



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO DE PLANTAS
RIO LARGO, ALAGOAS

Jutahy Jorge Elias

**Voláteis da bananeira com efeitos adjuvantes ao feromônio de agregação sintético
Sordidina para manejo e controle de *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera:
Curculionidae)**

Rio Largo, Alagoas

2024

Jutahy Jorge Elias

**Voláteis da bananeira com efeitos adjuvantes ao feromônio de agregação sintético
Sordidina para manejo e controle de *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera:
Curculionidae)**

Trabalho de Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do grau de Doutor em Proteção de Plantas

Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Goulart

Rio Largo, Alagoas

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana
CRB - 1512

E42v Elias, Jutahy Jorge.

Voláteis da bananeira com efeitos adjunvantes ao feromônio de agregação sintético Sordidina para manejo e controle de *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae). / Jutahy Jorge Elias. – 2024.

68 f.: il.

Orientador (a): Henrique Fonseca Goulart.

Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2024.

Inclui Bibliografia

1. *Musa* spp. 2. Controle Comportamental. 3. Semioquímicos. 4. Molecula-bananeira.

CDU:634.773

Jutahy Jorge Elias

**Voláteis da bananeira com efeitos adjuvantes ao feromônio de agregação sintético
Sordidina para manejo e controle de *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera:
Curculionidae)**

Trabalho de Tese apresentado ao Programa de Pós-
Graduação em Proteção de Plantas da Universidade
Federal de Alagoas como requisito para obtenção do
grau de Doutor em Proteção de Plantas

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Goulart
CECA-UFAL

Examinador Interno: Prof. Dr. Antônio Euzébio Goulart Santana
CECA-UFAL

Examinador Externo: Prof. Dra. Jakeline Maria dos Santos
UFAL

Examinador Externo: Prof. Dr. Vanderson Barbosa Bernardo
IQB-UFAL

Rio Largo, Alagoas

2024

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tenho e quem sou !!!

Aos meus pais Francisca Euda e Zé Raimundo por todo amor, carinho e dedicação em mim investidos, no qual sempre acreditaram e confiaram em mim durante todos esses anos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da UFAL pela oportunidade de aprendizagem e formação.

Ao LPqRN e ao CECA/UFAL pela infraestrutura disponibilizada para a realização e condução da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Henrique Fonseca Goulart por sua orientação dedicação e ensinamentos tão valiosos, inclusive os “puxões de orelha”, para a concretização deste trabalho de pesquisa e para minha formação profissional.

Aos meus amigos que fiz durante minha vida, que carrego comigo sempre no coração, por estarem sempre junto comigo nos melhores e piores momentos, aos que me consideram como tal, ficam aqui homenageados.

Aos meus amigos que fiz nesta jornada, por toda contribuição direta ou indiretamente em minha vida acadêmica, a vocês sou muito grato.

Com certeza também agradeço àquelas pessoas que saíram da minha vida, mas que sempre estarão comigo na mente e no coração e também aquelas pessoas que estão chegando.

Dedico também aos demais familiares, minhas avós, irmãs, sobrinhos, afilhada, tios e tias, primos, primas e a minha namorada.

MEU MUITO OBRIGADO!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Headspace dinâmico de 100g de pseudocaule de bananeira no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas.....	29
Figura 2. Cromatograma comparativo de extrato de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira fresco (A); fermentado durante 15 dias (B), e fermentado durante 30 dias (C). *Numeração dos compostos a partir do tempo de retenção.	32
Figura 3. Resposta comportamental de fêmeas (n=40) e machos (n=40) de <i>Cosmopolites sordidus</i> para extrato de Pseudocaule Fresco (A); pseudocaule fermentado por 15 dias (B); e pseudocaule fermentado por 30 dias (C), em olfatômetro do tipo Y de dupla escolha.....	34
Figura 4. Resposta eletroantenográfica de fêmea de <i>Cosmopolites sordidus</i> para os compostos do extrato de pseudocaule de bananeira fresco (A) e extrato de pseudocaule de bananeira fermentado por 15 dias (B). (↓) Indicação da resposta com pico do composto correspondente. (Coluna RTX-05; 5=(Z)- β -ocimeno; 17= tetradecanal).....	35
Figura 5. Resposta eletroantenográfica de fêmea de <i>Cosmopolites sordidus</i> para o teaspirano.	36
Figura 6. Resposta comportamental de fêmeas (n=20) e machos (n=20) de <i>Cosmopolites sordidus</i> para os compostos teaspirano (A); (Z)- β -ocimeno (B); e tetradecanal (C), em olfatômetro do tipo Y de dupla escolha.....	37
Figura 7. Resposta comportamental de fêmeas (n=20) e machos (n=20) de <i>Cosmopolites sordidus</i> para a mistura dos padrões definidas como: mistura 1 = teaspirano+tetradecanal (A); mistura 2 = teaspirano+(z)- β -ocimeno (B); mistura 3 = (z)- β -ocimeno+tetradecanal (C); mistura 4 = teaspirano+tetradecanal+(z)- β -ocimeno (D), em olfatômetro do tipo Y de dupla escolha.	38
Figura 8. Olfatômetro de múltipla escolha.	53
Figura 9. Resposta comportamental de fêmeas (n=20) e machos (n=20) de <i>Cosmopolites sordidus</i> para os tratamentos Feromônio sintético Sordidina (tratamento controle); Feromônios+(Z)- β -ocimeno; Feromônio+Teaspirano; e Feromônio+Tetradecanal em olfatômetro do tipo Y.	55
Figura 10. Número médio de escolhas de fêmeas de <i>Cosmopolites sordidus</i> em braços do olfatômetro tratados com compostos voláteis da bananeira junto ao feromônio sintético em testes de múltipla escolha: feromônio (controle); feromônio+(Z)- β -ocimeno; feromônio+teaspirano; feromônio+tetradecanal.	56

Figura 11. Número médio de escolhas de machos de *Cosmopolites sordidus* em braços do olfatômetro tratados com compostos voláteis junto ao feromônio sintético em teste de múltipla escolha: feromônio (controle); feromônio+(Z)- β -ocimeno; feromônio+teaspirano; feromônio+tetradecanal.57

Figura 12. Número total de escolhas de *Cosmopolites sordidus* em braços do olfatômetro tratados com compostos voláteis junto ao feromônio sintético em teste de múltipla escolha: feromônio (controle); feromônio+(Z)- β -ocimeno; feromônio+teaspirano; feromônio+tetradecanal.57

Figura 13. Frequência de *Cosmopolites sordidus* em braços do olfatômetro tratados com compostos voláteis junto ao feromônio sintético em teste de múltipla escolha: feromônio (controle); feromônio+(Z)- β -ocimeno; feromônio+teaspirano; feromônio+tetradecanal.58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Compostos presentes em extratos de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira, fresco e fermentado durante 15 e 30 dias.....	33
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

CG-EAG: Cromatografia Gasosa acoplada à Eletroantenografia;

CG-FID: Cromatografia Gasosa acoplada ao Detector de Ionização em Chama;

CG-MS: Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa;

COVs: Compostos Orgânicos Voláteis;

BOD: Biochemical Oxygen Demand

FAO: Food and Agriculture Organization;

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

LPqRN: Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais;

Voláteis da bananeira com efeitos adjuvantes ao feromônio de agregação sintético Sordidina para manejo e controle de *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae)

RESUMO

Cosmopolites sordidus (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae), conhecido como moleque da bananeira, é considerado praga chave da bananeira, causando injúrias tanto no pseudocaule como no rizoma da planta. Para seu controle é indicado o uso de iscas atrativas, então o uso de semioquímicos tem se mostrado uma forma eficiente. Estudos apontam que o uso de feromônios sintéticos, isolados ou em misturas, tem demonstrado atratividade para algumas espécies de coleópteros. Portanto, o trabalho tem como objetivo melhorar o desempenho do feromônio sintético Sordidina no controle do moleque da bananeira com incremento de cairomônios da planta hospedeira com efeito adjuvantes em sua formulação para diminuir, consideravelmente, custos na formulação do produto. O pseudocaule foi coletado sem danos causados por *C. sordidus* e armazenados em B.O.D. à temperatura ambiente para fermentação. Os períodos de fermentação foram de 15 e 30 dias, além dos testes com pseudocaule fresco. Os voláteis de pseudocaule de bananeira fresco e fermentado foram obtidos através da técnica de headspace dinâmico. Os extratos obtidos foram analisados e os compostos foram identificados por meio de Cromatografia Gasosa acoplada ao Detector de Ionização em Chama (GC-FID) e Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS). Para identificar os compostos eletrofisiologicamente ativos foi realizada a análise de Cromatografia Gasosa acoplada à Eletroantenografia (GC-EAG). Nos bioensaios em olfatômetro Y foi observada a resposta comportamental de adultos de *C. sordidus* frente aos extratos de headspace dinâmico dos pseudocaules. Foi acrescentado ao trabalho o teaspirano, composto encontrado e identificado em folhas senescentes de bananeira. As análises químicas dos extratos de headspace revelaram a presença ao todo de 21 compostos subdivididos nas três fases de fermentação de pseudocaule (fresco e fermentado por 15 e 30 dias), mostrando que pelo menos quatro compostos estavam presentes nas três fases de fermentação. Nos bioensaios de eletroantenografia (GC-EAG), dois compostos presentes no headspace e o teaspirano foram ativos para fêmeas de *C. sordidus*. O pseudocaule fermentado durante 15 dias libera maior quantidade de compostos voláteis, tendo como majoritários os compostos (*E*)- β -ocimeno e hexadecanal. Os compostos (*Z*)- β -ocimeno, tetradecanal e teaspirano são ativos para fêmeas de *C. sordidus*. Os compostos voláteis liberados pela planta hospedeira elicia comportamento de atração para machos e fêmeas de *C. sordidus*. As misturas teaspirano+tetradecanal e (*Z*)- β -ocimeno+tetradecanal+teaspirano desencadeiam resposta atrativa para machos e fêmeas.

Palavras-chave: *Musa* spp; Controle Comportamental; Semioquímicos; Moleque-da-bananeira

**Banana volatiles with adjunctive effects to the synthetic aggregation pheromone
Sordidine for management and control of *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823)
(Coleoptera: Curculionidae)**

ABSTRACT

Cosmopolites sordidus (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae), known as banana weevil, it is considered a key banana pest, causing damage to both the pseudostem and the rhizome of the plant. To control it, the use of attractive baits is recommended, so the use of semiochemicals has proven to be an efficient alternative. Studies indicate that the use of synthetic pheromones, isolated or in mixtures, has demonstrated attractiveness for some species of coleoptera. Therefore, the work aims to improve the performance of the synthetic pheromone Sordidine in the control of banana moth with the addition of kairomones from the host plant with adjuvants in its formulation to considerably reduce costs in product formulation. The pseudostem was collected without damage caused by *C. sordidus* and stored in B.O.D. at room temperature for fermentation. Fermentation periods were 15 and 30 days, in addition to tests with fresh pseudostem. Volatiles from fresh and fermented banana pseudostem were obtained using the dynamic headspace technique. The extracts obtained were analyzed and the compounds were identified using Gas Chromatography coupled to Flame Ionization Detector (GC-FID) and Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC-MS). To identify electrophysiologically active compounds, analysis was carried out using Gas Chromatography coupled to Electroantenography (GC-EAG). In bioassays in a Y olfactometer, the behavioral response of *C. sordidus* adults to dynamic headspace extracts of pseudostems was observed. Theaspirane, a compound found and identified in senescent banana leaves, was added to the work. Chemical analyzes of headspace extracts revealed the presence of a total of 21 compounds subdivided into the three phases of pseudostem fermentation. (fresh and fermented for 15 and 30 days), showing that at least four compounds were present in the three fermentation phases. In electroantenography bioassays (GC-EAG), two compounds present in the headspace and theaspirane were active for *C. sordidus* females. The pseudostem fermented for 15 days releases a greater quantity of volatile compounds, with the majority being the compounds (E)- β -ocimene and hexadecanal. The compounds (Z)- β -ocimene, tetradecanal and theaspirane are active for *C. sordidus* females. The volatile compounds released by the host plant elicit attraction behavior for males and females of *C. sordidus*. The theaspirane+tetradecanal and (Z)- β ocimene+tetradecanal+theaspirane mixtures trigger an attractive response for males and females.

Keywords: *Musa* spp; Behavioral Control; Semiochemicals; Banana weevil

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1. MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP)	9
2.2. SEMIOQUÍMICOS	10
2.3. USO DE FEROMÔNIOS NO MIP	12
2.4. USO DE CAIROMÔNIOS NO MIP	14
2.5. MOLEQUE DA BANANEIRA (<i>Cosmopolites sordidus</i>)	16
REFERÊNCIAS	18
3. CAPÍTULO I: Compostos orgânicos voláteis da bananeira atrativos para <i>Cosmopolites sordidus</i> (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae)	24
3.1. INTRODUÇÃO	26
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.2.1. Coleta de <i>Cosmopolites sordidus</i>	28
3.2.2. Coleta do pseudocaule	28
3.2.3. Obtenção dos compostos orgânicos voláteis do pseudocaule de <i>Musa</i> spp.	28
3.2.4. Análise dos extratos em Cromatografia Gasosa acoplada ao detector de Ionização em Chamas (GC-FID).....	29
3.2.5. Análise dos extratos em Cromatografia Gasosa acoplado ao Espectrômetro de Massas (GC – MS)	30
3.2.6. Análise dos extratos em Cromatografia Gasosa acoplada a eletroantenografia (GC – EAG)	30
3.2.7. Bioensaio em olfatômetro Y	31
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.4. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43

4. CAPITULO II: Formulações com compostos voláteis de <i>Musa</i> spp. associados ao feromônio sintético (Sordidina) para atratividade de <i>Cosmopolites sordidus</i> (Germar,, 1823) (Coleoptera: Curculionidae)	47
4.1. INTRODUÇÃO	49
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	51
4.2.1. Feromônio.....	51
4.2.2. Formulações dos Compostos Voláteis Sintéticos.....	51
4.2.3. Tratamentos	51
4.2.4. Bioensaios Comportamentais	52
4.2.5. Análise Estatística	54
4.3. RESULTADOS DE DISCUSSÃO.....	55
4.4. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

O cultivo da banana é uma atividade importante para a agricultura familiar brasileira, com impactos positivos socioeconômicos e ambientais. Parte desta importância elevada pode ser confirmada devido o produto ser consumido quase que em sua totalidade no território nacional, com apenas 1% destinado à exportação (FAO, 2017). Essa pequena parcela na exportação é devido, principalmente, à diminuição na produtividade e no elevado índice de perdas, causadas, sobretudo, por fatores fitossanitários, que comprometem a produção dessa cultura (ANGELINI; QUEIROZ, 2016).

A perda de produtividade e aumento do custo de produção é devido a problemas fitossanitários, onde destaca-se a broca do rizoma da bananeira, ou popularmente conhecida como moleque-da-bananeira *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae), cujas larvas constroem galerias por todo o rizoma da planta, causando, de início, a senescência precoce das folhas e a redução do tamanho dos cachos (ANGELINI; QUEIROZ, 2016). As galerias feitas por *C. sordidus* prejudicam as plantas, tornando-as mais sensíveis que debilitam a planta, impedindo o desenvolvimento, diminuindo a produção e em muitas vezes causando a morte da planta (VENTURA et al., 2012).

Na comunicação química dos insetos, alguns compostos químicos, ao se tornarem perceptíveis ao indivíduo receptor, agem como um gatilho, iniciando reações fisiológicas específicas. Esses compostos, identificados como semioquímicos, são cruciais para a localização de presas, seleção de plantas, acasalamento, escolha de local para oviposição, dentre outros (GALLO et al., 2002).

O fato de os semioquímicos poderem induzir o comportamento dos insetos faz com que estas substâncias sejam objeto de estudos que visam manejar espécies-praga (MARTINS, 2013). A identificação de semioquímicos envolvidos na comunicação entre plantas e insetos herbívoros possibilita o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de controle de pragas, tornando possível confeccionar armadilhas que visem o controle ou monitoramento destas (SHRIVASTAVA et al., 2010).

Dentre as medidas de controle utilizadas para a redução da população do moleque-da-bananeira, destaca-se o controle comportamental, no qual a atração é exercida pelas substâncias voláteis, presentes no pseudocaule e no rizoma da bananeira. O monitoramento e controle de *C. sordidus* geralmente são feitos através de armadilhas desenvolvidas a partir do corte do pseudocaule, as armadilhas mais utilizadas, nesses casos, são as do tipo “queijo” e “telha”. A quantidade de armadilhas necessárias depende do objetivo final, sendo recomendada uma quantidade maior de armadilhas para realização do controle do inseto

(FANCELLI et al., 2015). O objetivo dessas armadilhas em campo é reduzir a população de insetos, já que o adulto vai até as armadilhas, conseguindo uma excelente eficiência na redução da praga nas bananeiras (FIGUEIREDO et al., 2008).

Considerada uma das tecnologias mais avançadas para o manejo do moleque-da-bananeira, a utilização de armadilhas com feromônios sintéticos associados à cairomônios, tem se destacado no Brasil. Atualmente no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA há apenas nove produtos registrados para o controle de *C. sordidus*, dentre eles, oito são classificados como metilcarbamato de benzofuranila e organofosforado e um como semioquímico a base de sordidina, o único feromônio comercial registrado para uso na agricultura, Cosmolure®, produto importado e distribuído no país (MAPA, 2014).

Desta forma, o objetivo deste estudo é melhorar o desempenho do feromônio sintético Sordidina no controle do moleque-da-bananeira com incremento de cairomônios da planta hospedeira com efeitos adjuvantes em sua formulação para diminuir, consideravelmente, custos na formulação do produto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP)

O MIP é definido como uma ampla abordagem sistemática à proteção de uma determinada cultura agrícola fundamenta-se no acúmulo de informações para auxiliar no processo de intervenção, com a finalidade de reduzir a aquisição de insumos e minimizar as consequências sociais, econômicas e ambientais do processo de controle da praga alvo (TREMATERRA, 1997). Segundo Gallo et al. (2002), o MIP surge como uma resposta ao uso incorreto de produtos químicos, como as aplicações desordenadas que colaboraram com o surgimento de sérios problemas, tais como a resistência aos inseticidas, surgimento de pragas antes consideradas secundárias e efeitos adversos sobre inimigos naturais.

Neste tipo de manejo são utilizadas várias técnicas de defesa do cultivo contra o inseto alvo, são eles: variedades resistentes, mediante uso de estudos nas interações inseto-planta, monitoramento com feromônio, uso de agroquímicos específicos, plantas geneticamente modificadas, uso de predadores ou parasitoides e métodos de controle mecânico, físico e legislativo (SUCKLING et al., 2014).

Para Panizzi et al. (1991), o MIP compreende vários métodos de intervenção, sendo que para sua implementação, se faz necessário o planejamento do agroecossistema, avaliando-se o custo/benefício de sua implantação, além da tolerância da cultura aos danos das pragas. Um organismo só recebe o status de praga quando causa algum dano econômico, e do ponto de vista do MIP, compete direta ou indiretamente com o homem por alimento, matéria prima ou prejudicam a saúde e o bem-estar do homem e animais.

Moreira et al. (2008), em estudo de pesquisa sobre o MIP na cultura da banana, ressaltam que na agricultura atual não basta apenas a constatação do inseto no bananal sem levar em consideração a população da praga, seu nível de controle e o dano econômico.

O Nível de Dano Econômico (NDE), segundo Picanço (2010) é a densidade populacional do organismo praga na qual ele causa prejuízos à cultura de igual valor ao custo de seu controle. Já o nível de controle (NC), de acordo com Gallo et al. (2002) é a densidade populacional em que as medidas de controle devem ser adotadas para impedir que a população do inseto atinja o NDE. O Moleque da Bananeira é considerado praga-chave, pois frequentemente atinge o nível de controle (PICANÇO, 2003).

No Brasil, o MIP é amplamente empregado em cultivos de frutas para exportação, pois a técnica é uma das exigências de boas práticas agrícolas dos países desenvolvidos. Sendo assim com relação ao NC para *C. sordidus* em bananeiras já estabelecidos, adota-se a sugestão

de Batista Filho et al. (2002), que indicam 5 insetos adultos/isca/mês, sob um monitoramento de 20 armadilhas com iscas tipo telha/ha.

Os métodos de controle a seguir podem ser utilizados em programas de Manejo Integrado de Pragas para *C. sordidus*, como relatam seus respectivos pesquisadores: controle cultural (GUERRA et al., 2010); comportamental e genético (ZARBIN et al., 2009), controle biológico (SOARES et al., 2012) e químico (GOLD et al., 2001).

Para Moreira et al. (2005), relatam que o estudo do comportamento (controle comportamental) dos insetos tem desenvolvido novos métodos que estão sendo usados em programas de manejo integrado de pragas. O uso de semioquímicos, principalmente os feromônios, está se tornando uma importante ferramenta para a implementação de alternativas, como por exemplo o monitoramento e controle de insetos-pragas.

2.2. SEMIOQUÍMICOS

Para Zarbin et al. (2009) as substâncias químicas que atuam como mensageiras entre organismos são chamadas de semioquímicos e são utilizadas entre dois ou mais organismos, promovendo no receptor um comportamento ou uma resposta fisiológica (VILELA et al. 2001). É através da detecção e emissão destas substâncias que os insetos encontram parceiros para o acasalamento, alimento ou presa, escolhem local de oviposição, se defendem contra predadores e organizam suas comunidades.

Os semioquímicos são classificados de acordo com sua interação, sendo chamados de feromônios e aleloquímicos. Os compostos que são mediadores da comunicação intraespecífica, ou seja, quando o emissor e receptor do sinal químico são da mesma espécie, é denominado de feromônio. No entanto, quando estes compostos intermedeiam uma comunicação entre indivíduos de espécies diferentes, relação interespecífica, estas substâncias são classificadas como aleloquímicos (VILELA et al. 2001).

Os feromônios são substâncias voláteis envolvidas na comunicação de insetos no qual se tornou uma alternativa para o MIP visando um melhor monitoramento de adultos, detecção de áreas livres ou infestadas e um possível controle por coleta massal ou confusão sexual são bastante oportunos, além de vantajoso do ponto de vista ambiental (GRIGOLLI et al. 2011).

Harbone (1993) afirma que os feromônios mais explorados nas relações entre insetos são: Feromônio Sexual – favorecendo o aumento da probabilidade de sucesso no acasalamento; Feromônio de Trilha – utilizado tanto para o retorno à colônia quanto para indicar uma nova fonte de alimento ou novo sítio de moradia; Feromônio de Marcação – determina os limites territoriais evitando confronto com outros insetos; Feromônio de Alarme

– emite um sinal de perigo ou informa a presença de um inimigo; Feromônio de Oviposição - auxilia as fêmeas a encontrarem um local para postura de ovos; Feromônio de Agregação - tem objetivo de atrair machos e fêmeas da mesma espécie, geralmente com o intuito de indicar uma fonte de alimento.

A definição dos aleloquímicos é um pouco mais complexa, sua identificação depende dos resultados produzidos pela interação entre o composto e o indivíduo. Contudo, são classificados como caimônios: aqueles compostos que beneficiam o indivíduo que recebe o sinal químico; alomônios: aqueles que o beneficiário é o indivíduo no qual emite o sinal químico; e, sinomônios: quando os dois indivíduos, emissor e receptor do sinal químico, são beneficiados (ZARBIN et al., 2009).

Grande parte dos semioquímicos são bastante instáveis em virtude da sua estrutura química no qual se faz necessário preparar formulações destes compostos com o propósito de protegê-los da deterioração provocada pelo oxigênio e luz na região UV (HEUSKIN et al., 2011). Ou seja, a formulação deve assegurar a liberação controlada do feromônio. Uma falha nos liberadores comerciais de feromônios usados atualmente é que eles são "passivos" para sua liberação e dependem da temperatura ambiente (WITZGALL et al., 1999).

Na literatura são encontrados vários registros da utilização de semioquímicos no controle e monitoramento de pragas. De acordo com Silva Filho (2005) armadilhas iscadas com semioquímicos foram utilizadas com sucesso na coleta do gorgulho-da-cana-de-açúcar, *Metamasius hemipterus* (L., 1758) (Coleoptera: Curculionidae) (CERDA et al., 1999), no controle da broca-do-coqueiro, *Rhynchophorus palmarum* (L., 1758) (Coleoptera: Curculionidae) (GILBLIN-DAVIS et al., 1994), do bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis* (Boheman, 1843) (Coleoptera: Curculionidae) (ROCHAT et al., 1991), do gorgulho-do-arroz, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1753) (Coleoptera: Curculionidae) (PHILLIPS et al., 1993), do gorgulho-da-batata-doce, *Cylas formicarius* (Fabricius, 1798) (Coleoptera: Apionidae) (JANSSON et al., 1992) e dos gorgulhos-dos-pinheiros, *Hylobius radicis* (Buchanan, 1935) (Coleoptera: Curculionidae) e *Pachylobius picivorus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae) (HUNT et al., 1989), entre outros.

Na base de dados de feromônios de insetos e outros atraentes contém centenas de compostos químicos já identificados (ARN et al., 1992). Estabelecendo, dessa maneira, uma das inovações tecnológicas mais importantes no controle de pragas agrícolas. Estão em uso no monitoramento de pragas, quantificando a densidade populacional dos insetos na área e inclusive podem ainda reduzir populações com base na estratégia da confusão sexual ou de coleta massal (WITZGALL et al., 2010).

Contudo, para o sucesso da utilização de feromônios se faz necessário envolver químicos, ecologistas, biólogos e agrônomos nas pesquisas de laboratório e campo. Por exemplo, populações de insetos separados geograficamente exibem alterações na composição dos componentes feromonais e, portanto, na atração dos insetos (CARDÉ et al., 2004).

2.3. USO DE FEROMÔNIOS NO MIP

São empregados como controle relacionado às armadilhas, utilizadas como forma de monitoramento, sendo capaz de identificar a praga e se ela é capaz de causar perdas consideráveis na produção e também como controle, ao qual se faz a eliminação dos insetos juntamente com o aumento da possibilidade do contato do inseto com o inseticida. Portanto o uso de feromônios reduz a aplicação de defensivos agrícolas no campo ajudando em produções mais sustentáveis (GOULART et al., 2015).

Ainda promissoras a utilização de armadilhas com feromônios tem se tornado uma estratégia seletiva e inofensiva às outras espécies, agindo somente sobre o inseto alvo e preservando as espécies benéficas (ZARBIN et al., 2009). Dentre os feromônios, os mais empregados na agricultura, como parte integrante de táticas de manejo integrado de pragas, são os feromônios sexuais e os de agregação (BENTO, 2007). Por exemplo, no Brasil, vem sendo aplicados nas mais diferentes culturas com bastante sucesso, inclusive para curculionídeos, como para *A. grandis* na cultura do algodão (MAGALHÃES et al., 2016), e para *C. sordidus* na cultura da banana (MESQUITA, 2003). Diversos feromônios estão disponíveis no mercado agrícola e são utilizados com eficiência para monitoramento ou coleta em massa de insetos adultos (AMBROGI et al., 2009).

Bento et al. (2016), ao analisarem a longo prazo, no Estado de São Paulo, os benefícios econômicos do emprego de armadilhas iscadas com o feromônio sexual do bixo furão *Gymnandrosoma aurantianum* Lima, 1927 (Lepidoptera: Tortricidae) mostraram que entre os anos de 2001 e 2013, os produtores diminuíram as perdas causadas pela praga numa estimativa de 132,7 milhões a 1,32 bilhões de dólares em receita bruta, diminuindo de 5 a 50% as perdas por safra. Segundo os autores, o estudo mostra o quanto os feromônios são ferramentas importantes para os produtores e para o ambiente, pois seu uso, além de ser eficiente no manejo de pragas, reduz o uso de inseticidas.

Na região sul do Brasil, o feromônio da mariposa *Grapholita molesta* Busck, 1916 (Lepidoptera: Tortricidae) é usado para o seu controle na cultura da maçã (*Malus domestica*) usando a técnica de confundimento sexual (BOTTON et al., 2011), e o feromônio da mariposa *Cydia pomonella* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Tortricidae) para o seu monitoramento

(TESTASECCA, 2013). Borges et al. (2011) mostraram que o feromônio sexual do *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) é mais eficiente para o seu monitoramento do que o pano de batida, técnica geralmente utilizada para monitoramento.

O feromônio sintético Sordidina, é utilizado também em algumas ilhas costeiras, como Martinica, Guadalupe e Ilhas Canárias (ALPÍZAR et al., 2012). Na Costa Rica, aproximadamente 10% de toda a área de plantio de banana encontra-se sob o sistema de monitoramento de armadilhas “pitfall” com iscas de feromônio, cada sachê contém 90 mg de feromônio, com taxa de liberação de 3 mg/dia (TINZAARA et al., 2005).

Experimentos conduzidos na Costa Rica, constataram queda de mais de 75% na taxa de capturas após 10 - 12 meses de observação; redução de 63% nos danos dos rizomas durante o experimento e aumento no vigor das plantas, peso dos cachos e na produtividade em parcelas tratadas com feromônio (MESQUITA, 2003).

As técnicas mais empregadas para o monitoramento de pragas que envolvem o uso de armadilhas contendo feromônio sintético como isca para atração de espécies de praga alvo é: Monitoramento: as armadilhas com feromônio são usadas para identificar tanto a presença quanto a densidade da praga pretendendo indicar quando a população do inseto praga atingiu o nível de dano econômico (TREMATERRA, 1997); Coleta massal: o uso de feromônio como atrativo do inseto para um recipiente de contenção visando eliminar ou diminuir a população do inseto-praga no cultivo. Neste método utiliza-se altas quantidades de armadilhas, com o objetivo de capturar o maior número possível de insetos (ZARBIN et al., 2009); Confusão sexual: método de controle que utiliza feromônio para confundir ou interromper o acasalamento dos insetos. Neste caso impede a transmissão de sinais entre parceiros sexuais. Ocorre uma liberação maior da quantidade de feromônio sintético na área para impedir que os insetos localizem seu parceiro reduzindo o acasalamento e consequentemente a perpetuação da espécie (BENTO, 2007).

Segundo Bento et al., (2016), em sistemas agroflorestais, onde é necessário evitar o uso de produtos químicos devido a questões ambientais, com intuito de evitar atingir organismos não alvos e para obter alimentos mais saudáveis para o consumidor final, o uso de semioquímicos pode auxiliar no manejo de pragas de uma maneira mais sustentável e com menor custo. O uso de novas substâncias é necessário para o efetivo controle de pragas, oferecendo maior segurança, seletividade, biodegradabilidade, viabilidade econômica, aplicabilidade em programas integrados de controle de insetos e baixo impacto ambiental (MARANGONI et al, 2012).

2.4. USO DE CAIROMÔNIOS NO MIP

Os compostos liberados pelas plantas também desencadeiam inúmeras respostas comportamentais nos insetos, de maneira que essas respostas específicas exibidas podem ser relatadas como resultado da ação específica dos voláteis das plantas hospedeiras na fisiologia e no comportamento do inseto, nesse contexto, esses compostos são chamados de cairomônios (REDDY et al., 2004).

Os voláteis emitidos pelas plantas apresentam a capacidade de serem úteis para aplicação no combate às pragas. A função desses compostos para o manejo de pragas enquadra-se como uma possibilidade acessível na demanda por sistemas ambientalmente sustentáveis (RIFFEL et al., 2015). Os cairomônios atuam em diversas funções na interação inseto-planta, podem atuar como repelentes ajudam na indução de feromônios de alarme, induzem a oviposição e provocam respostas nos receptores olfativos dos insetos (VERHEGGEN et al., 2008).

Os cairomônios são conhecidos por melhorar a atração de iscas de feromônio, há registros na literatura informando que o sinergismo entre feromônios e os voláteis da planta hospedeira potencializam a atração de insetos. Por essa razão, é provável que novas estratégias no MIP sejam desenvolvidas (CERUTI, 2007).

As interações entre plantas e insetos são compreendidas sob um ponto de vista coevolutivo. Os semioquímicos que estão envolvidos nessas interações fazem parte de um foco central de pesquisas ecológicas e evolutivas em constante expansão (BLANDE, 2017). Segundo Kessler (2015), as interações entre plantas e insetos são provocadas por diversos metabólitos produzidos pelas plantas. Para Agelopoulos et al. (1999) esses sinais químicos (metabólitos) são essenciais e muito importantes, particularmente, para os insetos, principalmente para a localização de fontes de alimento.

O conhecimento do papel ecológico dos cairomônios revela o potencial de sua aplicabilidade no manejo integrado de pragas, assim como os feromônios, que podem ser empregados para detectar, monitorar e controlar populações de insetos (NORIN, 2007). Desse modo, eles podem ser importantes para atração e permanência de inimigos naturais no campo (VINSON, 1992).

O aproveitamento de partes vegetais é uma excelente alternativa para monitorar e controlar espécies gregárias, como é o caso de *C. sordidus*, devido à emissão de voláteis que desencadeiam e estimulam a produção de feromônios de agregação dos insetos, com intuito de atrair parceiros sexuais e consequentemente um maior número de indivíduos com o objetivo de eliminar os insetos de forma segura e pouco poluente (AMBROGI et al., 2009).

Outro exemplo, citado por Borden (2003), que em coleópteros a mediação do feromônio de agregação, aquele atrativo produzido, especialmente, pelos machos, é reconhecida por, possivelmente, estar inter-relacionados com a presença de alimento. Wood (1982) declara que alguns insetos absorvem compostos químicos da planta hospedeira e os utilizam como substâncias atrativas ou precursores de feromônio.

Os cairomônios podem ser eficientes na técnica ‘push-pull’ (COOK et al., 2007), como feromônios de alarme, à exemplo, o (E)- β -farneseno (BRUCE et al., 2005) e acetatos de dodecil e decil (TEERLING et al., 1993b), que atuam na atração de parasitoides de afídeos (HARDIE et al., 1999) e de predadores e parasitoides de tripes (TEERLING et al., 1993). Além disso, armadilhas contendo cairomônios podem auxiliar no monitoramento do inimigo natural para tomadas de decisão quanto à liberação de predadores no campo (MEURISSE et al., 2008).

Fêmeas e machos de *C. sordidus* são facilmente atraídos pelos voláteis da bananeira, indicando que a orientação até a planta hospedeira está associada ao fator alimento, bem como ao fator sitio de oviposição (MENDONÇA et al., 1999), os mesmos autores observaram que o rizoma fermentado é mais atrativo para as fêmeas, o que possibilita maiores chances de chegar até ao alimento.

Santos (2010) ao avaliar a eficiência de armadilhas com feromônio e iscas provenientes do pseudocaule da bananeira constatou superioridade do composto feromonal, contudo, relatou, inclusive, que houve redução na emissão natural do feromônio de agregação devido ao aumento da taxa de mortalidade dos insetos capturados, tendo apenas a atuação de cairomônios na captura de *C. sordidus*. O uso das iscas de pseudocaule para atração do moleque-da-bananeira tem por base a atratividade exercida pelos voláteis presentes no pseudocaule, cairomônios, que por sua vez são preponderantes na comunicação química de *C. sordidus* (MESQUITA, 2003).

Resultados expressivos foram encontrados por Duarte et al. (2003), que quando avaliaram os componentes voláteis da fermentação da cana-de-açúcar e notaram que eles foram os responsáveis por tornarem as armadilhas de feromônio mais atrativas para os adultos de *R. palmarum*, apesar de seu baixo efeito atrativo, os toletes de cana-de açúcar apresentaram-se mais eficientes que o melaço de cana-de-açúcar.

De acordo com Hock et al. (2017), a captura e as técnicas de monitoramento de insetos no campo melhoram a partir do momento em que se utiliza a sinergia entre odores de plantas e odores de insetos. O aumento na atração de machos, ou fêmeas, pelos voláteis da planta

hospedeira pode originar no aperfeiçoamento de armadilhas mais eficientes para o controle de pragas (CERUTI, 2007).

2.5. MOLEQUE DA BANANEIRA (*Cosmopolites sordidus*)

Cosmopolites sordidus pertence à ordem Coleoptera e família Curculionidae, é considerada a principal praga da banana (CAMPOS, 2016). O moleque da bananeira é um inseto gregário que possui hábitos noturnos e alta atividade para se alimentar, acasalar e ovipositar (PRESTES et. al., 2006).

É uma espécie holometábola, ou seja, passa pelas fases de ovo, larva, pupa e adulto, a maioria dos insetos dessa família possui um prolongamento anterior (rosto), no qual estão inseridos o aparelho bucal do tipo mastigador e antenas compostas; sua coloração é preta, mede por volta de 11 mm de comprimento e cinco mm de largura. Os adultos possuem hábito noturno e geralmente são encontrados nos ambientes úmidos e sombreados, próximos a touceiras, entre bainhas foliares e nos restos da cultura (SALUSTINO et al., 2015).

As fêmeas depositam de 10 a 50 ovos, a oviposição ocorre em toda a superfície do rizoma, com a maior quantidade dos ovos distribuídos na parte superior (MOREIRA et. al., 2017). O período de incubação varia de 1 a 15 dias, após esse período se inicia a fase larval, causadora dos danos no rizoma. As larvas apresentam coloração branca, cabeça marrom e ligeiramente mais estreita que o corpo. A larva constrói galerias que enfraquecem a planta, podendo levá-la à morte (FIGUEIREDO et al., 2008). O período de incubação da larva pode variar de 22 a 118 dias. Essa variação é fortemente influenciada pela temperatura ambiental como também pelas cultivares hospedeira (MESQUITA, 2003).

As larvas abrem galerias nos rizomas que são portas de entrada de fitopatógenos como o fungo *Fusarium oxysporum* que é o agente responsável pelo mal do Panamá. Assim, é comum no bananal a queda de plantas que já lançaram cachos, onde essas não possuem mais um sistema radicular vivo, suficiente para sustentar o peso dos mesmos (BATISTA FILHO et al., 2005a).

As perdas de produção podem ser elevadas se esta praga não for devidamente controlada (FIGUEIREDO et al., 2008). Portanto, o conhecimento da biologia do inseto, principalmente a diferenciação entre machos e fêmeas, contribui de forma eficaz para o manejo da população de *C. sordidus*. Esta diferenciação na espécie pode ser observada nos adultos, com base na distribuição das pontuações do rosto e na inclinação do último esternito abdominal (SILVA-FILHO et al., 2007). Os machos distinguem-se das fêmeas por apresentarem pontuações distribuídas em uma área igual ou maior que a metade da distância

entre a parte mais larga do rostro e sua parte distal. As fêmeas apresentam a maior parte do rostro sem pontuações. Nos machos a inclinação do último esternito abdominal é bastante acentuada, o que não ocorre nas fêmeas (GOLD et al., 2001).

Com o intuito de reduzir a incidência e danos da praga, reduzir gastos e buscar alternativas que visem menos danos tóxicos ao meio ambiente, a escolha pelo controle comportamental é uma ótima opção, já que consiste na utilização de iscas atrativas feitas a partir de cortes longitudinais ou horizontais do pseudocaule da planta ou então a utilização de armadilhas com um feromônio para atração do inseto (ALVES, 2016).

REFERÊNCIAS

- AGELOPOULOS, N.; BIRKETT, M.; HICK, J.; HOOPER, A.; PICKETT, J.; POW, E.; SMART, L.; SMUILEY, D.; WADHAMS, I.; WOODCOOK, C. Exploiting semiochemicals in insect control. **Pesticide Science**, v. 55, p. 225–235, 1999.
- ALPÍZAR, D.; FALLAS, M.; OEHLISCHLAGER, A. C.; GONZALEZ, L. M. Management of *Cosmopolites sordidus* and *Metamasius hemipterus* in Banana by Pheromone-Based Mass Trapping. **Journal of Chemical Ecology**, v. 38, p. 245–252, 2012.
- ALVES, T.P. **Avaliação da incidência e severidade de Sigatoka-amarela (*Mycosphaerella musicola*, Leach) e infestação do Moleque-da-bananeira (*Cosmopolites sordidus*) em variedades de banana da Fazenda Água Limpa, Distrito Federal**. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2016.
- AMBROGI, B. G.; VIDAL, D. M.; ZARBIN, P. H. G. Feromônios de agregação em curculionidae (insecta: coleoptera) e sua implicação taxonômica. **Química Nova**, v. 32, p. 2151-2158, 2009.
- ANGELINI, M. R.; QUEIROZ, A. A. Atratividade de *Cosmopolites sordidus* por genótipos de bananeira. Enciclopédia Biosfera, **Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v. 13, p. 120-127, 2016.
- ARN, H.; TÓTH, M.; PRIESNER, E. List of sex pheromones of Lepidoptera and related attractants, **OILB-SROP: Montfavet**, v. 43, p. 179, 1992.
- BATISTA FILHO, A.; LEITE, L.G.; RAGA, A.; SATO, M.E. Enhanced activity of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. associated with mineral oil against *Cosmopolites sordidus* (Germar) adults. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.24, p.405-408, 1995.
- BATISTA FILHO, A.; TAKADA, H. M.; CARVALHO, A. G. Brocas da bananeira. In: Reunião Itinerante de Fitossanidade do Instituto Biológico. São Bento do Sapucaí - SP. Anais... São Paulo: **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 1. p. 1-16. 2002.
- BENTO J. M. S.; PARRA, J. R. P.; MIRANDA, S. H. G. de; ADAMI, A.C.O. How much is a pheromone worth? **F1000 Research**, v. 5, p. 1-15, 2016.
- BENTO, J. M. S. Feromônios. In: **WORKSHOP TECNOLÓGICO SOBRE “PRAGAS DA CANA-DE-AÇÚCAR”**, Piracicaba, Brasil, 2007.
- BLANDE, J. D. Chapter eleven-plant communication with herbivores. Advances in **Botanical Research**, v. 82, p. 281-304, 2017.
- BORDEN, J. H. Strategies and tactics for the use of semiochemicals against forest insect pests in North America. Biologically based technologies. Washington, DC: **American Chemical Society**, p. 265-279. 2003.
- BORGES, M.; MORAES, M. C. B.; PEIXOTO, M. F.; PIRES, C. S. S.; SUJII, E. R.; LAUMANN, R. A. Monitoring the Neotropical brown stink bug *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) with pheromonebaited traps in soybean fields. **Journal of Applied Entomology**, v. 135, p. 68-80, 2011.
- BOTTON, M.; NAVA, D. E.; ARIOLI, C. J.; GRUTZMACHER, A. D.; GARCIA, M. S. Bioecologia, monitoramento e controle da mariposa-oriental na cultura do pessegueiro no Rio Grande do Sul. **Embrapa Uva e Vinho-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, p. 1-11, 2011.

BRUCE, T. J. A.; BIRKETT, M. A.; BLANDE, J.; HOOPER, A. M.; MARTIN, J. L.; KHAMBAY, B.; PROSSER, I.; SMART, L. E.; WADHAMS, L. J. Response of economically important aphids to components of *Hemizygia petiolata* essential oil. **Pest Management Science**, v. 61, p. 1115–1121, 2005.

CAMPOS, T.M. **Resistência por antixenose de genótipos de milho ao ataque do gorgulho-do-milho**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 21 páginas. Monografia. 2016.

CARDÉ, R. T.; HAYNES, K. F. Em *Advances in Insect Chemical Ecology*. eds. **University Press: Cambridge**, 2004.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: fisiologia dos cultivos** – Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 864 p. 2008.

CERDA, H.; FERNANDEZ, G.; LOPEZ, A.; VARGA, J. Olfactory Attraction of the Sugar Cane Weevil (Coleoptera: Curculionidae) to Host Plant Odors, and Its Aggregation Pheromone. **Florida Entomologist**, v. 82, p. 103-112, 1999.

CERUTI, F. C. Interações entre feromônios de insetos e semioquímicos de plantas. **Revista Academica**, v. 5, p. 73-82, 2007.

COOK, S. M.; KHAN, Z. R.; PICKETT, J. A. The use of push-pull strategies in Integrated Pest Management. **Annu. Review Entomology**, v. 52, p. 375–400, 2007.

DUARTE, A. G.; LIMA, I. S.; NAVARRO, D. M. A. F.; SANT'ANA, A. E. G. Captura de *rhynchophorus palmarum* l. (coleoptera: curculionidae) em armadilhas iscadas com o feromônio de agregação e compostos voláteis de frutos do abacaxi. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, p. 81-84, 2003.

FANCELLI, M.; MILANEZ, J. M.; MESQUITA, A. L. M.; COSTA, A. C. F.; COSTA, J. N. M.; PAVARINI, R.; PAVARINI, G. M. P. Artrópodes-pragas da bananeira e seu controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 36, p. 96-105, 2015.

FAO. **Corporate Statistical Database**. 2017. Acesso em: 26/ 02/ 2022.

FIGUEIREDO, A.D.; ÁZERA, S.; MARTINS, J. T.; LOPES, D. J. H. Eficácia de diferentes tipos de armadilhas na captura *Cosmopolites sordidus* (coleoptera: curculionidae). **Bol. Mus. Mun. Funchal**, v. 14, p. 49-54, 2008.

GALLO, D.; NAKANO, O.; NETO, S. S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. Entomologia Agrícola. **FEALQ**. 920 p., 2002.

GILBLIN-DAVIS, R. M.; WEISSLING, T. J.; OEHLISCHLAGER, A. C.; GONZALEZ, L. M. Field Response of *Rhynchophorus cruentatus* (Coleoptera: Curculionidae) to its Aggregation Pheromone and Fermenting Plant Volatiles. **Florida Entomologist**, v. 77, p. 164-177, 1994.

GOLD, C. S.; PENA, J. E. e KARAMURA, E. B. Biology and integrated pest management for the banana weevil *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae). **Integrated Pest Management Reviews**, v. 6, p. 79-155, jan. 2001.

GOULART, H. F.; LIMA, M. R. F.; MORAIS, R. K.; BERNARDO, V. B. Feromônios: uma alternativa verde para o manejo integrado de pragas. **Revista Virtual de Química**, v. 7, p. 1205-1224, 2015.

GRIGOLLI, J. F. J.; FRAGA, D. F.; SOUZA, L. A.; KUBOTA, M. M.; FERRETI, F. A. P.; GITZ, A.; BUSOLI, A. C. Atratividade de duas formulações de feromônios sexuais para mariposas (Lepidoptera: noctuidae) associadas à soja em Jaboticabal, SP. **Biológico**, São Paulo, v.73, p. 298-302, 2011.

GUERRA, A. G.; MEDEIROS, A. A.; MOREIRA, M. A. B.; DANTAS, J. A.; MEDEIROS, A. C. Tecnologias para o cultivo da bananeira. Natal: **EMPARN**, p. 29-30. 2010.

HARBONE, J. B.; Introduction to Ecological Biochemistry; **Academic Press**; New York, 1993.

HEUSKIN, S.; VERHEGGEN, F. J.; HAUBRUGE, E.; WATHELET, J. P.; LOGNAY, G. The use of semiochemicals slow-release devices in integrated pest management strategies. *Biotechnol. Agronomie Society Environnement*, v. 15, p. 459-470, 2011.

HOCK, V.; CHOUINARD, G.; LUCAS, É.; CORMIER, D.; LESKEY, T.; ZHANG, A. Olfactometer Responses of Plum Curculio *Conotrachelus nenuphar* (Herbst) (Coleoptera: Curculionidae) to Host Plant Volatiles, Synthetic Grandisoic Acid, and Live Conspecifics. **Journal of Insect Behavior**, v. 30, p. 475, 2017.

HUNT, D. W. A.; RAFFA, K. F. Attraction of the pine root collar weevil, *Hylobius radialis*, and the pitch-eating weevil, *Pachylobius picivorus* (Coleoptera: Curculionidae), to ethanol and turpentine in pitfall traps. **Environmental Entomology**, v. 18, p. 351-355, 1989.

JANSSON, R.; MASON, L.; HEATH, R.; SORENSEN, K.; HAMMOND, A.; ROBINSON, J. Pheromone trap monitoring system for sweet potato weevil in the southern United States: Effects of trap type and pheromone dose. **Journal Economic Entomology**, v. 85, p. 416-423, 1992.

KESSLER, A. The information landscape of plant constitutive and induced secondary metabolite production. **Current Opinion in Insect Science**, v. 8, p. 47-53, 2015.

MAGALHÃES, D. M.; BORGES, M.; LAUMANN, R. A.; WOODCOCK, C. M.; PICKETT, J. A.; BIRKETT, M. A.; BLASSIOLI-MORAES, M. C. Influence of two acyclic homoterpenes (tetranorterpene) on the foraging behavior of *Anthonomus grandis* Boh. **Journal of Chemical Ecology**, v. 42, p. 305-313, 2016.

MAPA – Instrução Normativa 12/2001. 2014. Acesso em: 24/11/2022.

MARANGONI, C.; MOURA, N. F.; GARCIA, F. R. M. Utilização de óleos essenciais e extratos de plantas no controle de insetos. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.6, p. 95-112, 2012.

MARTINS, C. B. C. **Semioquímicos envolvidos nas interações intra e interespecíficas de *Oryzophagus oryzae* (Lima, 1936) (Coleoptera: Curculionidae) e *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Heteroptera: Thaumastocoridae)**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 116 p. 2013.

MENDONÇA, F. A.; VILELA, E. F.; EIRAS, Á. E.; SANT'ANA, A. E. G. Resposta de *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera, Curculionidae) aos voláteis da planta hospedeira

e de adultos coespecíficos em olfatômetro. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, p. 123-128, 1999.

MESQUITA, A. L. M. Importância e métodos de controle do moleque ou brocado-rizoma-da-bananeira. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, Circular Técnica, v. 17, p. 5, 2003.

MEURISSE, N.; COUILLIEN, D.; GRÉGOIRE, J. C. Kairomone traps: A tool for monitoring the invasive spruce bark beetle *Dendroctonus micans* (Coleoptera: Scolytinae) and its specific predator, *Rhizophagus grandis* (Coleoptera: Monotomidae). **Journal of Applied Ecology**, v. 45, p. 537–548, 2008.

MOREIRA, A. N.; CONCEIÇÃO, J. A.; MOURA, M. D. da C. S. de; PEREZ, J. O.; SILVA, M. M. da; NASCIMENTO, E.F. do; GAVA, C. A. T. Alternativas para o manejo integrado de pragas e doenças na cultura da banana no submédio do vale do São Francisco. In: **seminário brasileiro de produção integrada de frutas**, 10, Ouro Preto. Produção Integrada no Brasil. p.1-3. 2008.

MOREIRA, F.J.C; ARAÚJO, B.A; SILVA, V.F; LUNA, N.S; ARAÚJO, O.P; BRAGA, D.S.B. Controle de *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera:Curculionidae) com os fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* em banana. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, p. 366 - 373. 2017.

MOREIRA, M. A. B.; ZARBIN, P. H. G.; CORACINI, M. D. A. Feromônios associados aos coleópteros-praga de produtos armazenados, **Química Nova**, v. 28, p. 472-477, 2005.

NORIN, T. Semiochemicals for insect pest management. **Pure and Applied Chemistry**, v. 79, p. 2129–2136, 2007.

PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas. **Editora Manol LTDA**, v. 9, p. 99-103, 1991.

PHILLIPS, T.; JIANG, X.; BURKHOLDER, W.; PHILIPS, J.; TRAN, H. Behavioral responses to food volatiles by two species of stored-product Coleoptera, *Sitophilus oryzae* and *Tribolium castaneum*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, p. 723-734, 1993.

PICANÇO, M. C. Manejo Integrado de Pragas. Curso de BAN – Entomologia Agrícola. **UFV**. 2003.

PINTO-ZEVALLOS, D. M.; ZARBIN, P. H. G. A química na agricultura: perspectivas para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. **Química Nova**, v. 36, p. 1509-1513. 2013.

PRESTES, T. M. V.; ZANINI, A.; ALVES, L. F. A.; Aspectos ecológicos da população de *Cosmopolites sordidus* em São Miguel do Iguaçu. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, p. 333-347, 2006.

REDDY, G. V.; GUERRERO, A. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. **Trends in plant science**, v. 9, p. 253-261, 2004.

RIFFEL, A.; COSTA, J. G. Os voláteis de plantas e o seu potencial para a agricultura. 48 p, 2015.

ROCHAT, D.; MALOSSE, C.; LETTERE, M.; DUCROT, P.H.; ZAGATTI, P.; RENOU, M.; DESCOINS, M. Male-produced Aggregation Pheromone of the American Palm Weevil, *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). Collection, Identification,

Electrophysiological Activity, and Laboratory Bioassay. **Journal of Chemical Ecology**, v. 17, p. 2127-2141, 1991.

SALUSTINO, S. A.; MEDEIROS, M. B.; OLIVEIRA, M. F.; OLIVEIRA, I. S. S. Atratividade olfatométrica de *Cosmopolites sordidus* Germar, 1824 (Coleoptera: Curculionidae) a dois genótipos de banana Musa sp. **XV Encontro Regional de Agroecologia - Bananeiras-PB-Cadernos de Agroecologia**, v. 10, 2015.

SANTOS, S. C. L. Pesquisa participativa de armadilhas e controle populacional de *Cosmopolites sordidus*. Tese. **UFERSA**. 141p. 2010.

SHRIVASTAVA, G.; ROGERS, M.; WSZELAKI, A.; PANTHEE, D. R.; CHEN, F. Plant volatiles-based insect pest management in organic farming. **Critical Reviews Plant Sciences**, v.29, p. 123-133, 2010.

SILVA FILHO, G. **Semioquímicos envolvidos na interação gorgulho-da-goiaba (*Conotrachelus psidii* Marshall) - goiabeira (*Psidium guajava* L.)**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Darcy Ribeiro, 83 p, 2005.

SILVA-FILHO, G.; BAILEZ, O. E.; BAILEZ, A. M. V. Dimorfismo Sexual do Gorgulho-da-Goiaba *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, v. 36, p. 520-524, 2007.

SOARES, A. L.; GARCIA, E. Q.; LOPES, E. A.; RODRIGUES, K. H. C. Eficiência dos bioinseticidas *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* no controle biológico de *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1824) (Coleoptera: Curculionidae). **Cerrado Agrociências**, v. 3, p. 10-20, 2012.

SUCKLING, D. M.; STRINGER, L. D.; STEPHENS, A. E.; WOODS, B.; WILLIAMS, D. G.; BAKER, G.; EL-SAYED, A. M. From integrated pest management to integrated pest eradication: technologies and future needs. **Pest Management Science**, v. 70, p. 179-189, 2014.

TEERLING, C. R.; GILLESPIE, D. R.; BORDEN, J. H. Utilization of western flower thrips alarm pheromone as a prey-finding kairomone by predators. **The Canadian Entomology**, v. 125, p. 431-437, 1993b.

TEERLING, C. R.; PIERCE, H. D.; BORDEN, J. H.; GILLESPIE, D.R. Identification and bioactivity of alarm pheromone in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, p. 681-697, 1993.

TESTASECCA, S. R. **A situação da *Cydia pomonella* no cone sul: Avaliação das normas e do programa nacional de erradicação no Brasil**. Universidade Federal de Viçosa. Dissertação (Mestrado em Defesa Sanitária Vegetal), 95 p, 2013.

TINZAARA, W.; DICKE, M.; VAN HUIS, A.; GOLD, C. Use of infochemicals in pest management with special reference to the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). **Insect Science and its Application**, v. 22, p. 241-261, 2002.

TINZAARA, W.; GOLD, C. S.; DICKE, M.; VAN HUIS, A. Olfactory responses of banana weevil predators to volatiles from banana pseudostem tissue and synthetic pheromone. **Journal of Chemical Ecology**. v. 31, p. 1537- 1553. 2005.

TREMATERRA P. Integrated Pest Management of storedproduct insects: practical utilization of pheromones. **Anzeiger Schidlingskde**, v. 70, p. 41-44, 1997.

VENTURA, L. B. L.; SANTOS, A.; CABRERA, R.; LOPES, D.; MEXIA, A. Ensaio de eficácia de duas feromonas na captura de adultos de *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, p. 287-291, 2012.

VERHEGGEN, F.; ARNAUD, L.; BARTRAM, S.; GOHY, M.; HAUBRUGE, E. Aphid and plant volatiles induce oviposition in an *Aphidophagous hoverfly*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 34, p. 301–307, 2008.

VILELA, E.; DELLA LUCIA, T. Feromônios de insetos: biologia, química e aplicação. 2.ed. **Ribeirão Preto: Holos**, 206 p, 2001.

VINSON, S. B. Can semiochemicals alter the use of parasites in IPM programs. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 27, p. 301–313, 1992.

WITZGALL, P.; BENTGSSON, M.; EL SAYED, A.; BÄCKMAN, A. C.; RAUSCHER, S.; BORG KARLSON, A. K.; LÖFQVIST, J. Chemical communication in codling moth: towards enviromentally safe control methods. **IOBC wprs Bulletin**. 1999.

WITZGALL, P.; KIRSCH, P.; CORK, A. Sex pheromones and their impact on pest management. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 36, p. 80-100, 2010.

WOOD, D. L. The role of pheromones, kairomones, and allomones in the host selection and colonization behavior of bark beetles. **Annual Review of Entomology**, v. 27, p. 411-446, 1982.

ZARBIN, P. H. G.; RODRIGUES, M. A. C. M.; LIMA, E. R. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. **Química Nova**, v. 32, p. 722-731, 2009.

3. CAPÍTULO I: Compostos orgânicos voláteis da bananeira atrativos para *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae)

RESUMO

A banana *Musa* spp. é uma das frutas tropicais mais importantes no mundo, porém, os problemas fitossanitários contribuem para redução de sua produtividade. Das pragas com maior severidade, o moleque-da-bananeira *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae) é a mais frequente, necessitando de medidas efetivas para controlá-lo, sendo o controle comportamental uma alternativa para manter a população de *C. sordidus* abaixo do nível de dano econômico. Portanto, o objetivo do trabalho é identificar compostos orgânicos voláteis (COVs) liberados pela bananeira, determinando quais estão envolvidos na atratividade para *C. sordidus*. O pseudocaule foi coletado e armazenado em B.O.D. à temperatura ambiente para fermentação. Os períodos de fermentação para análise foram 15 e 30 dias, além dos testes com pseudocaule fresco. Os voláteis de pseudocaule de bananeira fresco e fermentados foram obtidos através da técnica de headspace dinâmico. Os extratos de headspace foram analisados e os compostos foram identificados por meio de Cromatografia Gasosa acoplada ao Detector de Ionização em Chama (CG-FID) e Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG-MS). Para identificar os compostos eletrofisiologicamente ativos foi realizada a análise de Cromatografia Gasosa acoplada à Eletroantenografia (CG-EAG). Nos bioensaios em olfátômetro Y foi observada a resposta comportamental de adultos de *C. sordidus* para os extratos de pseudocaule de bananeira fresco e fermentado por 15 e 30 dias, dos compostos em CG-EAG e das misturas desses compostos. Foi acrescentado ao trabalho o norisoprenoide teaspirano, composto encontrado e identificado em folhas senescentes de bananeira. As análises químicas revelaram a presença de cinco compostos no extrato de headspace para pseudocaule fresco, 19 compostos no extrato de pseudocaule fermentado por 15 dias e 11 compostos no extrato de pseudocaule fermentado por 30 dias. Nos bioensaios de eletroantenografia, dois compostos e o teaspirano foram ativos para fêmeas de *C. sordidus*. Os compostos identificados pertencem à classe dos hidrocarbonetos e aldeídos, são eles, (*Z*)- β -ocimeno e tetradecanal, respectivamente. (*Z*)- β -ocimeno, tetradecanal e teaspirano indicaram atratividade para *C. sordidus*. O pseudocaule de bananeira fermentado durante 15 dias libera maior quantidade de COVs, tendo como majoritários os compostos (*E*)- β -ocimeno e hexadecanal. Os compostos (*Z*)- β -ocimeno, tetradecanal e teaspirano são ativos para fêmeas de *C. sordidus*. Os COVs liberados pela planta hospedeira elicia comportamento de atração para machos e fêmeas de *C. sordidus*. As misturas teaspirano + tetradecanal e (*Z*)- β -ocimeno + tetradecanal + teaspirano desencadeiam resposta atrativa para machos e fêmeas.

Palavras-chave: Manejo Integrado de Pragas, Ecologia Química, Eletroantenografia.

CHAPTER I: Volatile organic compounds from banana attractive to *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae)

ABSTRACT

The banana *Musa* spp. It is one of the most important tropical fruits in the world, however, phytosanitary problems contribute to a decrease in its productivity. Of the most severe pests, the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae) is the most common, requiring effective measures to control it, with behavioral control being an alternative to maintain the *C. sordidus* population below the level of economic damage. Therefore, The objective of the work is to identify volatile organic compounds (VOCs) released by banana plants, determining which are involved in the attractiveness to *C. sordidus*. The pseudostem was collected and stored in B.O.D. at room temperature for fermentation. The fermentation periods for analysis were 15 and 30 days, in addition to tests with fresh pseudostem. Volatiles from fresh and fermented banana pseudostem were obtained by the dynamic headspace technique. The headspace extracts were analyzed and the compounds were identified using Gas Chromatography coupled to Flame Ionization Detector (GC-FID) and Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC-MS). To identify the electrophysiologically active compounds, Gas Chromatography coupled to Electroantennography (CG-EAG) analysis was performed. In bioassays in a Y olfactometer, the behavioral response of *C. sordidus* adults to fresh and fermented banana pseudostem extracts for 15 and 30 days was observed, of compounds in CG-EAG and mixtures of these compounds. The norisoprenoid theaspirane, a compound found and identified in senesced banana leaves, was added to the work. Chemical analyzes revealed the presence of five compounds in the headspace extract for fresh pseudostem, 19 compounds in the pseudostem extract fermented for 15 days and 11 compounds in the pseudostem extract fermented for 30 days. In electroantennography bioassays, two compounds and theaspirane were active for *C. sordidus* females. The identified compounds belong to the class of hydrocarbons and aldehydes, they are (Z)- β -ocimene and tetradecanal, respectively. (Z)- β -ocimene, tetradecanal and theaspirane indicated attractiveness to *C. sordidus*. The banana pseudostem fermented for 15 days releases a greater quantity of VOCs, the majority of which are the compounds (E)- β -ocimene and hexadecanal. The compounds (Z)- β -ocimene, tetradecanal and theaspirane are active for *C. sordidus* females. VOCs released by the host plant elicit attraction behavior for *C. sordidus* males and females. The mixtures theaspirane + tetradecanal and (Z)- β -ocimene + tetradecanal + theaspirane trigger an attractive response for males and females.

Keywords: Integrated Pest Management, Chemical Ecology, Electroantennography

3.1. INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas mais consumidas no Brasil e no mundo, sendo uma das principais culturas tropicais, cultivada em mais de 100 países (FAO, 2012). É considerada uma fonte alimentar muito importante (PERRIER et al., 2011), no mercado brasileiro é amplamente aceita em todos os níveis sociais e boa parte da produção nacional é consumida no mercado interno (BENNO et al., 2018).

Tem grande importância socioeconômica no Brasil, pois é comercializada de norte a sul no país. Sendo uma cultura atrativa para pequenos e médios produtores, em razão da cadeia de produção ofertar empregos e, conseqüentemente, influência no mercado, o que beneficia para o crescimento nacionalmente (SILVA; CORDEIRO, 2000).

Um dos fatores limitantes à produtividade de banana é a incidência de pragas, entre elas, *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae) considerado a principal praga da bananeira, no qual é encontrada em diferentes regiões do mundo (GOLD et al., 2001). Os seus danos são ocasionados pela fase jovem da praga (denominada broca-do-rizoma) que perfura galerias no rizoma e pseudocaule afetando diretamente a produtividade da planta (DASSOU et al., 2015).

Gold et al. (2001) afirmam que *C. sordidus*, na fase adulta, não apresenta importância econômica, porém é nessa fase em que as medidas de controle são aplicadas. Godfrey et al. (2014) exemplificam o uso de extratos vegetais como uma estratégia de controle que tem sido bastante utilizada, bem como o controle microbiano (FANCELLI et al., 2013), uso de feromônios (REDDY; RAMAN, 2011; DUYCK et al., 2012) e o manejo cultural (DASSOU et al., 2015).

Os insetos na fase adulta procuram alimento captando Compostos Orgânicos Voláteis (COV's) atrativos que fluem da planta hospedeira (GOLD et al., 2002) e os machos produzem um feromônio de agregação (BUDENBERG et al., 1993) ao qual ambos os sexos respondem (BRAIMAH et al., 2004). A atratividade de cairomônios (voláteis de plantas), para várias espécies de gorgulhos, foi relatada (VAN TOL et al., 2002) como sendo usados para melhorar os sistemas de captura, agregar populações para a implantação de outras intervenções de manejo de pragas (VEGA et al., 2000) ou aumentar a atratividade de armadilhas iscadas (CERDA et al., 1998).

Populações de *C. sordidus* podem ser monitoradas (MITCHELL, 1978) e controladas (GOLD et al., 2002) no campo usando armadilhas de pseudocaule ou rizoma. Cuille (1950) e Budenberg et al. (1993a) relataram uma atração do gorgulho por voláteis (cairomônios) do pseudocaule e do rizoma da bananeira, materiais frescos e apodrecidos foram relatados como

igualmente atraentes. Embora outros relatórios tenham indicado que caules frescos são mais atraentes do que material em fermentação (HORD; FLIPPIN, 1956). Os cairomônios também podem ser usados para aumentar a atratividade do feromônio (OEHLSCHLAGER et al., 2000).

Abagale et al. (2018b), em estudo sobre a atratividade de diferentes estágios de maturação de folhas de bananeira, sugeriram que as folhas no estágio de senescência produziram mais voláteis atrativos à *C. sordidus* que folhas frescas e secas artificialmente. Abagale et al. (2018a) ao estudarem os compostos orgânicos voláteis atrativos para o moleque-da-bananeira descobriram que o (2R,5S)-teaspirano era o principal componente ativo produzido pela senescência de folhas de bananeira e altamente atrativo para *C. sordidus*.

Desta forma, o objetivo do trabalho é caracterizar os COVs emitidos pela bananeira e determinar através de eletroantenografia aqueles que estão envolvidos na atratividade à *C. sordidus*.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Coleta de *Cosmopolites sordidus*

As coletas de *C. sordidus* foram realizadas em abril e outubro de 2022 no município de Branquinha, estado de Alagoas, em áreas de assentamentos em lavouras de subsistências com diversas culturas implantadas, dentre elas, a bananeira. Os insetos foram coletados em plantas com danos evidentes causados por *C. sordidus*, como presença de galerias nos tecidos do pseudocaule e do rizoma, e consequentemente amarelecimento, podridão e morte. As bananeiras selecionadas foram aquelas já caídas ao solo e em alto estado de decomposição, condições ideais para permanência do inseto. As plantas foram cortadas e abertas manualmente e com auxílio de facão para coleta, havendo também, coleta das larvas.

3.2.2. Coleta do pseudocaule

As coletas de pseudocaule para análises também foram realizadas em abril de 2022 no município de Branquinha, estado de Alagoas, em áreas de assentamentos com plantações de lavouras de subsistências com diversas culturas implantadas, inclusive a bananeira.

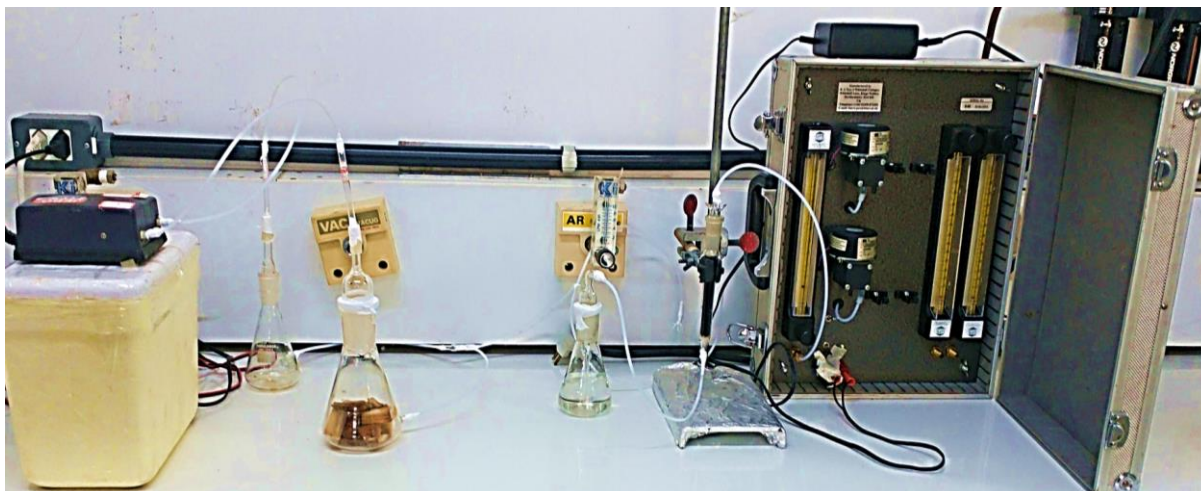
O pseudocaule foi coletado de bananeiras sem danos evidentes causados por *C. sordidus* e armazenados em incubadora de Demanda Bioquímica de Oxigênio (B.O.D.) à temperatura ambiente para fermentação.

3.2.3. Obtenção dos compostos orgânicos voláteis do pseudocaule de *Musa* spp.

Os COVs do pseudocaule foram coletados, separadamente, de 100g de pseudocaule em diferentes estados de conservação (fresco e fermentado por 15 e 30 dias). As extrações dos voláteis ocorreram através da técnica de headspace dinâmico em um sistema fechado de vidro, sob fluxo contínuo de ar sintético (1 L/min) previamente filtrado com carvão ativado (Figura 1).

Após 24 horas, os voláteis adsorvidos na coluna de porapak Q, foi feita a dessorção dos COVs utilizando 300 µL de hexano HPLC bidestilado. Os extratos foram acondicionados em vials (vidros de borosilicato, 2 mL) e armazenados em freezer a -20 °C para análises posteriores.

Figura 1. Headspace dinâmico de 100g de pseudocaule de bananeira no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas.



Fonte: Autor (2022).

3.2.4. Análise dos extratos em Cromatografia Gasosa acoplada ao detector de Ionização em Chamas (GC-FID)

Uma alíquota de 1 µl de cada extrato obtido nas aerações foi analisado em Cromatografia Gasosa acoplada ao detector de Ionização em Chamas (CG-FID) no equipamento Shimadzu QP2010 com coluna NST-05 (30 m, 0,25 mm d.i.; Restek®, Bellefonte, PA, USA), com controle de pressão eletrônico e operado no modo “splitless” com nitrogênio como gás de arraste.

As condições de análise foram as seguintes: A programação da temperatura da coluna foi de 40 °C por 5 minutos com aumento de 5 °C por minuto até atingir 130 °C e em sequência aumentando 10 °C por minuto até atingir 280 °C, com o fluxo da coluna de 1,10 mL/min.

Com a análise no CG-FID, foi realizada a observação da quantificação de compostos específicos entre os tratamentos, e com a obtenção do tempo de retenção de cada composto, cauculou-se o Índice de Retenção (IR), utilizando o padrão de n-alcanos de 7 a 30 átomos de carbono (SIGMA-ALDRICH) no mesmo equipamento e método usado nos extratos em modo Split. Com isso, através dos tempos de retenção dos compostos das amostras e do padrão de alcanos foi realizado o cálculo do IR de cada composto com base na equação 1.

$$IR = 100y + 100(z - y) * (tr_x - tr_y) / (tr_z - tr_y) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: tr_x = tempo de retenção dos compostos de interesse; y = número de carbonos do hidrocarboneto que elui antes do composto X; z = número de carbonos do hidrocarboneto que elui depois do composto X.

3.2.5. Análise dos extratos em Cromatografia Gasosa acoplado ao Espectrômetro de Massas (GC – MS)

Uma alíquota de 1 µL do mesmo extrato foi analisada através de Cromatografia Gasosa acoplada ao Espectrômetro de Massas (CG-MS), modelo Shimadzu QP-2010, equipado com uma coluna capilar ZB-5MS (60 m, 0,25 mm d. i., 0,25 µm; J & W Scientific, Folsom, Califórnia, EUA), com ionização por impacto de elétrons (70 eV). O CG-MS foi operado no modo Split, com a programação de temperatura de 40 °C permanecendo por 9 minutos, aumentando 5 °C por minuto até 130 °C e aumentando 10 °C por minutos até atingir 280 °C. O gás de arraste utilizado foi o hélio, com fluxo de 1,31 mL/minuto. Os compostos presentes foram identificados por meio das análises de fragmentação, Índice de Retenção, e comparações com as bibliotecas NIST, WILEY e FFNSC do espectrômetro.

3.2.6. Análise dos extratos em Cromatografia Gasosa acoplada a eletroantenografia (GC – EAG)

A identificação dos compostos eletrofisiologicamente ativos dos extratos foi realizada através de Cromatografia Gasosa acoplada à Eletroantenografia. Utilizando uma alíquota de 2 µL do extrato de headspace foi analisada no cromatógrafo gasoso acoplado ao detector de ionização em chama (CG-FID) modelo QP-10, operado no modo Splitless, com coluna capilar RTX-5 (30mm × 0,25mm × 0,25 µm) (RESTEK Chromatography Products). As condições de operação do equipamento iniciaram com (50 °C por 1 minuto, aumentando 6 °C por minuto até atingir 130 °C, aumentando 15 °C por minuto, até atingir 280 °C, com o fluxo da coluna de 2,17 mL/min).

Para a retirada das antenas dos insetos foi utilizado lupa estereoscópica, as antenas foram cuidadosamente cortadas na base do escapo com auxílio de tesouras e pinças entomológicas, e conectadas a um eletrodo de prata, onde o flagelo foi colocado no eletrodo de trabalho e fixado no eletrodo de referência. Para cobrir as extremidades da antena, utilizou-se um gel condutor que também auxilia na conexão da antena ao sistema.

Os sinais das antenas foram registrados através do amplificador de alta impedância (IDAC4, Syntech 2004), sendo que as respostas do EAG e a análise do FID foram registradas simultaneamente pelo software Autopike32, Syntech 2008. Na análise das respostas do CG - EAG foram observadas a relação entre o sinal do EAG absoluto e os ruídos da linha base e os picos correspondentes dos compostos presentes na amostra registrados pelo CG-FID. As respostas ativas foram consideradas com mais de duas repetições.

3.2.7. Bioensaio em olfatômetro Y

A resposta comportamental de adultos de *C. sordidus* para os extratos de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira fresco e fermentado por 15 e 30 dias foi verificada usando o olfatômetro em Y, operado com um fluxo de ar contínuo de 1,4 L/min, previamente umidificado e filtrado com carvão ativado.

A fonte de odor utilizada foi um pedaço de papel de filtro (2 × 2 cm) impregnado com 10 µL do extrato de headspace dinâmico de pseudocaule ou hexano HPLC (controle), que foi colocado na base de cada braço do olfatômetro. Os insetos foram introduzidos na base do tubo principal do olfatômetro e seu comportamento foi observado durante 5 minutos. A resposta foi registrada quando o besouro caminhava até a porção correspondente a 75% do braço escolhido. E como não resposta, quando o besouro não caminhava contra o fluxo de ar e/ou não atingia a porção considerada durante os 5 minutos observados. Foram testadas 40 fêmeas e 40 machos para cada tratamento, sendo considerado cada espécime como uma repetição. A fonte de odor foi trocada a cada indivíduo testado.

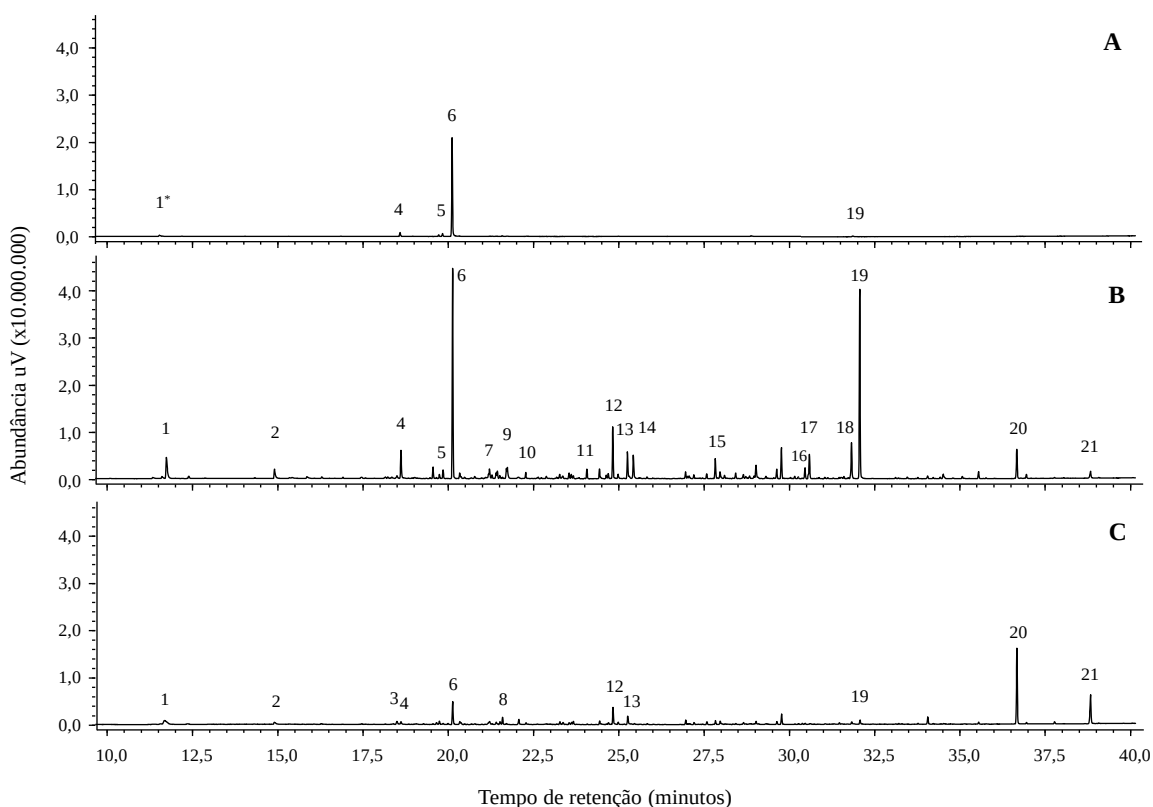
Os padrões sintéticos dos compostos eletrosifilogicamente ativos identificados nos extratos de headspace dinâmico de pseudocaule fresco e fermentado por 15 e 30 dias e do composto encontrado em folhas de bananeira, teaspirano, foram adquiridos comercialmente com grau de pureza $\geq 98,5\%$. Soluções desses compostos em hexano foram preparadas em uma concentração total de 100 µL/mL para uso nos bioensaios comportamentais. Esta concentração foi escolhida com base em análises preliminares em PUFF. A partir das soluções dos padrões sintéticos bioativos foram preparadas quatro misturas: M1 (teaspirano + tetradecanal), M2 (teaspirano + (Z)- β -ocimeno), M3 (tetradecanal + (Z)- β -ocimeno) e M4 ((Z)- β -ocimeno + teaspirano + tetradecanal). Para cada teste realizado, o preparo das misturas foi utilizado volumes iguais de cada um dos padrões sintéticos e utilizando a dosagem de 10 µL de cada mistura testando os compostos bioativos individuais e as misturas na proporção (1:1:1)

Para análise dos dados das respostas dos insetos para os diferentes compostos/misturas em olfatômetro, os dados foram transformados em porcentagem e foi usado o teste Qui-quadrado através do Software SAS. Os insetos que não escolheram nenhum dos braços (não respondentes) foram excluídos da análise estatística.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O extrato obtido por headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira fresco indicou a presença de cinco compostos (Figura 2A), tendo como majoritário o composto de número 6 identificado como hidrocarboneto (*E*)- β -ocimeno (Tabela 1).

Figura 2. Cromatograma comparativo de extrato de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira fresco (A); fermentado durante 15 dias (B), e fermentado durante 30 dias (C). *Numeração dos compostos a partir do tempo de retenção.



Com 15 dias de fermentação do pseudocaule foi observado maior número de compostos, tendo 19 compostos identificados, mantendo como majoritário o (*E*)- β -ocimeno (6) e destacando o aldeído hexadecanal (19) que também estava presente no extrato de pseudocaule fresco, porém em menor abundância (Figura 2B).

No extrato de headspace dinâmico do pseudocaule fermentado por 30 dias, foi observada a presença de 11 compostos (figura 2C), porém com menor abundância em relação ao extrato da fermentação por 15 dias, e apresentando como majoritário o composto de número 20 indicado como o hidrocarboneto 9-eicoseno (Tabela 1).

Tabela 1. Compostos presentes em extratos de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira, fresco e fermentado durante 15 e 30 dias. Proposto pela análise de GC-MS.

Nº	TR	IRC	IRL	Compostos	Classe
1	11,73	875	-	Não Identificado	-
2	14,90	895	-	Não Identificado	-
3	18,49	988	988	3-octanona**	Cetona
4	18,61	991	992	β -mirceno**	Hidrocarboneto
5	19,85	1038	1037	(Z)- β -ocimeno**	Hidrocarboneto
6	20,12	1049	1049	(E)- β -ocimeno**	Hidrocarboneto
7	21,21	1093	1093	1-undeceno**	Hidrocarboneto
8	21,51	1105	1105	Nonanal**	Aldeído
9	21,73	1116	1117	Benzenoetanol**	Álcool
10	22,27	1141	1135	(Z)-epoxiocimeno*	Epóxido
11	24,06	1228	1217	Carveol*	Álcool
12	24,82	1268	1273	Acetofenona*	Cetona
13	25,25	1290	-	Não Identificado	-
14	25,42	1299	1300	Indol*	Álcaloide
15	27,83	1439	1440	trans-Cariofileno**	Sesquiterpeno
16	30,45	1606	1585	Oxido Cariofileno*	Terpenoide
17	30,59	1615	1615	Tetradecanal**	Aldeído
18	31,82	1700	-	Não Identificado	-
19	32,06	1717	1817	Hexadecanal*	Aldeído
20	36,66	2076	1914	9-eicoseno*	Hidrocarboneto
21	38,83	2277	2271	9-tricoseno*	Hidrocarbonteo

Nº= número do pico; TR = Tempo de retenção; IRC = Índice de retenção calculado; IRL = Índice de retenção de acordo com a literatura; *compostos com identificação proposta por meio das análises de fragmentação dos espectros de massa; ** confirmação dos compostos identificados com padrões. Análise CG-FID com coluna NST-05; análise GC-MS com coluna ZB-5MS.

Os compostos emitidos na fermentação do pseudocaule de bananeira e indicados pelo GC-MS estão divididos em oito classes, são elas, dos hidrocarbonetos (β -mirceno, (Z)- β -ocimeno, (E)- β -ocimeno, 1-undeceno, 9-eicoseno e 9-tricoseno), aldeído (tetradecanal, hexadecanal e nonanal), álcool (benzenoetanol e carveol), cetona (3-octanona e acetofenona), alcaloide (Indol), sesquiterpeno (trans-cariofileno) terpenoide (óxido cariofileno) e epóxido ((Z)-epoxiocimeno) (Tabela 1).

Cosmopolites sordidus pode ser monitorado em campo (MITCHELL, 1978) e controlado usando armadilhas de pseudocaule (GOLD et al., 2002), foi estipulado que as combinações de feromônio e voláteis da planta hospedeira podem interagir unicamente para atrair e capturar insetos (BUDENBERG et al., 1993; JAYARAMAN et al., 1997).

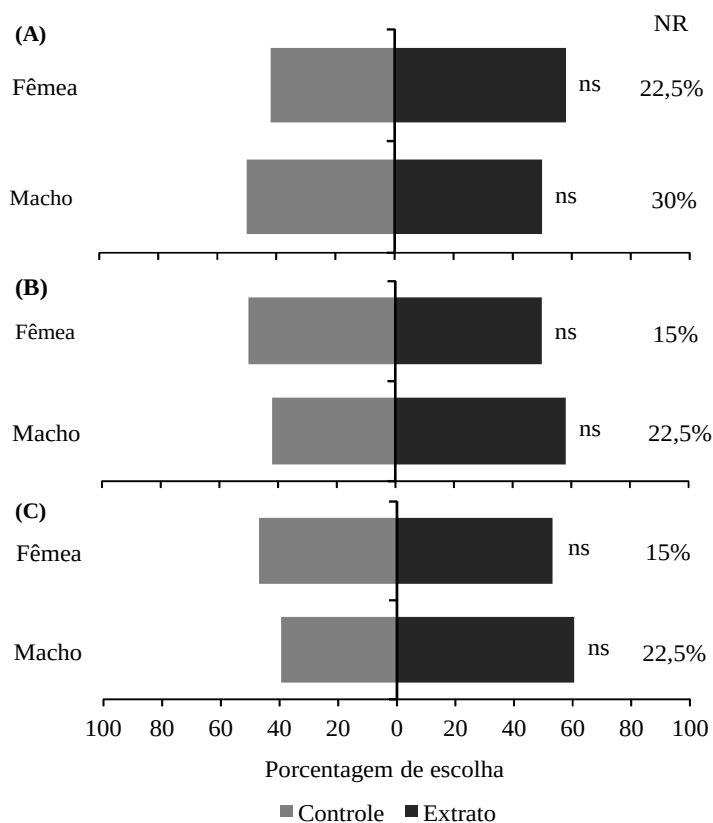
Um estudo realizado na Costa Rica revelou que armadilhas de pseudocaule com iscas de feromônio de agregação causaram aumento de 5 a 10 vezes na atratividade para o moleque-da-bananeira (ALPIZAR; FALLAS, 1997). Em experimentos de olfatometria, Tinzaara et al. (2002) constataram que um maior número de insetos respondeu aos tecidos de banana fermentados combinados com o feromônio de agregação em comparação com os

tratamentos individuais. Outros estudos também indicaram que o extrato da banana e o extrato da planta hospedeira fermentada aumentam a atratividade do feromônio para o moleque-da-bananeira quando utilizados juntos (REDDY et al., 2008; PALANICHAMY et al., 2011).

Resultados de Budenberg et al. (1993a) sugerem que o material de pseudocaule fermentado é um atrativo tão bom quanto o material fresco para *C. sordidus*, porém resultados de campo mostram que mais insetos são capturados usando armadilhas de pseudocaule frescos, isso pode ocorrer porque as capturas de armadilhas de campo refletem tanto a atratividade das armadilhas quanto sua capacidade de retenção, contudo o material mais fresco pode ser uma fonte de alimento preferida em relação ao material fermentado.

Nos testes de olfatometria com os extratos de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira, fresco e fermentado durante 15 e 30 dias, não foram observadas diferenças significativas na resposta comportamental de machos e fêmeas frente aos extratos ($P > 0,05$) (Figura 3).

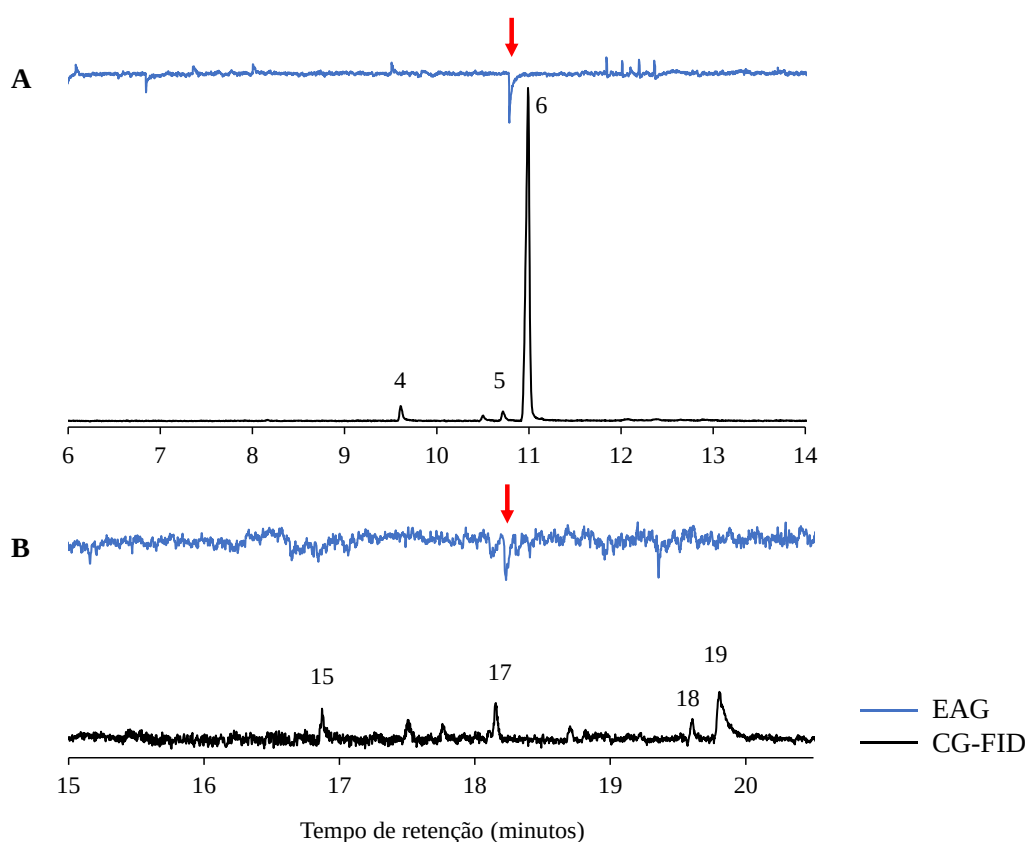
Figura 3. Resposta comportamental de fêmeas (n=40) e machos (n=40) de *Cosmopolites sordidus* para extrato de Pseudocaule Fresco (A); pseudocaule fermentado por 15 dias (B); e pseudocaule fermentado por 30 dias (C), em olfatômetro do tipo Y de dupla escolha.



As respostas comportamentais de *C. sordidus* não indicam atratividade dos extratos,

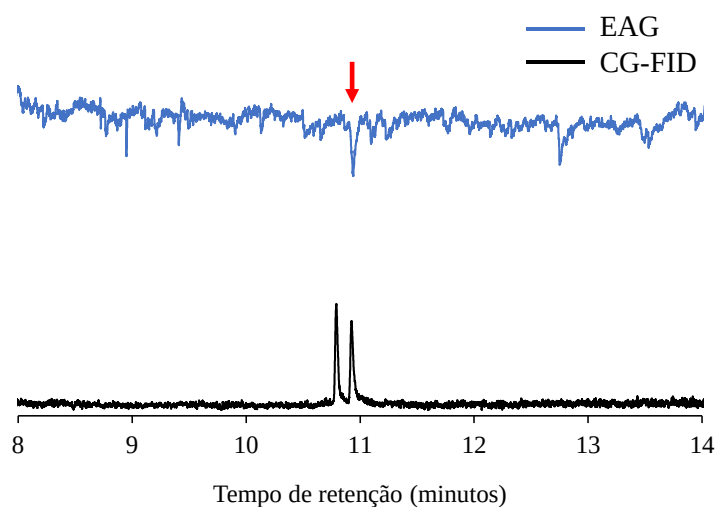
mesmo com os relatos na literatura que demonstram essa atividade. Entretanto, nos testes de eletroantenografia foram identificados dois compostos ativos que estão presentes de forma minoritária nos extratos de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira fresco e fermentado durante 15 dias (Figura 4). A observação de compostos minoritários como ativos nos extratos, pode explicar o resultado observado no teste de olfatometria realizado.

Figura 4. Resposta eletroantenográfica de fêmea de *Cosmopolites sordidus* para os compostos do extrato de pseudocaule de bananeira fresco (A) e extrato de pseudocaule de bananeira fermentado por 15 dias (B). (↓) Indicação da resposta com pico do composto correspondente. (Coluna RTX-05; 5=(Z)- β -ocimeno; 17= tetradecanal).



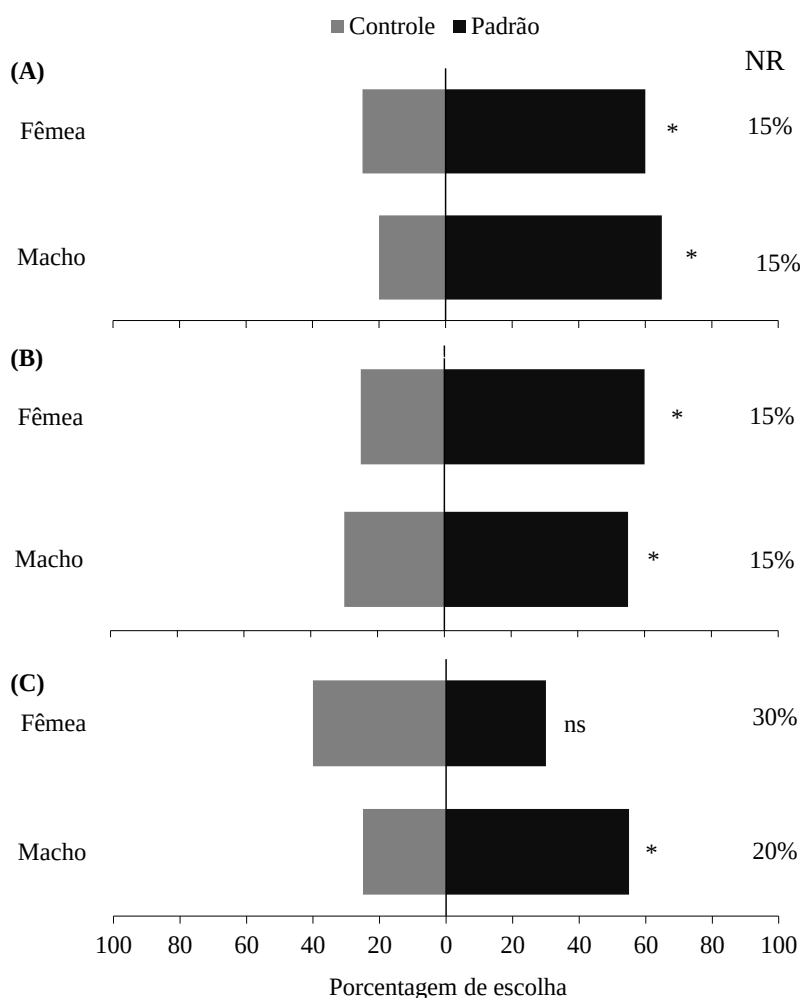
Nos bioensaios de eletroantenografia observou-se atividade para o composto 5 no extrato de pseudocaule de bananeira fresco, sendo identificado como (Z)- β -ocimeno. Para o extrato do pseudocaule fermentado por 15 dias observou-se resposta para composto 17, identificado como tetradecanal (Tabela 1). Em análise eletroantenográfica também foi observada resposta ativa quando as antenas de fêmeas de *C. sordidus* foram expostas ao composto teaspirano (Figura 5).

Figura 5. Resposta eletroantenográfica de fêmea de *Cosmopolites sordidus* para o teaspirano.



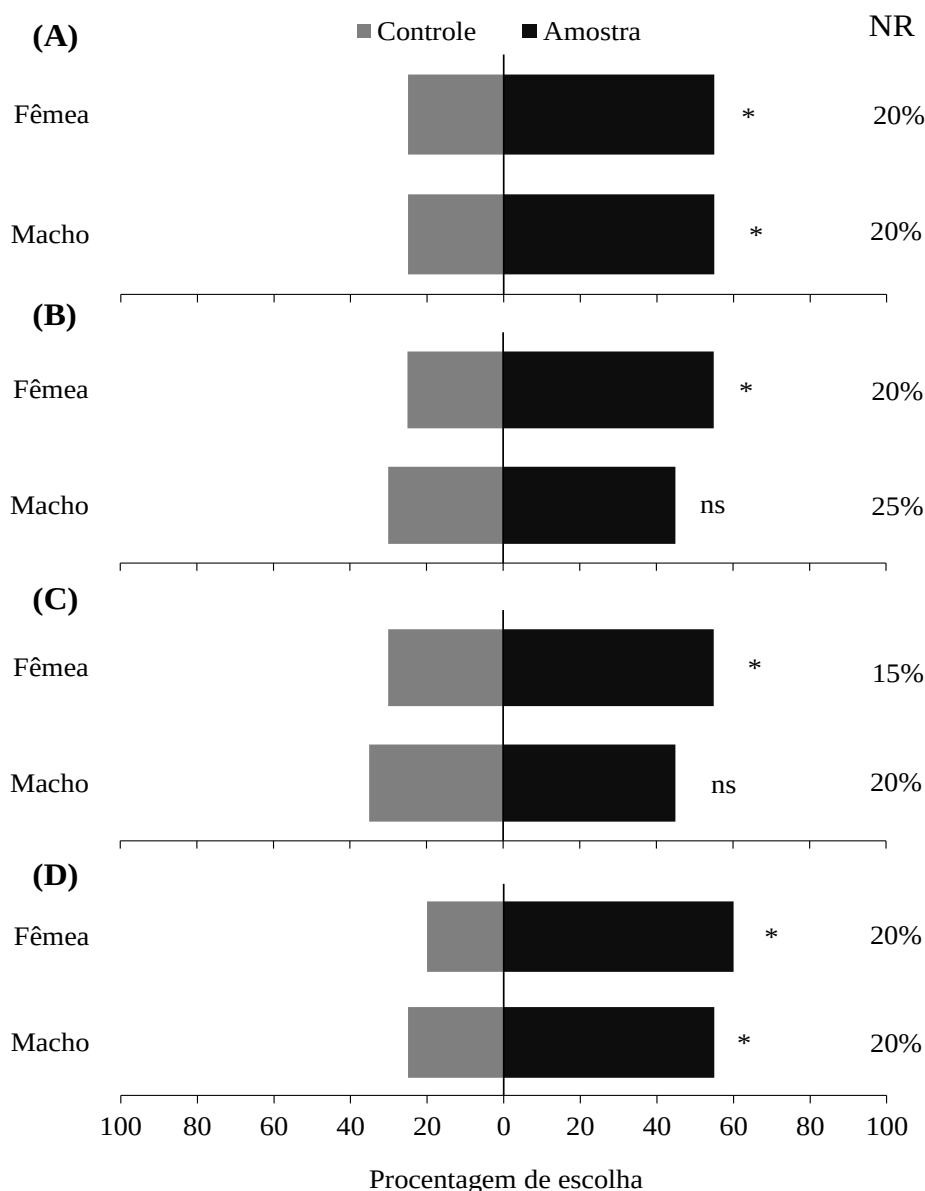
Nos testes de olfatometria com os padrões dos compostos obtidos dos extratos de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira e do teaspirano, foram observadas diferenças significativas nas respostas comportamentais de machos e fêmeas frente aos padrões ($P > 0,05$) para o teaspirano e (*Z*)- β -ocimeno, em contrapartida, o tetradecanal se mostrou atrativo apenas para machos (Figura 6).

Figura 6. Resposta comportamental de fêmeas (n=20) e machos (n=20) de *Cosmopolites sordidus* para os compostos teaspirano (A); (Z)- β -ocimeno (B); e tetradecanal (C), em olfatômetro do tipo Y de dupla escolha.



Nos testes de olfatometria com as misturas dos padrões dos compostos obtidos dos extratos de headspace dinâmico de pseudocaule de bananeira e com o teaspirano foram observadas diferenças significativas nas respostas comportamentais de machos e fêmeas frente aos tratamentos ($P > 0,05$) Misturas 1 e 4 (Figura 7A e D), por outro lado as misturas 2 e 3 mostraram-se atrativas apenas para fêmeas (Figura 7B e C).

Figura 7. Resposta comportamental de fêmeas (n=20) e machos (n=20) de *Cosmopolites sordidus* para a mistura dos padrões definidas como: mistura 1 = teaspirano+tetradecanal (A); mistura 2 = teaspirano+(z)- β -ocimeno (B); mistura 3 = (z)- β -ocimeno+tetradecanal (C); mistura 4 = teaspirano+tetradecanal+(z)- β -ocimeno (D), em olfatômetro do tipo Y de dula escolha.



Os compostos voláteis liberados pelas plantas desempenham papéis fundamentais em diversas atividades dos insetos, onde os próprios insetos se orientam pelos odores captados para explorar os recursos contidos em seu meio, encontrar alimento e identificar locais de oviposição (GOLD et al., 2001). Plantas hospedeiras chegam a liberar inúmeros compostos, no entanto estudos mostram que somente uma pequena parcela dos componentes presentes em

uma mistura pode ser localizada pelas antenas do inseto e outra parte menor ainda pode estar envolvida no estímulo a mudanças no comportamento de insetos fitófagos (FRASER et al., 2003).

No presente trabalho, com uso das técnicas de CG-EAG e CG-MS foi possível identificar dois compostos: (*Z*)- β -ocimeno e tetradecanal, presentes no extrato de pseudocaulis fresco e fermentado por 15 dias e teaspirano. Após serem identificados como ativos para machos e fêmeas de *C. sordidus* foram observados quais dos compostos influenciam na atratividade para o inseto. Ao confirmar que esses voláteis possam contribuir para a atração de *C. sordidus*, os bioensaios comportamentais foram realizados para demonstrar que as misturas testadas possivelmente influenciam no comportamento e na atratividade de adultos de *C. sordidus*.

A comparação comportamental observada dos compostos bioativos testados individualmente e em misturas apresentou melhor resposta comportamental para as misturas, esse fato corrobora com Bruce et al. (2011), onde afirmam que o comportamento dos insetos, quando induzidos por misturas de voláteis, é mais influenciado do que quando induzido por compostos individuais, então, as misturas de voláteis originam respostas comportamentais diferentes das respostas proporcionadas por compostos individuais. Portanto, existe um nível de percepção da qualidade do odor que depende de algumas combinações de voláteis para formar a percepção completa detectada pelo inseto.

Budenberg et al. (1993a) relataram atração do inseto a voláteis (caïromônios) do pseudocaulis da bananeira. Com isso caïromônios podem ser usados para aumentar a atratividade do feromônio (BUDENBERG et al., 1993b; OEHLISCHLAGER et al., 2000) e estudos preliminares indicam que voláteis da planta hospedeira podem potencializar o feromônio de agregação (TINZAARA et al., 2007). Tewari et al. (2014) argumentaram que a atratividade de iscas a partir de feromônios para muitas espécies de insetos pode ser aumentada através da combinação com voláteis oriundos de plantas hospedeiras.

O β -ocimeno é um hidrocarboneto conhecido por ser constituinte comum de odores florais que atraem insetos, incluindo os inimigos naturais ou polinizadores (DUDAREVA et al., 2003; TANG; ZHANG; ZHANG, 2016). É um composto bastante comum na mistura volátil emitida por plantas em resposta a herbivoria e danos mecânicos (BORGES et al., 2018; PARÉ; TUMLINSON, 1998).

War et al. (2012) observaram que compostos como o β -ocimeno foi emitido após algumas horas de infestação pela *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*). Esse composto tem sido

descrito defendendo as plantas impedindo a oviposição e causando toxicidade para o herbívoro atraindo inimigos naturais e ajudando as plantas a não sofrerem maiores danos. Plantas de tomate, quando cultivadas em conjunto com plantas de tabaco (*Nicotiana glauca*) manifestando o β -ocimeno, também mostraram uma indução na defesa contra afídeos, reforçando o papel deste composto como candidato para uso em uma estratégia de controle de pragas agrícolas, apontam Cascone et al. (2015).

Ao estudar respostas de *Odoiporus longicollis* G.A.K. Marshall, 1930 (Coleoptera: Curculionidae) a caule de pseudocaule da bananeira, Alagesan et al. (2018) observaram que os voláteis da planta hospedeira atuam como atrativos, as respostas comportamentais em insetos machos e fêmeas exibiram resultado de 47,5% ao β -ocimeno, para atração do inseto, concluindo que o β -ocimeno é fundamental na atração de *O. longicollis*.

Oliveira (2014) quando estudou o envolvimento de semioquímicos na interação tritrófica entre a palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*), cochonilha de escamas (*Diaspis echinocacti*) e seu predador *Zagreus bimaculosus* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae) percebeu que houve respostas eletrofisiológicas das antenas de fêmeas de *Z. bimaculosus* para o composto tetradecanal.

Cooperband et al. (2008) ao testar as respostas das antenas de fêmeas de *Culex pipiens quinquefasciatus* Say, 1823 (Diptera: Culicidae) a voláteis de fezes de galinha acidificadas encontraram oito aldeídos que geraram respostas nas antenas dos mosquitos, dentre eles estava o tetradecanal como destaque.

Ao estudar a ecologia química de abelhas, Pianaro (2007) identificou o tetradecanal como o composto majoritário em extratos de abdômen de abelhas operárias de *Plebeia droryana* (Friese, 1900) (Hymenoptera: Apidae) e está presente em suas glândulas de Dufour. O tetradecanal vem sendo descoberto em *Helicoverpa armigera* juntamente com o (Z)-11-hexadecenal, no qual, é um dos mais importantes compostos presentes na glândula sexual de fêmeas de *H. armigera*, primeiro componente descrito e também foi o primeiro e único feromônio de longa distância descoberto para a espécie (ZHANG, et al., 2012).

Estudos anteriores mostraram que a seleção da planta hospedeira por *C. sordidus* adulto é influenciada por um caiofônio volátil altamente atrativo oriundo de folhas de bananeira senescentes (BRAIMAH; VAN EMDEN, 1999). Abagale et al. (2018b) em testes de comportamento laboratoriais utilizando folhas senescentes naturalmente, observaram que o (2R,5S)-teaspirano é tão atraente quanto o material foliar natural da planta e apresenta-se como uma nova ferramenta para o controle de *C. sordidus*.

A resposta olfativa de insetos a extratos vegetais (hospedeiros) é de caráter específico, podendo haver semelhança na atratividade das espécies, dependendo da presença de odores, grau de fermentação e hábitos alimentares. Tecidos vegetais em estado de fermentação possuem maior concentração de voláteis do que tecidos conservados, existindo uma correlação positiva entre o grau de fermentação, concentração de odores marcantes e a atratividade para o inseto (GIRÓN-PÉREZ et al., 2009).

Tinzaara et al., (2007) afirmam que a combinação entre cairomônios e o feromônio de agregação liberados pelos machos de *C. sordidus* amplia a capacidade atrativa de armadilhas utilizadas no monitoramento desse inseto em campo. Combinações entre cairomônios e feromônio podem ser eficientes formas de controle, utilizando grande número de iscas na coleta massal (KAAYA et al. 1993). Jayaraman et al. (1997) destacam que esta combinação pode apresentar excelentes resultados na coleta massal. Portanto, a informação obtida com este presente trabalho permitirá aprimorar as estratégias de Manejo Integrado de Pragas na cultura da bananeira.

3.4. CONCLUSÃO

O pseudocaule de bananeira fermentado durante 15 dias libera maior quantidade de compostos voláteis, tendo como majoritários os compostos (*E*)- β -ocimeno e hexadecanal.

Os compostos (*Z*)- β -ocimeno, tetradecanal e teaspirano são ativos para fêmeas de *C. sordidus*.

Os compostos voláteis liberados pela planta hospedeira elicia comportamento de atração para machos e fêmeas de *C. sordidus*.

As misturas teaspirano + (*Z*)- β -ocimeno e (*Z*)- β -ocimeno + tetradecanal + teaspirano desencadeiam resposta atrativa para machos e fêmeas.

REFERÊNCIAS

- ABAGALE, S. A.; WOODCOCK, C. M.; CHAMBERLAIN, K.; OFASO-ACQUAAH, S.; VAN EMDEN, H.; BIRKETT, M. A.; PICKETT, J. A.; BRAIMAH, H. Attractiveness of host banana leaf materials to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* in Ghana for development of field management strategies. **Pest Management Science**, v. 75, p. 549-555, 2018b.
- ABAGALE, S. A.; WOODCOCK, C. M.; HOOPER, A. M.; CAULFIELD, J. C.; CHAMBERLAIN, K.; ACQUAAH, S. O.; VAN EMDEN, H.; BRAIMAH, H.; PICKETT, J. A.; BIRKETT, M. A. (2R, 5S)-Theaspirane identified as the major kairomone for the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* from attractive senesced leaves of the host banana, *Musa* Spp. **Chemistry: A European Journal**, v. 24, p. 9217–9219, 2018a.
- ALAGESAN, A.; THARANI, G.; PADMANABAN, B.; SILVARAMAKRISHNAN, S.; MANIVANNAN. Kairomones from highly susceptible host to control banana pseudostem weevil, *Odoiporus longicollis* (Olivier). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 16, p. 655-662, 2018.
- ALPIZAR, D.; FALLAS, M. Pheromone trapping system. Costa Rica, 1997.
- BENNO, B. K.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. Anuário brasileiro de horti&fruti 2019 – Santa Cruz do Sul: **Editora Gazeta Santa Cruz**, 53 p., 2018.
- BORGES, E. de O.; MARTINS, C. B. C.; SILVA, R. R. da S.; ZARBIN, P. H. G. Terpenoids dominate the bouquet of volatile organic compounds produced by *Passiflora edulis* in response to herbivory by *Heliconius erato* phyllis (Lepidoptera: Nymphalidae). **Arthropod-Plant Interactions**, v. 12, p. 123–131, 2018.
- BRAIMAH, H.; VAN EMDEN, H. F. Attractiveness of some host plant and conspecific male semiochemicals to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1824). **Ghana Journal of Agricultural Science**, v. 37, p. 69–74, 2004.
- BRAIMAH, H.; VAN EMDEN, H. F. Evidence for the presence of chemicals attractive to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) in dead banana leaves. **Bulletin of Entomological Research**, v. 89, p. 485-491, 1999.
- BRUCE, T. J. A.; PICKETT, J. A. Perception of plant volatile blends by herbivorous insects – Finding the right mix. **Phytochemistry**, v. 72, p. 1605-1611, 2011.
- BUDENBERG, W. J.; NDIEGE, I. O.; KARAGO, F. W. Evidence for volatile male-produced pheromone in banana weevil *Cosmopolites sordidus*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, p. 1905 –1916, 1993b.
- BUDENBERG, W. J.; NDIEGE, I. O.; KARAGO, F. W.; HANSSON, B. S. Behavioural and electrophysiological responses of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* to host plant volatiles. **Journal of Chemical Ecology**, 19, 267–272, 1993a.
- CASCONE, P.; IODICE, L.; MAFFEI, M. E.; BOSSI, S.; ARIMURA, G.; GUERRIERI, E. Tobacco overexpressing β -ocimene induces direct and indirect responses against aphids in receiver tomato plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 17, p. 28-32, 2015.
- CERDA, H.; MORI, K.; NAKAYAMA, T.; JAFFE, K. A synergistic aggregation pheromone component in the banana weevil *Cosmopolites sordidus* Germar 1824 (Coleoptera: Curculionidae). **Acta Científica Venezolana**, v. 49, p. 201–203, 1998.

COOPERBAND, M. F.; MCELFFRESH, J. S.; MILLAR, J. G.; CARDÉ, R. T. Attraction of female *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae) to odors from chicken feces. **Journal of Insect Physiology**, v. 54, p. 1184–1192, 2008.

CUILLE, J. Recherches Sur le Charançon Du Bananier. Institut de Fruits et Agrumes Coloniaux Series Technique 4. **Société d'Éditions Techniques Coloniales**, Paris, France, 1950.

DASSOU, A. G.; CARVAL, D.; DÉPIGNY, S.; FANSI, G.; TIXIER, P. Ant abundance and *Cosmopolites sordidus* damage in plantain fields as affected by intercropping. **Biological Control**, v. 81, p. 51-57, 2015.

DUDAREVA, N.; MARTIN, D.; KISH, C. M.; KOLOSOVA, N.; GORENSTEIN, N.; FALDT, J.; MILLER, B.; BOHLMAN, J. (E)- β -Ocimene and myrcene synthase genes of floral scent biosynthesis in snapdragon: Function and expression of three terpene synthase genes of a new TPS-subfamily. **Plant Cell**, v. 15, p. 1227–1241, 2003.

DUYCK, P. F.; DORTEL, E.; VINATIER, F.; GAUJOUX, E.; CARVAL, D.; TIXIER, P. Effect of environment and fallow period on *Cosmopolites sordidus* population dynamics at the landscape scale. **Bulletin of Entomological Research**, v. 5, p. 533-538, 2012.

FANCELLI, M.; DIAS, A. B.; DELALIBERA, Jr. I.; JESUS, S. C.; NASCIMENTO, A. S.; SILVA, S. O.; CALDAS, R. C.; LEDO, C. A. S. *Beauveria bassiana* strains for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germ.) (Coleoptera: Curculionidae) in plantain. **BioMed Research International**, v. 2013, p. 01-07, 2013.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Production. 2012. Acesso em: 24 out. 2021.

FRASER, A. M.; MECHABER, W. L.; HILDEBRAND, J. G. Electroantennographic and behavioral responses of the sphinx moth *Manduca sexta* to host plant headspace volatiles. **Journal of Insect Physiology**, v. 29, p. 1813–1833, 2003.

GIRÓN-PÉREZ, K.; NAKANO, O.; SILVA, A. M.; ODA-SOUZA, M. Atração de Adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) a Fragmentos Vegetais em Diferentes Estados de Conservação. **Neotropical Entomology**, v. 38, p. 842-846, 2009.

GODFREY, B.; JULIUS, M.; FRANCIS, J.; MARIUS, M.; NJOROGE, G. N.; FREDDIE, K.; PROSS, M. N. K. Assessing the effectiveness of ethnomedicinal products on banana weevils using REML. **Agriculture, Forestry and Fisheries**, v. 3, p. 420-426, 2014.

GOLD, C. S.; OKECH, S. H.; NOKOE, S. Evaluation of pseudostem trapping as a control measure against banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) in Uganda. **Bulletin of Entomology Research**, v. 92, p. 35–44, 2002.

GOLD, C. S.; PENA, J. E.; KARAMURA, E. B. Biology and integrated pest management for the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). **Integrated Pest Management Reviews**, v. 6, p. 79-155, 2001.

HORD, H. Y.; FLIPPIN, R. S. Studies of banana borer in the Honduras. **Journal of Economic Entomology**, v. 49, p. 296 – 300, 1956.

JAYARAMAN, S.; NDIEGE, I. O.; OEHLISCHLAGER, A. C.; GONZALEZ, L. M.; ALPZAR, D.; FALLES, M.; BUDENBERG, W. J.; AHUYA, P. Synthesis, analysis, and field

activity of sordidin, a male-produced aggregation pheromone of the banana weevil *Cosmopolites sordidus*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 23, p. 1145–1161, 1997.

MITCHELL, G. A. The estimation of banana borer population and resistance levels. **WINBAN Research and development**, v. 2, p. 34, 1978.

OEHLSCHLAGER, C. A.; ALPIZAR, D.; FALLAS, M.; GONZALEZ, L. M.; JAYARAMAN, S. Pheromone-based mass trapping of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* and the West Indian sugarcane weevil, *Metamasius hemipterus* in banana and plantain. Abstracts of the **XXI International Congress of Entomology**, Iguassu Falls, Brazil, v. 8, p. 20–26, 2000.

OLIVEIRA, M. S. G. **Semioquímicos envolvidos nas interações tritróficas entre a palma forrageira, a cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (bouché, 1833) (hemiptera: diaspididae) e dois de seus predadores, *Zagreus bimaculosus* (mulsant, 1850) (coleoptera: coccinellidae) e *Chilocorus nigrita* (fabricius, 1798) (coleoptera: coccinellidae)**. Tese de Doutorado, p. 103, 2014.

PALANICHAMY, S.; PADMANABAN, B.; MOHAMED, M. I. F.; MUSTAFFA, M. M. A simple and low cost semiochemical based trapping method for the management of banana pseudostem weevil, *Odoiporus longicollis* Olivier (Coleoptera: Curculionidae). **Advance Applied Science Research**, v. 2, p. 69–73, 2011.

PARÉ, P.W.; TUMLINSON, J.H. Cotton volatiles synthesized and released distal to the site of insect damage. **Phytochemistry**, v. 47, p. 521–526, 1998.

PERRIER, X.; LANGHE, E.; DONOHUE, M.; LENTFER, C.; VRYDAGHS, L.; BAKRY, F.; CARREEL, F.; HIPPOLYTE, I.; HORRY, J. P.; JENNY, C.; LEBOT, V.; RISTERUCCI, A. M.; TOMEKPE, K.; DOUTRELEPONT, H.; BALL, T.; MANWARING, J.; MARET, P.; DENHAM, T. Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa spp.*) domestication. **Proceedings of the National Academy of Sciences of USA**, v. 108, p. 1311–1318, 2011.

PIANARO, A. **Ecologia química de abelhas brasileiras: *melipona rufiventris*, *melipona scutellaris*, *plebeia droryana*, *nannotrigona testaceicornis*, *tetragonisca angustula* e *centris trigonoides***. Dissertação de Mestrado, p. 132, 2007.

REDDY, G. V. P.; CRUZ, Z. T.; NAZ, F.; MUNIAPPAN, R. A pheromone-based trapping system for monitoring the population of *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Plant Protection Research**, v. 48, p. 515–527, 2008.

REDDY, G. V. P.; RAMAN, A. Visual cues are relevant in behavioral control measures for *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 104, p. 436–442, 2011.

SILVA, J. R.; CORDEIRO, Z. J. M. Fitossanidade na exportação de banana. In: Cordeiro, Z. J. M. (Org.). **Banana fitossanidade**. Brasília, DF: Embrapa – SPI, 2000.

TANG, R.; ZHANG, F.; ZHANG, Z. N. Electrophysiological responses and reproductive behavior of fall webworm moths (*Hyphantria cunea* Drury) are influenced by volatile compounds from its mulberry host (*Morus alba* L.). **Insects**, v. 7, p. 1–12, 2016.

TEWARI, S.; LESKEY, T. C.; NIELSEN, A. L.; PIÑERO, J. C.; RODRIGUEZ-SAONA, C. R.). Use of Pheromones in Insect Pest Management, with special attention to weevil

pheromones. In Current concepts and ecological perspective. **Integrated pest management**, p. 141–168, 2014.

TINZAARA, W.; DICKE, M.; VAN HUIS, A.; GOLD, C. S. Use of info- chemicals in pest management with special reference to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). **Insect Science and Its Application**, v. 22, p. 241–261, 2002.

TINZAARA, W.; GOLD, C. S.; DICKE, M.; HUIS, A. V.; RAGAMA, P. E. Host plant odours enhance the responses of adult banana weevil to the synthetic aggregation pheromone Cosmolure+®. **International Journal of Pest Management**. v. 53, p. 127–137, 2007.

VAN TOL, R. W. H. M.; VISSER, J. H.; SABELIS, M. W.; Olfactory responses of the vine weevil, *Otiorhynchus sulcatus*, to tree odours. **Physiological Entomology**, v. 27, p. 213–222, 2002.

VEGA, F. E.; DOWD, P. F.; LACEY, L. A.; PELL, J. K.; JACKSON, D. M.; KLEIN, M. G. Dissemination of beneficial microbial agents by insects, in Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology: Application and Evaluation of Pathogens for Control of Insects and other Invertebrate Pests, ed. by LACEY, A. L.; KAYA, H. K. **Kluwer Academic**, p. 153–177, 2000.

WAR, A. R.; PAULRAJ, M. G.; AHMAD, T.; BUHROO, A. A.; HUSSAIN, B.; IGNACIMUTHU, S.; SHARMA, H. C. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signaling Behavior**, v. 7, p. 1306–20, 2012.

ZHANG, T. T.; MEI, X. D.; FENG, J. N.; BERG, B. G.; ZHANG, Y. J.; GUO, Y. Y. Characterization of three pheromone-binding proteins (PBPs) of *Helicoverpa armigera* (Hübner) and their binding properties. **Jornal of Insect Physiology**, v. 58, p. 941–948, 2012.

CAPITULO II

4. CAPITULO II: Formulações com compostos voláteis de *Musa* spp. associados ao feromônio sintético (Sordidina) para atratividade de *Cosmopolites sordidus* (Germar,, 1823) (Coleoptera: Curculionidae)

RESUMO

O moleque-da-bananeira *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae) destaca-se como a principal praga da banana, limitando a produção devido aos danos provocados no rizoma e pseudocaule da planta, além de diminuir o potencial de produção, gerando prejuízos econômicos. O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da combinação dos voláteis da planta hospedeira *Musa* spp. com o feromônio sintético Sordidina, a fim de potencializar a atratividade ao *C. sordidus*. Foram preparados extratos hexânicos contendo o feromônio. Os constituintes voláteis do pseudocaule que desencadearam a resposta antenal e identificados anteriormente: (Z)- β -ocimeno, tetradecanal e teaspirano, foram utilizados em bioensaios laboratoriais misturados ao feromônio sintético para verificar melhores respostas atrativas para *C. sordidus*. As formulações foram preparadas obtendo os seguintes tratamentos: M₁ (feromônio+tetradecanal), M₂ (feromônio+(Z)- β -ocimeno) e M₃ (feromônio+teaspirano), tendo o feromônio como controle na proporção 1:1. Os bioensaios foram conduzidos no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais (LPqRN) - (UFAL) utilizando um olfatômetro de múltipla escolha. O teste foi realizado de acordo com o seguinte confronto: feromônio *versus* feromônio + (Z)- β -ocimeno *versus* feromônio + tetradecanal *versus* feromônio + theaspirano. O ensaio experimental semi-campo foi conduzido no jardim orgânico policultural do Centro em Recuperação de Áreas Degradadas. Foram instaladas duas armadilhas tipo pitfal, uma iscada com feromônio+teaspirano e a outra com apenas feromônio. Este teste foi realizado apenas para comparar a atratividade em campo das duas iscas no período de um mês com coletas realizadas a cada três dias. Com base nos resultados obtidos, foi demonstrado que misturas de compostos voláteis do hospedeiro e feromônio pode aumentar a resposta atrativa de adultos de *C. sordidus*. O teaspirano adicionado ao feromônio potencializou a atratividade de *C. sordidus*.

Palavras-chave: Sinergia; moleque-da-bananeira; feromônio de agregação.

CHAPTER II: Formulations with volatile compounds from *Musa* spp. associated with the synthetic pheromone (Sordidina) for the attractiveness of *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae)

ABSTRACT

The banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae) stands out as the main pest of bananas, limiting production due to damage caused to the rhizome and pseudostem of the plant, in addition to reducing production potential, generating economic losses. The present work aimed to evaluate the effect of the combination of volatiles from the host plant *Musa* spp. with the synthetic pheromone Sordidine, in order to enhance the attractiveness to *C. sordidus*. Hexane extracts containing the pheromone were prepared. The volatile constituents of the pseudostem that triggered the antennal response and identified previously: (Z)- β -ocimene, tetradecanal and teaspiran were used in laboratory bioassays mixed with synthetic pheromone to verify better attractive responses to *C. sordidus*. The formulations were prepared by obtaining the following treatments: M1 (pheromone+tetradecanal), M2 (pheromone+(Z)- β -ocimene) and M3 (pheromone+teaspiran), with pheromone as control in a 1:1 ratio. The bioassays were conducted at the Natural Resources Research Laboratory (LPqRN) - (UFAL) using a multiple choice olfactometer. The test was carried out according to the following comparison: pheromone *versus* pheromone + (Z)- β -ocimene *versus* pheromone + tetradecanal *versus* pheromone + theaspiran. The semi-field experimental trial was conducted in the polycultural organic garden of the Center for the Recovery of Degraded Areas. Foram instaladas duas armadilhas tipo pitfal, uma iscada com feromônio+teaspirano e a outra com apenas feromônio. This test was carried out only to compare the field attractiveness of the two baits over a period of one month with collections carried out every three days. Based on the results obtained, it was demonstrated that mixtures of host volatile compounds and pheromone can increase the attractive response of *C. sordidus* adults. Theaspiran added to the pheromone enhanced the attractiveness of *C. sordidus*.

Keywords: Synergy, banana weevil, aggregation pheromone.

4.1. INTRODUÇÃO

O controle comportamental é uma alternativa para o manejo do moleque-da-bananeira *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1823) (Coleoptera: Curculionidae), evitando ou diminuindo o uso de inseticidas e não interferindo em outros organismos, pois apresenta ação seletiva à praga e não causa distúrbio no equilíbrio ecológico (MOREIRA et al., 2005; WITZGALL et al., 2010).

De acordo com Mesquita (2003), a utilização deste método de controle para *C. sordidus* se dá através do uso de feromônio sintético ou por iscas de pseudocaule em armadilhas para atrair e capturar o inseto, diminuindo, portanto, a infestação no cultivo, visto que a praga se dirige às armadilhas ao invés do pseudocaule da bananeira (FIGUEIREDO et al., 2008).

Mesquita (2003) afirma que o feromônio de agregação liberado por machos de *C. sordidus* foi identificado como sendo um conjunto de seis compostos no qual um composto principal foi isolado. Beauhaire et al. (1995) identificaram e sintetizaram os constituintes do feromônio, que passou a ser conhecido como sordidina e que teve sua atividade biológica comprovada a partir de Cromatografia Gasosa acoplada a eletroantenografia (CG-EAD) e através de avaliações de campo.

A empresa Biocontrole do estado de São Paulo comercializa no Brasil um produto denominado de Cosmolure® a base do feromônio Sordidina. Em testes realizados pela Embrapa Agroindústria Tropical, em Quixeré, no Estado do Ceará, foram utilizados quatro iscas do feromônio por hectare de bananeira irrigada, concluindo que as iscas com feromônio possuem melhor eficiência na atratividade de adultos de *C. sordidus* do que as iscas de pseudocaule (MESQUITA, 2003).

Os semioquímicos liberados pelas plantas hospedeiras provocam inúmeras respostas comportamentais nos insetos de tal maneira que os hábitos específicos manifestados são resultados da ação exclusiva dos compostos da planta hospedeira (REDDY; GUERRERO, 2004). Então, métodos promissores usados no controle de insetos-praga influenciam no seu comportamento, utilizando misturas sintéticas de semioquímicos, podendo ser usados como iscas para monitorar a presença dos insetos (REISENMAN et al., 2016).

O conhecimento do papel ecológico dos cairomônios revela o potencial de sua aplicabilidade no manejo integrado de pragas. Os cairomônios, assim como os feromônios, podem ser empregados para detectar e monitorar populações de insetos (NORIN, 2007). Para aumentar a eficiência na captura de *C. sordidus*, é indicada associação entre o feromônio e voláteis da planta hospedeira (cairomônios) (BATISTA FILHO et al., 2002; ABAGALE et

al., 2018), uma vez que a localização do hospedeiro envolve a detecção e utilização de seus voláteis (BRUCE et al., 2005), por exemplo, espécies como o bicudo da ameixa, *Conotrachelus nenuphar* Herbst, 1797 (Coleoptera: Curculionidae), Bicudo do algodoeiro, *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) e o bicudo da cana-de-açúcar, *Diaprepes abbreviatus* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Curculionidae) são exemplos de besouros que utilizam os compostos orgânicos voláteis (COVs) emitidos por sua planta hospedeira para encontrá-las (BRUCE; PICKETT, 2011; HOCK et al., 2017), Fancelli et al. (2015) ainda destacam que o pseudocaule de plantas cortadas em até 15 dias após a colheita tem alta atratividade ao inseto. Neste sentido, Abagale et al. (2018) observaram que adultos do moleque-da-bananeira foram atraídos por voláteis de folhas senescidas de bananeira.

Semioquímicos emitidos pelas plantas podem ser utilizados para minimizar os custos de controle de pragas quando combinados com ingredientes ativos feromonais, acrescentando pequenas quantidades de voláteis da planta hospedeira misturados ao feromônio, onde se aproveita o sinergismo existente entre o feromônio e os cairomônios da planta hospedeira, melhorando a atração da praga alvo resultando em maiores chances de sucesso para o manejo integrado de pragas (CERUTI, 2007).

Em alguns casos iscas baseadas somente em feromônio sintético não são completamente atrativas para a maioria dos insetos e são improváveis de serem completamente competitivas com os sinais que emanam das plantas hospedeiras e dos alimentos, isso seria esperado ocorrer principalmente com insetos especialistas (RIBEIRO et al., 2010; MAGALHÃES et al., 2016).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito sinérgico da combinação dos voláteis de bananeira com o feromônio sintético (Sordidina), a fim de potencializar a atratividade ao moleque-da-bananeira.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Feromônio

Foi utilizado o feromônio sintético Sordidina formulado por ChemTica Internacional, AS, San José, Costa Rica, empregado para o monitoramento do moleque da bananeira (*Cosmopolites sordidus*). É um feromônio do tipo líquido de cor amarelada (cetal bicíclico). Seguindo as recomendações do fabricante é necessário utilizar três armadilhas por hectare sendo trocado a cada 30 dias. Este produto está registado no MAPA para a cultura da banana, com classificação toxicológica IV (pouco tóxico) e classificação ambiental IV (pouco tóxico ao meio ambiente). Conforme indicações recomenda-se também utilizar as armadilhas durante o ano inteiro após a instalação da cultura para facilitar e deixar o monitoramento das pragas mais eficiente.

4.2.2. Formulações dos Compostos Voláteis Sintéticos

Os padrões sintéticos dos compostos eletrosifilogicamente ativos ((*Z*)- β -ocimeno, tetradecanal e teaspirano) foram adquiridos comercialmente (Sigma-Aldrich, Brasil) com grau de pureza $\geq 98,5\%$. Soluções desses compostos em hexano foram preparadas em uma concentração total de 100 ppm para uso nos bioensaios comportamentais. Esta concentração foi escolhida com base em bioensaios preliminares.

Inicialmente preparou-se uma solução estoque de 1000ppm, pesando 1 mg do composto sintético e diluindo em 1mL de hexano grau HPLC. A solução de 100 μ L/mL foi preparada a partir de uma alíquota de 0,1mL da solução estoque de 1000ppm e diluiu em 0,9 mL de hexano grau HPLC.

Para o preparo das misturas foram utilizados volumes iguais de cada um dos padrões sintéticos. Sendo os compostos bioativos (teaspirano, tetradecanal e (*Z*)- β -ocimeno) no qual foram analisados associados ao feromônio sintético. Volumes de 10 μ L de cada solução dos compostos nas concentrações de 100 ppm foram formulados em frascos tipo eppendorfs (10,7 mm de diâmetro x 39,5 mm de altura).

4.2.3. Tratamentos

Os tratamentos foram os compostos voláteis oriundos de partes da bananeira: (*Z*)- β -ocimeno e tetradecanal encontrados no pseudocaule e o teaspirano composto encontrado nas folhas da bananeira.

A partir da confirmação da atratividade dos compostos para os insetos, através de bioensaios, os tratamentos foram então definidos com base na junção dos compostos com o feromônio sintético e confrontados entre si e o controle, resultando nos seguintes tratamentos:

feromônio + (Z)- β -ocimeno (T1); feromônio + tetradecanal (T2); feromônio + teaspirano (T3) e controle.

4.2.4. Bioensaios Comportamentais **Olfatômetro em Y**

A resposta comportamental individual de adultos de *C. sordidus* para cada tratamento (T1; T2; T3; Controle) foi verificada usando o olfatômetro em Y, operado com um fluxo de ar contínuo de 1,4 L/min, previamente umidificado e filtrado com carvão ativado.

A fonte de odor utilizada foi um pedaço de papel de filtro (2 × 2 cm) impregnado com 10 μ L de cada tratamento ou hexano HPLC (controle), que foi colocado em cada braço do olfatômetro. Os insetos foram introduzidos na base do tubo principal do olfatômetro e seu comportamento foi observado durante 5 minutos. A resposta foi registrada quando o besouro caminhava até a porção correspondente a 75% do braço escolhido. Foram testadas 20 fêmeas e 20 machos para cada tratamento, sendo considerado cada espécime como uma repetição. A fonte de odor foi trocada a cada indivíduo testado.

Soluções dos tratamentos foram preparadas em uma concentração total de 100 ppm para uso nos bioensaios comportamentais. Esta concentração foi escolhida com base em análises preliminares em PUFF.

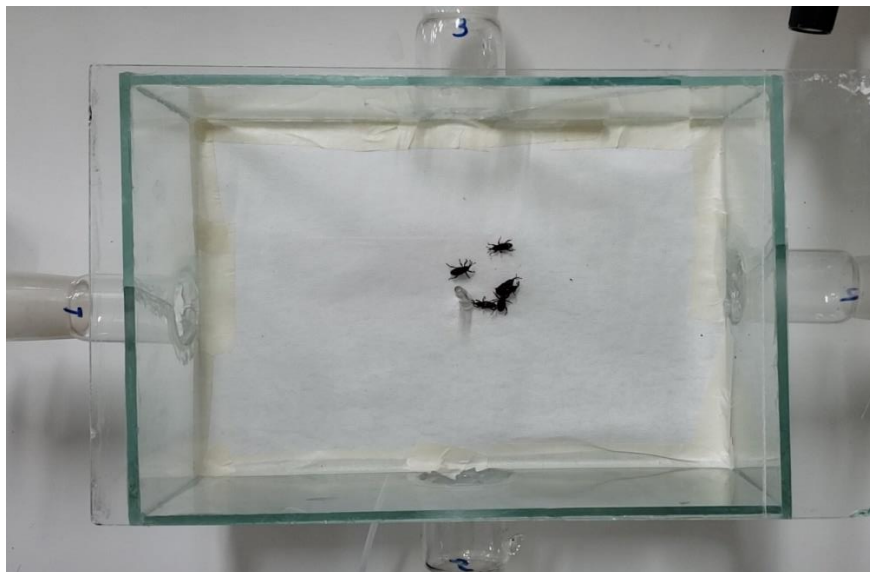
Olfatômetro de 4 braços

Para avaliar o comportamento de adultos de *C. sordidus* diante dos tratamentos, foram confrontados entre si, ao mesmo tempo, cada um dos tratamentos avaliados tendo o feromônio sintético sordidina como tratamento controle.

Os bioensaios foram conduzidos no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais (LPqRN) da Universidade Federal de Alagoas - (UFAL) utilizando um olfatômetro de quatro braços, durante a escotofase, entre 16:00 e 18:30 h com temperatura média de 26,2 °C e umidade relativa média de 40%, foram utilizados machos e fêmeas. Pelo fato de serem realizados no escuro, os bioensaios foram conduzidos com auxílio de uma luz vermelha, para visualização do comportamento do inseto.

O olfatômetro de quatro braços consiste em uma câmara de vidro (25 cm de comprimento x 20 cm de largura x 10 cm de altura) contendo quatro braços laterais e uma bomba de ar ao centro da arena. O olfatômetro funciona com vácuo, onde o ar é sugado pelo centro da arena e os tratamentos são liberados pelos braços, o ar que operou no olfatômetro foi purificado por meio de passagem por um filtro de carvão ativo (Figura 8).

Figura 8. Olfatômetro de múltipla escolha.



Fonte: Autor (2023).

Os tratamentos foram dispostos em ependorf que foram encaixados nas partes externas dos braços do olfatômetro. Os insetos foram testados em grupos de seis insetos adultos, sendo três fêmeas e três machos, e as respostas foram observadas pelo número de visitas e/ou tempo gasto em cada braço do olfatômetro no decorrer de 20 minutos de observação. Cada repetição foi gravada para análise dos resultados, com total de 20 repetições. As posições dos tratamentos foram alternadas entre os braços do olfatômetro para evitar qualquer efeito tendencioso de habituação.

O teste foi realizado de acordo com o seguintes confronto: feromônio + (Z)- β -ocimeno (T1) *versus* feromônio + tetradecanal (T2) *versus* feromônio + teaspirano (T3) *versus* controle.

Para avaliar a atratividade, em cada “entrada” da arena foi colocado um tratamento em cada um dos braços da arena. Posteriormente, foram colocados seis adultos de *C. sordidus* (3 machos e 3 fêmeas) no centro da arena, inicialmente permaneceram presos por um pote de poliestireno, pelo período de 5 min, para permitir a adaptação ao ambiente. Com a retirada do pote, os insetos permaneceram 20 minutos expostos aos tratamentos (tempo determinado na realização de pré-testes).

A atratividade foi mensurada quantificando os insetos encontrados em duas condições: sobre o ependorf ou localizados na “entrada” do braço referente ao tratamento. A atratividade dos tratamentos foi avaliada considerando os seguintes parâmetros: número total de insetos na “entrada” do braço referente ao tratamento; número de vezes que o tratamento foi visitado

(total); número de vezes em que o tratamento foi escolhido em cada repetição. Após cada repetição eram utilizados novos indivíduos e os tratamentos eram mudados de braços da arena para que não houvesse habituação dos insetos.

Nesse bioensaio, foi selecionado o (os) tratamento (os) que apresentaram, no mínimo, dois parâmetros superiores ao controle, os quais serão utilizados posteriormente, em trabalhos, para estudos em campo e semi-campo.

4.2.5. Análise Estatística

Olfatômetro em Y

Para análise dos dados das respostas dos insetos para os diferentes tratamentos em olfatômetro, os dados foram transformados em porcentagem e foi usado o teste Qui-quadrado através do Software SAS. Os insetos que não escolheram nenhum dos braços (não respondentes) foram excluídos da análise estatística.

Olfatômetro de 4 braços

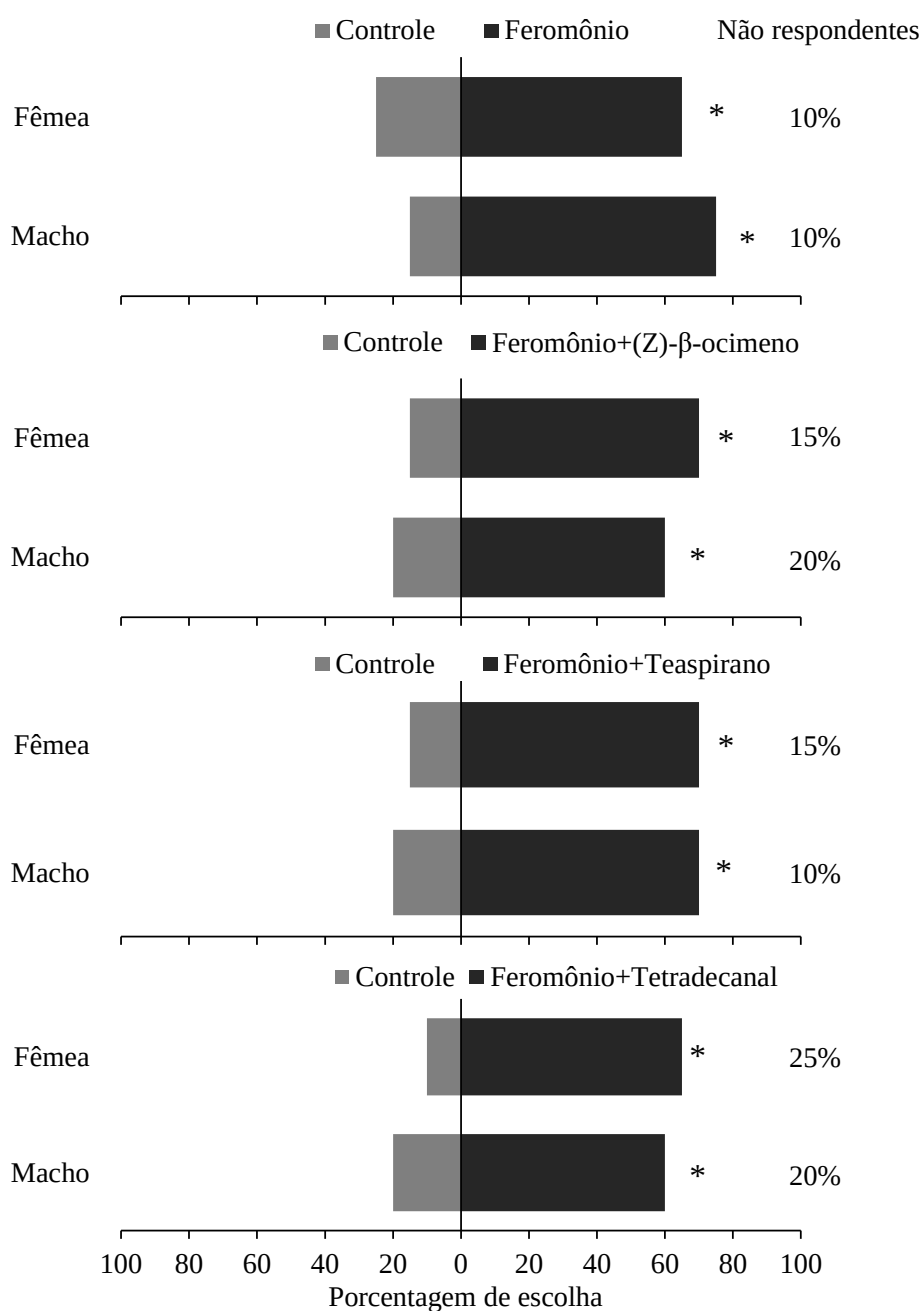
Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando-se para o teste de F, o nível de 5% de probabilidade. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott (1974), ao nível de 5% de probabilidade. Sendo analisados por meio do programa estatístico SISVAR.

No caso de diferença não significativa nos testes realizados em olfatômetro de múltipla escolha foi realizada também Análise de Componentes Principais baseada em três parâmetros: número de vezes em que o tratamento foi escolhido pelo inseto; número total de *C. sordidus* por tratamento e número de vezes (frequência) em que o tratamento foi o mais visitado, e para cada parâmetro de escolha observado foi utilizado o software Tox Trac para mapear e rastrear cada inseto no interior da arena. Para realização dos gráficos foi utilizado o software SigmaPlot.

4.3. RESULTADOS DE DISCUSSÃO

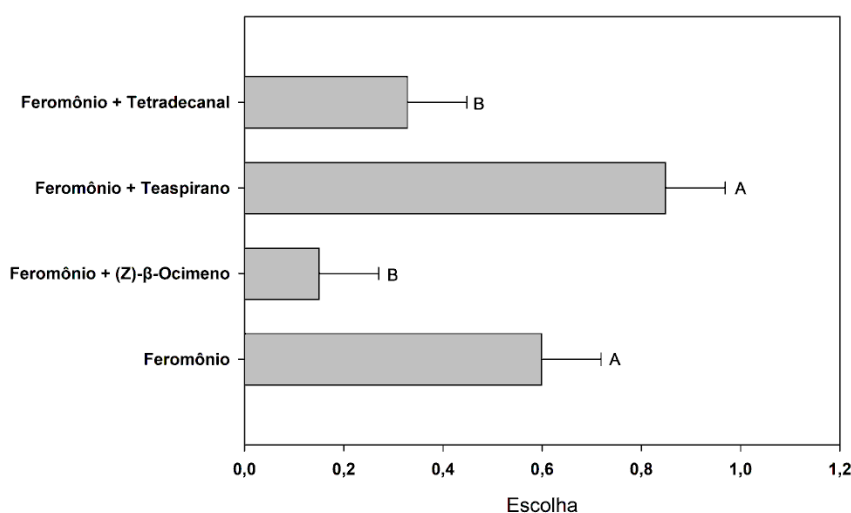
Com base nos testes de olfatometria, em olfatômetro do tipo Y, com os tratamentos indicados foram observadas diferenças significativas nas respostas comportamentais de machos e fêmeas frente a todos os tratamentos ($P > 0,05$) (Figura 9).

Figura 9. Resposta comportamental de fêmeas (n=20) e machos (n=20) de *Cosmopolites sordidus* para os tratamentos Feromônio sintético Sordidina (tratamento controle); Feromônios+(Z)- β -ocimeno; Feromônio+Teaspirano; e Feromônio+Tetradecanal em olfatômetro do tipo Y.



A atratividade de fêmeas de *C. sordidus* para os tratamentos estudados, em olfatômetro de quatro braços, pode ser observada pela maior preferência das fêmeas para a combinação feromônio + teaspirano e pelo tratamento controle (feromônio), havendo diferença estatística para os demais tratamentos avaliados (Figura 10).

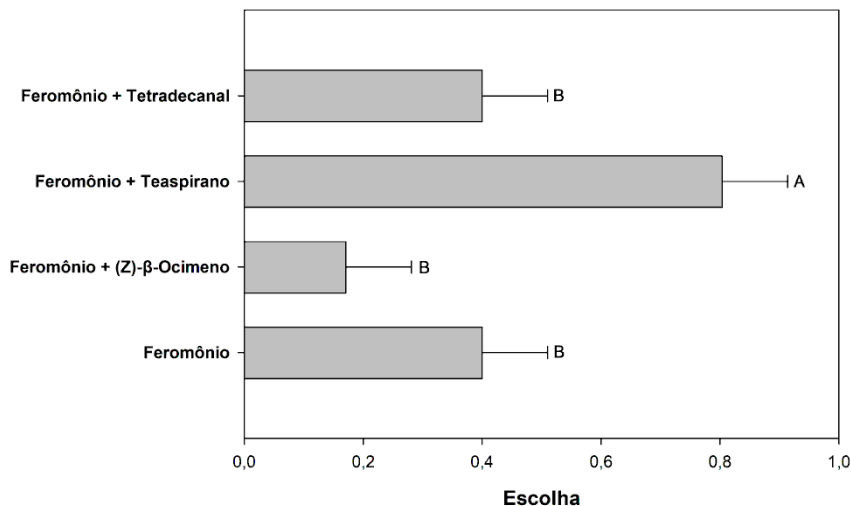
Figura 10. Número médio de escolhas de fêmeas de *Cosmopolites sordidus* em braços do olfatômetro tratados com compostos voláteis da bananeira junto ao feromônio sintético em testes de múltipla escolha: feromônio (controle); feromônio+(Z)- β -ocimeno; feromônio+teaspirano; feromônio+tetradecanal.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo.

De acordo com os resultados sobre a escolha pelos tratamentos avaliando a atratividade para os insetos machos no teste com olfatômetro de múltipla escolha, o tratamento feromônio + teaspirano diferenciou significativamente dos demais (Figura 11).

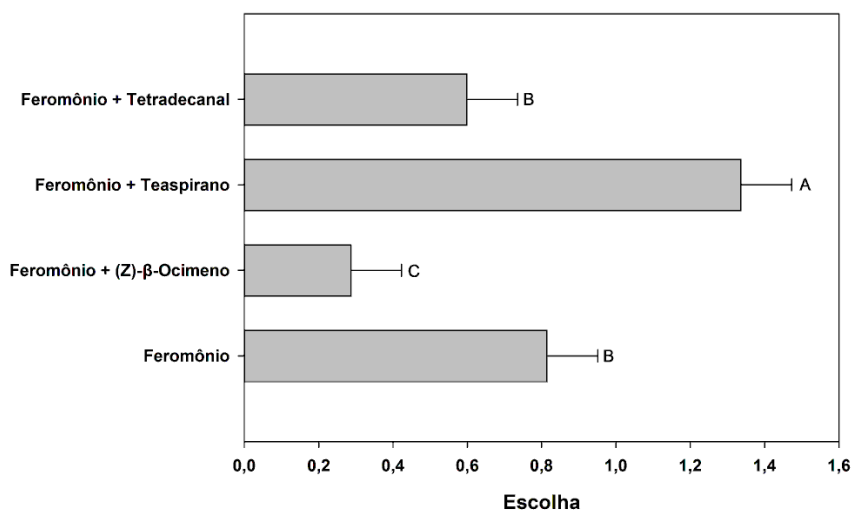
Figura 11. Número médio de escolhas de machos de *Cosmopolites sordidus* em braços do olfatômetro tratados com compostos voláteis junto ao feromônio sintético em teste de múltipla escolha: feromônio (controle); feromônio+(Z)- β -ocimeno; feromônio+teaspirano; feromônio+tetradecanal.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo.

Corroborando com resultados anteriores, o número total de escolhas (Figura 12) observado para os insetos adultos demonstra preferência dos mesmos para o tratamento Feromônio+Teaspirano, evidenciando sua atratividade para adultos de *C. sordidus* quando comparado com os demais tratamentos.

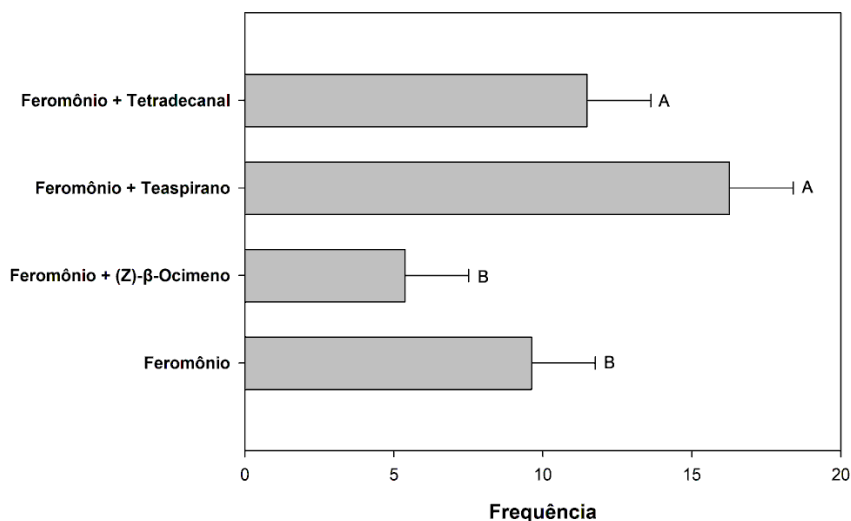
Figura 12. Número total de escolhas de *Cosmopolites sordidus* em braços do olfatômetro tratados com compostos voláteis junto ao feromônio sintético em teste de múltipla escolha: feromônio (controle); feromônio+(Z)- β -ocimeno; feromônio+teaspirano; feromônio+tetradecanal.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo.

Diferenças significativas foram observadas em relação à frequência de *C. sordidus* para os tratamentos feromônio+tetradecanal e feromônio+teaspirano, onde os insetos (fêmeas e machos) exibiram maior frequência e permaneceram mais tempo nos braços referentes aos dois tratamentos. Não houve diferença significativa para os tratamentos feromônio+(Z)- β -ocimeno e controle (Figura 13).

Figura 13. Frequência de *Cosmopolites sordidus* em braços do olfatômetro tratados com compostos voláteis junto ao feromônio sintético em teste de múltipla escolha: feromônio (controle); feromônio+(Z)- β -ocimeno; feromônio+teaspirano; feromônio+tetradecanal.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo.

Observou-se que o número de escolha e a porcentagem de frequência de *C. sordidus* nos braços do olfatômetro que receberam o tratamento feromônio+teaspirano foi significativamente maiores em todas as análises, quando comparados aos braços que receberam os demais tratamentos. Adultos de *C. sordidus* foram mais atraídos pela mistura feromônio+teaspirano, este resultado sugere que o composto volátil teaspirano, pode potencializar a atratividade do feromônio sintético, tornando-o uma alternativa promissora para ser utilizado em armadilhas no manejo fitossanitário do moleque da bananeira.

A percepção desses odores é considerada fator importante para a comunicação entre os insetos e para sobrevivência das espécies, pois são usados como detectores da fonte alimentar mesmo quando liberadas em quantidades mínimas entre várias outras substâncias (OEHLISCHLARGER et al., 2000; TINZAARA et al., 2002). A comunicação química é a

principal forma dos insetos localizarem a planta hospedeira, sendo conduzidos principalmente pela percepção de misturas singulares de voláteis emitidos por elas (WEBSTER et al., 2010).

O entendimento do comportamento dos insetos diante de misturas de compostos voláteis liberados por plantas hospedeiras é fundamental para desenvolver estratégias menos danosas de controle de pragas (PICKETT et al., 2012). Nitidamente, a identificação, quantificação e avaliação dos voláteis envolvidos nas interações entre plantas e herbívoros é o primeiro passo na elaboração de estratégias baseadas na manipulação do comportamento de busca de hospedeiros (SZENDREI; RODRIGUEZ-SAONA, 2010).

Em ambientes naturais os insetos estão sempre envolvidos por muitos odores de diferentes concentrações de componentes e diversas combinações (BRUCE et al., 2005; BEYAERT; HILKER, 2014). Essas combinações e mistura de compostos em que possuem diferentes propriedades pode permitir uma ação mais rápida e uma maior persistência aos herbívoros (GERSHENZON; DUDAREVA, 2007).

Os estímulos olfativos auxiliam no desenvolvimento de novas estratégias de manejo de insetos pragas, principalmente com uso de misturas de compostos atrativos, por exemplo, Jaffé et al. (1993) quando avaliaram a atração de *Rhynchophorus palmarum* (L., 1758) (Coleoptera: Curculionidae) a misturas dos compostos identificados nos tecidos naturais de coco, concluíram que a mistura de acetato de etila, acetado de isopentilo, pentano, isopentanol e etanol, em proporções semelhantes, eram tão atraentes quanto o tecido natural de coco.

No combate à broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) utiliza-se compostos voláteis emitidos pelo fruto, principalmente os álcoois, para localizá-los, neste caso, etanol em mistura com metanol são amplamente utilizados em armadilhas para monitoramento e manejo desta praga (PEREIRA et al., 2012; ARISTIZÁBAL et al., 2015).

Compostos voláteis como o acetato de etila, o propionato de etila e butirato de etila, oriundos da fermentação de toletes de cana-de-açúcar *Saccharum officinarum* L., aumentaram, igualmente a atratividade de *Metamasius hemipterus* (L., 1758) (Coleoptera Curculionidae) para armadilhas contendo o feromônio metalure (PÉREZ et al., 1995).

Duarte et al (2003) ao estudar os componentes voláteis provenientes da fermentação da cana-de-açúcar e do abacaxi, pôde observar que quando combinados com o rincoforol, foram responsáveis pela maior atração de adultos de *R. palmarum* para armadilhas. No mesmo sentido, Jaffé et al. (1993), afirmaram que quando o feromônio foi utilizado em conjunto com partes da planta hospedeira e acetato houve aumento no número de insetos

capturados, deduzindo que há uma interação entre os compostos voláteis da planta e o feromônio gerado pelo inseto, elevando a atratividade das armadilhas.

Analisando o monitoramento de *Conotrachelus nenuphar* (Herbest) (Coleoptera: Curculionidae) utilizando iscas com atrativo, foi observada eficiência na coleta em cultivo de ameixa, maçã e pêra, sendo potencializado quando o feromônio de *C. nenuphar*, ácido grandisoico, foi utilizado em combinações com limoneno e benzaldeído, nos quais são compostos presentes nos frutos hospedeiro, demonstrando aumento na captura para alguns tratamentos (PROKOPY et al., 2003).

De acordo Wang et al. (2008), as substâncias voláteis da planta hospedeira e feromônios são os semioquímicos mais importantes para os insetos, visto que a união deles (efeito sinérgico) pode modificar o seu comportamento. De acordo com Reddy e Guerrero (2004), os insetos liberam o feromônio em resposta a sinais da planta hospedeira, já os compostos voláteis emitidos pela planta podem potencializar a resposta de um inseto a determinado composto feromonal.

Os voláteis da planta hospedeira podem provocar um efeito positivo sobre o comportamento dos insetos, que é o sinergismo, que quando confirmado a potencialidade atrativa pelo inseto influenciada pela combinação de compostos da planta hospedeira com o feromônio pode ajudar na obtenção de iscas mais eficientes para o manejo integrado de pragas (REDDY; GUERRERO, 2004). O aumento na captura de insetos em armadilhas no campo se dá quando se combina feromônio e voláteis de planta hospedeira (HOCK et al., 2017). Sendo algumas substâncias químicas derivadas de plantas conhecidas por melhorar a atração de iscas de feromônio.

Para a continuidade de estudos da ecologia química do moleque-da-bananeira, principalmente, são necessários experimentos à nível de campo. Esses estudos podem gerar ferramentas de inestimável benefício para o meio ambiente e para o produtor no manejo integrado desta praga.

4.4. CONCLUSÕES

As misturas dos constituintes bioativos de pseudocaule da bananeira, em combinação com o feromônio sintético de agregação aumentam a resposta atrativa de adultos de *C. sordidus*.

O teaspirano quando adicionado ao feromônio sintético potencializa o comportamento exibido por *C. sordidus*, refletindo no aumento da atratividade do inseto.

A mistura teaspirano+feromônio tem potencial de uso no monitoramento e captura de *C. sordidus*, visando diminuir a densidade populacional da praga.

REFERÊNCIAS

- ABAGALE, S. A.; WOODCOCK, C. M.; HOOPER, A. M.; CAULFIELD, J. C.; CHAMBERLAIN, K.; ACQUAAH, S. O.; VAN EMDEN, H.; BRAIMAH, H.; PICKETT, J. A.; BIRKETT, M. A. (2R, 5S)-Theaspirane identified as the major kairomone for the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* from attractive senesced leaves of the host banana, *Musa* Spp. **Chemistry: A European Journal**, v. 24, p. 9217–9219, 2018.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; JIMÉNEZ, M.; BUSTILLO, A. E; TRUJILLO, H. I; ARTHURS, S. P. Monitoring coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae), populations with alcohol- baited funnel traps in coffee farms in Colombia. **Florida Entomologist**, v.98, p.381-383, 2015.
- BATISTA FILHO, A.; TAKADA, H. M.; CARVALHO, A G. Brocas da bananeira. In: Reunião Itinerante de Fitossanidade do Instituto Biológico, São Bento do Sapucaí-SP. **Anais...** São Paulo: Arquivos do Instituto Biológico, v.1. p.1-16, 2002.
- BEAUHAIRE, J.; DUCROT, P. H.; MALOSSE, C.; NDIEGE, D. R. O.; OTIENO, D. O. Identification and synthesis of sordidin, a male pheromone emitted by *Cosmopolites sordidus*. **Tetrahedron Letters**. v. 36, p.1043-1046, 1995.
- BEYAERT, I.; HILKER, M. Plant odour plumes as mediators of plant–insect interactions. **Biological Reviews**, v. 89, p. 68-81, 2014.
- BRUCE, T. J. A.; PICKETT, J. A Perception of plant volatile blends by herbivorous insects – Finding the right mix. **Phytochemistry**. v. 72, p. 1605-1611, 2011.
- BRUCE, T. J.; WADHAMS, L. J.; WOODCOCK, C. M. Insect host location: a volatile situation. **Trends in plant science**, v. 10, p. 269-274, 2005.
- CERUTI, F. C. Interações entre feromônios de insetos e semioquímicos de plantas. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, p. 73-82, 2007.
- CLAVIJO, A. C.; MCCORMICK, J. G.; SYBILLE, B. U. Little peaks with big effects: establishing the role of minor plant volatiles in plant–insect interactions. **Plant, Cell and Environment**, v. 37, p. 1836–1844, 2014.
- DUARTE, A. G.; DE LIMA, I. S.; DO AMARAL, D. M.; NAVARRO, F.; SANT’ANA, A. E. G. Captura de *Rhynchophorus palmarum* L. (coleoptera: curculionidae) em armadilhas iscadas com o feromônio de agregação e compostos voláteis de frutos do abacaxi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, p. 81-84, 2003.
- FANCELLI, M.; MILANEZ, J. M.; MESQUITA, A. L. M.; COSTA, A. C. F.; COSTA, J. N. M.; PAVARINI, R.; PAVARINI, G. M. P. Artrópodes-pragas da bananeira e seu controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 36, p.96-105, 2015.
- FIGUEIREDO, A.D.; ÁZERA,, S.; MARTINS, J. T.; LOPES, D. J. H. Eficácia de diferentes tipos de armadilhas na captura *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae). **Boletim do Museum Municipal de Funchal**, Sup. p. 49-54, 2008.
- GERSHENZON, J.; DUDAREVA, N. The function of terpene natural products in the natural world. **Nature chemical biology**, v. 3, p. 408-414, 2007.

HOCK, V.; CHOUINARD, G.; LUCAS, É.; CORMIER, D.; LESKEY, T.; ZHANG, A. Olfactometer responses of plum curculio *conotrachelus nenuphar* (herbst) (coleoptera: curculionidae) to host plant volatiles, synthetic grandisoic acid, and live conspecifics. **Journal of Insect Behavior**, v. 30, p. 475, 2017.

JAFFÉ, K.; SÁNCHEZ, P.; CERDA, H.; HERNÁNDEZ, J. V.; JAFFÉ, R.; URDANETA, G.; GUERRA, R. Chemical ecology of the palm weevil *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae): Attraction to host plants and to a male-produced aggregation pheromone. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 19, p. 1703-1720, 1993.

MAGALHÃES, D. M.; BORGES, M.; LAUMANN, R. A.; WOODCOCK, C. M.; PICKETT, J. A.; BIRKETT, M. A.; BLASSIOLI-MORAES, M. C. Influence of two acyclic homoterpenes (tetranorterpenes) on the foraging behavior of *Anthonomus grandis* Boh. **Journal of Chemical Ecology**, v. 42, p. 305-313, 2016.

MESQUITA, A. L. M. Importância e métodos de controle do moleque ou broca-do-rizoma-da-bananeira. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, Circular Técnica, v. 17, p. 5, 2003.

MOREIRA, M. A. B.; ZARBIN, P. H. G.; CORACINI, M. D. A. Feromônios associados aos coleópteros-praga de produtos armazenados, **Química Nova**, v. 28, p. 472-477, 2005.

NORIN, T. Semiochemicals for insect pest management. **Pure and Applied Chemistry**, v. 79, p. 2129–2136, 2007.

OEHLSCHLARGER, A.C.; ALPIZAR, D.; FALLAS, M.; GONZALES, I.M.; JAYARAMAN, S. Pheromone-based mass trapping of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* and the west sugarcane weevil *Metamasius hemipterus* in banana and plantain. In: **International Congress of the Entomology**, Iguassu Falls. Abstracts...Guayaquil: CONABAN, p. 20-26, 2000.

PEREIRA, A. E.; VILELA, E. F.; TINOCO, R. S.; LIMA, J. O.; FANTINE, A. K.; MORAIS, E. G. F.; FRANÇA, C. F. M. Correlation between numbers captured and infestation levels of the Coffee Berry-borer, *Hypothenemus hampei*: A preliminary basis for an action threshold using baited traps. **International Journal of Pest Management**, v.58, p.183-190, 2012.

PEREZ, A. L.; HALLETT, R. H.; GRIES, R.; GRIES, G.; OEHLSCHLARGER, A. C.; BORDEN, J. H. Pheromone chirality of Asian palm weevils, *Rhynchophorus ferrugineus* (OLIV.) and *R. vulneratus* (PANZ.) (Coleoptera:Curculionidae). **Journal of Chemical Ecology**, New York, v.22, p.357-368, 1995.

PICKETT, J. A.; ARADOTTIR, G. I.; BIRKETT, M. A.; BRUCE, T. J. A.; CHAMBERLAIN, K.; KHAN, Z. R.; MIDEGA, C. A. O.; SMART, L. E.; WOODCOCK, C. M. Aspects of insect chemical ecology: exploitation of reception and detection as tools for deception of pests and beneficial insects. **Physiological Entomology**, v. 37, p. 2-9, 2012.

PINO, J. A.; FEBLES, Y. Odour-active compounds in banana fruit cv. Giant Cavendish. **Food Chemistry**, v. 141, p. 795–80, 2013.

PROKOPY, R. J.; CHANDLER, B. W.; DYNOK, S. A.; AND PIÑERO, J. C. Odor-baited trap trees: a new approach to monitoring *Plum curculio* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 96, p. 826–834, 2003.

REDDY, G. V.; GUERRERO, A. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. **Trends in plant science**, v. 9, p. 253-261, 2004.

REISENMAN, C. E.; LEI, H.; GUERENSTEIN, P. G. Neuroethology of olfactory-guided behavior and its potential application in the control of harmful insects. **Frontiers Physiology**, 2016.

RIBEIRO, P. A.; SUJI, E. R.; DINIZ, I. R.; MEDEIROS, M. A.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; BRANCO, M. C.; PIRES, C. S. S.; FONTES, E. M. G. Alternative food sources and overwintering feeding behavior of the boll weevil, *Anthonomus grandis* Boheman, (Coleoptera: Curculionidae) under the tropical conditions of Central Brasil. **Neotropical Entomology**, v. 39, p. 28-34, 2010.

SZENDREI, Z.; RODRIGUEZ-SAONA, C. A meta-analysis of insect pest behavioral manipulation with plant volatiles. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 134, p. 201-210, 2010

TINZAARA, W.; DICKE, M.; HUIS, A. V.; GOLD, C. S. Use of infochemicals in pest management with special reference to the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). **Insect Science Applied**, Kenya, v. 22, p.241-261, 2002.

WANG, Z. H.; ZHAO, H.; LI, J. F.; ZENG, X. D.; CHEN, J. J.; FENG, H. L.; XU, J. W. Synergism of plant volatiles to insect pheromones and related mechanisms. Ying yong sheng tai xue bao= **The journal of applied ecology**, v. 19, p. 2533, 2008.

WEBSTER, B.; BRUCE, T.; PICKETT, J.; HARDIE, J. Volatiles functioning as host cues in a blend become nonhost cues when presented alone to the black bean aphid. **Animal Behaviour**, v. 79, p. 451-457, 2010.

WITZGALL, P.; KIRSCH, P.; CORK, A. Sex pheromones and their impact on pest management. **Journal of Chemical Ecology**. New York, v. 36, p. 80-100, 2010.