

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU*

INTERAÇÃO INSETO-PLANTA E SUAS IMPLICAÇÕES NO MANEJO
INTEGRADO DE PRAGAS

Rita de Cássia de Melo Machado
Bióloga (Unilasalle)

Monografia apresentada como um dos requisitos parciais
à obtenção ao Título de Especialista , Curso de Pós-graduação *Lato Sensu*
“Tecnologias Inovadoras no Manejo Integrado de Pragas e Doenças de Plantas”

Porto Alegre (RS), Brasil
Novembro de 2009

FOLHA DE HOMOLOGAÇÃO

INTERAÇÃO INSETO-PLANTA E SUAS IMPLICAÇÕES NO MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS

Autor: Rita de Cássia de Melo Machado
Orientador: Josué Sant'Ana

RESUMO

A agricultura é uma atividade que causa impacto ambiental, decorrente principalmente da substituição de uma vegetação naturalmente adaptada por outra que exige a contenção do processo de sucessão natural, bem como ações que impeçam o desenvolvimento de organismos que ocorreriam naturalmente no ambiente original, ocasionando o surgimento de problemas fitossanitários, relacionados, principalmente, a ocorrência de pragas e doenças. Dentre as pragas, se destacam os insetos, estes são muito bem sucedidos, habitam praticamente todos os ambientes e se adaptam facilmente às diversidades ambientais, são muito importantes na agricultura, podendo ter ação benéfica ou podem também ser responsáveis por perdas consideráveis na produção, existindo assim a necessidade de controle destes organismos. Atualmente, as práticas de controle resultam, principalmente, na utilização de agrotóxicos, ocasionando riscos ao meio ambiente e à saúde humana. Uma alternativa para o uso indiscriminado de inseticidas seria a integração deste com diferentes métodos de controle, tais como os biológicos, físicos, mecânicos, comportamentais e culturais. A integração desses e outros métodos, além de preservar o agroecossistema, torna mais racional o programa de manejo integrado de pragas (MIP). As plantas desenvolveram ao longo da evolução diversos mecanismos de defesa contra o ataque de insetos herbívoros, estas defesas podem ser físicas ou químicas. Participa da defesa química, uma série de compostos que aparentemente não estão relacionados com o crescimento e desenvolvimento, estes compostos são produzidos no metabolismo secundário. Esses compostos são fundamentais na proteção das plantas contra diversos organismos em ambientes naturais. Desta forma, este trabalho tem como objetivo detalhar a importância dos mecanismos de defesa das plantas contra o ataque de insetos, evidenciando a importância dos mesmos para a obtenção de cultivares resistentes a insetos, bem como a possibilidade da aplicação de mecanismos de defesa no manejo integrado de pragas.

INSECT-PLANT INTERACTIONS AND ITS IMPLICATIONS FOR INTEGRATED PEST MANAGEMENT

Author: Rita de Cássia de Melo Machado

Advisor: Josué sant'Ana

ABSTRACT

Agriculture is an activity that causes environmental impact, due mainly to the replacement of vegetation adapted for another course that requires containment of the process of natural succession, as well as actions that prevent the development of organisms that occur naturally in the unique environment, resulting in the emergence problems, mainly related to the occurrence of pests and diseases. Among the pests, insects stand out, these are very well successful, living practically any environment and easily adapt to different environments, are very important in agriculture and may have a beneficial effect and may also be responsible for losses in production, there thus the need to control these organisms. Currently, control practices are primarily the result in the use of pesticides, causing risks to the environment and human health. An alternative to the indiscriminate use of insecticides would be to integrate this with different control methods, such as biological, physical, mechanical, behavioral and cultural. The integration of these and other methods, as well as preserve the agroecosystem, makes it rational program of integrated pest management (IPM). Plants developed through evolution different mechanisms of defense against attack by herbivorous insects, these defenses can be physical or chemical. Participates in the chemical defense, a series of compounds that apparently are not related to the growth and development, these compounds are produced in secondary metabolism. These compounds are essential in protecting plants against various organisms in natural environments. Thus, this work aims to detail the importance of defense mechanisms of plants against insect attack, indicating the importance of them to obtain cultivars resistant to insects and the possibility of applying defense mechanisms in Integrated Pest Management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 HISTÓRICO DA AGRICULTURA.....	3
3 INSETOS.....	7
3.1 Interações entre Insetos e Plantas	8
3.1.1 Co-evolução Inseto- Planta	9
3.1.2 Localização e Seleção da planta hospedeira	11
3.1.3 Interações entre os níveis tróficos.....	13
4 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP).....	15
5 RESISTÊNCIA DE PLANTAS A INSETOS	22
5.1 Conceitos.....	22
5.2 Tipos de resistência.....	23
5.2.1 Resistência do tipo não-preferência	23
5.2.2 Resistência do tipo tolerância.....	24
5.2.3 Resistência do tipo antibiose.....	25
5.3 Mecanismos de Defesas das Plantas.....	27
5.3.1 Defesas Físicas	27
5.3.2 Defesas Químicas	29
6 INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DE PLANTAS NO MIP	39
7 CONCLUSÃO.....	43
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade que causa impacto ambiental, decorrente principalmente da substituição de uma vegetação naturalmente adaptada por outra que exige a contenção do processo de sucessão natural, bem como ações que impeçam o desenvolvimento de organismos que ocorreriam naturalmente no ambiente original, ocasionando o surgimento de problemas fitossanitários, relacionados, principalmente, a ocorrência de pragas e doenças.

Dentre as pragas, se destacam os insetos, estes são muito bem sucedidos, habitam praticamente todos os ambientes e se adaptam facilmente às diversidades ambientais, são muito importantes na agricultura, podendo ter ação benéfica (polinização e controle biológico), mas podem também ser responsáveis por perdas consideráveis na produção, existindo assim a necessidade de controle destes organismos. Atualmente, as práticas de controle resultam, principalmente, na utilização de agrotóxicos, ocasionando riscos ao meio ambiente e à saúde humana.

Neste contexto, o estudo mais aprofundado das relações tróficas entre os insetos e as plantas pode gerar subsídios para o conhecimento de alternativas menos poluentes para manejo de pragas de forma a aumentar a sustentabilidade em ecossistemas agrícolas. Sendo assim, esta monografia

abordará as interações entre insetos e plantas, com ênfase nas implicações deste estudo no manejo integrado de pragas.

2 HISTÓRICO DA AGRICULTURA

No início da era moderna o homem tirava seu sustento de produtos naturais, obtendo-os através da coleta, caça e pesca, era dependente dos recursos que o ambiente podia oferecer. Com o tempo, aprendeu a cultivar a terra, produzindo o seu próprio alimento, de acordo com as suas necessidades, desta forma, tornou-se menos dependente e passou a controlar as condições naturais de sobrevivência. Com o surgimento das práticas de cultivo, o homem tomou posse e se fixou em propriedades, surgindo assim, a divisão de trabalho e as classes sociais, criaram-se então as bases materiais, sociais e políticas das primeiras civilizações agrícolas (Corazza & Martinelli Jr., 2002).

A agricultura moderna surgiu durante os séculos XVIII e XIX, onde houve um intenso processo de mudanças tecnológicas, sociais e econômicas, este processo foi denominado “Revolução Agrícola” (Veiga, 2007). Esta revolução se caracterizou pela gradativa introdução de sistemas rotacionais de diferentes culturas que eram utilizadas tanto na alimentação humana e animal quanto na adubação do solo (Oliveira Jr., 1989). O desenvolvimento de novos maquinários agrícolas e a utilização de conhecimentos relacionados à saúde animal também foram importantes neste período (Skolnik, 1968). Com o desenvolvimento da agricultura e a organização de sociedades, houve um aumento demográfico (Corson, 2002), e por conseqüência uma maior demanda

pela produção de alimentos (Mazoyer & Roudart, 2001). O aumento da produção agrícola, em especial a monocultura, permitiu o estabelecimento de diversos organismos que se especializaram nas plantas cultivadas e se tornaram pragas agrícolas (Brechelt, 2004).

Em 1939 foi descoberta a ação inseticida do Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT), e após a segunda guerra foi amplamente difundido pelo mundo, dando início a um marco revolucionário nas tecnologias, até então, empregadas no controle de pragas (Eskenazi *et al.*, 2009). Diversos produtos foram desenvolvidos pelas indústrias químicas americanas e alemãs durante a segunda guerra, havendo então uma busca pelo desenvolvimento de substâncias que pudessem destruir as áreas cultivadas dos inimigos. Desde então, foram sintetizados uma grande variedade de produtos químicos, resultando em milhares de formulações comerciais difundidas no mercado internacional de insumos para a agricultura (Filho, 2002).

Os problemas gerados pelo uso generalizado de agrotóxicos no controle de pragas, especialmente o DDT, começaram a ser discutidos no final da década de 1950 e início de 1960 com a publicação do livro da pesquisadora americana Rachel Carson, denominado “*Silent Spring*” em 1962 (Filho, 2002). O livro abordou muitos temas, como os efeitos dos pesticidas nos organismos não alvos, a contaminação de corpos d’água, a persistência e transferência de hidrocarbonetos clorados nos níveis tróficos e, por consequência os efeitos nocivos destas substâncias na saúde humana. Muitos destes conceitos, incluindo a possibilidade do homem estar contaminando progressivamente o planeta eram inovadores e foram considerados provocativos na época (Rattner, 2009). Os conceitos trazidos no livro foram muito bem fundamentados, desta

forma, surgiu uma maior preocupação com a toxicidade dos pesticidas, que se estende até os dias de hoje.

Com base nas informações da alta toxicidade do DDT, este foi banido dos Estados Unidos em 1972 e a regulamentação em outros países ocorreu gradativamente (Eskenazi *et al.*, 2009), no Brasil a retirada do produto ocorreu de forma gradativa, primeiramente em 1985 onde o uso em sistemas agrícolas foi proibido, em 1998 teve seu uso proibido em campanhas de saúde pública e recentemente, a lei nº 11.936/09 proibiu definitivamente a fabricação, importação, exportação, manutenção em estoque, comercialização e o uso de DDT (ANVISA, 2009). Com a proibição do DDT para o controle de pragas, surgiu então a necessidade de se buscar produtos com menor persistência no ambiente e com efetiva ação no controle das pragas, surgindo assim, o uso dos organofosfatados e carbamatos (Stoppelli & Magalhães, 2005). Os organofosfatados podem ser altamente tóxicos para mamíferos, porém diferentemente dos organoclorados, não são armazenados no tecido adiposo (Gullan & Cranston, 2007).

A saúde humana pode ser afetada pelos agrotóxicos diretamente, através do contato com estas substâncias ou devido à manipulação e ingestão de produtos de origem vegetal que receberam algum tipo de tratamento, e indiretamente, através da contaminação da biota de áreas próximas a lavouras, desequilibrando os ecossistemas locais, afetando todos os níveis tróficos (Peres *et al.*, 2005).

A contaminação do ar, das águas e do solo por agrotóxicos é freqüente, muitas vezes, são encontrados resíduos nos alimentos que ultrapassam os limites considerados toleráveis (Müller, 2009). Essa contaminação é

evidenciada pela divulgação de diversos trabalhos comprovando a presença de resíduos em águas superficiais, subterrâneas, e água da chuva (Buser, 1990). Há também registros de resíduos de agrotóxicos na atmosfera (Laabs *et al.*, 2002), na neve do ártico (Gregor & Gummer, 1989) e na névoa do oceano (Schomburg *et al.*, 1991).

A degradação ambiental causada pelo uso indiscriminado de pesticidas pode prejudicar a viabilidade de espécies não alvo, principalmente inimigos naturais e polinizadores, desta forma desequilibrando os ecossistemas. Outro problema gerado é o acúmulo de resíduos no ambiente o que pode ocasionar o desenvolvimento de raças resistentes aos inseticidas (Neto *et al.*, 1976).

Com base nas informações referentes à toxicidade dos pesticidas ao meio ambiente e à saúde humana, atualmente buscam-se alternativas de controle de insetos que possam ser eficientes e menos impactantes ao ambiente, visando a sustentabilidade agrícola.

3 INSETOS

A classe Insecta contém mais de 750.000 espécies descritas, considerado o maior grupo de animais, sendo três vezes maior que todos os outros grupos de animais combinados (Ruppert & Barnes, 1996). As especializações alimentares dos insetos incluem a ingestão de detritos, material em decomposição, madeira, fungos, sangue, hemolinfa, diferentes partes vegetais, plâncton, bem como a predação e o parasitismo (Gullan & Cranston, 2007). O surgimento das asas possibilitou a capacidade de vôo, e permitiu a este grupo explorar diferentes habitats em busca de recursos e proteção (Wille, 2002). Desta forma, por apresentarem essa variedade de hábitos alimentares e a capacidade de ocupar novos ambientes, os insetos constituem um grupo com um grande sucesso evolutivo. Este sucesso é evidenciado pelo grande número de indivíduos, bem como pelo elevado número de espécies (Gillott, 2005)

Os insetos possuem uma grande importância ecológica no ambiente terrestre, cerca de dois terços das plantas dependem deste grupo para a polinização (Ruppert & Barnes, 1996), são importantes também na reciclagem de nutrientes, dispersão de sementes, manutenção e composição da estrutura da comunidade de plantas, além de atuarem diretamente na cadeia alimentar, sendo consumidos por outros organismos, ou controlando populações através

da predação ou parasitismo, ou mesmo atuando como vetores de doenças (Gullan & Cranston, 2007).

A polinização que os insetos realizam possui uma grande importância econômica, existem espécies frutíferas de interesse comercial que são polinizadas exclusivamente por determinados insetos. Além disso, atuam também na produção de mel, cera, geléia real e seda, além de apresentar fundamental importância no controle biológico de pragas (Garcia, 2002). Desta forma, é importante destacar que apesar de representarem um grave problema para a agricultura, os insetos são muito importantes no equilíbrio do ecossistema. Existe a necessidade de se controlar as espécies que causam prejuízos, porém é preciso levar em consideração que a eliminação total poderá acarretar outros desequilíbrios, como o surgimento de pragas secundárias. Existem fatores naturais de mortalidade dos insetos, desta forma, em áreas cultivadas, deve-se manejar o agroecossistema de forma a manter o máximo possível, o equilíbrio natural.

3.1 Interações entre Insetos e Plantas

Insetos e plantas compartilham associações há cerca de 300 milhões de anos, que datam do Carbonífero. Esta associação é evidente com base nas partes de plantas fossilizadas que apresentam danos originários da alimentação de insetos, Contudo, a principal diversificação dos insetos ocorreu há cerca de 65 milhões de anos, durante o Cretáceo, quando houve a disseminação das angiospermas (Gullan & Cranston, 2007).

Insetos fitófagos representam aproximadamente 45% das espécies de insetos conhecidas (Strong *et al.*, 1984), porém no seu ambiente natural as

plantas servem de recursos para diferentes espécies, na maioria das vezes, os insetos vivem em associação com determinadas espécies de plantas (Pizzamiglio, 1991).

Nos ambientes naturais, as interações entre insetos e plantas envolvem além da herbivoria a polinização e a dispersão de sementes. Os insetos são responsáveis pela polinização da maioria das plantas com flores, sendo que o sucesso evolutivo das angiospermas está diretamente relacionado com o desenvolvimento da polinização por insetos (Gullan & Cranston, 2007). Dentre os insetos polinizadores podem-se citar espécies de Lepidoptera, Hemiptera e Hymenoptera, nesse último grupo encontram-se os polinizadores mais representativos, as abelhas (Couto, 2006).

A dispersão de sementes ocorre basicamente pela ação de formigas, muitas consomem sementes e fazem a dispersão acidentalmente quando perdem as sementes no transporte ou quando abandonam os depósitos. Algumas sementes apresentam atrativos especiais para formigas (elaiossomos), dessa forma, as formigas dispersam as sementes ativamente (Gullan & Cranston, 2007).

Plantas e insetos compartilham interações ecológicas importantes para ambos organismos, é importante destacar que nem sempre essas interações são negativas como no caso da herbivoria, nos dois casos citados (polinização e dispersão) ocorre uma interação mutualística, onde ambos são beneficiados.

3.1.1 Co-evolução Inseto- Planta

A coevolução pode ser definida como uma mudança evolucionária recíproca entre espécies, uma determinada espécie responde à pressão

exercida pelo seu inimigo natural, e em decorrência o inimigo natural responde buscando alternativas de escape às mudanças impostas (Strong *et al.*, 1984). Esse termo foi criado por P.R. Ehrlich e P. H. Raven em 1964, a partir de um estudo sobre borboletas e suas plantas hospedeiras.

A ocupação das plantas em ambientes terrestres permitiu uma maior variedade de recursos para a comunidade de herbívoros. A relação entre insetos e plantas é estreita uma vez que, conforme descrito anteriormente os insetos são responsáveis por atividades benéficas às plantas, como por exemplo, a polinização ou a defesa contra insetos herbívoros através das interações tritróficas, já as plantas fornecem abrigo e sítios de alimentação e oviposição, sendo elas as principais responsáveis pela grande dispersão dos insetos nos diversos ambientes (Mello & Silva-Filho, 2002).

Diversos mecanismos de defesa e adaptações são freqüentemente encontrados nos seres vivos, estes mecanismos químicos, físicos ou comportamentais atuam diminuindo a chance de encontro com um inimigo natural, ou aumentando a probabilidade de sobrevivência a este encontro (Begon *et al.*, 2007).

As plantas apresentam diferentes mecanismos de defesa, com base nesses mecanismos, os insetos também desenvolveram estratégias de defesa que permitem aos mesmos metabolizar e utilizar as substâncias tóxicas para se proteger de inimigos naturais (Opitz & Müller, 2009). Dessa forma, ocorre uma corrida bioquímica coevolutiva, onde uma planta desenvolve substâncias tóxicas para se defender de insetos fitófagos, e alguns desses conseguem superar essas defesas, tornando-se assim especialistas capazes de desintoxicar ou seqüestrar as toxinas vegetais (Gullan & Cranston, 2007).

A capacidade dos insetos assimilarem estas substâncias representa uma vantagem, uma vez que este alimento será utilizado por poucos herbívoros, diminuindo a competição, além disso, estas substâncias podem ser utilizadas pelos insetos para proteção contra agentes patogênicos ou até mesmo predadores (Mello & Silva-Filho, 2002).

Desta forma, a interação inseto-planta pode ser considerada uma relação contínua entre consumidor e organismo consumido, em que a evolução de um depende da evolução do outro, envolvendo duas espécies co-adaptadas em uma corrida permanente pela sobrevivência (Begon *et al.*, 2007).

3.1.2 Localização e Seleção da planta hospedeira

As relações ecológicas dos insetos com diferentes organismos no ambiente ocorrem principalmente através da comunicação química. Os compostos químicos envolvidos, denominados semioquímicos, são responsáveis por reações comportamentais específicas entre os indivíduos. Através da percepção e emissão dos semioquímicos os insetos encontram parceiros para o acasalamento, alimentos, escolhem local de oviposição, se defendem contra predadores e organizam suas comunidades. Os semioquímicos possuem duas classificações, feromônios, que são compostos mediadores de comunicação intraespecífica e aleloquímicos, substâncias que intermedeiam comportamentos de indivíduos de espécies diferentes (Corrêa & Sant'Ana, 2007; Zarbin *et al.*, 2009).

Os insetos localizam os seus hospedeiros guiados, principalmente, através de semioquímicos liberados pelas plantas (Finch, 1986; Baur *et al.*, 1998; Dicke & Van Loo, 2000). Esses semioquímicos envolvem voláteis

constitutivos, ou seja, são normalmente produzidos pelo organismo e voláteis induzidos, isto é, aqueles que são produzidos em consequência da herbivoria (Panizzi & Parra, 2009).

A comunicação química é a forma mais utilizada pelos insetos para localização das plantas hospedeiras, ou seja, os insetos localizam as plantas hospedeiras através de odores. O comportamento de muitos insetos fitófagos na escolha da plantas hospedeira é baseado principalmente nas informações sensoriais dos compostos químicos da superfície foliar (Baur *et al.*, 1998). A escolha ou aceite de plantas hospedeiras pode ser determinada geneticamente ou ainda resultar de experiências prévias (Schoonhoven *et al.*, 1998).

A visão também é um importante mecanismo para a localização da planta hospedeira, os estímulos visuais fornecidos pelas plantas são cor e forma. A forma é muito variável ao longo do ano, a cor sofre menos variações, uma vez que a maioria das folhas são verdes, embora a idade das plantas, a senescência e a presença de patógenos possam exercer influência na coloração (Hardie *et al.*, 2001).

Os padrões espaciais de distribuição e abundância de plantas hospedeiras podem influenciar fortemente na seleção por fitófagos (Strong *et al.*, 1984). Segundo Bernays & Chapman (1994) as diversificações genéticas significativas dentro de uma população criam diferentes associações entre grupos de indivíduos e novas plantas hospedeiras, havendo uma tendência generalista para seleção por plantas hospedeiras, sugerindo assim, que a especiação simpátrica associada com o uso de diferentes plantas hospedeiras pode ter sido muito comum, e por isto, um dos responsáveis pelo grande número de espécies de insetos fitófagos nos dias atuais.

Os fatores ambientais também podem alterar a preferência de plantas hospedeiras por espécies fitófagas, por exemplo, algumas espécies podem ter sua preferência alterada devido a mudanças na temperatura, podendo assim, afetar a percepção química dos indivíduos (Schoonhoven *et al.*, 1998). As alterações climáticas implicam em variações na temperatura, umidade, insolação, inclinação solar, pluviosidade, vento, evapotranspiração, entre outros. Segundo Rickefs (1996) estes fatores causam alterações no ciclo de vida e na distribuição de diversas espécies vegetal.

3.1.3 Interações entre os níveis tróficos

Os efeitos da alimentação de herbívoros sobre as plantas são severos tanto a curto quanto em longo prazo, os herbívoros controlam o desenvolvimento das plantas, destruindo suas estruturas fotossintetizantes, órgãos de reserva e estruturas reprodutivas (Raven *et al.* 1996). Dessa forma, os insetos fitófagos representam um sério problema para o desenvolvimento das plantas, uma vez que estas estão constantemente expostas ao ataque de diversas espécies de herbívoros, cabe salientar que os insetos fitófagos representam quase a metade de todas as espécies de insetos conhecidas (Triplehorn & Johnson, 2005). Estima-se que existam mais de 1 milhão de espécies de insetos fitófagos (Howe & Jander, 2008). Menos de 1% da biomassa vegetal produzida anualmente pelos diferentes ecossistemas terrestres é consumida pelos insetos fitófagos (Strong *et al.*, 1984) evidenciando que as plantas possuem obstáculos que dificultam a alimentação destes insetos (Pizzamiglio, 1991).

As plantas podem se defender dos herbívoros através da defesa direta, afetando diretamente o desempenho do inseto, ou indiretamente, onde a planta afeta o herbívoro emitindo voláteis que vão atrair seus inimigos naturais, denominada defesa indireta (Dicke, 1994). As plantas que estão sofrendo herbivoria são facilmente percebidas a distância através da emissão dos voláteis, esta informação pode ser utilizada por outros insetos herbívoros indicando que a planta está suscetível à herbivoria ou está menos nutritiva. Os voláteis podem, ainda, comunicar os inimigos naturais sobre a presença de presas na planta (Dicke & Van Loo, 2000).

4 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP)

São consideradas pragas os organismos que apresentam um aumento da sua densidade em níveis anormais e que possam afetar direta ou indiretamente a espécie humana, trazendo algum tipo de perda econômica (Garcia, 2002; Brechelt, 2004). O *status* de praga de uma determinada população de insetos está diretamente relacionado com a abundância de indivíduos, bem como o dano que os mesmos podem causar (Gullan & Cranston, 2007).

Muitas vezes, o dano causado por um inseto, normalmente pela alimentação, não acarreta em perdas significativas, uma vez que, as plantas podem tolerar certo grau de injúria, sendo necessário que ocorra uma elevada densidade populacional de pragas, porém em outros casos, poucos indivíduos já são suficientes para provocar perdas econômicas significativas (Gullan & Cranston, 2007).

Os níveis de abundância de pragas são determinados por características biológicas e ecológicas das espécies e do ambiente. Os agroecossistemas apresentam todas as características ideais para o desenvolvimento de pragas, ou seja, não se autoperpetuam, possuem duração limitada, ocorrem de forma abrupta e há um sincronismo fenológico, já que todas as plantas são da mesma espécie, cultivar e idade (Garcia, 2002). Essas características não ocorrem em

ambientes naturais, onde sempre há uma diversidade de espécies que interagem no tempo e no espaço, por esta razão pode-se inferir que o homem é responsável pelo surgimento das pragas em agroecossistemas.

Conforme os níveis populacionais e a frequência de ocorrência, as pragas podem ser divididas: a) pragas-chave, as quais são espécies que sempre ocorrem em níveis populacionais elevados, existindo pouca variação desses níveis a cada ano, se não são aplicadas medidas de controle, podem causar severos danos econômicos. Geralmente as plantas cultivadas apresentam poucas espécies referidas como pragas-chave (Pedigo, 1996; Garcia, 2002; Brechelt, 2004); b) pragas ocasionais, ou seja, espécies cujo nível populacional se apresenta em quantidade prejudicial somente em determinadas épocas, geralmente apresentam baixo nível populacional, não apresentando importância econômica. O rápido incremento populacional pode estar relacionado com as condições ambientais favoráveis ou com desequilíbrios causados pelo homem (Pedigo, 1996; Brechelt, 2004); c) pragas secundárias, aquelas espécies que geralmente ocorrem em níveis populacionais baixos, mas podem apresentar importância econômica com o aumento da população, este aumento está relacionado com algum desequilíbrio ambiental, provavelmente oriundo de práticas inadequadas de manejo (Pedigo, 1996).

O surgimento de uma praga está diretamente relacionado com a dinâmica populacional, logo, o conhecimento das interações ecológicas entre os indivíduos é fundamental para uma estimativa precisa da densidade populacional dos insetos (Gullan & Cranston, 2007).

Sendo assim, o surgimento de resistência de diversos insetos aos pesticidas, a ressurgência de pragas-primárias, o surgimento de pragas secundárias e os efeitos adversos sobre a população de inimigos naturais, foram alguns dos fatores que estimularam o surgimento de estratégias de controle, com base no manejo integrado de pragas (Gallo *et al.*, 2002).

A maioria das definições referentes ao manejo de pragas leva em consideração três elementos: a diversificação de técnicas de controle, utilização de inseticidas somente quando as populações atingirem o nível de controle e a manutenção do equilíbrio ecológico do agroecossistema (Pedigo, 1996).

O MIP consiste na utilização de métodos de controle variados, sendo necessário o conhecimento e planejamento do agroecossistema em questão, analisando os custos e benefícios da sua implementação e o conhecimento da tolerância da cultura ao ataque de pragas, bem como do momento certo para o controle (Panizzi & Parra, 1991). Dessa forma, o objetivo do MIP é minimizar a aplicação de produtos químicos, dando prioridade a outras alternativas de controle, como, o biológico ou o melhoramento de plantas (Brechelt, 2004).

Para que as estratégias tenham sucesso é necessário o conhecimento prévio dos aspectos populacionais, como por exemplo, crescimento e capacidade reprodutiva de uma população, efeitos da competição, predação e parasitismo. Também é necessário considerar os aspectos ambientais envolvidos, como por exemplo, clima, condições do solo, disponibilidade de água, alimento e recursos (Gullan & Cranston, 2007). Uma das bases do MIP é a tomada da decisão, a qual está diretamente relacionada com o nível

populacional das pragas, ou seja, o Nível de Dano Econômico (NDE) e o Nível de Controle (NC).

O NDE é determinado como a densidade das pragas na qual a perda provocada se iguala em valor ao custo das medidas de controle disponíveis, a fórmula para calcular o NDE inclui quatro fatores: custos de controle, valor de mercado da cultura, perda da produção atribuível a uma unidade de insetos e efetividade do controle. O NDE varia de acordo com a espécie que está ocorrendo, a cultura e as condições ambientais (Gullan & Cranston, 2007).

O NC é a densidade populacional na qual as medidas de controle devem ser tomadas com o objetivo de evitar que a população alcance o NDE. É utilizado para prever o momento em que o dano econômico irá ocorrer (Gullan & Cranston, 2007). Dessa forma, ao realizar um manejo integrado de pragas, o controle só deve ser empregado quando a população atingir o nível estabelecido, para tanto, pode-se consorciar diversas estratégias de controle.

O manejo de pragas deve consistir na aplicação de técnicas que levem em consideração o fato de existir uma grande interação dos insetos com o ambiente, de forma a gerar uma redução satisfatória da densidade populacional ou dos danos causados (Pedigo, 1996). Os principais métodos de controle descritos na literatura são:

a) controle legislativo: consiste em medidas de caráter legal que têm a finalidade de impedir a introdução de novas pragas em um país, a disseminação nas diferentes regiões, tornar obrigatório o combate de determinadas espécies e fiscalizar a comercialização de defensivos. Essas medidas baseiam-se em leis e portarias federais ou estaduais em diversas modalidades (Gallo *et al.*, 2002; Garcia, 2002).

b) controle mecânico: consiste na coleta e destruição dos animais em suas diversas fases do desenvolvimento, incluindo a catação, esmagamento, enterrio de partes vegetais atacadas, além do uso de barreiras e armadilhas. São utilizados em casos específicos (Gallo *et al.*, 2002; Garcia, 2002).

c) controle cultural: consiste no emprego de certas práticas culturais para controle, baseando-se em conhecimentos ecológicos e biológicos das pragas. Os mais comuns são, rotação de culturas, aração do solo, antecipação ou atraso na época de plantio e colheita, destruição dos restos de cultura, limpeza das áreas adjacentes ao plantio, podas, adubação e irrigação, plantio direto, entre outros sistemas de cultivo (Gallo *et al.*, 2002).

d) controle por resistência: refere-se à utilização de plantas melhoradas geneticamente de forma a adquirir resistência a determinadas pragas. Pode possibilitar a manutenção da praga em níveis inferiores ao de dano econômico, sem causar prejuízos ao ambiente e sem gastos maiores aos produtores (Gallo *et al.*, 2002).

e) controle por comportamento: utiliza conhecimentos referentes à fisiologia das pragas, com utilização de feromônios que interferem, principalmente, na reprodução dos insetos. Este método não apresenta risco de intoxicação para o homem e animais, não deixa resíduos tóxicos e evita desequilíbrios biológicos (Gallo *et al.*, 2002).

f) controle físico: consiste em barreiras físicas para diminuição dos níveis populacionais de certa praga, inclui técnicas como fogo, drenagem, inundação ou alteração na temperatura, entre outras (Garcia, 2002).

g) controle biológico: o controle biológico pode ocorrer naturalmente, consiste na regulação de organismos através da ação de seus inimigos naturais (Gallo

et al., 2002). No controle biológico, a intervenção humana na regulação natural de populações tenta restaurar o equilíbrio ecológico ao introduzir ou melhorar os inimigos naturais dos organismos alvo (Gullan & Cranston, 2007). O controle biológico é uma das mais antigas e mais efetivas técnicas de controle de pragas (Pedigo, 1996).

h) controle autocida: baseia-se no princípio da esterilidade por meio de liberações contínuas e inundativas de machos estéreis em uma população, que acasariam com fêmeas normais, produzindo ovos inférteis, o que levaria a uma redução da população de uma determinada praga (Gallo *et al.*, 2002).

i) controle químico: é o método de controle mais utilizado para a maioria dos problemas fitossanitários até os dias atuais (Brechelt, 2004). Consiste na aplicação de inseticidas para controlar os níveis populacionais dos insetos. Inseticidas são compostos químicos ou biológicos que aplicados direta ou indiretamente sobre os insetos, nas doses adequadas, provocam a sua morte (Gallo *et al.*, 2002). Os inseticidas químicos podem ser produtos sintéticos ou naturais. Inseticidas naturais possuem substâncias ativas presentes nas plantas, como por exemplo, alcalóides, rotenona e piretrinas (Gullan & Cranston, 2007). Os inseticidas naturais foram amplamente utilizados até a década de 1940, quando foram quase que totalmente substituídos por produtos sintéticos, que se mostraram mais eficientes no controle de insetos (Viegas Jr. 2003).

Dessa forma, pode-se inferir que a solução para os problemas gerados pelo uso indiscriminado de inseticidas pode ser através da realização de pesquisas com alternativas eficientes e seguras ao controle de pragas e doenças. O controle através da resistência com enfoque na defesa das plantas

frente ao ataque de um herbívoro é uma área ainda pouco explorada. O conhecimento dessas estratégias é fundamental para que se possam obter variedades agrícolas mais resistentes, podendo assim, aumentar a produção e a qualidade das plantas (Soares & Machado, 2007).

5 RESISTÊNCIA DE PLANTAS A INSETOS

5.1 Conceitos

A resistência de plantas a insetos consiste basicamente em características genéticas herdadas que fazem com que uma planta seja menos danificada que outra suscetível, em igualdade de condições (Gullan & Cranston, 2007). Lara (1991) destaca que a resistência é relativa, uma vez que a expressão e efetividade podem ser variáveis conforme a situação, ou seja, uma planta pode manifestar sua resistência em determinadas condições e manter ou não esse caráter em outras condições. O autor destaca ainda que a resistência está diretamente relacionada com o inseto, uma vez que uma planta pode ser resistente a uma determinada espécie de inseto, mas suscetível a outra. Quando uma planta manifesta resistência a duas ou mais espécies de insetos diz-se que ela apresenta resistência múltipla.

Fatores ambientais como temperatura, luminosidade, fertilidade do solo e umidade podem influenciar nos níveis de resistência de plantas (Pizzamiglio, 1991). Além disso, fatores relacionados com as plantas e com os insetos podem influenciar na manifestação da resistência, como por exemplo, idade da planta, parte atacada, ocorrência de dano anteriormente, fase de desenvolvimento do inseto, espécie, raça ou biótipo da praga, tamanho da população, entre outros (Lara, 1991).

Quando a resistência não está diretamente relacionada com fatores genéticos, Lara (1991) classifica como Pseudo-resistência. Conforme o autor, essa pseudo-resistência pode ser dividida em três tipos, de acordo com a condição que a provoca. O primeiro tipo é denominado assincronia fenológica ocorre quando a planta apresenta a sua fase de maior suscetibilidade ao ataque da praga em uma época de baixo nível populacional da mesma. O segundo é denominado resistência induzida que trata-se de uma manifestação temporária de resistência, em que a planta se revela menos adequada ao inseto devido a uma condição especial, que pode alterar a sua fisiologia. O terceiro tipo de pseudo-resistência é denominado escape e ocorre quando a planta não sofre ataque, ou é pouco danificada, ocorre ao acaso.

5.2 Tipos de resistência

Existem três categorias funcionais de resistência a insetos, essas são resistência do tipo não preferência, resistência do tipo antibiose e resistência do tipo tolerância. (Lara, 1991; Garcia, 2002; Gullan & Cranston, 2007). Essas categorias normalmente não ocorrem de forma isolada, às plantas podem desenvolver qualquer combinação entre essas características (Gullan & Cranston, 2007).

5.2.1 Resistência do tipo não-preferência

Esse tipo de resistência também é denominado antixenose. Neste caso, a planta é menos utilizada pelo inseto para alimentação, oviposição e abrigo do que outra planta exposta às mesmas condições (Lara, 1991). Os fatores que induzem a não-preferência incluem as defesas químicas e físicas das plantas,

dessa forma, impedindo a colonização e alimentação dos insetos (Gullan & Cranston, 2007).

A resistência do tipo não-preferência pode estar relacionada com defesas químicas, De Moraes *et al.* (1998) citam que diversos metabólitos secundários podem agir como repelentes de diferentes espécies de insetos. Labory *et al.* (1999) observaram que variedades de tomate que apresentavam alto teor do metabólito secundário 2-tridecanona apresentaram resistência do tipo não-preferência por oviposição e alimentação de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae), esse tipo de resistência também pode estar relacionado com defesas físicas, conforme observado para *Bemisia tabaci* (Genn.) Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em Genótipos de Feijoeiro, onde o tipo e a quantidade de tricomas influenciaram a preferência para oviposição dessa espécie (Oriani *et al.*, 2005).

Com base nas informações referidas, pode-se concluir que esse tipo de preferência está relacionado com uma reação comportamental do inseto em relação a alguma alteração química ou física da planta. A diferença em comparação com os outros mecanismos de resistência é que nesse caso, existe uma resposta do inseto em relação à planta, enquanto que nos outros, existe uma resposta da planta em relação à atividade dos insetos (Lara, 1991).

5.2.2 Resistência do tipo tolerância

A tolerância envolve apenas características das plantas, dependendo apenas da capacidade das mesmas de superarem o dano causado pela alimentação do inseto (Gullan & Cranston, 2007). Uma planta é tolerante quando ela sofre poucos danos em relação às outras sob um mesmo nível de

infestação de um inseto, sem afetar o comportamento ou a biologia do mesmo. A planta consegue suportar os danos do inseto através da regeneração dos tecidos, emissão de novos ramos ou perfilhos, ou por outro meio, de maneira que o dano não represente queda na produção (Lara, 1991).

O ciclo da cultura pode influenciar na tolerância a insetos, Carbonari *et al.* (2000) avaliaram o sincronismo entre o pico populacional de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae) e o período de perfilhamento de cultivares de arroz irrigado. Os autores constataram que cultivares de ciclo médio podem constituir importantes fontes de resistência do tipo tolerância, a esses insetos, dada sua maior capacidade de recuperar os tecidos das raízes danificados pelas larvas.

Os estudos de resistência de plantas, com o objetivo de encontrar características de tolerância, requerem um bom conhecimento da biologia e ecologia das espécies alvo, bem como das reações fisiológicas que as plantas possam produzir para evitar o dano causado (Lara, 1991).

5.2.3 Resistência do tipo antibiose

Esse tipo de resistência ocorre quando os insetos se alimentam normalmente das plantas e esta exerce um efeito adverso sobre o desenvolvimento do mesmo. Esses efeitos podem estar relacionados com a mortalidade (ou sobrevivência) nos diferentes estágios de desenvolvimento dos insetos, redução no tamanho e peso dos indivíduos, alteração da proporção sexual e alteração no tempo de vida (Lara, 1991). Os fatores da antibiose incluem toxinas, inibidores de crescimento, redução nos níveis de nutrientes e

altas concentrações de componentes vegetais indigeríveis (Gullan & Cranston, 2007).

Cultivares de algodoeiro (Ferreira & Lara, 1999), milho (Viana & Potenza, 2000), feijão (Wanderley *et al.*, 1997), batata (Lara *et al.*, 2004), arroz (Souza *et al.*, 2008), cana-de-açúcar (Guimarães *et al.* 2008) entre outras culturas apresentam resistência do tipo antibiose a diferentes espécies de insetos fitófagos.

Na maioria das vezes esse tipo de resistência está associado com os mecanismos de defesa química, Barbosa *et al.* (2000) associaram a resistência de espécies de feijão silvestre a *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) (Coleoptera: Bruchidae) à proteína arcelina resultado semelhante foi encontrado por Wanderley *et al.*, (1997), os autores verificaram que linhagens de feijão que continham arcelina, apresentam resistência do tipo antibiose a *Z. subfasciatus*. Ventura & Vendramim (1995) constataram que os compostos 2-trídecanona e 2-undecanona, presentes nos exsudatos glandulares dos tricomas de plantas de tomate foram tóxicos para *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), dessa forma tornando as plantas resistentes ao inseto. Em outro trabalho, Guimarães *et al.* (2008) associaram a resistência de genótipos de cana-de-açúcar aos níveis de compostos fenólicos presentes nas plantas.

Geralmente, a produção de plantas resistentes a determinados insetos é conseguida através de cruzamentos seletivos para as características de interesse, o desenvolvimento de cultivares resistentes pode ser uma alternativa efetiva para controlar populações de insetos praga, porém os métodos convencionais de obtenção através de cruzamentos algumas vezes podem não

ser efetivos. Dessa forma, surgiram técnicas de engenharia genética para a obtenção de variedades resistentes de diversas culturas, que podem sintetizar toxinas ou proteínas inibidoras da alimentação não produzidas naturalmente através da inserção de genes exógenos nessas plantas (Gullan & Cranston, 2007). Dentre as plantas transgênicas resistentes a insetos disponíveis no mercado atualmente se destacam cultivares de milho, algodão, batata e tomate, todas essas apresentam modificações genéticas através da inclusão de genes de *Bacillus thuringiensis* Berlinier (Bt) (Bobrowski *et al.*, 2003).

5.3 Mecanismos de Defesas das Plantas

Nos ambientes naturais os vegetais estão expostos a um grande número de inimigos naturais, esses podem ser, vírus, bactérias, fungos, nematóides, ácaros, insetos, mamíferos e outros animais herbívoros. Naturalmente, as plantas não podem se proteger desses organismos se deslocando, por esse motivo, elas dispõem de alternativas para a sua proteção. As estratégias de defesa das plantas contra esses organismos podem ser, através de defesas químicas ou defesas físicas (Taiz & Zeiger, 2009).

5.3.1 Defesas Físicas

As defesas físicas ou morfológicas abrangem todas as características estruturais das plantas que possam atuar de forma negativa sobre o desempenho de um inseto fitófago, de modo a preservá-las de danos mais sérios (Lara 1991). A defesa estrutural é encontrada nas diferentes partes das plantas. Existem pêlos, espinhos, tricomas e ceras que recobrem a superfície

de folhas, caules e frutos, que compõem essas estruturas de defesa (Bowles, 1990).

Os tricomas são estruturas epidérmicas com muitas funções, como, absorção de água e minerais, também podem ser importantes ferramentas de defesa das plantas contra insetos herbívoros, perfurando adultos, larvas e ninfas, levando-os à morte. Existem também os tricomas glandulares que podem estar associados com a defesa química, através da secreção de compostos químicos de defesa (Raven *et al.*, 1996). Os tricomas podem influenciar aspectos biológicos e ecológicos dos insetos, verificou-se que a presença de tricomas em folhas de batata influenciou o desenvolvimento de *Phthorimaea operculella*, sendo constatado também que alguns genótipos podem inibir a oviposição dos insetos (Lopes *et al.*, 2000).

Os tricomas podem causar a mortalidade de insetos combinados com a ação de parasitóides, conforme observado em *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) em plantas de batata selvagem (Gamarra *et al.*, 1997). Em outro trabalho, Gamarra *et al.* (1998) avaliaram o desempenho do predador *Scymnus (Pullus) argentinicus* (Weise) (Coleoptera: Coccinellidae) sobre *M. persicae* sobre as mesmas plantas, porém neste caso, a presença dos tricomas prejudicou a predação, os autores destacam que os tricomas dificultaram o deslocamento do predador. É importante destacar que para alguns predadores a presença de tricoma não interfere na captura da presa, conforme observado por Santos *et al.* (2003) em plantas de algodoeiro, onde a presença dos tricomas não afetou o desempenho do predador *Chrysoperla externa* (HAGEN) (Neuroptera: Chrysopidae) na redução da população de *Aphis gossypii* (Glover, 1877) (Hemiptera: Aphididae). Este fato deve ser levado em consideração na

aplicação do controle biológico em cultivares que possuam resistência devido à presença de tricomas.

As partes da plantas que estão expostas à superfície apresentam revestimentos que também lhes conferem proteção, os principais tipos de revestimento são a cutina, suberina e ceras. Associadas elas formam barreiras entre as plantas e seus ambientes, agindo diretamente na proteção dos vegetais (Taiz & Zeiger, 2009). A lignina presente na parede celular também pode atuar como uma barreira física contra insetos fitófagos (Mello & Silva-Filho, 2002; Srivastava, 2002).

Alterações na anatomia foliar também podem atuar diretamente sobre os insetos herbívoros (Peeters, 2002). Características estruturais como a espessura da epiderme, dureza dos tecidos e a presença de hipoderme, podem constituir um obstáculo para o ataque de fitófagos (Wei *et al.* 2000; Peeters, 2002).

5.3.2 Defesas Químicas

Os vegetais produzem uma grande variedade de compostos orgânicos que aparentemente não exercem influência direta no seu crescimento e desenvolvimento. Tais substâncias são denominadas metabólitos secundários, possuem funções ecológicas importantes nos vegetais, como, a defesa contra estresses bióticos e abióticos. Esses metabólitos estão restritos ao reino vegetal (Taiz & Zeiger, 2009).

Os metabólitos secundários foram essenciais para a evolução das plantas, eram considerados resíduos metabólicos, porém atualmente se conhece a importância ecológica desses compostos, uma vez que entre muitas

funções, eles podem restringir a palatabilidade das plantas, fazendo com que diferentes herbívoros as evitem (Raven *et al.*, 1996).

Dentre as substâncias do metabolismo secundário relacionadas à defesa química, estão aminoácidos não protéicos, alcalóides, fenóis, saponinas, lectinas, proteínas inativadoras de ribossomos (RIPs), quitinases, glucanases, flavonóides, inibidores de proteases entre outros (Bowles, 1990).

Os compostos químicos de defesa das plantas podem ser enquadrados quimicamente nas classes de compostos nitrogenados, terpenóides e fenólicos. Estima-se atualmente que existam entre 100 e 400 mil compostos diferentes (Lara, 1991).

Os terpenos ou terpenóides constituem o maior grupo de produtos secundários, as substâncias desta classe são geralmente insolúveis em água (Taiz & Zeiger, 2009), e sintetizados nos plasmídeos e no citosol (Lange *et al.*, 1998). São classificados de acordo com o número de unidades isoprênicas (C_5), os terpenos com dez carbonos possuem duas unidades C_5 , são então denominados monoterpenos, os que possuem quinze carbonos possuem três unidades de C_5 são denominados sesquiterpenos, os terpenos com vinte carbonos são denominados diterpenos, existem ainda os triterpenos (30 carbonos), tetraterpenos (40 carbonos) e os politerpenóides (acima de 40 carbonos). Alguns possuem uma função bem caracterizada no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, dessa forma, podem ser considerados metabólitos primários, um exemplo são as giberelinas, importante hormônio vegetal que pertence à classe dos diterpenos (Taiz & Zeiger, 2009).

A importância ecológica dos terpenos como defensivos de plantas já é bem conhecida, alguns monoterpenos como, alfa-pinemo, beta-pinemo, 3-

careno, limoneno, mirceno, alfa-terpinemo e cafeno, foram isolados e tiveram suas atividades inseticidas testadas em diferentes insetos. Os terpenos (E)-beta-farneseno, beta-humuleno, alfa-muuroleno e beta-muuroleno foram identificados como responsáveis pela redução na herbivoria em uma espécie de Asteraceae (Viegas Jr. 2003). Muitos vegetais possuem misturas de mono e sesquiterpenos voláteis, denominados “óleos essenciais”, que conferem aroma característico às folhas, esses óleos apresentam reconhecidas propriedades repelentes de insetos, sendo freqüentemente encontrados em tricomas glandulares que se projetam da epiderme agindo como advertência da toxicidade, podendo repelir herbívoros antes mesmo que ataquem o tecido (Taiz & Zeiger, 2009).

Plantas de milho danificadas por *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Pentatomidae) emitem grandes quantidades do monoterpeno linalol, dos sesquiterpenos (E)-beta-cariofileno, alfa-trans-bergamoteno e (E,E)-beta-farneseno e do homoterpeno (E,E)-4,8,12-trimetil-1,3,7,11-tridecatetraeno, os danos causados pela alimentação de fêmeas causam uma maior emissão de voláteis em comparação com danos causados por machos e ninfas (Willians *et al.*, 2005).

Os compostos fenólicos são produtos que apresentam em sua estrutura um grupo fenol, uma hidroxila funcional e um anel aromático, é um grupo quimicamente heterogêneo com aproximadamente 10.000 compostos. Devido a esta diversidade química apresentam uma variedade de funções nos vegetais, muitos estão relacionados com as defesas contra herbívoros, mas podem também atuar no suporte mecânico, na atração de polinizadores ou dispersores de frutos, na proteção contra a radiação solar ou podem estar

relacionados com a alelopatia. A lignina, alguns tipos de flavonóides e os taninos são exemplos de compostos fenólicos relacionados com os mecanismos de defesa das plantas (Taiz & Zeiger, 2009).

Níveis elevados de compostos fenólicos presentes em cana-de-açúcar foram responsáveis por aumento na mortalidade de ninfas de *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Hemiptera: Cercopidae), dessa forma, podem estar associados com a resistência das plantas a este inseto (Guimarães *et al.*, 2008). A rotenona, um composto fenólico pertencente à classe dos isoflavonóides pode ser encontrada em raízes de *Derris urucu* e *D. nicou*. Lima (1987) sendo eficiente para o controle de alguns insetos como *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) (Costa *et al.*, 1997), também pode ser eficiente para controle de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) quando aplicada a partir de formulações comerciais (Azevedo *et al.*, 2007). Outro exemplo de composto fenólico é o gossipol, presente em plantas do gênero *Gossypium*, a presença deste composto nas estruturas vegetativas e reprodutivas apresenta toxicidade para algumas espécies pragas, podendo conferir resistência às plantas (Macedo *et al.*, 2007).

Os metabólitos secundários que possuem nitrogênio em sua estrutura são denominados compostos nitrogenados, inclui-se nessa categoria alcalóides, glicosídeos cianogênicos, glucosinolatos, aminoácidos não protéicos entre outros. Os alcalóides constituem uma grande família com mais de 15.000 compostos, encontrados em aproximadamente 20% das espécies de plantas vasculares. São exemplos de alcalóides nicotina, atropina, cocaína, estricnina, entre outros (Taiz & Zeiger, 2009). Alguns alcalóides são conhecidos por apresentarem ação deterrente contra diversas espécies de insetos

(Petroski & Stanley, 2009). O extrato da casca do caule de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. foi responsável por 100% de mortalidade em larvas de *Plutella xylostella* (Linnaeus 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) em *Brassica oleracea* L. var. *acephala*, a atividade inseticida foi associada à presença dos alcalóides aspidofractinina, 15-demetoxipirifolina e N-formilaspidofractinin (Trindade *et al.*, 2008). O alcalóide tropânico escopolamina incorporado à dieta artificial de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) provocou um aumento na mortalidade e no tempo de desenvolvimento larval, conforme constatado por Alves *et al.* (2007).

Com base nas informações citadas, pode-se inferir que algumas substâncias oriundas do metabolismo secundário das plantas podem afetar a biologia, desenvolvimento e reprodução dos insetos herbívoros, algumas dessas já são utilizadas, inclusive como inseticidas (Holtz *et al.* 2004). Röse *et al.* 1996 constataram que plantas de algodão danificadas por insetos mastigadores liberam uma série de compostos que também são encontrados em outras partes das plantas, não apenas no local do dano, sendo estes 3-hexenil acetato, (E)-beta-ocimeno, linalol, (E)-4,8-dimetil-1,3,7-nonatrieno, (E)-beta-farneseno, (E,E)-alfa-farneseno e (E,E)-4,8,12-trimetil-1,3,7,11-tridecatetraeno, estes compostos estão diretamente relacionados com a defesa das plantas contra herbívoros.

É importante salientar que a ativação dos compostos de defesa das plantas depende também do reconhecimento de compostos orgânicos presentes, principalmente na saliva dos insetos, denominados elicitores (Mello & Silva-Filho, 2002). Esses compostos são responsáveis pelas diferenças na emissão de respostas de defesa dos vegetais emitidos por danos mecânicos e

por herbivoria. Esses elicitores foram identificados como ácidos graxos amidas, quando as plantas os reconhecem, imediatamente é ativada uma complexa rede de transdução de sinais (Taiz & Zeiger, 2009).

Muitos estudos vêm demonstrando que as substâncias oriundas do metabolismo secundário podem defender as plantas através da atração de inimigos naturais dos mesmos, denominada defesa indireta. Plantas de milho (*Zea mays* L.) emitem compostos de defesa imediatamente após o dano de lagartas, estes compostos atraem os inimigos naturais (Turlings *et al.*, 1998). Turlings *et al.* (1990) verificaram que plantas de milho que sofreram dano de insetos mastigadores ou danos mecânicos com a aplicação de secreções orais dos insetos nos locais liberam grandes quantidades de terpenóides, porém quando as plantas foram danificadas mecanicamente a quantidade de voláteis foi significativamente menor, os autores constataram também que estes terpenóides são eficientes na atração de parasitóides.

De Moraes *et al.* (1998) observaram que plantas de tabaco (*Nicotiana* sp. L) e algodão (*Gossypium hirsutum* L.) danificadas pela alimentação de *Heliothis virescens* (Fabricius, 1781) (Lepidoptera:Noctuidae) e *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera:Noctuidae) emitem diferentes voláteis, sendo os principais (Z)-3-hexen-1-ol, linalol, (Z)-Jasmone, alfa-humuleno, (E,E)-alfa-farneseno, (E)-beta-ocimeno e beta-cariofileno. As concentrações destes compostos variaram entre as espécies, evidenciando assim, que as plantas liberam sinais específicos de acordo com o inseto que está danificando o tecido. Os autores constataram também que os voláteis emitidos por plantas de algodão danificadas por *H. virescens* atraíram o parasitóide *Cardiochiles nigriceps* (Vinson 1972) (Hymenoptera: Braconidae).

Kessler e Baldwin (2001) observaram plantas de *Nicotiana attenuata* (Torr. 1871) que foram danificadas por três espécies diferentes de insetos herbívoros no ambiente natural, *Manduca quinquemaculata* (Haworth, 1803) (Lepidoptera, Sphingidae), *Dicyphus minimus* (Uhler) (Heteroptera, Miridae) e *Epitrix hirtipennis* (Melsheimer, 1847) (Coleoptera, Chrysomelidae). Os autores constataram que as plantas liberaram um conjunto de compostos voláteis que foram comuns às três espécies, imediatamente após o dano sendo estes cis-3-hexen-1-ol, cis-3-hexenil acetato e cis-3-hexenil butirato, já os terpenóides trans-beta-ocimeno, cis-alfa-bergamoteno e trans-beta-farneseno foram identificados 24 horas após o dano. Os compostos cis-3-hexen-1-ol, linalol e cis-alfa-bergamoteno foram testados individualmente, sendo responsáveis por um aumento na predação dos herbívoros, bem como uma menor taxa de oviposição dos mesmos, evidenciando assim que em ambientes naturais os compostos voláteis podem ser eficientes na defesa das plantas contra herbívoros.

Em estudos com o objetivo de avaliar as defesas induzidas de plantas de soja (*Glycine max* L.) e feijão guandu (*Cajanus cajan* L) quando são atacadas pelo percevejo marrom (*Euschistus heros* Fabr.) (Hemiptera: Pentatomidae), comprovou-se que voláteis induzidos pela herbivoria atraem o parasitóide de ovos, *Telenomus podisi* (Moraes et al, 2005). Resultados semelhantes também foram obtidos com a soja variedade BR-16, onde se observou que dois compostos voláteis, salicilato de metila e (E,E)-4,8,12-trimetiltrideca-1,3,7,11-tetraeno (TMTT), conhecidos por agirem na defesa indireta e direta de plantas, foram liberados em maior quantidade quando a planta sofreu injúria devido a herbivoria e oviposição. (Moraes et al. 2008b).

Colazza *et al.* (2004a) induziram o dano em leguminosas (*V. faba* e *P. vulgaris*), através da alimentação e postura de *N. viridula* e observaram que plantas danificadas pela alimentação e postura dos insetos emitiram grandes quantidades de linalol, (E)-beta -cariofileno, (E; E)-4,8,12-trimetil-1,3,7,11-tridecatetraeno, e (3E)-4,8-dimetil-1,3,7-nonatrieno. Os autores constataram que plantas que continham posturas do percevejo emitem uma maior quantidade de (E)-beta-cariofileno em comparação com plantas que sofreram apenas danos pela alimentação. Além disso, foi observado que fêmeas de *T. basalis* são mais atraídas por extratos contendo este composto, desta forma, os autores concluíram que (E)-beta-cariofileno é um potencial sinomônio para *T. basalis*. A produção destes compostos é influenciada pela idade das posturas, as quais exercem maior atratividade sobre os parasitóides com, aproximadamente, 72-96 horas de idade (Colazza *et al.*, 2004b).

Com base nos trabalhos relatados, pode-se observar que as plantas são capazes de emitir voláteis após o dano causado pela alimentação de herbívoros, mas também são capazes de reconhecer e emitir compostos de sinalização quando são realizadas posturas em seus tecidos. Dessa forma, conclui-se que as interações que envolvem plantas, herbívoros e inimigos naturais são muito complexas, constituindo assim um instigante campo de pesquisa, com perspectivas extremamente promissoras, evidenciando a necessidade da realização de trabalhos com o objetivo de identificar ao máximo os fatores físicos, químicos e biológicos que compreendem a interação entre insetos e plantas.

A principal rota envolvida na ativação da maioria das defesas vegetais contra os insetos fitófagos é a rota do octadecanóide, que leva à produção de

ácido jasmônico (AJ) a partir do ácido linolênico (Kessler *et al.*, 2004) que é liberado dos lipídeos da membrana plasmática (Taiz & Zeiger, 2009). O AJ é um hormônio vegetal que induz a expressão de vários genes que estão relacionados com a defesa das plantas contra situações de estresse (Soares & Machado, 2007).

O AJ atua como um indutor de muitos inibidores de protease, incluindo terpenos e alcalóides, os níveis desse composto aumentam rapidamente em resposta ao dano causado por um herbívoro (Taiz & Zeiger, 2009), dessa forma, pode representar uma significativa redução na população de insetos-praga em plantas cultivadas (Bruce *et al.*, 2003a), também pode ser volatilizado de uma planta danificada, promovendo uma comunicação intraespecífica entre plantas infestadas e sadias, sinalizado desta forma uma situação de estresse iminente (Srivastava, 2002). A aplicação do AJ induz a produção de diversos terpenóides (Dicke & Van Loo, 2000), que podem atuar na atração de inimigos naturais dos insetos fitófagos, sendo assim uma promissora ferramenta para novas estratégias de controle de insetos praga (Moraes *et al.*, 2009).

Moraes *et al* (2008a) observaram que plantas de trigo (*Triticum* spp. L.) tratadas com o fitohormônio *cis*-jasmone induzem uma maior produção de ácidos hidroxâmicos, principalmente DIMBOA. Estudos conduzidos em campo evidenciaram que plantas de trigo tratadas com *cis*-jasmone tiveram a população de pulgões sensivelmente reduzida quando comparadas com áreas não tratadas (Bruce *et al*, 2003b). Outros estudos demonstraram que em plantas de *Vicia faba* L. pulverizadas com *cis*-jasmone houve indução da produção de (E)-ocimene, o qual resulta em um efeito deterrente para pulgões (Birkett *et al.*, 2000, Pickett *et al.*, 2007). Kessler *et al.*(2004) avaliaram as

respostas no campo de plantas de *N. attenuata* que tiveram os genes responsáveis pela produção de AJ silenciados. Segundo os autores as plantas se tornaram mais suscetíveis ao ataque de diferentes insetos, inclusive espécies oportunistas que naturalmente não ocorrem nas plantas avaliadas.

Existem outros compostos de sinalização além do AJ, como etileno, ácido salicílico e metil salicilato, que são induzidos após a herbivoria de insetos, geralmente, a ação coordenada desses compostos de sinalização é necessária para a ativação completa de respostas de defesa induzida (Taiz & Zeiger, 2009).

A síntese dos metabólitos secundários, no entanto, não é influenciada apenas pela herbivoria, fatores como, sazonalidade, ritmo circadiano, idade das plantas, temperatura, disponibilidade hídrica, radiação ultravioleta, disponibilidade de nutrientes, altitude e poluição atmosférica também são importantes reguladores desses produtos (Gobbo-Neto & Lopes, 2007).

Dessa forma, pode-se concluir que as defesas das plantas constituem uma importante ferramenta ecológica, uma vez que, a capacidade das plantas produzirem estas substâncias de defesa e armazená-las, representa uma grande vantagem evolutiva, sendo estes um dos principais fatores relacionados ao controle de insetos herbívoros no ambiente natural (Raven *et al.* 1996).

O conhecimento dos mecanismos envolvidos na ativação de respostas de defesa pode ser uma promissora ferramenta a ser empregada no manejo integrado de pragas, já que podem permitir o desenvolvimento de técnicas de manipulação que possam gerar cultivares resistentes ao ataque de insetos-praga.

6 INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DE PLANTAS NO MIP

Para o desenvolvimento de ferramentas baseadas na interação entre insetos e plantas no manejo integrado de pragas, o conhecimento dos aspectos biológicos e ecológicos das interações entre os organismos envolvidos torna-se fundamental. Os diversos estudos citados anteriormente evidenciam que esse conhecimento já está bem difundido entre a sociedade científica. Contudo, a aplicação prática dos conhecimentos, através do desenvolvimento de produtos que possam potencializar as respostas de defesas das plantas ainda é limitada. Porém, existem perspectivas otimistas para uma utilização futura (Mairesse, 2005).

O indutor de resistência mais conhecido liberado para uso comercial é o acibenzolar- S- metil (ASM, nome comercial Bion[®]), análogo do ácido salicílico. Acredita-se que o ASM seja o primeiro representante de uma nova geração de protetores de plantas eficientes na indução de resistência (Lyon & Newton, 1997). Esse produto ativa os mecanismos de defesa, permitindo uma maior resistência das plantas contra fatores abióticos e bióticos, principalmente patógenos (Syngenta, 2008). Possui registro no sistema de agrotóxicos fitossanitário para diversos patógenos nas seguintes culturas: algodão, batata, cacau, citros, feijão, melão e tomate. Não existe restrição quanto ao manejo de resistência, uma vez que o produto ativa múltiplos mecanismos de defesa das plantas sobre os microrganismos (MAPA, 2009). Alguns trabalhos têm

demonstrado a eficiência do acibenzolar- S- metil no controle de diferentes patógenos (Guzzo *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2008; LaMondia, 2009; Lin *et al.*, 2009).

Além do acibenzolar- S- metil, existem outros ativadores de plantas comercializados no Brasil, como o Agro-Mos[®], que é um mananoligossacarídeo fosforilado derivado da parede da levedura *Saccharomyces cerevisiae* (Hansen) (Dantas *et al.*, 2004), o princípio ativo é responsável por uma ativação dos mecanismos latentes de resistência natural das plantas (Improcrop, 2009). O Ecolife[®] é um ativador de plantas composto por bioflavonóides cítricos, ácido ascórbico, fitoalexinas cítricas, ácidos orgânicos e açúcares que bioestimulam as plantas a produzirem suas próprias defesas (Rosa *et al.*, 2007). Cabe salientar que os ativadores de plantas citados são utilizados na proteção de plantas contra patógenos e o único que possui registro no Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT) é o Bion[®]. Não existem ativadores de defesa de plantas contra insetos com registro no AGROFIT.

Também existem produtos que são comercializados com o objetivo de fortalecer as defesas naturais das plantas, denominados “fitoprotetores”. Esta classe de produtos engloba uma série de substâncias de origem natural que permite o fortalecimento dos cultivos, esses produtos podem ser alternativas ou complementos aos produtos fitossanitários tradicionais, promovendo e melhorando as defesas naturais das plantas. Exentiv[®] é um fitoprotetor a base de plantas da família Buxaceae utilizado para a proteção de frutíferas contra doenças fúngicas, criando uma película na superfície da folha, impedindo a infecção (Daymsa, 2009a). Soleo[®] é um fitoprotetor a base de plantas da

família Rutaceae utilizado para a proteção de frutíferas contra doenças fúngicas e bacterianas, esse produto contém altas concentrações de bioflavonóides, fitoalexinas exógenas, polifenóis, ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido láctico, entre outras substâncias, que também atuam como uma barreira protetora sobre a superfície das folhas, evitando a infecção do patógeno, além de serem elicitores para a formação de fitoalexinas, dessa forma proporcionam uma resistência natural às plantas (Daymsa, 2009b). Nematon EC[®] é um fitoprotetor à base de óleos de plantas da família Pedaliaceae, formulado a partir de extratos com altos teores de compostos aleloquímicos que atuam como antagonistas a nematóides, também apresentam em sua composição glicosídeos bioflavonóides que possuem atividade fungistática (Daymsa, 2009c).

O fitoprotetor Botania[®], a base de óleos essenciais de plantas da família Lamiaceae, é indicado para o controle de diferentes insetos, especialmente pulgões, moscas-brancas, tripes, cochonilhas e outros insetos, recomendado também para o controle de ácaros. A principal forma de ação do produto é através da sua atividade deterrente, devido à presença de diterpenos neoclerodanos (Daymsa, 2009d). Garlitrol[®] é um fitoprotetor à base de extratos de *Allium sativum* L. que contém aleloquímicos, possui ação repelente, inseticida e deterrente. Indicado para o controle de insetos sugadores e mastigadores (Daymsa, 2009e). Os produtos citados são produzidos e comercializados pela empresa espanhola Daymsa (Desarrollo Agrícola y Minero S.A), todos são certificados e recomendados para utilização na agricultura ecológica na Espanha. No Brasil, esses produtos são comercializados pela Daymsa Brasil

Comercial Insumos Agrícolas Ltda, sendo que nenhum destes possui registro no Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT).

Produtos a base de quitosana vem sendo comercializados como indutores de resistência de plantas, essa substância pode atuar diretamente em patógenos possuindo ação fungistática, mas pode também atuar como elicitador de diferentes respostas de defesa das plantas (Camili *et al.*, 2007). Como exemplo pode-se citar o Fisch Fértil Indure[®] que é um fertilizante orgânico de aplicação foliar oriundo de fermentação de pescados marinhos, enriquecido com quitosana proveniente de carapaças de crustáceos. Além da ação nutricional, devido à presença de quitosana, induz a ativação de genes de resistência às pragas e doenças aumentando, dessa forma, os mecanismos naturais de resistência (Fisch, 2009).

Os produtos à base de sílica são os mais difundidos na indução de resistência de plantas à insetos,. O silício pode conferir resistência às plantas tanto pela sua deposição, formando uma barreira mecânica na parede celular (Goussain *et al.*, 2002;), como pela sua ação como elicitador do processo de resistência induzida (Gomes *et al.*, 2005). Existem diversos produtos comerciais à base de silício atualmente. Como exemplo pode-se citar Biocksil[®], Maxil[®], Silício Bugran[®], Sili-K[®], entre outros.

7 CONCLUSÃO

As plantas apresentam diversos mecanismos químicos e físicos de defesa que as protegem frente ao ataque de herbívoros. No entanto, apesar de haver diversos estudos relacionados à caracterização química destes compostos, poucos produtos estão efetivamente disponíveis no mercado para o manejo de pragas agrícolas.

No Brasil são utilizadas, principalmente na produção orgânica, algumas substâncias oriundas de metabólitos secundários de plantas no controle de insetos, tais como o óleo de neem e a rotenona. No entanto, existe uma série de restrições que limitam seu uso, como a carência de informações a respeito das dosagens adequadas, número de aplicações, ação residual, período de carência, impacto em organismos alvo e na fauna benéfica, entre outros. Muitas vezes a utilização desses produtos é baseada em conhecimentos empíricos, existindo, então, a necessidade de pesquisas científicas que atestem sua eficácia.

Da mesma forma, é necessário mais estudos relacionados a utilização prática de elicitores de mecanismos de defesas das plantas frente ao ataque de insetos. Trabalhos desta natureza podem gerar subsídios para o uso efetivo e viável, tanto economicamente quanto ambientalmente, desta ferramenta em programas de manejo integrado, seja através do desenvolvimento de plantas

resistentes a pragas por melhoramento genético, ou mesmo através da aplicação de produtos que otimizem a expressão dos mecanismos naturais de defesa da planta.

Estes elicitores poderiam ser mais eficientes no controle de pragas do que a utilização de substâncias que não são encontradas nas rotas do metabolismo secundário de plantas, uma vez que eles atuariam estimulando os mecanismos naturais de defesa, seja produzindo uma substância com ação inseticida ou deterrente, ou mesmo compostos que atuem na atração de inimigos naturais, fazendo com que a planta se defenda mesmo antes da herbivoria, dificultando, desta forma, a ação do inseto.

É preciso considerar que o uso dessas estratégias pode contribuir para a redução na aplicação de inseticidas em sistemas agrícolas, viabilizando uma maior preservação dos recursos naturais e, conseqüentemente, aumentando a sustentabilidade em agroecossistemas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Lei proíbe agrotóxico DDT em todo o país.** 2009. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/divulga/noticias/2009/200509.htm>. Acesso em: 06 out. 2009.

ALVES, M. N; SARTORATTO, A; TRIGO, J. R. Scopolamine in *Brugmansia Suaveolens* (Solanaceae): Defense, Allocation, Costs, and Induced Response. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v.33, n.2, p.297-309, 2007.

AZEVEDO, F. R de. Eficiência de produtos naturais no controle de *Callosobruchus maculatus* (Fab.) em feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) armazenado. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v.38, n.2, p.182-187, 2007.

BARBOSA, F. R. *et al.* Estabilidade da resistência a *Zabrotes subfasciatus* conferida pela proteína arcelina, em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p. 895-900, 2000.

BAUR, R; *et al.* Contact chemoreception related to host selection and oviposition behavior in the monarch butterfly, *Danaus plexippus*. **Physiology Entomology**, Oxfordshire, . v. 23, n.1, p. 7- 19, 1998.

BEGON, M;TOWNSEND, C. R; HARPER, J. L. **Ecologia de Indivíduos a Ecossistemas**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 740 p.

BERNAYS, E. A; CHAPMAN, R. F. **Host-plant selection by phytophagous insects**. Nova Iorque: Chapman & Hall, 1994. 312 p.

BIRKETT, M. A *et al.* New roles for *cis*-jasmones as an insect semiochemical and in plant defense. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v.97, p. 9329-9334, 2000.

BOBROWSKI, V. L. *et al.* Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5, p. 843-850, 2003.

BOWLES, D.J. Defense related proteins in higher plants. **Annual Review of Biochemistry**, Palo Alto, v. 59, p. 837- 907, 1990.

BRECHELT, A. **O Manejo Ecológico de Pragas e Doenças**. Santa Cruz do Sul : Fundação Agricultura e Meio Ambiente (FAMA). República Dominicana:

Rede de Ação em Praguicidas e suas Alternativas para a América Latina (RAP-AL). 2004. 33p.

BRUCE, T.J.; PICKETT, J.A.; SMART, L.E. Cis-Jasmone switches on plant defence against insects. **Pesticide Outlook**, Saskatoon, v.14, p. 96–98, 2003a.

BRUCE, T.J.A. *et al.* Cis Jasmone treatment induces resistance in wheat plants against the grain aphid, *Sitobion avenae* (Fabricius) (Homoptera:Aphididae). **Pest Management Science**, London , v. 59, p. 1031-1036, 2003b.

BUSER, H. R. Atrazine and Other s-Triazine Herbicides in Lakes and in Rain in Switzerland. **Environmental Science e Technology**, Washington, v.24, n.7, p.1049-1058, 1990.

CAMILI, E. C. *et al.* Avaliação de quitosana, aplicada em pós colheita, na proteção de uva 'itália' contra *Botrytis cinerea*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, n.3, p.215-221. 2007.

CARBONARI, J. J. *et al.* Relação entre Flutuação Populacional de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae) e Período de Perfilhamento de Cultivares de Arroz Irrigado. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.29, n.2, p. 361-366, 2000.

COLAZZA, S.; MCELFRISH, J.S.; MILLAR, J.G. Identification of volatile synomones, induced by *Nezara viridula* feeding and oviposition on bean spp., that attracts the egg parasitoid *Trissolcus basalus*. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 30, n. 5, p. 945-964, 2004a.

COLAZZA, S. *et al.* Insect oviposition induces volatile emission in herbaceous plants that attracts egg parasitoids. **Journal of Experimental Biology**, London, v. 207, p. 47-53, 2004b.

CORAZZA, G; MARTINELLI JR, O. Agricultura e questão agrária na história do pensamento econômico. **Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v.10, n.19, p.9-36, Nov. 2002.

CORRÊA, A.; SANT'ANA, J. Ecologia química de insetos. In: CORRÊA, A.G.; VIEIRA, P.C. (Orgs.). **Produtos naturais no controle de insetos**. São Carlos: UFSCar, 2007. p. 9-17.

CORSON, W. H. **Manual Global de Ecologia: O que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente**. 4 ed. São Paulo: Augustus, 2002. 413 p.

COSTA, J. P. C; BELO, M; BARBOSA, J. C. Efeitos de Espécies de Timbós (*Derris* spp.: Fabaceae) em Populações de *Musca domestica* L. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.26, n.1, p.163-168, 1997.

COUTO, R. H. N. **Apicultura: Manejo e produtos**. 3 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 193p.

DANTAS, S. A. F. *et al.* Indutores de resistência na proteção do mamão contra podridões pós-colheita. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.30, n. 3, 2004.

DE MORAES CM *et al.* Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. **Nature** v. 393, n. 6685, p. 570-573, 1998.

DESARROLLO AGRICOLA Y MINERO , S. A. **Fitofortificante natural para el control de enfermedades fúngicas EXENTIV®**.2009a. Disponível em: <http://www.daymsa.com/content/files/productof-es_167_01_EXENTIV-ESP-HD.pdf> Acesso em: 15 nov.2009.

DESARROLLO AGRICOLA Y MINERO , S. A. **Fitoprotector natural para el control de enfermedades fúngicas y bacterianas SOLEO®**. 2009b. Disponível em: <http://www.daymsa.com/content/files/productof-es_149_01_SOLEO-ESP--HD.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2009.

DESARROLLO AGRICOLA Y MINERO , S. A. **Fitoprotector para el control de nemátodos NEMATON EC®**. 2009c. Disponível em: <http://www.daymsa.com/content/files/productof-es_150_01_NEMATON-HD.pdf> . Acesso em: 15 nov. 2009.

DESARROLLO AGRICOLA Y MINERO , S. A. **Fitoprotector para el control de plagas Botania®**. 2009d. Disponível em: <http://www.daymsa.com/content/files/productof-es_100_01_BOTANIA-HD.pdf> . Acesso em: 15 nov. 2009.

DESARROLLO AGRICOLA Y MINERO , S. A. **Fitoprotector vegetal a base de extracto de Allium sativum Garlitrol®**. 2009e. Disponível em: <http://www.daymsa.com/content/files/productof-es_152_01_Garlitrol-HD.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2009.

DICKE, M. Local and systemic production of volatile herbivore-induced terpenoids - their role in plant-carnivore mutualism. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 143, n. 4-5, p. 465-472, 1994.

DICKE, M.; VAN LOON, J.J.A. Multitrophic effects of herbivore-induced plant volatile in an evolutionary context. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Amsterdam , v. 97, n.3, p.237-249, 2000.

EHRlich P.R; RAVEN PH. Butterflies and plants - a study in coevolution. **Evolution**, Lawrence, v. 18, n. 4, p. 586-608, 1964.

ESKENAZI, B. *et al.* The Pine River Statement: Human Health Consequences of DDT Use. **Environmental Health Perspectives**, Berkeley, v.117, n.9, p.1359-1367, set. 2009.

FERREIRA, A; LARA, F. M. Tipos de resistência a *Alabama argillacea* (Huebner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae) envolvidos em genótipos de algodoeiro: ii. Antibiose. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.2, p. 287-292, 1999.

FILHO, J. P. A. **Uso de agrotóxicos no Brasil: controle social e interesses corporativos**. São Paulo: Annablume : FAPESP, 2002. 188p.

FINCH, S. Assessing Host-Plant Finding by Insects. In: MILLER, J. R; MILLER, T. A. **Insect-Plant Interactions**. Nova Iorque: Springer-Verlag, 1986. p.23 – 63.

FISH FERTILIZANTES. **Ficha Técnica de produto Fisch Fértil Indure®**.2009 Disponível em: <<http://www.fishfertil.com.br/site/imagens/3produto.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

GALLO, D. *et al.* **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GAMARRA, D.C; BUENO, V. H. P; AUAD, A. M. Efecto de los tricomas glandulares de *Solanum berthaultii* en el parasitismo de *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae) sobre *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). **Vedalia**, Bekerley, v. 4, p. 21-24 ,1997.

GAMARRA, D. C. *et al.* Influência de Tricomas Glandulares de *Solanum berthaultii* na Predação de *Scymnus (Pullus) argentanicus* (Weise) (Coleoptera: Coccinellidae) em *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.27, n.1, p. 59-65, 1998.

GARCIA, F. R. M. **Zoologia Agrícola: Manejo ecológico de pragas**. 2 ed. Porto Alegre: Rígel, 2002. 240 p.

GILLOTT, C. **Entomology**. 3th. ed. Springer: Dordrecht,2005. 831p.

GOBBO-NETO, L; LOPES, N. P. Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, São Paulo, v.30, n.2, p. 374-381, 2007.

GOMES, F. B. *et al.* Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

GOUSSAIN, M. M. *et al.* Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

GREGOR, D. J; GUMMER, W. D. Evidence of Atmospheric Transport and Deposition of Organochlorine Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Canadian Arctic Snow. **Environmental Science e Technology**, Washington, v.23,n.5, p.280-286, 1989.

GUIMARÃES, E. R. *et al.* Níveis constitutivos de compostos fenólicos podem estar relacionados à resistência da cana-de-açúcar à cigarrinha-das-raízes. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 1, n.3, p. 357-365, 2008.

GULLAN, P. J; CRANSTON, P. S. **Os insetos: um resumo de entomologia**. 3. ed. São Paulo: Roca, 2007. 440 p.

GUZZO, S. D. *et al.* Ação protetora do acibenzolar-s-methyl em plantas de cafeeiro contra ferrugem. **Arquivos Instituto Biológico**, São Paulo, v.68, n.1, p.89-94, jan./jun., 2001.

HARDIE, J; GIBSON, G; WYATT, T. D. Insect Behaviours Associated with Resource Finding. In: WOIWOD, I. P; REYNOLDS, D. R; THOMAS, C. D.(eds). **Insect Movement: Mechanisms and Consequences**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 87-109

HOWE, G. A; JANDER, G. Plant Immunity to Insect Herbivores. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 41-66, 2008.

HOLTZ, A. M. et al. Ação de Plantas por meio de infoquímicos sobre o segundo e terceiro níveis tróficos. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 53-60, 2004.

IMPROCROP DO BRASIL LTDA. **Benefícios do Agro-Mos**. Disponível: <http://www.improcrop.com/improcrop/pt/produtos_especial_agro_mos.cfm> Acesso em: 14 nov. 2009.

KESSLER, A; BALDWIN, I.T. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. **Science**, Washington, v. 291, n.5511, p. 2141-2144, 2001.

KESSLER, A ; HALITSCHKE, R ; BALDWIN, I. T. Silencing the jasmonate cascade: Induced plant defenses and insect populations. **Science**, Washington, v.35, p.665-668, 2004.

LAABS, V. *et al.* Pesticides in Surface Water, Sediment, and Rainfall of the Northeastern Pantanal Basin, Brazil. **Journal of Environmental Quality**, New York, v.31,n.5, p.1636-1648, 2002.

LABORY, C. R. G. *et al.* Seleção indireta para teor de 2-tridecanona em tomateiros segregantes e sua relação com a resistência à traça-do-tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p. 733-740, 1999.

LAMONDIA, J. A. Efficacy of fungicides and a systemic acquired resistance activator. **Crop Protection**, Oxfordshire, v.28, p.72-76. 2009.

LANGE, B.M. *et al.* A family of transketolases that directs isoprenoid biosynthesis via a mevalonate-independent pathway. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 95, p. 2100-2104, 1998.

LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. São Paulo : Ícone. 1991, 336 p.

LARA, F. M. *et al.* Resistência de genótipos de batata ao pulgão *Myzus persicae*. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v.22, n.4, p. 775-779, 2004.

LIN, T. C ; ISHIZAKA, M ; ISHII, H. Acibenzolar-S-methyl-Induced Systemic Resistance against Anthracnose and Powdery Mildew Diseases on Cucumber Plants without Accumulation of Phytoalexins. **Journal of Phytopathology**, Oxfordshire, v.157, n.1, p.40-50. 2009.

LOPES, M. T. R ; VENDRAMIM, J. D ; THOMAZINI, A. P. B. W. Biologia e preferência para oviposição de *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) em folhas de genótipos de *Solanum tuberosum* (L.) e *Solanum berthaultii* (Hawkes). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 319-326, 2000.

LYON, G. D.; NEWTON, A. C. Do resistance elicitors offer new opportunities in integrated disease control strategies? **Plant Pathology**, Oxfordshire, v. 46, p. 636-641, 1997.

MACEDO, L. P. M ; UEMERSON, S. C ; VENDRAMIM, J. D. Gossipol: Fator de resistência a insetos-praga. **Campo Digital**, Campo Mourão, v.2, n.1, p.34-42, 2007.

MAIRESSE, L. da S. **Avaliação da bioatividade de extratos de espécies vegetais, enquanto excipiente de aleloquímicos**. Santa Maria: UFSM, 2005. 326p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MAZOYER, M ; ROUDART, L. **História das agriculturas do mundo : do neolítico à crise contemporânea**. Lisboa : Instituto PIAGET, 2001. 520 p.

MELLO, M. O; SILVA-FILHO, M. C. Plant-insect interactions: an evolutionary arms race between two distinct defense mechanisms. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.14, n.2, p. 71-81, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Agrofit-Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 14 nov. 2009.

MORAES, M.C.B.*et al.* Induced volatiles in soybean and pigeon pea plants artificially infested with the neotropical brow stink bug, *Euschistus heros*, and their effect on the egg parasitoid, *Telenomus podisi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Amsterdam, v. 115, n.1, p. 227-237, 2005.

MORAES, M.C.B. *et al.* *Cis*-Jasmone induces accumulation of defence compounds in wheat, *Triticum aestivum*. **Phytochemistry**, Oxfordshire, v. 69, p. 9-17, 2008a.

MORAES, M.C.B. *et al.* Response of the parasitoid *Telenomus podisi* to induced volatiles from soybean damaged by stink bug herbivory and oviposition. **Journal of Plant Interactions**, Berlin, v.3, n. 2, p. 118-118, 2008b

MORAES, M. C. B. *et al.* Attraction of the stink bug egg parasitoid *Telenomus podisi* to defence signals from soybean activated by treatment with cis-jasmone. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Amsterdam, v. 131, p. 178–188, 2009.

MÜLLER, J. E. **Agroecologia: a semente da sustentabilidade**. Florianópolis: Epagri, 2009. 211 p.

NETO, S. S. *et al.* **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 419 p.

OLIVEIRA JR.,P.H.B., **Notas sobre a história da agricultura através do tempo**. Rio de Janeiro: FASE, 1989. 72p.

OPITZ, S. E. W.; MÜLLER, C. Plant chemistry and insect sequestration. **Chemoecology**, Switzerland, v.19, p.117–154, 2009.

ORIANI, M. A. de G; VENDRAMIM, J. D; BRUNHEROTTO, R. Influência dos Tricomas na Preferência para Oviposição de *Bemisia tabaci* (Genn.) Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em Genótipos de Feijoeiro. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.34, n.1, p.97-103, 2005.

PANIZZI, A. R; PARRA, J. R. P. A ecologia nutricional e o manejo integrado de pragas. In: PANIZZI, A. R; PARRA, J. R. P. **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. São Paulo: Manole, 1991.p. 313-336.

PANIZZI, A. R; PARRA, J. R. P. Introdução à bioecologia e nutrição de insetos como base para o manejo integrado de pragas. In: PANIZZI, A. R; PARRA, J. R. P. **Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2009. p. 22-35.

PEDIGO, L.P. **Entomology and pest management**. 2 ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 679p.

PEETERS, P.J. Correlations between leaf structural traits and the densities of herbivorous insects guilds. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 77, p. 43-65, 2002.

PERES, F. *et al.* Desafios ao estudo da contaminação humana e ambiental por agrotóxicos. **Ciência e Saúde Coletiva**, Manguinhos, v.10, p. 27-37, 2005.

PETROSKI, R. J; STANLEY, D. W. Natural Compounds for Pest and Weed Control. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Peoria, v.57, n.18, p.8171–8179, 2009.

PICKETT, J.A. *et al.*, *Cis*-Jasmone as an allelopathic agent through plant defence induction. **Allelopathy Journal**, Hisar, v. 19, p. 109-117, 2007.

PIZZAMIGLIO, M. A. Ecologia das interações inseto/planta. In: PANIZZI, A. R; PARRA, J. R. P. **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. São Paulo: Manole, 1991.p. 101-129.

RATTNER, B. A. History of wildlife toxicology. **Ecotoxicology**, Netherlands, v.18, n.7, p.286-291, 2009.

RAVEN, P. H.;EVERT,R. F.; EECHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 p.

RICKLEFS, R.E.. **A economia da natureza: um livro-texto em ecologia básica**. Rio de Janeiro, Guanabara/Koogan, 1996, 470 p.

ROSA, R. C. T. *et al.* Efeito de indutores no controle de mildio em *Vitis labrusca*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, n.1, 2007.

RÖSE, U.S.R. *et al.* Volatile semiochemicals released from undamaged cotton leaves- A systemic response of living plants to caterpillar damage. **Plant Physiology**, Rockville, v.111, n.2, p. 487-495, 1996.

RUPPERT, E.E.; BARNES, D.R. **Zoologia dos Invertebrados**. 6ª ed. São Paulo: Rocca, 1996. 1029p.

SANTOS, T. M; JUNIOR, A. L. B; SOARES, J. J. Influência de tricomas do algodoeiro sobre os aspectos biológicos e capacidade predatória de *Chrysoperla externa* (hagen) alimentada com *Aphis gossypii* glover. **Bragantia**, Campinas, Campinas, v.62, n.2, p.243-254, 2003.

SCHOMBURG, C. J; GLOTFEITY, D. E; SEIBE, J. N. Pesticide Occurrence and Distribution in Fog Collected near Monterey, California. **Environmental Science e Technology**, Washington, v.25, n.1, p.155-160, 1991.

SCHOONHOVEN, L. M; JERMY, T; VAN LOON, J. J. A. **Host-plant selection: Why insects do not behave normally**. Nova Iorque: Chapman & Hall, 1998. 409 p.

SILVA, L. H. C. P. *et al.* Aumento da resistência de cultivares de tomate a *Meloidogyne incognita* com aplicações do acibenzolar- S- metil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 28, n.2, p. 199-206. 2004.

SKOLNIK, H. History, Evolution, and Status of Agriculture and Food Science and Technology. **Journal Chemical Documentation**, Washington, v.8, n. 2, 1968

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v.1, n. 1, p. 9-19, 2007.

SOARES, W. L; PORTO, M.F.S. Estimating the social cost of pesticide use: An assessment from acute poisoning in Brazil. **Ecological Economics**, Netherlands, v.68, n.10, p.2721-2728, 2009.

SOUZA, J. R. Avaliação de resistência em cultivares de arroz ao ataque do percevejo-do-colmo, *Tibraca limbativentris* Stal, 1860 (Hemiptera: Pentatomidae). **Arquivos do instituto biológico**, São Paulo, v.75, n.4, p.443-448, 2008.

SRIVASTAVA, L. M. **Plant growth and development: hormones and environment**. Oxford: Academic Press, 2002. 772 p.

STOPPELLI, I. M. B.; MAGALHÃES, C. P. Saúde e segurança alimentar: a questão dos agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, Manguinhos, v.10, p.91-100, 2005.

STRONG, D.R; LAWTON, J.H; SOUTHWOOD, S. R. **Insects on plants : community patterns and mechanisms**. Oxford : Blackwell Scientific, 1984. 313 p.

SYNGENTA PROTEÇÃO DE CULTIVOS LTDA. **Bion® 500 WG**. 2008. Disponível em: <https://www.extrapratica.com.br/BR_Docs/Portuguese/Instructions/12.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2009.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TRINDADE, R. C. P. *et al.* Mortality of *Plutella xylostella* larvae treated with *Aspidosperma pyrifolium* ethanol extracts. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p.1813-1816, dez. 2008.

TRIPLEHORN, C.A; N.F. JOHNSON. **Borror and Delongs Introduction to the study of insects**. Local (cidade) : Thomson: Books Cole, 2005. 864p.

TURLINGS, T.C.J.; TUMLINSON, J.H; LEWIS,W.J. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic Wasps. **Science**, Washington, v. 250, p. 1252-1253, 1990.

TURLINGS, T.C.J. *et al.* Timing of induced volatile emissions in maize seedlings. **Planta**, New York, v. 207, p. 146-152, 1998.

VEIGA, J. E. da. **O desenvolvimento agrícola**: Uma visão histórica. 2 ed. São Paulo: Edusp, 2007. 236p.

VENTURA, M. U; VENDRAMIM, J. D. Toxicidade para lagartas de *Phthorimaea operculella* (Zell.) dos aleloquímicos 2-tridecanona e 2-undecanona presentes em tomateiro (*Lycopersicon* spp.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.3, p. 458-461, 1995.

VIANA, P. F; POTENZA, M. R. Avaliação de antibiose e não-preferência em cultivares de milho selecionados com resistência à lagarta-do-cartucho. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.1, p.27-33, 2000.

VIEGAS JR. C. Terpenos com Atividade Inseticida: Uma Alternativa para o Controle Químico de Insetos. **Química Nova**, São Paulo, v.26, n.3, p. 390-400, 2003.

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**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 722-731, 2009.

WANDERLEY, V. S; OLIVEIRA, J. V; ANDRADE JR. M. L. Resistência de cultivares e linhagens de *Phaseolus vulgaris* L. a *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleoptera: Bruchidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.26, n.2, p. 315-320, 1997.

WEI, J. *et al.* Influence of leaf tissue structure on host feeding selection by Pea leafminer *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). **Zoological Studies**, Taiwan, v. 39, p. 295-300, 2000.

WILLE, ALVARO. The phylogeny and relationships between the insect orders. **Revista Biología Tropical**, Costa Rica, v.50, n.2, p.735-766, jun. 2002.

WILLIAMS L. *et al.* The piercing-sucking herbivores *Lygus Hesperus* and *Nezara viridula* induce volatile emissions in plant. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, Hoboken, v. 58, n.2, p.84-95, 2005.