

11. Controle comportamental

PEDRO GUILHERME LEMES¹ & JOSÉ COLA ZANUNCIO²

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, Av. Universitária, 1000, Bairro Universitário, CEP 39404-547, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil. pedroglesmes@hotmail.com

²Departamento de Entomologia/BIOAGRO, Universidade Federal de Viçosa, 36570-900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. zanuncio@ufv.br

INTRODUÇÃO

A comunicação química tem papel essencial na vida dos insetos, permitindo-lhes avaliar o ambiente a sua volta através da mudança em seu comportamento. Substâncias químicas que mediam o comportamento dos insetos podem ser chamadas de químicos comportamentais, químicos modificadores de comportamento ou, simplesmente, semioquímicos. A palavra semioquímico vem do grego “semeon”, que significa sinal. Os semioquímicos são moléculas orgânicas usadas na transmissão de mensagens químicas que podem modificar o comportamento ou a fisiologia de um organismo (El-Sayed, 2015). Insetos utilizam sinais químicos para localizar hospedeiros, fontes de alimento, parceiros sexuais, evitar competição e inimigos naturais e superar as defesas de seus hospedeiros/presas. Os semioquímicos podem transmitir uma mensagem em distâncias mais longas do que outros meios de comunicação em insetos (El-Shafie & Faleiro, 2017).

Feromônios são substâncias emitidas por um organismo para induzir respostas comportamentais em outro da mesma espécie, podendo ser de alarme, sexuais e os de trilha de comida, afetando o comportamento ou a fisiologia de indivíduos da mesma espécie (van Tol et al., 2001). Aleloquímicos são sinais emitidos e recebidos por espécies diferentes, podendo ser cairomônios ou alo-mônios, se beneficiarem o organismo receptor ou emissor, respectivamente. Um semioquímico pode funcionar em mais de uma dessas categorias, dependendo da espécie receptora. Feromônios de agregação de alguns besouros broqueadores também podem atuar como cairomônios atraindo seus predadores (El-Shafie & Faleiro, 2017). Algumas terminologias usadas para sinais químicos são demonstradas na Figura 1.

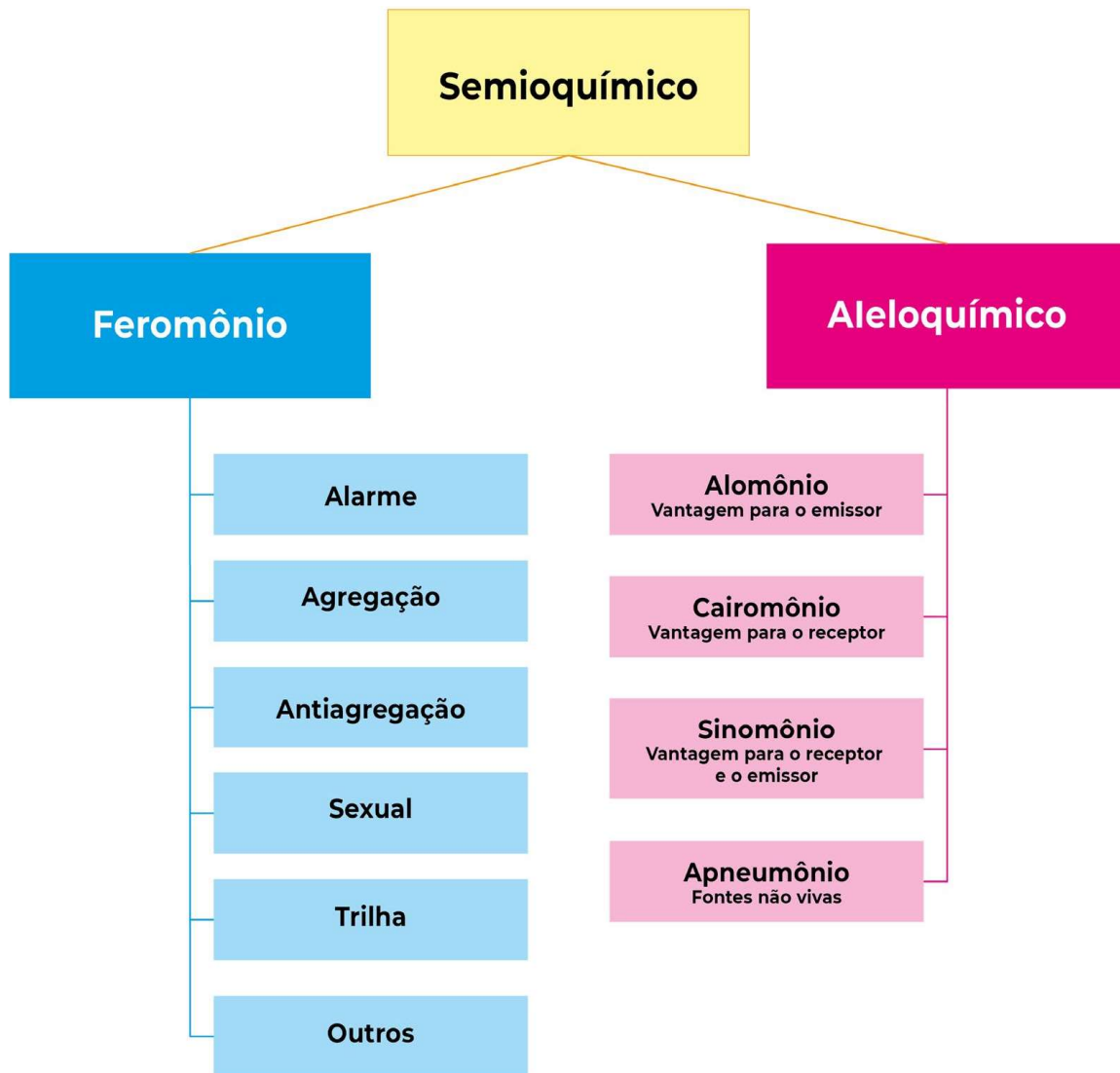


Figura 1. Terminologia utilizada no estudo dos semioquímicos (adaptada de Norin, 2007).

Os semioquímicos também podem ser classificados pelo tipo de comportamento que elicitam no organismo receptor. Os atrativos fazem com que o receptor oriente-se na direção de uma fonte emissora, os repelentes provocam a reação oposta, os incitantes induzem a realização de um comportamento específico, como a alimentação, por exemplo, e os deterrentes fazem o indivíduo interromper tal comportamento.

Os semioquímicos são específicos para cada espécie e não causam efeitos adversos ao meio ambiente. Essas vantagens tornam o controle comportamental uma ferramenta importante no manejo de pragas agrícolas e florestais, principalmente em sistemas de cultivo orgânico (El-Shafie & Faleiro, 2017). Muitas das pesquisas com semioquímicos traduziram-se na prática, no monitoramento e

controle de insetos. Apesar do uso de semioquímicos contra pragas ter vantagens em relação aos inseticidas convencionais, eles ainda são pouco utilizados. O sistema olfativo dos insetos é bastante aguçado e quantidades ínfimas de semioquímicos são necessárias para o controle. A tecnologia precisa ser transferida ao silvicultor de maneira mais eficiente e é preciso conhecer mais sobre a comunicação química entre insetos e plantas (Norin, 2007).

Os semioquímicos são componentes importantes em programas de manejo integrado de pragas florestais em países do Hemisfério Norte, atuando como ferramentas eficientes no monitoramento e/ou redução populacional de certas pragas. No entanto, ainda são pouco usados no manejo de pragas na silvicultura em regiões tropicais (Nadel et al., 2012). Embora estudos com semioquímicos tenham sido conduzidos para vários insetos nas regiões tropicais e no Hemisfério Sul, essa técnica tem sido pouco usada em plantios florestais. O alto custo da pesquisa, desenvolvimento e aplicação de semioquímicos em programas de monitoramento e/ou controle, provavelmente, é o principal motivo para sua baixa adoção, mesmo em plantios florestais industriais dessas regiões (Rodríguez & Niemeyer, 2005; Brockerhoff et al., 2006; Carle & Holmgren, 2008; FAO, 2011).

Muitas pesquisas, táticas e produtos formulados usados no Hemisfério Norte foram aplicados em plantações florestais no Hemisfério Sul. Por exemplo, na Austrália e na Nova Zelândia, semioquímicos são usados para monitorar pragas quarentenárias em áreas de alto risco, como aeroportos, portos e florestas próximas a esses locais (Cole, 2005; Brockerhoff et al., 2006a; Wylie et al., 2008). A pesquisa pode melhorar a precisão do monitoramento da dispersão e dos níveis populacionais das pragas. Isso é muito importante devido ao uso de inseticidas sintéticos ser cada vez mais restrito em plantios florestais, devido à toxicidade e proibição por parte da certificação florestal, como o *Forestry Stewardship Council* - FSC (Rametsteiner & Simula 2003; Lemes et al., 2016).

À medida que mais estudos são desenvolvidos com semioquímicos em plantios florestais no Hemisfério Sul e em regiões tropicais, é necessário avaliar quais pragas e tipos de sistema florestal que o controle comportamental será implementado, pois essa tática não é adequada para todos tipos de pragas (El-Sayed et al., 2009). Os primeiros casos de sucesso darão maior confiança aos produtores de que o uso de semioquímicos é viável no manejo integrado de pragas (MIP) florestais.

SEMIOQUÍMICOS NO MIP

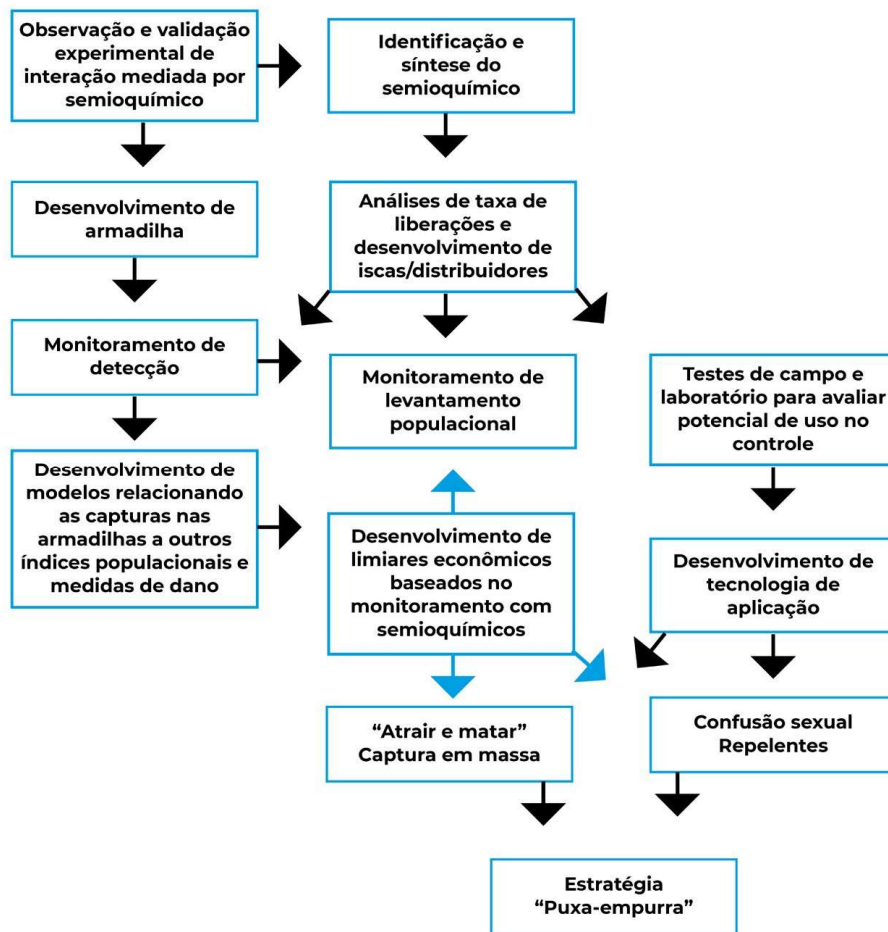


Figura 2. Pesquisas e desenvolvimentos necessários para a implementação de semioquímicos em programas de MIP florestais. Setas pretas indicam fluxo de informação. Setas azuis indicam que a informação poderia ser usada para melhorar aquela tática (adaptado de Evenden & Silk, 2016).

Os semioquímicos vêm sendo utilizados no manejo de pragas há mais de 100 anos. A confiança dos insetos nos sinais transmitidos através dos semioquímicos em sua sobrevivência, reprodução e outros aspectos biológicos fazem deles excelentes ferramentas no manejo integrado de pragas florestais. No entanto, várias etapas de pesquisa e desenvolvimento devem ocorrer antes que os semioquímicos possam ser eficazes e, então, incorporados em programas de MIP (Figura 2). O uso efetivo de semioquímicos em campo depende da disponibilidade comercial e formulação apropriada para fornecer uma taxa de liberação ideal durante um período prolongado.

Os feromônios sexuais são os mais utilizados no manejo de insetos, principalmente, de Lepidoptera. Feromônios de agregação, também, são bastante usados no manejo de Coleoptera de importância econômica. Pragas agrícolas e florestais importantes como o besouro-de-casca *Dendroctonus ponderosae* em *Pinus* spp. (Curculionidae: Scolytinae), a broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae), a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), e a traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), têm sido manejadas, com certo sucesso, utilizando essa técnica (El-Shafie e Faleiro, 2017).

Os semioquímicos têm sido utilizados no manejo integrado de pragas, principalmente, com as seguintes estratégias (El-Shafie & Faleiro, 2017):

- Detecção precoce de espécies invasoras e em monitoramentos para delimitar áreas de ocorrência;
- Monitoramento das populações de espécies endêmicas para definir o melhor momento para aplicação de defensivos;
- Avaliação da eficácia de estratégias de controle usadas através do monitoramento pós-aplicação;
- Melhoria da amostragem de insetos, comparada a outras técnicas, auxiliando a tomada de decisão;
- Aumento das taxas de predação/parasitismo de predadores e parasitoides no controle biológico;
- Redução direta da população de pragas;

Neste capítulo, iremos abordar o uso de semioquímicos na detecção precoce de espécies invasoras, no monitoramento e controle de pragas, que são os usos mais comuns na área florestal.

Detecção precoce de espécies invasoras

Um dos usos mais comuns de semioquímicos no Hemisfério Sul é na detecção precoce e no monitoramento de dispersão de pragas florestais com potencial invasivo. A captura de insetos exóticos em portos e aeroportos, que foram importados em material infestado, procura impedir ou desacelerar a dispersão dessas pragas em áreas florestais adjacentes. Após serem detectados nas armadilhas ou inspeções fitossanitárias realizadas em materiais vegetais ou produtos florestais, várias armadilhas podem ser colocadas em torno das fontes de infestação. A

aplicação das armadilhas com isca de feromônio no tempo certo irá depender do conhecimento prévio de potenciais espécies invasoras e, principalmente, da disponibilidade de iscas de feromônio específicas. Regiões portuárias são, geralmente, afastadas de locais adequados para a reprodução de muitas dessas pragas. Logo, ao impedir a dispersão a partir deles, provavelmente, o estabelecimento dessas espécies exóticas será comprometido (Wainhouse, 2005). As armadilhas de feromônio são mais sensíveis que outras ferramentas de amostragem, portanto, são muito úteis na detecção da introdução e dispersão de espécies invasoras (Sweeney et al. 2006).

Monitoramento

Outro uso muito importante dos semioquímicos no manejo de pragas florestais é no monitoramento da dispersão e nos níveis populacionais da praga alvo. O monitoramento com armadilhas semioquímicos pode ser importante em alguns dos maiores programas de MIP florestais, permitindo a detecção e avaliação do impacto e alcance dessas espécies. O monitoramento é feito tanto com cairomônios quanto com feromônio, em várias armadilhas disponíveis para diferentes tipos de insetos.

As armadilhas de cairomônios são empregadas, principalmente, no monitoramento da densidade populacional de besouros-de-casca e besouros-de-ambrósia (Curculionidae: Scolytinae). Apesar de alguns semioquímicos terem sido descobertos para uso com várias espécies, existem iscas com cairomônios para monitoramento e detecção de pragas específicas (Wainhouse, 2005). Armadilhas à base de feromônios podem ser mais efetivas no monitoramento do que as com cairomônios, já que a atração provocada por feromônios é mais específica. Armadilhas de feromônios são mais eficazes com pragas que estão presentes em densidades populacionais muito baixas (Hosking et al. 2003). O uso de feromônios no monitoramento das pragas tem uma série de vantagens, entre elas: (i) são muito específicos e poucos organismos não-alvo são capturados; (ii) funcionam mesmo a grandes distâncias e podem monitorar mesmo em baixas densidades populacionais e; (iii) quantidades ínfimas do feromônio são necessárias para surtir efeito (Witzgall et al., 2010).

Além de auxiliar na detecção, a captura desses insetos ao longo do tempo pode indicar o período sazonal de voo (Grant et al., 2002; Rocchini et al., 2003) e auxiliar no ajuste do melhor momento para aplicação de técnicas de controle (Régnière & Nealis, 2002). Através dos insetos coletados pode se obter infor-

mações como a razão sexual (Borden et al., 2008), reprodução (Bergh et al., 1988), disseminação de doenças (Sweeney & McLean, 1987), e na avaliação da diversidade genética, usada para determinar o caminho percorrido pela praga até a invasão em espécies introduzidas (Carter et al., 2009).

Armadilhas com feromônios não são muito utilizadas na previsão de densidades populacionais e danos de pragas, pois além do alto custo, os modelos não são precisos. Limiares econômicos feitos com base no número de insetos aprisionados em armadilhas de feromônio foram desenvolvidos apenas para algumas pragas que tiveram estudos aprofundados e usados no manejo integrado. O monitoramento com feromônios é útil, principalmente, no monitoramento de pragas florestais com surtos cíclicos, em que sua abundância pode aumentar rapidamente e causar muitos danos aos plantios ou florestas (Evenden & Silk, 2016).

Controle

Semioquímicos também são utilizados no controle de algumas pragas florestais, podendo afetar o comportamento e interferir na reprodução e/ou sobrevivência, regulando a densidade populacional das pragas (Evenden & Silk, 2016). Essas substâncias têm sido empregadas, principalmente, com as táticas de confusão sexual, captura em massa com armadilhas e/ou repelindo pragas de alimentos e locais de oviposição (Agelopoulos et al., 1999).

Confusão sexual

A confusão sexual é feita através da liberação de grandes quantidades de feromônio sexual sintetizado no local de ocorrência da praga, visando interromper o comportamento de encontrar parceiros e de cópula (Bartell, 1982). Essa tática tem sido empregada, principalmente, no controle de lepidópteros (Witzgall et al. 2010). Os insetos podem seguir um produto químico atraente, através da sua pluma de odor. Eles localizam a fonte desta pluma voando contra o vento até sua origem. Quanto mais peculiar for esse químico, os limites da pluma de odor ficam mais delimitados, pois há menor interferência. Por isso, os feromônios, únicos para as espécies, são atrativos mais fortes do que cairomônios, que podem ser encontrados em espécies diferentes (p. ex.: um cairomônio pode ser emitido tanto por uma árvore hospedeira quanto por outra espécie não hospedeira). Essa técnica manipula o comportamento sexual dos insetos, podendo levar a uma redução populacional (El-Shafie & Faleiro, 2017). A confusão sexual busca

aumentar a interferência de fundo ao ponto em que o inseto de um sexo tenha dificuldade na localização do emissor de outro sexo. Isso pode ser feito através da saturação, quando o inseto tem dificuldade em localizar uma pluma de odor, ou criando vários pontos de emissão de odor artificial no ambiente, fazendo com o que o inseto desperdice energia e tempo localizando fontes erradas. O uso dessa técnica não impede completamente a realização de cópulas, mas o atraso provocado no acasalamento das fêmeas pode reduzir a fecundidade em torno de 50% (Baker, 2011). Toda fêmea adulta de insetos tem um tempo para se reproduzir, e qualquer atraso pode afetar negativamente seu *fitness* e a habilidade de selecionar os melhores locais para a oviposição. Existem três formas em que essa técnica pode atuar:

I. Atração competitiva ou seguimento de falsa trilha: os machos respondem às plumas de feromônio sintético emitidas pelos distribuidores ao invés da pluma do odor natural emitida pelas fêmeas. É um mecanismo dependente de densidade e é mais eficiente em baixas densidades populacionais.

II. Camuflagem: o ambiente fica completamente saturado com o feromônio sintético e o macho não consegue localizar as fêmeas dentro do plantio. Funciona de maneira independente da densidade.

III. Perda de sensibilidade ou desequilíbrio sensorial: o sistema olfativo e/ou sistema nervoso central dos machos podem ficar habituados ou adaptados aos odores devido à superexposição ao feromônio sintético.

O objetivo da confusão sexual é evitar o acasalamento da praga-alvo, interrompendo ou atrapalhando a comunicação entre macho e fêmea. Os insetos permanecem vivos, mas desorientados durante o uso dessa técnica, enquanto são mortos ou removidos nas técnicas da captura em massa ou “atrair e matar” (Wylie & Speight, 2012). A confusão sexual é a técnica de controle comportamental mais utilizada no manejo de pragas.

A concentração do feromônio deve permanecer suficientemente alta no local correto e o número de encontro entre machos e fêmeas deve ser baixo para que o acasalamento seja interrompido e a população comece a diminuir em densidade na próxima geração. Portanto, essa técnica é mais apropriada em baixas densidades populacionais (Wainhouse, 2005). Vasilhames plásticos que liberam feromônio, a uma taxa controlada por vários dias, e microcápsulas ou tiras plásticas impregnadas com feromônios atraentes podem ser usados.

As populações a serem controladas devem ser isoladas, sem outras fontes

próximas de fêmeas acasaladas, que podem dispersar para áreas tratadas. Logo, espécies, com baixa mobilidade, são candidatas potenciais ao uso dessa técnica. No entanto, os machos podem procurar pelas fêmeas usando pistas visuais para localizá-las próximo a fonte de feromônio sintético. A eficiência da orientação a curta distância e a densidade populacional afetam a frequência de encontros e, portanto, podem afetar a eficácia da confusão sexual.

Os feromônios sexuais são formulados de várias maneiras que podem influenciar sua taxa de liberação, como e onde eles serão aplicados (Sanders, 1997). Formulações dispersíveis na forma de microcápsulas liberam quantidades muito pequenas durante um período limitado, mas podem ser aplicadas com equipamento de pulverização tradicional e proporcionando uma distribuição razoavelmente uniforme. Outras formulações imitam um indivíduo do sexo oposto ao que se deseja confundir, consistindo em lascas de plástico, flocos ou fibras que liberam feromônio a uma taxa de emissão aproximada do inseto, durante um período relativamente longo. Formulações em fita ou cordas têm altas taxas de liberação potencial durante um longo período, porém precisam ser colocadas manualmente.

Captura em massa com armadilhas

A captura massal de insetos com armadilhas é usada na redução direta de populações de pragas. Uma grande quantidade de armadilhas de feromônio é usada eliminando os adultos, reduzindo a população e os danos larvais subsequentes (Baker, 2011). Na captura em massa, um número adequado de armadilhas com isca atraente é usado com o objetivo de suprimir as pragas pela aniquilação tanto de machos e/ou fêmeas (Wylie & Speight, 2012). A captura em massa com armadilhas é semelhante a técnica do “atrair e matar”, entretanto os insetos atraídos ficam contidos na armadilha e são fisicamente/mecanicamente removidos da população (Evenden & Silk, 2016).

A maioria das tentativas de uso dessa técnica foi feita em pragas florestais na Europa e na América do Norte, principalmente com besouros broqueadores (Wylie & Speight, 2012). Essa técnica vem sendo utilizada há séculos para controle de besouros-de-casca em países do Hemisfério Norte, utilizando árvores armadilhas para capturar e eliminar esses insetos. Algumas árvores hospedeiras eram derrubadas para cada árvore que estivesse infestada, e os besouros que as atacavam eram eliminados, queimando ou tratando as árvores armadilhas com inseticidas. Este método pode utilizar tanto feromônios de agregação quanto cai-

romônios produzidos pelo hospedeiro. Atualmente, com a evolução da identificação e síntese de feromônios e cairomônios, apareceram armadilhas adesivas iscadas com feromônio, armadilhas de tubo e funil que imitam árvores, entre outras (El-Shafie & Faleiro, 2017). Algumas armadilhas podem ser improvisadas, utilizando garrafas PET, como as que são usadas no controle e monitoramento da broca-do-olho-do-coqueiro (*Rhynchophorus palmarum*) (Coleoptera: Curculionidae) (ver figura 5 do capítulo 15.6.5).

Armadilhas de tubo iscadas com feromônio foram usadas na supressão de um grande surto de besouro broqueadores na região da Escandinávia no início da década de 80. Mais de 500 mil armadilhas foram usadas somente na região sul da Noruega, capturando quase 3 bilhões de besouros nesse período. Sistemas de captura massal também podem ser usados para suprimir populações de besouros-de-ambrósia em locais de processamento de madeira. A área a ser controlada é relativamente pequena nesses locais e o objetivo é evitar que esses besouros ataquem as toras que aguardam o processamento (El-Shafie & Faleiro, 2017). Devido ao alto custo de adquirir e instalar um grande número de armadilhas em um ecossistema florestal, essa técnica é mais recomendada para talhões de alto valor (Borden, 1993) ou pequenas áreas manejadas, em regiões áridas (Lindgren & Fraser, 1994). Os feromônios também podem ser usados em uma modificação da técnica da árvore armadilha. Árvores mais adequadas para a reprodução de besouros-de-casca são impregnadas com feromônios atraentes e as árvores logo são cortadas e os besouros são mortos por trituração. Árvores tratadas com inseticidas ou herbicidas também podem ser impregnadas com feromônio, formando um ambiente ruim para o desenvolvimento desses besouros e levando as suas larvas a morte antes de emergirem (El-Shafie & Faleiro, 2017).

Feromônios sexuais poderiam, em teoria, ser usados em armadilhas para captura massal. Nesse caso, como apenas um dos sexos seria capturado, essa técnica teria efeito parecido com o da confusão sexual, porque reduziria a possibilidade de encontros e cópulas, reduzindo a população na próxima geração. No entanto, os alvos mais frequentes de captura em massa têm sido os besouros-de-casca e besouros-de-ambrósia, porque ambos os sexos podem ser atraídos com o uso de feromônios de agregação. A captura em massa pode atuar na redução da dispersão, diminuição dos danos à madeira ou redução da taxa reprodutiva, variando conforme as características das pragas e o local onde as armadilhas são colocadas (Wainhouse, 2005). Feromônios sexuais podem ser mais eficazes, principalmente, em sistemas em que são emitidos por machos e que atraíam as fêmeas, como na broca-do-olho-do-coqueiro. As fêmeas da broca ficam aprisio-

nadas, reduzindo diretamente a postura dos ovos. Essa técnica é mais recomendada para insetos com densidade populacional relativamente baixa, que vivem muito tempo antes da postura, os quais colocam poucos ovos e com larvas emergentes que causam muito dano (Oehlschlager et al., 2002).

Árvores-armadilha e armadilhas de captura têm a desvantagem de que dentro dos talhões elas podem iniciar um ataque de “transbordamento”, atraindo e concentrando as pragas para dentro da floresta ou plantio, sendo necessário o monitoramento das árvores próximas, evitando a formação de novos focos de surto. Árvores-armadilha também exigem muita mão de obra e necessitam de monitoramento cuidadoso para garantir que sejam removidas ou eliminadas antes de serem totalmente tomadas pelas pragas e, assim, evitar a reemergência de adultos ou permitir o desenvolvimento das fases juvenis. A aplicação de inseticida no tronco pode impedir o desenvolvimento dessas pragas, reduzindo a necessidade de monitoramento regular. As vantagens do uso de armadilhas são que os insetos capturados não se reproduzem e as armadilhas podem ser instaladas em locais onde, provavelmente, serão mais eficientes (Wainhouse, 2005).

As armadilhas e iscas usadas na captura em massa devem ser projetadas visando maximizar as capturas dos insetos, mas os insetos podem responder de maneira complexa e incompreendida, portanto é difícil atingir isso na prática (Muirhead-Thomson, 1991). Nesse sentido, essas armadilhas são, geralmente, uma mistura entre o design para captura com o menor custo e a facilidade de manuseio, características importantes quando se pensa no uso dessa técnica em larga escala dentro de plantios florestais.

Atrair e Matar

Esta técnica, como o próprio nome sugere, utiliza um semioquímico para atrair o inseto a uma armadilha com alguma substância letal (esterilizante, inseticida ou patógeno). Essa técnica também pode ser denominada “atrair e esterilizar” ou “atrair e infectar”, dependendo da substância letal utilizada. O uso dessa técnica pode reduzir a densidade populacional, matando a praga alvo, reduzindo sua fecundidade ou causando epizootias (El-Shafie & Faleiro, 2017).

Essa técnica difere muito pouco da captura massal com armadilhas. Na tática de “atrair e matar”, o inseto atraído pelo semioquímico não é “aprisionado” na armadilha, mas acaba morto pelo agente letal ou esterilizante, eliminando boa parte da população após um curto período de tempo (El-Sayed et al., 2009).

As formulações para essa técnica combinam uma substância atrativa (semioquímico) e uma substância tóxica para matar a praga. Essa técnica é muito usada no manejo de besouros-da-casca, já que ambos os sexos destes besouros respondem aos feromônios de agregação e aos voláteis emitidos pelas árvores durante a colonização das árvores (Conn et al., 1983).

Repelentes

Um repelente é uma substância que impede ou inibe os insetos de encontrar, alimentar-se e/ou ovipositar em um hospedeiro atrativo (Mafra-Neto et al., 2014). Semioquímicos com efeito repelente estão disponíveis para o manejo de algumas pragas florestais. No entanto, o seu uso no campo é limitado devido à maior disponibilidade de outras técnicas mais baratas e eficazes, à falta de formulações adequadas e à regulação junto aos órgãos de registro (Isman, 2006). Os repelentes podem ser usados sozinhos ou combinados com substâncias atrativas, numa estratégia conhecida como “empurra-puxa”. Essa estratégia protege um recurso, tornando-o pouco atrativo ou inadequado para a praga (empurra), enquanto as atrai para uma armadilha, na qual serão removidas (puxa) (Cook et al., 2007).

A maioria desses repelentes e inibidores são alomônios produzidos pelas plantas que inibem os danos e a alimentação de insetos, mas existem feromônios antiagregantes, produzidos por alguns besouros-de-casca, para repelir membros da mesma espécie de árvores já colonizadas. A função desses feromônios de antiagregação é evitar uma superpopulação em árvores colonizadas, reduzindo a competição. Estes feromônios são utilizados na supressão de ataques de besouros-de-casca em hospedeiros suscetíveis, na proteção de árvores individuais ou para confundir a orientação do inseto com o hospedeiro (El-Shafie & Faleiro, 2017).

Muitos metabólitos vegetais foram identificados como repelentes e deterrentes, mas poucos foram testados na prática. Uma exceção é o óleo de pinho, um subproduto da indústria de celulose e papel, que foi testado com sucesso contra várias pragas florestais. Repelentes e deterrentes são promissores na proteção de árvores individuais de alto valor, como árvores usadas na arborização urbana, parques e jardins.

EXEMPLOS DO ESTUDO E USO DE SEMIOQUÍMICOS EM PRAGAS FLORESTAIS BRASILEIRAS

A pesquisa com feromônios de insetos tem evoluído no Brasil, tanto na identificação, biossíntese, síntese e testes de campo. O aumento do interesse no assunto levou a formação de encontros nacionais (Zarbin et al., 2007). O primeiro Encontro Brasileiro de Ecologia Química (I EBEQ) foi realizado na Universidade Federal do Paraná em dezembro de 1999, e a décima edição do evento foi realizada em 2017 na Universidade Federal de São Carlos. No entanto, são poucos os exemplos de pesquisas e do uso de semioquímicos na silvicultura brasileira.

Feromônios de trilha podem separar colônias simpátricas dos cupins *Coptotermes gestroi* e *Heterotermes tenuis* (Rhinotermitidae). A especificidade da trilha de feromônio nessas espécies deve-se, possivelmente, a diferenças quantitativas do componente comum do feromônio da trilha, apesar de que componentes secundários podem neutralizar esse efeito quantitativo (Arab et al., 2004). Este componente comum foi identificado como (3Z,6Z,8E)-dodecatrien-1-ol e já foi sintetizado (Batista-Pereira et al., 2004a).

Um feromônio sexual liberado por machos e um feromônio de contato liberado pelas fêmeas da broca-da-erva-mate *Hedypathes betulinus* (Coleoptera: Cerambycidae) parecem exercer papel importante na comunicação dessa espécie (Fonseca & Zarbin, 2009). Três componentes específicos de machos foram detectados em cromatografia gasosa: (E)-6,10-dimetilundeca-5,9-dien-2-ona (geranil-acetona), (E)-6,10-dimetilundeca-5,9-dien-2-ol; e acetato de (E)-6,10-dimetilundeca-5,9-dien-2-ila (componente principal) (Vidal et al., 2010). A liberação destes compostos está ligada ao tempo de fotoperíodo e a presença da planta hospedeira no local (Fonseca et al., 2010). Machos fornecidos com ramos verdes de erva-mate liberaram mais voláteis que aqueles sem alimento (Fonseca et al., 2009), suportando a tese de que os machos sequestram a geranil acetona da planta hospedeira durante a alimentação, utilizando-a como um precursor na síntese de feromônios. Esses feromônios foram encontrados, predominantemente, na região do protórax em machos, sugerindo que esta seja a região onde são produzidos.

Extratos das glândulas de feromônio da mariposa-do-álamo *Condylorrh-*

za vestigialis (Crambidae) são atraentes aos machos e pelo menos um de seus componentes teve resposta antenal masculina. A identificação desta molécula poderá auxiliar no monitoramento e detecção do início do período de voo sazonal, além de auxiliar no desenvolvimento de novos métodos de controle para esta importante praga de *Populus* spp. no Brasil (Ambrogi et al., 2009).

Feromônios foram estudados em ninfas e adultos do percevejo-bronzeado *Thaumastocoris peregrinus* (Thaumastocoridae) visando à busca por novas formas de controle. Os voláteis identificados das exúvias ninfais foram benzaldeído, octanol, (E)-2-octenol, ácido octanóico, decanal e ácido hexanoico e os de indivíduos adultos foram os butirato de 3-metilbut-2-en-1-ila e butirato de 3-metilbut-3-en-1-ila (Martins et al., 2012). As possíveis funções dessas misturas de feromônios voláteis estão sendo estudados. Um composto específico de machos de *T. peregrinus*, butanoato de 3-metilbut-2-enila, também foi identificado. Este composto funcionou como um feromônio de agregação de machos coespecíficos, mas as fêmeas não mostraram preferência, demonstrando que esse composto não está envolvido na comunicação sexual (González et al., 2012). O possível uso desses feromônios no manejo do percevejo-bronzeado precisa ser pesquisado.

Os principais feromônios de formigas-cortadeiras são: alarme, reconhecimento de indivíduos da mesma colônia, da rainha, marcação de trilha e recrutamento, marcação de folhas e de território. Duas táticas para o controle de formigas-cortadeiras utilizando semioquímicos têm sido exploradas: (i) a desorganização do sistema social da colônia, levando ao declínio e morte e; (ii) incorporação de feromônios em iscas formicidas aumentando a sua atratividade (Vilela, 1994). Nessa segunda tática, pode ocorrer a redução no tempo de descoberta das iscas, menor tempo de incorporação das iscas no formigueiro e maior recrutamento das operárias (Howse, 1990; Howse & Knapp, 1990).

O éster 4-metilpirrole-2-carboxilato de metila foi identificado como o feromônio de trilha produzido nas glândulas de veneno de operárias de *Acromyrmex subterraneus subterraneus* (Nascimento et al., 1994). Esse composto e a mesma função também foram caracterizados em outras formigas-cortadeiras, sozinho ou combinado com pirazinas alquiladas. Outros elementos voláteis também podem estar presentes no feromônio de alarme, dependendo da espécie e da casta. O componente predominante no feromônio de trilha da glândula de veneno de *Atta laevigata* foi o metil 4-metilpirrole-2-carboxilato. Análises químicas mostraram a presença de três compostos no feromônio de trilha produzido

na glândula de veneno de *A. opaciceps*, identificados como 2,5-dimetilpirazina, 3-etil-2,5-dimetilpirazina e 4-metilpirrole-2-carboxilato de metila (Campos et al., 2016). O 4-metilpirrole-2-carboxilato de metila foi testado em laboratório como componente de iscas formicidas para *A. cephalotes*, *A. sexdens* e *Acromyrmex octospinosus*. Os resultados não foram tão promissores, mas esse composto pode ter importância no futuro das formulações de iscas no manejo de formigas-cortadeiras em plantios florestais (Robinson e Cherrett, 1978).

Operárias de *A. sexdens rubropilosa* demonstram comportamento agressivo com companheiras de colônia quando entram em contato com o sesquiterpeno β -eudesmol, presente nas folhas de *Eucalyptus maculata*, atuando como alomônio. O β -eudesmol pode alterar a composição química da cutícula das operárias que entraram em contato, prejudicando o reconhecimento de colegas do ninho, liberando comportamentos de alarme e causando a agressão em companheiras de ninho (Marinho et al., 2008). Machos de *A. sexdens rubropilosa* produzem uma secreção nas glândulas mandibulares, que contém uma mistura de 4-metil-3-heptanol e 4-metil-3-heptanona, responsável pela reação excitabilidade e agressividade de operárias fora do ninho no momento da enxameação sexual (Bento et al., 2007).

Feromônios sexuais mediam o comportamento de acasalamento de *Thyrinteira arnobia* (Lepidoptera: Geometridae) e a interação entre machos e fêmeas. Isto abre perspectivas para estudos da ecologia química, isolamento e identificação do feromônio desta espécie (Batista-Pereira, et al. 2004b). A interação dos voláteis dos óleos essenciais *Eucalyptus grandis*, com as antenas de fêmeas e machos de *T. arnobia*, foi avaliada. Vinte e oito dos 40 compostos presentes nesse óleo essencial, a maioria terpenoides, provocaram respostas nas antenas de machos e fêmeas de *T. arnobia* (Batista-Pereira, et al., 2006). Muitos dos terpenoides presentes nesse óleo provocam efeitos atraentes, repelentes e estimulantes de alimentação.

A fêmea da broca-das-meliaceas, *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae), produz um feromônio sexual na atração dos machos. Os compostos desses feromônios são (Z)-9-tetradecen-1-ol; (Z,E)-9,12-tetradecadien-1-ol; acetato de (Z)-9-tetradecen-1-ilo e acetato de (Z,E)-9,12-tetradecadien-1-ila (Pineda-Ríos et al., 2016). Além desses dois compostos identificados em insetos coletados na América Central, mais dois compostos foram identificados compondo a mistura de feromônios sexuais de *H. grandella*: (9Z)-tetradecen-1-ol e acetato de (9Z)-tetradecenilo. Em testes de campo, armadilhas com a mistura contendo os qua-

tro compostos foram atrativas aos machos, enquanto as que utilizavam apenas os dois primeiros compostos encontrados não. Essa nova mistura de feromônios de *H. grandella* tem potencial para uso no monitoramento ou controle comportamental dessa praga (Blassioli-Moraes et al., 2017).

Fatores que afetam o ataque da broca-das-meliáceas são pouco conhecidos. O β -cariofileno, presente nos óleos essenciais de *Swietenia macrophylla* (Meliaceae) foi considerado o principal constituinte responsável pela resposta das antenas dos adultos de *H. grandella* a essa planta. Esse conhecimento é essencial para o desenvolvimento de métodos efetivos de controle comportamental contra essa praga (Soares et al., 2003).

Três componentes do feromônio sexual de contato na vespa-da-madeira *Sirex noctilio* provocaram respostas copulatórias nos machos: (Z)-7-heptacoseno, (Z)-7-nonacoseno e (Z)-9-nonacoseno. Mas não existe evidência da existência de um feromônio sexual de longo alcance nessa espécie. Outras pistas (auditivas, olfativas, táteis e visuais) podem estar envolvidas na localização e seleção do parceiro. O uso de árvores-armadilha estressadas com herbicidas tem sido para atração das vespas e para monitoramento e manejo dessa praga em plantios de pinus.

O principal exemplo de controle comportamental com o uso de feromônios no manejo de pragas florestais no Brasil, possivelmente, é no monitoramento e controle da broca-do-olho-do-coqueiro, *R. palmarum*. O método de controle mais usado no Brasil para mitigação deste inseto em plantios de palmáceas é capturando adultos com o uso de armadilhas contendo o feromônio de agregação da espécie, 2(E)-6-metil-2-hepten-4-ol, junto com cairomônios (tecidos vegetais com alto poder de fermentação como pedaços de palmeiras, cana-de-açúcar e abacaxi). Dois produtos comerciais estão registrados pelo Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento (MAPA) para uso na cultura do coqueiro (AGROFIT, 2017): o RMD-1® e o Rincoforol®.

USO DE HORMÔNIOS NO CONTROLE COMPORTAMENTAL

O desenvolvimento de substâncias sintéticas capazes de interferir no crescimento, desenvolvimento e metamorfose de insetos surgiu com a necessidade de tecnologias de controle de pragas mais seletivas, com menores riscos a or-

ganismos não-alvo e ao meio ambiente (Altstein et al., 1993). Hormônios são substâncias químicas produzidas em glândulas endócrinas, que controlam vários processos fisiológicos dentro do corpo de um organismo (Barbosa & Wagner, 1988). Químicos que competem, imitam ou interferem nos hormônios e, conseqüentemente, na fisiologia dos insetos são chamados de reguladores de crescimento de insetos (RCI), e também ficaram conhecidos como a terceira geração de inseticidas. No entanto, os RCI são bastante diferentes dos inseticidas normalmente utilizados no manejo de pragas. Os RCI são tóxicos aos insetos, pois exercem influência no desenvolvimento, metamorfose ou reprodução das pragas, alterando o funcionamento normal do sistema endócrino, e sua ação é muito mais lenta do que inseticidas sintéticos (Hoffman & Lorenz, 1998).

Os principais hormônios envolvidos no ciclo de vida dos insetos são os neuro-hormônios (neuropeptídeos), ecdisteróides (hormônios responsáveis pela muda e metamorfose) e hormônios juvenis (HJ) (sesquiterpenos). Ecdisteróides e HJ são responsáveis pelo controle de muda e metamorfose durante as fases de larva e pupa dos insetos (Hoffman & Lorenz, 1998). Os hormônios dos insetos são produzidos em quantidades ínfimas e, por isso, são difíceis de serem produzidos naturalmente. Eles foram caracterizados quimicamente e seus análogos são sintetizados. A estrutura química dos análogos, em alguns casos, pode ser levemente alterada para maximizar seus efeitos. Os principais RCI são análogos dos hormônios juvenis, também conhecidos como juvenoides, inibidores de síntese de quitina e agonistas de ecdsona. Quando esses compostos tiveram seu uso proposto pela primeira vez, acreditava-se que os insetos não conseguiriam desenvolver resistência a substâncias que imitam seus próprios hormônios. No entanto, vários insetos já demonstraram ter desenvolvido resistência aos RCI. Suspeita-se que a maioria das resistências a esses compostos resulta da resistência à penetração na cutícula e da capacidade de metabolizar esses compostos (Hoffman & Lorenz, 1998). Além disso, algumas moléculas baseadas no sistema dos HJ são bastante comuns a todos os insetos e podem afetar outras espécies não-alvo, e inibidores da síntese de quitina podem apresentar efeitos nocivos a outros artrópodes. Sua aplicação ainda é limitada, não só pela ação lenta, mas também pela pequena faixa de estágios do ciclo de vida dos insetos os quais são efetivos (Wylie & Speight, 2012).

São poucos os exemplos de uso de RCI no manejo de pragas florestais no Brasil e no mundo. Dimilin®, formulado com diflubenzuron (inibidor de síntese de quitina), foi testado em laboratório em lagartas de *T. arnobia* na década de

70, em Piracicaba, São Paulo. Esse composto causou redução na emergência de adultos nas dosagens de 0,5, 1,5 e 2,5 kg/ha. Em teste semelhante realizado em Viçosa, Minas Gerais, uma mortalidade de 80% foi atingida utilizando 0,5 kg/ha do produto. Esse mesmo produto foi aplicado com pulverizador costal motorizado em um surto de *T. arnobia* em *E. grandis* em Presidente Olegário, Minas Gerais, em 1982, na dosagem 200g por 200 L água/ha, atingindo controle semelhante ao uso de piretroides. Em 1984, este produto foi aplicado em ultra-baixo volume com avião em um plantio de *E. grandis* com dois anos e meio de idade, altamente infestado por essas lagartas, no município de João Pinheiro, Minas Gerais. Foram usadas as dosagens de 100, 300 e 600 g/ha na vazão de 3 L em mistura de óleo diesel/ha, e se concluiu que, para atingir uma mortalidade de 80%, deve-se utilizar de 504 a 572 g desse produto por hectare (Zanuncio et al., 1993).

TÉCNICA DO INSETO ESTÉRIL

O conceito da técnica do inseto estéril (TIE) foi desenvolvido pelo americano Edward Fred Knipling na década de 30 e implementado pela primeira vez na década de 50. A ideia central é criar massalmente um inseto, esterilizar por radiação ionizante e, por fim, liberar indivíduos esterilizados na área. Uma dose de radiação que atingiu 100% de esterilidade em machos e fêmeas devido à indução de mutações letais dominantes foi selecionada. Fêmeas virgens que copulassem com um macho estéril não produziram prole viável. Foi previsto que, com várias liberações sucessivas, com excesso de machos estéreis, a população da praga alvo poderia ser erradicada. Conforme a população diminuiu, a proporção entre machos estéreis e férteis aumenta a cada nova geração, até que as chances de uma fêmea acasalar com um macho silvestre sejam quase nulas. Essa característica, de se tornar mais eficiente à medida que a densidade populacional da praga diminuiu, é uma característica singular dessa técnica (Scott & Benedict, 2015). O objetivo dessa técnica é erradicar ou suprimir a densidade populacional de pragas, reduzindo os danos às culturas. A TIE é totalmente específica, não polui e não causa resistência das pragas (Hendrichs & Robinson, 2009). Esse método é bastante complexo e caro, porém é muito útil na erradicação de pragas severas e para impedir o estabelecimento e infestação de uma praga invasora. Portanto, para que essa técnica alcance sucesso, alguns critérios precisam ser atendidos (Knipling, 1955):

i) Habilidade em criar massalmente o inseto em laboratório a baixo custo.

ii) O inseto deve ocorrer em baixas densidades populacionais no campo. Isso pode ocorrer naturalmente ou com a aplicação de outra técnica de controle, como químico e biológico.

iii) A esterilização não deve causar efeitos adversos no comportamento de acasalamento e a expectativa de vida dos machos.

iv) Habilidade de dispersar os machos estéreis de maneira que possam competir com machos silvestres pelas fêmeas virgens.

Um programa de erradicação de pragas utilizando a TIE só será viável se realizado, principalmente, em locais com isolamento geográfico e/ou climático, aplicada em área total, tendo toda a população da praga na região como alvo e não em áreas isoladas. Barreiras fitossanitárias entre regiões devem ser feitas para evitar o risco de reinfestações em áreas sem isolamento geográfico ou climático (Dias & Garcia, 2014).

Os avanços técnicos em ecologia comportamental, criação massal em laboratório, melhoramento genético, redes globais de informação e parcerias, sistemas de monitoramento e liberação aérea, combinados à crescente demanda por produtos agrícolas e florestais sem pragas e sem uso de inseticidas sintéticos no mercado, têm aumentado o uso da TIE em programas de manejo integrado de pragas (Hendrichs & Robinson, 2009).

REFERÊNCIAS

- AGELOPOULOS, N.; BIRKETT, M.A.; HICK, A.J.; HOOPER, A.M.; PICKETT, J.A.; POW, E.M.; SMART, L.E.; SMILEY, D.W.M.; WADHAMS, L.J.; WOODCOCK, C.M. Exploiting semiochemicals in insect control. *Pesticides Science*, v. 55, p. 225–235, 1999.
- ALTSTEIN, M.; AHARONSON, N.; MENN, J.J. OVERVIEW: New targets for insect management in crop protection. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. v. 2, p. 5-12, 1993.
- AMBROGI, B.G.; FONSECA, M.G.; CORACINI, M.D.A.; ZARBIN, P.H.G. Calling behaviour and male response towards sex pheromone of poplar moth *Condylorrhiza vestigialis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Pest Science*, v. 82, p. 55-60, 2009.
- ARAB, A.; COSTA-LEONARDO, A.M.; BATISTA-PEREIRA, L.G.; DOS SANTOS, M.G.; CORREA, A.G.; BLANCO, Y.C. Trail-pheromone specificity of two sympatric termites (Rhinotermitidae) from southeastern Brazil. *Sociobiology*, v. 43, p. 377-387, 2004.
- BAKER, T.C. Insect pheromones: useful lessons for Crustacean pheromone programs? In: Breithaupt, T.; Thiel, M. (Eds) *Chemical communication in Crustacean*. Springer Science + Business Media LLC, 2011. DOI: 10.1007/978-0-387-77101-4_27.
- BARTELL, R.J. Mechanisms of communication disruption by pheromone in the control of Lepidoptera: a review. *Physiological Entomology*, v. 7, p. 353–364, 1982.

BATISTA-PEREIRA, L.G.; FERNANDES, J.B.; CORRÊA, A.G.; SILVA, M.F.G.F.; VIEIRA, P.C. Electrophysiological responses of eucalyptus brown looper *Thyrineina arnobia* to essential oils of seven *Eucalyptus* species. Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 17, n. 3, p. 555-561, 2006. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532006000300019>.

BATISTA-PEREIRA, L.G.; SANTOS, M.G.; CORRÊA, A.G.; FERNANDES, J.B.; DIETRICH, C.R.R.C.; PEREIRA, D.A.; BUENO, O.C.; COSTA-LEONARDO, A.M. Electroantennographic responses of *Heterotermes tenuis* (Isoptera: Rhinotermitidae) to synthetic (3Z,6Z,8E)-Dodecatrien-1-ol. Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 15, n. 3, p. 372-377, 2004a. DOI: 10.1590/S0103-50532004000300006

BATISTA-PEREIRA, L.G.; WILCKEN, C.F.; PEREIRA-NETO, S.D.; MARQUES, E.N. Comportamento de Chamamento de *Thyrineina arnobia* (Stoll) (Lepidoptera: Geometridae) em *Psidium guajava*, *Eucalyptus grandis* e em dieta artificial. Neotropical Entomology, v. 33, n. 1, p. 21-28, 2004b.

BENTO, J.M.S.; DELLA LUCIA, T.M.C.; NASCIMENTO, R.R.; BERGMAN, J.; MORGAN, D.E. Response of workers of *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) to mandibular gland compounds of virgin males and females. Physiological Entomology, v. 32, p. 283-286, 2007.

BERGH, J.C.; SEABROOK, W.D.; EVELEIGH, E.S. The mating status of field-collected male spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.) (Lepidoptera: Tortricidae), in relation to trap location, sampling method, sampling date, and adult emergence. The Canadian Entomologist, v. 120, p. 821-830, 1988.

BLASSIOLI-MORAES, M.C.; BORGES, M.; LAUMANN, R.A.; BORGES, R.; VIANA, A.R.; THOMAZINI, M.J.; SILVA, C.C.A.; OLIVEIRA, M.W.M.; BOFF, M.I.C. Identification and field evaluation of a new blend of the sex pheromone of *Hypsipyla grandella*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 52, n. 11, p. 977-986, 2017. Doi: 10.1590/s0100-204x2017001100003

BORDEN, J.H. Semiochemicals and bark beetle populations: Exploitation of natural phenomena by pest management strategists. Holarctic Ecology, v. 12, p. 501-510, 1989.

BORDEN, J.H. Strategies and tactics for the use of semiochemicals against forest insect pests in North America. In: LUMSDEN, R.D.; VAUGHN, J.L. Pest management: biologically-based technologies. American Chemical Society, p. 265-279, 1993.

BORDEN, J.H.; LAFONTAINE, J.P.; PURESWARAN, D.S. Synergistic blends of monoterpenes for aggregation pheromones of the mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Economic Entomology, v. 101, p. 1266-1275, 2008.

BÖRÖCZKY, K.; CROOK, D.J.; JONES, T.H.; KENNY, J.C.; ZYLSTRA, K.E.; MASTRO, V.C.; TUMLINSON, J.H. Monoalkenes as contact sex pheromone components of the woodwasp *Sirex noctilio*. Journal of Chemical Ecology, v. 35, p. 1202-1211, 2009. DOI: 10.1007/s10886-009-9693-6

BROCKERHOFF, E.G.; JONES, D.C.; KIMBERLEY, M.O.; SUCKLING, D.M.; DONALDSON, T. Nationwide survey for invasive wood-boring and bark beetles (Coleoptera) using traps baited with pheromones and kairomones. Forest Ecology and Management, v. 28, p. 234-240, 2006.

CARLE, J.; HOLMGREN, P. Wood from planted forests: a global outlook 2005-2030. Forests Products Journal, v. 58, p. 6-18, 2008.

CARTER, M.E.; SMITH, M.T.; TURGEON, J.J.; AND HARRISON, R.G. Analysis of genetic diversity in an invasive population of Asian long-horned beetles in Ontario, Canada. The Canadian Entomologist, v. 141, p. 582-594, 2009.

CONN, J.E.; BORDEN, J.H.; SCOTT, B.E.; FRISKIE, L.M.; PIERCE, H.D. JR.; OEHLISCHLAGER, A.C. Semiochemicals for the mountain pine beetle *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae) in British Columbia Canada: field trapping studies. Canadian Journal of Forest Research, v. 13, p. 320-324, 1983.

COOK, S.M.; KHAN, Z.R.; PICKE, J.A. The use of push-pull strategies in integrated pest management. Annual Review of Entomology, v. 52, p. 375-400, 2007.

DIAS, N.P.; GARCIA, F.R.M. Fundamentos da técnica do inseto estéril (TIE) para o controle de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae). Biológico, v. 76, n. 1, p. 58-62, 2014.

DO NASCIMENTO, R.R., MORGAN, E.D., MOREIRA, D.D.O. et al. J Chem Ecol. 20: 1719. 1994. <https://doi.org/10.1007/BF02059893>

EI-SAYED, A.M.; SUCKLING, D.M.; WEARING, C.H.; BYERS, J.A. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. Journal of Economic Entomology, v. 9, n. 5, p. 150-1564, 2006.

EL-SAYED, A.M. 2015. The pherobase: database of insect pheromones and semiochemicals, 2008. <http://www.pherobase.com>

EL-SAYED, A.M.; SUCKLING, D.M.; BYERS, J.A.; JANG, E.B.; WEARING, C.H. Potential of lure and kill in long-term pest management and eradication of invasive species. J Econ Entomol 102:815–835, 2009

EL-SHAFIE, H.A.F.; FALEIRO, J.R. Semiochemicals and Their Potential Use in Pest Management. Biological Control of Pest and Vector Insects, Dr Vonnie Shields (Ed.), p. 1-22, 2017. DOI: 10.5772/66463.

EVENDEN, M.L.; SILK, P.J. The influence of Canadian research on semiochemical-based management of forest insect pests in Canada. The Canadian Entomologist, v. 148, p. 170-209, 2016.

FAO State of the world's Forests 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2011.

FONSECA, M.G.; VIDAL, D.M.; ZARBIN, P.H.G. Male-Produced Sex Pheromone of the Cerambycid Beetle *Hedypathes betulinus*: Chemical Identification and Biological Activity. Journal of Chemical Ecology, v. 36, p. 1132-1139, 2010.

FONSECA, M.G.; ZARBIN, P.H.G. Mating behaviour and evidence for sex-specific pheromones in *Hedypathes betulinus* (Coleoptera: Cerambycidae: Lamiinae). Journal of Applied Entomology, v. 133, p. 695-701, 2009.

GRANT, G.G.; DE GROOT, P.; LANGEVIN, D.; KATOVICH, S.A.; SLESSOR, K.N.; AND MILLER, W.E. Sex attractants and seasonal flight patterns for three *Eucosma* (Lepidoptera: Tortricidae) species sympatric in eastern pine seed orchards and plantations. The Canadian Entomologist, v. 134, p. 391–401, 2002.

HENDRICHS, J.; ROBINSON, A. Sterile insect technique. In: RESH, V.H.; CARDÉ, R.T. Encyclopedia of Insects, 2a edição, Academic Press, 1168 pp., 2009.

HOSKING, G.; CLEARWATER, J.; HANDISIDE, J.; KAY.; RAY, J.; SIMMONS, N. Tussock moth eradication—a success story from New Zealand. Int J Pest Manage, v. 49, p. 17–24, 2003.

HOY, M.A. Genetic modification of pest and beneficial insects for pest-management programs. In: HOY, M.A. Insect molecular genetics: an introduction to principles and applications, 3a edição, Academic Press, p. 661-736, 2013.

ISMAN, MB. Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual Review of Entomology. v.51, p. 45–66, 2006.

KNIPLING, E.F. Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile male. Journal of Economic Entomology, v. 48, p. 459-462, 1955.

LEMES, P.G.; ZANUNCIO, J.C.; SERRÃO, J.E.; LAWSON, S.A. Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy and integrated pest management in certified tropical plantations. Environmental Science and Pollution Research International, v. 23, p. 1, 2016.

LINDGREN, B.S.; FRASER, R.G. Control of ambrosia beetle damage by mass trapping at a dryland log sorting area in British Columbia. Forestry Chronicle, v. 70: p. 159–163, 1994.

MARINHO, C.; DELLA LUCIA, T.; RIBEIRO, M.; MAGALHÃES, S.; GUEDES, R.; JHAM, G. Interference of β -eudesmol in nestmate recognition in *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). Bulletin of Entomological Research, v. 98, p. 467-473, 2008. doi:10.1017/S0007485308005786

MARTINS, C.B.C.; SOLDI, R.A.; BARBOSA, L.R.; ALDRICH, J.R.; ZARBIN, P.H.G. Volatile chemicals of adults and nymphs of the *Eucalyptus* Pest, *Thaumastocoris peregrinus* (Heteroptera: Thaumastocoridae). Psyche, v. 2012, p. 1-6, 2012. DOI:10.1155/2012/275128

- MARTINS, C.B.C.; ZARBIN, P.H.G. Volatile organic compounds of conspecific-damaged *Eucalyptus benthamii* influence responses of mated females of *Thaumastocoris peregrinus*. *Journal of Chemical Ecology*, v. 39, p.602-611, 2013. DOI:10.1007/s10886-013-0287-y
- MORGAN, E.D.; KEEGANS, S.J.; TITS, J.; WENSELEERS, T.; BILLEN, J. Preferences and differences in the trail pheromone of the leaf-cutting ant *Atta sexdens sexdens* (Hymenoptera: Formicidae). *European Journal of Entomology*, v. 103, p. 553-558, 2006.
- MUIRHEAD-THOMSON, R. C. Trap responses to flying insects. Academic Press, London, 1991.
- NADEL, R.L.; WINGFIELD, M.J.; SCHOLE, M.C.; LAWSON, S.A.; SLIPPERS, B. The potential for monitoring and control of insect pests in Southern Hemisphere forestry plantations using semiochemicals. *Annals of Forest Science*, v. 69, p. 757-767, 2012.
- NORDLUND, D.A. Semiochemicals: a review of the terminology. In: Nordlund, D.A., Jones, R.L., Lewis, W.J. (Eds.), *Semiochemicals: Their Role in Pest Control*. John Wiley and Sons, New York, pp. 13–28. 1982.
- NORIN, T. Semiochemicals for insect pest management. *Pure Appl. Chem.* v. 79, p. 2129–2136. 2007.
- OEHLSCHLAGER, A.C.; CHINCHILLA, C.; CASTILLO, D.; GONZALEZ, L. Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist*. v. 85, p. 507–513, 2002. DOI: 10.1653/0015-4040(2002)085[0507:[CORRDB] 2.0.CO;2
- PINEDA-RIOS, J.; CIBRIÁN, T.J.; MACÍAS, S.J.; SALOMÉ, A.L.; LÓPEZ, R.R.; ARJONA, S.E. La composición y proporción de los componentes de la feromona sexual de *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) varía dependiendo de la técnica utilizada para su aislamiento. *Entomotropica*, v. 31, p. 172-185, 2016.
- RAMETSTEINER, E.; SIMULA, M. Forest certification—an instrument to promote sustainable forest management? *J Environ Manage* v. 67, p. 87–98, 2003.
- RÉGNIÈRE, J.; NEALIS, V. Modelling seasonality of gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae), to evaluate probability of its persistence in novel environments. *The Canadian Entomologist*, v. 134, p. 805–824, 2002.
- ROBINSON, S.; CHERRETT, J. The possible use of methyl 4-methylpyrrole-2-carboxylate, an ant trail pheromone, as a component of an improved bait for leaf-cutting ant (Hymenoptera: Formicidae) control. *Bulletin of Entomological Research*, v. 68(1), p. 159-170, 1978. DOI:10.1017/S0007485300007240
- ROCCHINI, L.A.; BENNETT, R.G.; AND LINDGREN, B.S. Douglas-fir pitch moth. *Synanthedon novaroensis* (Lepidoptera: Sesiidae) in north-central British Columbia: flight period and the effect of trap type and pheromone dosage on trap catches. *Environmental Entomology*, v. 32, p. 208–213, 2003.
- SANDERS, C. J. Mechanisms of mating disruption in moths. In *Insect pheromone research new directions* (eds. R. T. Cardé and A. K. Minks). Chapman and Hall, New York. pp. 333–346, 1997.
- SCOTT, M.J.; BENEDICT, M.Q. Concept and history of genetic control. In: ADELMAN, Z.N. *Genetic control of malaria and dengue*. Academic Press, 1ª edição, p. 31-54, 2015.
- SWEENEY, J.D. AND MCLEAN, J.A. Effect of sublethal infection levels of *Nosema sp.* on the pheromone-mediated behavior of the western spruce budworm, *Choristoneura occidentalis* Freeman (Lepidoptera: Tortricidae). *The Canadian Entomologist*, v. 119, p. 587–594, 1987.
- SWEENEY, J.D.; DE GROOT, P.; PRICE, J.; GUTOWSKI, J.M. Effect of semiochemical release rate, killing agent, and trap design on detection of *Tetropium fuscum* (F.) and other longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae). *Environmental Entomology*, p. 35, v. 645–654, 2006.
- VAN TOL, R.; VAN DER SOMMEN, A.T.C.; BOFF, M.I.C.; VAN BEZOOIJEN, J.; SABELIS, M.W.; SMITS, P.H. Plants protect their roots by alerting the enemies of grubs. *Ecol. Lett.* v. 4, p. 292–294, 2001.

VIDAL, D.M.; FONSECA, M.G.; ZARBIN, P.H.G. Enantioselective synthesis and absolute configuration of the sex pheromone of *Hedypathes betulinus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Tetrahedron Letters*, v. 51, p. 6704-6706, 2010.

WAINHOUSE, D. The role of silviculture. In: WAINHOUSE, D. (Ed.) *Ecological methods in forest pest management*. Oxford University Press, 249 pp, 2005.

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

WYLIE, F.R.; GRIFFITHS, M.; KING J. Development of hazard site surveillance programs for forest invasive species: a case study from Brisbane, Australia. *Austral For*, v. 71, p.229–235, 2008.

WYLIE, F.R.; SPEIGHT, M.R. (Eds) *Insect pests in tropical forestry*. CABI, 376 pp., 2012.

ZARBIN, P.H.G.; FONSECA, M.G.; SZCZERBOWSKI, D.; OLIVEIRA, A.R.M. Biosynthesis and Site of Production of Sex Pheromone Components of the Cerambycid Beetle, *Hedypathes betulinus*. *Journal of Chemical Ecology*, v. 39, p. 358, (2013). <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0252-9>

ZARBIN, P.H.G.; VILAR, J.A.F.P.; CORREA, A.G. Insect pheromone synthesis in Brazil: an overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 18, n. 6, p. 10-124, 2007.