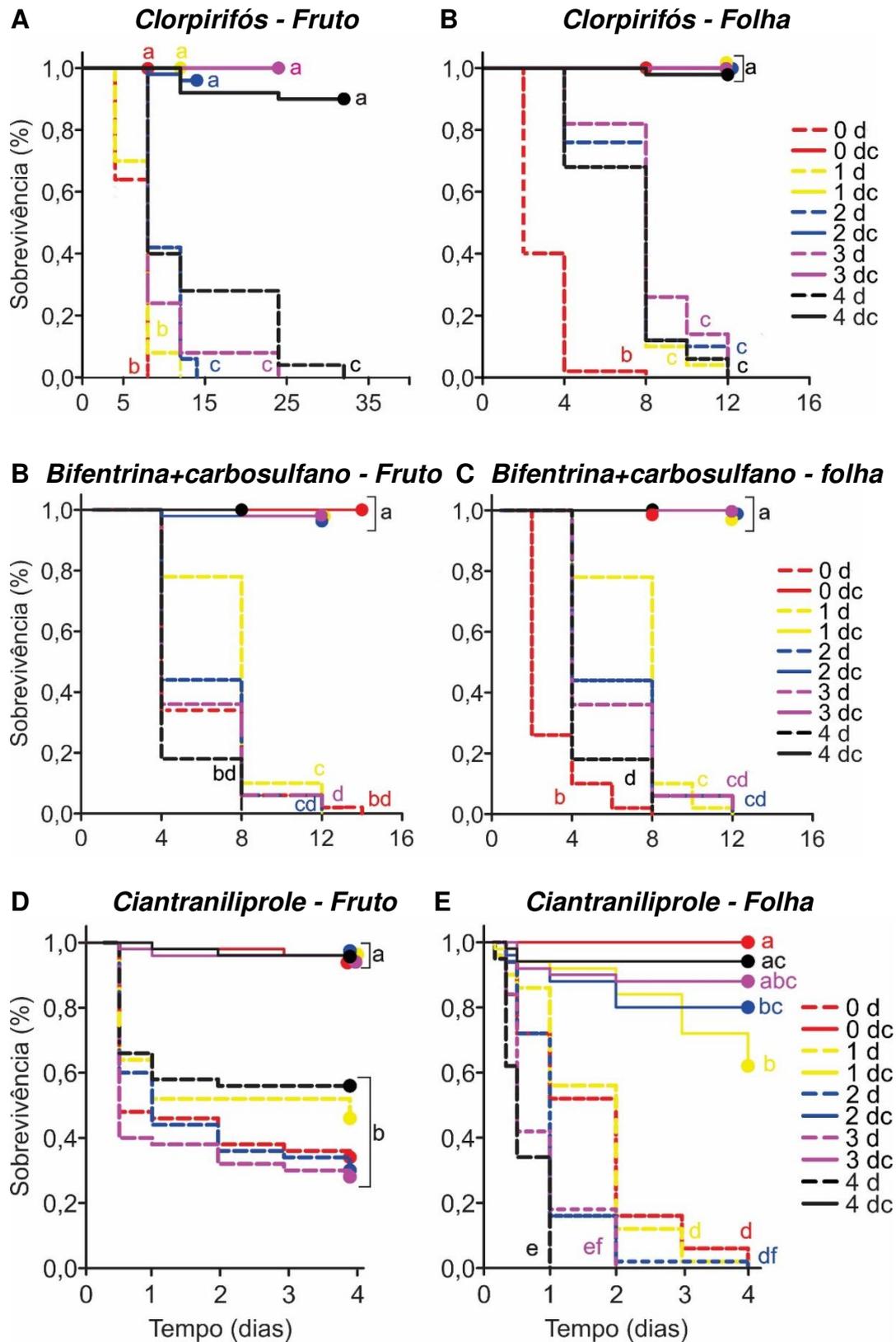


Figura 5. Dinâmica de mortalidade da broca do café (*Hypothenemus hampei*) de 1 a 4 dias após aplicação de inseticidas em frutos e folhas de café. A-B) Clorpirifós. B-C) Bifentrina + carbosulfano. D-E) Ciantraniliprole. Curvas com a mesma letra não são diferentes pelo teste de Holm-Sidak ($P > 0,05$). Na legenda: d, dia; c, controle.

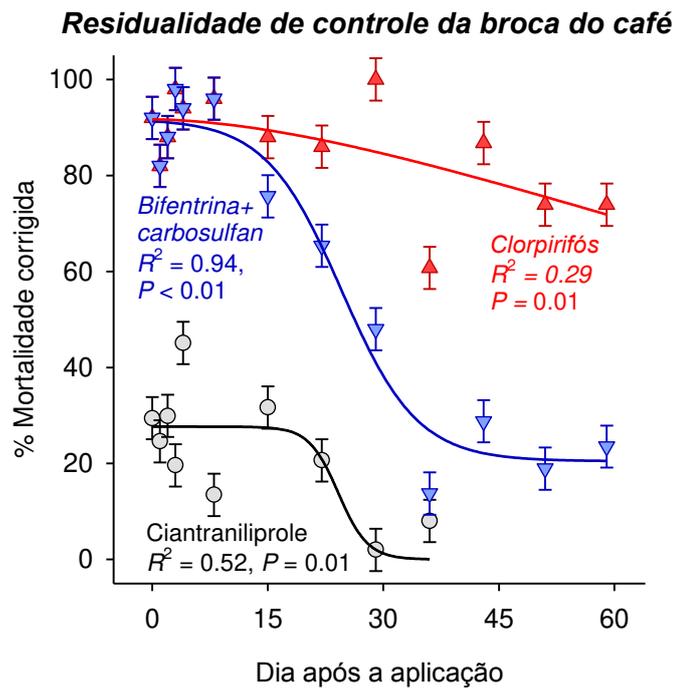


Figura 6. Período residual de três inseticidas na mortalidade da broca do café (*Hypothenemus hampei*). Os inseticidas foram aplicados via pulverização nas plantas com frutos de café no campo. Os dados são médias e erros padrões da mortalidade do inseto com 96 h de exposição aos frutos tratados. As curvas de regressão (Tabela 3) descrevem a dinâmica de mortalidade ao longo do tempo após a aplicação.

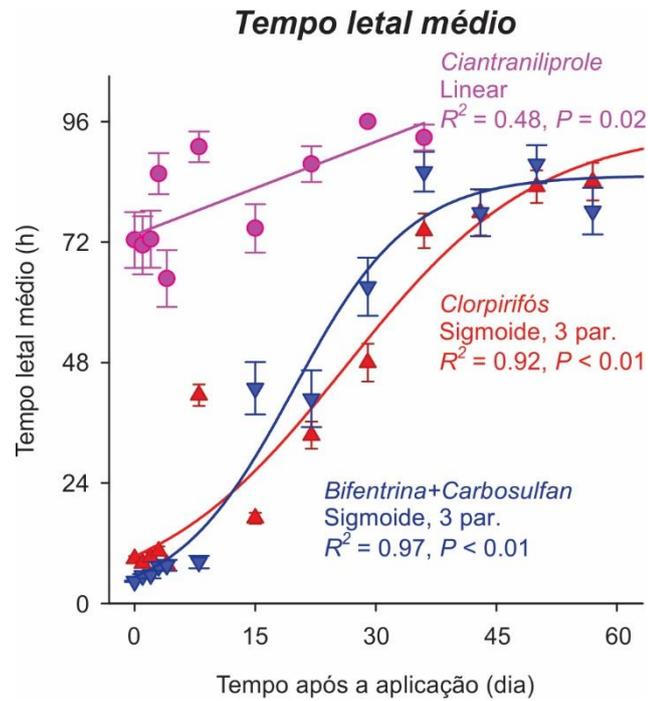


Figura 7. Dinâmica do tempo médio de sobrevivência da broca do café (*Hypothenemus hampei*) exposta a três inseticidas aplicados via pulverização no campo. Os dados são médias e erros padrões do tempo de sobrevivência da broca quando exposta aos frutos tratados. As curvas de regressão descrevem a dinâmica da variável ao longo do tempo após a aplicação.

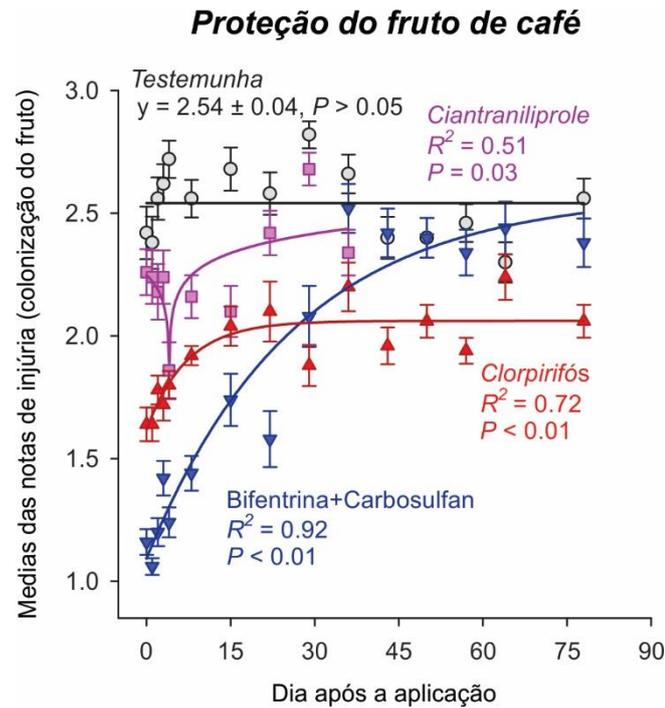


Figura 8. Proteção de frutos de café contra a broca (*Hypothenemus hampei*) por três inseticidas comparada a frutos não tratados (testemunha). Os dados são médias e erros padrões de notas de injúria (estágios de colonização do fruto de café), como se segue: nota ou estágio 1: a broca não broqueou o fruto (morreu sem broquear); 2: ela broqueou o exocarpo do fruto mas não a semente; 3: broqueou a semente, e 4: broqueou e colocou ovos na semente. As curvas de regressão descrevem a tendência de proteção dos frutos ao longo do tempo após a aplicação do inseticida nas plantas de café no campo.

Precipitação e temperatura dos meses após da aplicação dos inseticidas

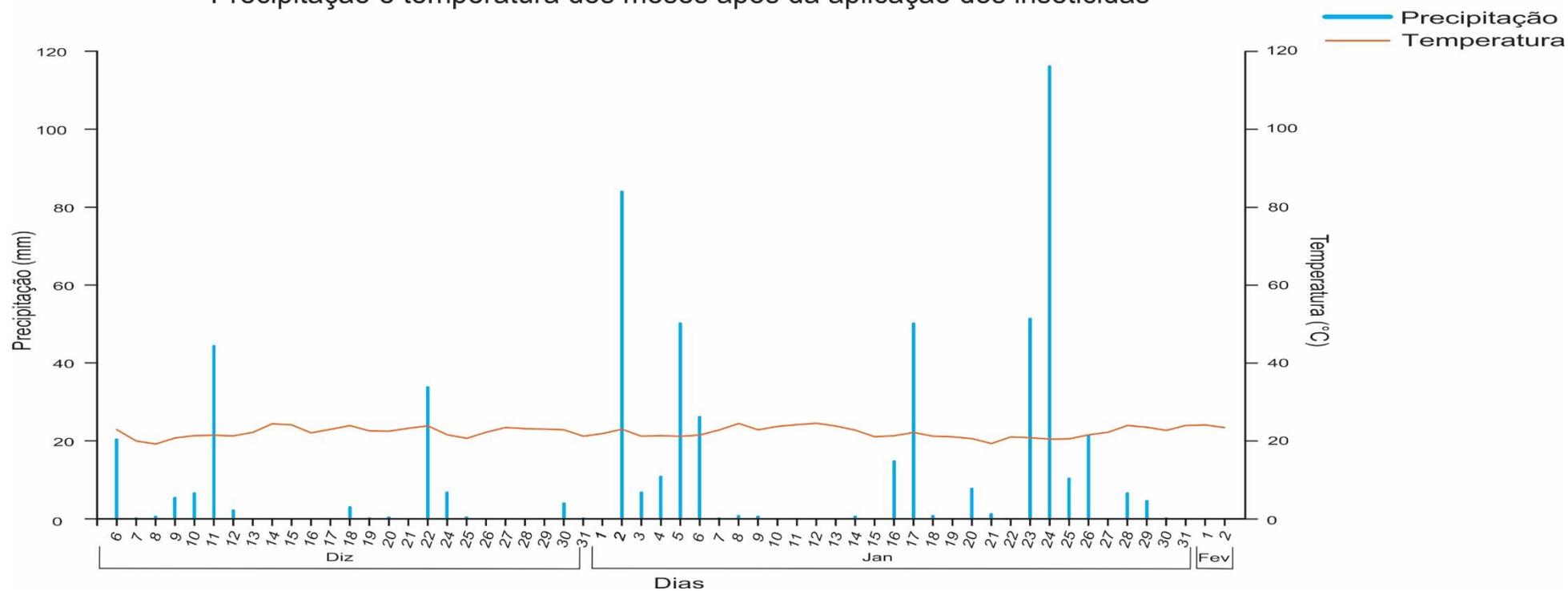


Figura 9. Dados de precipitação (mm) e temperatura (°C) nos meses de avaliação da residualidade dos inseticidas em campo (dezembro 2019 – fevereiro 2020).