



MELISSA ALVES DE TOLEDO

**ESTUDO DE MÉTODOS NÃO
CONVENCIONAIS VISANDO O CONTROLE DO
ÁCARO *Oligonychus ilicis* (McGREGOR, 1917)
(ACARI: TETRANYCHIDAE) EM CAFEIEIRO
(*Coffea arabica* L.)**

LAVRAS - MG

2015

MELISSA ALVES DE TOLEDO

**ESTUDO DE MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS VISANDO O
CONTROLE DO ÁCARO *Oligonychus ilicis* (McGREGOR, 1917) (ACARI:
TETRANYCHIDAE) EM CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Paulo Rebelles Reis

Coorientador

Dr. Martín Francisco Pareja

LAVRAS – MG

2015

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

Toledo, Melissa Alves de.

Estudo de métodos não convencionais visando o controle do ácaro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) / Melissa Alves de Toledo. – Lavras : UFLA, 2015.

121 p.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Paulo Rebelles Reis.

Bibliografia.

1. Controle Biológico. 2. Manejo integrado de Pragas. 3. Semioquímicos. 4. Ácaro-vermelho-do-cafeeiro. 5. Resistência Induzida. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

MELISSA ALVES DE TOLEDO

**ESTUDO DE MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS VISANDO O
CONTROLE DO ÁCARO *Oligonychus ilicis*(McGREGOR, 1917) (ACARI:
TETRANYCHIDAE) EM CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 11 de fevereiro de 2015.

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Dra. Lenira Viana Costa Santa-Cecília | EPAMIG |
| Dra. Lívia Mendes Carvalho | EPAMIG |
| Dr. Ricardo Souza Cavalcanti | IFMG |
| Dr. Rogério Antônio Silva | EPAMIG |

Dr. Paulo Rebelles Reis
Orientador

Dr. Martín Francisco Pareja
Coorientador

LAVRAS – MG

2015

Ao meu marido, Marcos, minha filha, Manuela, e meus filhos, João e Roberto, pela paciência, apoio, compreensão pelos momentos ausentes e amor constante.

Aos meus pais, Dênia e João, pelo eterno apoio, amor, paciência, carinho, educação e ensinamentos de vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Entomologia, pela oportunidade concedida para a realização do doutorado.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais- EPAMIG Sul de Minas/EcoCentro, pela oportunidade e infraestrutura concedida para a realização deste trabalho, bem como aos funcionários e pesquisadores, pela amizade, incentivo e apoio durante todos os anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Ao meu orientador, Dr. Paulo Rebelles Reis, pela orientação, amizade, paciência, oportunidade e ensinamentos oferecidos ao longo do curso.

Ao meu coorientador, Dr. Martín Francisco Pareja, pela amizade e ensinamentos.

Aos meus amigos do laboratório de acarologia da EPAMIG Sul de Minas/EcoCentro, Erika Carla da Silveira, Patrícia de Pádua Marafeli, Fernanda Aparecida Abreu, Thiago Alves Ferreira de Carvalho, Giselle Christiane de Souza-Pimentel, João Paulo Alves, Melina Flávia Siqueira, Andreane Bastos, Marçal Pedro Neto e Alex Camilo pela amizade, paciência e ajuda na condução de experimentos.

Ao amigo Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi, pelos ensinamentos e amizade.

À amiga Ana Luiza Viana de Souza, pela amizade e carinho.

Aos professores da Pós-Graduação em Entomologia da Universidade Federal de Lavras, pelos ensinamentos durante o curso.

E, acima de tudo agradeço à minha família: aos meus pais e irmãs, sobrinhos e sobrinhas pelo amor, incentivo, apoio, confiança, compreensão e pelo exemplo de vida.

A Deus, pela vida.

RESUMO GERAL

O ácaro vermelho-do-cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) pode acarretar uma redução significativa no potencial de fotossíntese e no crescimento de plantas novas de café (Coffea spp.). O método mais utilizado para o controle desse ácaro-praga é o químico, sendo de fundamental importância o estudo de alternativas menos tóxicas. Destaca-se o estudo da utilização de ácaros predadores para o controle biológico e a indução de resistência de plantas com aplicações foliares de silício. Os objetivos deste trabalho foram os de avaliar o potencial de predação da espécie *Euseius alatus* DeLeon, 1966 (Acari: Phytoseiidae) como agente de controle biológico de *O. ilicis*, a influência de subprodutos (teias, fezes e exúvias de *O. ilicis*) na localização de *O. ilicis* por *E. alatus* e a interferência da aplicação de silício via foliar no ataque do *O. ilicis*. Para o potencial de predação, cada fase do desenvolvimento do ácaro *E. alatus* (larva, ninfa, adulto macho e fêmea) foram testados para cada fase do desenvolvimento de *O. ilicis* (ovo, larva, ninfa e adulto). Para o conhecimento da resposta funcional e taxa de oviposição de fêmeas de *E. alatus* foram oferecidas de 1 a 125 fases imaturas *O. ilicis* por arena, e o número de presas consumidas e de ovos colocados pelo predador foram avaliados. O experimento de forrageamento foi realizado com o auxílio de um olfatômetro de tubo de vidro-Y. Os estudos de indução de resistência de plantas foram realizados em casa de vegetação, onde foi aplicado silicato de potássio via foliar em diferentes doses. Foi avaliado o número de ovos, larvas, ninfas e adultos vivos sob microscópio estereoscópico. Larvas e ninfas de *O. ilicis* foram mais consumidas por todos os estágios do ácaro predador. A análise de regressão sugeriu uma resposta funcional do tipo II. As folhas com os ácaros e com ácaros mais os subprodutos foram capazes de emitir compostos químicos voláteis atrativos ao *E. alatus*, porém não houve preferência por folhas de café somente com subprodutos e sem os ácaros. As aplicações de silicato de potássio, como fonte de silício, apresentaram efeito positivo no controle de *O. ilicis*, mesmo sendo o café uma planta dicotiledônea.

Palavras-chave: Acarologia agrícola. Controle biológico. Ácaro vermelho-do-café. Manejo integrado de pragas. Semioquímicos. Resistência induzida.

GENERAL ABSTRACT

The coffee red spider mite, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) can cause a significant reduction in the photosynthesis potential and the growth of new plants. The most widely used method to control this mite is usually chemical, so it's necessary the study of less toxic alternatives. Noteworthy the study of predatory mites for the biological control and induced plant resistance by silicon applications. Therefore the aim of this study were to evaluate the predation potential of *E. alatus* as a biological control agent of *O. ilicis*, the influence of the byproducts (webs, faeces and exuviae of *O. ilicis*) in the location of *O. ilicis* by *E. alatus* and the interference of silicon in the infestation of *O. ilicis* in coffee plants. For the predation potential bioassay each stage of *E. alatus* (larva, nymph, adult male and female) were tested with each stage of *O. ilicis* development (egg, larva, nymph and adult), with ten repetitions. The functional and numerical responses of *E. alatus* were evaluated on coffee leaves arenas and offered 1 to 125 immature stages of *O. ilicis* per arena. The number of preys killed and the number of eggs laid by predator were evaluated. The foraging bioassay was performed in an olfactometer Y-tube. Studies of plant resistance were conducted in a greenhouse, and applied potassium silicate at doses of 0, 2, 4, 6, 8 and 10 mL/ha. The number eggs, larvae plus nymphs and adults alive were evaluated under stereoscopic microscope. Larvae and nymphs of *O. ilicis* were the most efficient in predation of all stages of the mite predator. Regression analysis suggests a functional response type II. Leaves with mites and mites more byproducts were able to emit volatile chemicals attractive to the predator. But leaves with byproducts were not attractive to the predatory mite. The applications of potassium silicate, silicon source, showed a positive effect in controlling *O. ilicis* in coffee plants, even being a dicot.

Key-words: Biological control. Coffee red spider mite. Integrated pest management. Semiochemicals. Induced resistance.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Fig 1 Number of *Oligonychus ilicis* consumed by *Euseius alatus* females, according to the density offered (circles observed; curves estimated) under laboratory conditions ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$; $70\pm 10\%$ RH; 14-h photophase).....54
- Fig 2 Number of eggs laid by females of *Euseius alatus* as a response to the density of the prey *Oligonychus ilicis* offered (circles observed; curves estimated) under laboratory conditions ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$; $70\pm 10\%$ RH; 14-h photophase).....55

ARTIGO 2

- Figura 1 Respostas olfativas de *Euseius alatus* obtidas no olfatômetro de tubo em “Y” em relação aos aleloquímicos da planta hospedeira (cafeeiro) e da presa *Oligonychus ilicis*. FSS = folha sem sintoma; FCS = folha com sintoma; Sub = subprodutos da presa: fezes e exúvias e teia (n = 80)..... 80

ARTIGO 3

- Figura 1 Número médio de adultos vivos, larvas e ninfas vivas de *Oligonychus ilicis* por folha de cafeeiro de acordo com as diferentes dosagens de silicato de potássio 15 dias após a segunda aplicação..... 104

| | | |
|----------|---|-----|
| Figura 2 | Número médio de ovos de <i>Oligonychus ilicis</i> por folha de cafeeiro de acordo com as diferentes dosagens de silicato de potássio 15 dias após a segunda aplicação..... | 105 |
| Figura 3 | Teor de silício (%) em folhas de cafeeiro submetidas a diferentes concentrações de silicato de potássio. Letras diferentes indicam diferença significativa determinada pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)..... | 106 |

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Table 1 Number (mean±SE) of the different life stages (larva, nymph, adult male, and adult) of *Oligonychus ilicis* preyed on by *Euseius alatus* (n=25) under laboratory conditions (25±2°C; 70±10% RH; 14 h photophase).....53
- Table 2 Functional response and oviposition rate of the predatory mite *Euseius alatus* fed on *Oligonychus ilicis* under laboratory conditions (25±2°C; 70±10% RH; 14-h photophase).....56

ARTIGO 2

- Tabela 1 Estímulos olfativos testados em olfatômetro de tubo “Y” em relação a sua atratividade a *Euseius alatus*.77

ARTIGO 3

- Tabela 1 Número (média±SE) de ácaros (adultos, larvas e ninfas) vivos de *Oligonychus ilicis* por folha de cafeeiro, em função do efeito tópico mais residual do silicato de potássio, após três e sete dias da primeira, sete e 15 dias da segunda aplicação..... 102
- Tabela 2 Número (média±SE) de ovos colocados de *Oligonychus ilicis* por folhacafeeiro, em função do efeito tópico mais residual do silicato de potássio, após três e sete dias da primeira, sete e 15 dias da segunda aplicação 103
- Tabela 3 Índice de dano (ID±SE) causado por *Oligonychus ilicis* em folha de cafeeiro em função da dose aplicada de silicato de potássio 107

| | | |
|----------|--|-----|
| Tabela 4 | Teores (média \pm SE) de taninos e lignina em folhas de cafeeiro tratadas com silicato de potássio | 108 |
| Tabela 5 | Número (média \pm SE) de adultos, larvas e ninfas vivas de <i>Oligonychus ilicis</i> por folha de cafeeiro, em função do efeito residual do silicato de potássio, após três, sete e 21 dias após a aplicação | 109 |
| Tabela 6 | Número (média \pm SE) de ovos de <i>Oligonychus ilicis</i> por folha de cafeeiro, em função do efeito residual do silicato de potássio, após três, sete e 21 dias após aplicação | 109 |

SUMÁRIO

| | |
|---|--|
| PRIMEIRA PARTE | |
| 1 | INTRODUÇÃO 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO 16 |
| 2.1 | Acultura do cafeeiro 16 |
| 2.2 | O ácaro vermelho-do-cafeeiro <i>Oligonychus ilicis</i> 16 |
| 2.3 | Controle biológico 18 |
| 2.3.1 | Respostas funcional e numérica 20 |
| 2.4 | O ácaro predador <i>Euseius alatus</i> 21 |
| 2.5 | Resposta olfativa de ácaro predador na localização da praga 23 |
| 2.6 | O silício 25 |
| 2.6.1 | Fontes de silício 28 |
| 2.6.2 | Aplicação de silício via foliar 28 |
| 2.6.3 | Silício na proteção das plantas 29 |
| | REFERÊNCIAS 32 |
| SEGUNDA PARTE - ARTIGOS 44 | |
| | ARTIGO 1 Predatory potential of <i>Euseius alatus</i> (Phytoseiidae) on different life stages of <i>Oligonychus ilicis</i> (Tetranychidae) on coffee leaves under laboratory conditions 44 |
| | ARTIGO 2 Resposta olfativa do ácaro predador <i>Euseius alatus</i> DeLeon, 1966 aos voláteis emitidos pelo cafeeiro e pelo ácaro <i>Oligonychus ilicis</i> (McGregor, 1917) (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) 70 |
| | ARTIGO 3 Aplicação de silicato de potássio para o controle de <i>Oligonychus ilicis</i>(McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro 93 |

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O cultivo, a industrialização e a comercialização do café (*Coffea* spp.) têm grande importância para o Brasil, pois é uma atividade de destaque na economia brasileira, contribuindo decisivamente para o desempenho da economia de diversas regiões do país (RIBEIRO, 2005). O Brasil é o maior produtor e o segundo maior consumidor mundial. As áreas cafeeiras estão concentradas no Centro-sul do país, onde Minas Gerais é o estado maior produtor, seguido pelos estados do Espírito Santo e São Paulo (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO -CONAB, 2014).

Com o aumento da área cultivada e da produção intensificam-se os problemas fitossanitários, como insetos e ácaros-pragas que causam danos a essa cultura. Entre os ácaros-praga, destaca-se o ácaro vermelho-do-cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) que pode causar reduções significativas na produção de café. Vive na superfície superior das folhas, que quando atacadas, apresentam-se recobertas por uma delicada teia, tecida pelo próprio ácaro. Para se alimentar, perfuram as células e absorvem parte do conteúdo celular, dando às folhas um aspecto bronzeado, e isso pode acarretar uma redução de até 50% no potencial de fotossíntese (FRANCO et al., 2009) e no crescimento de plantas novas (REIS; ZACARIAS, 2007).

O método mais utilizado para o controle do ácaro *O. ilicis* é o químico com o uso de acaricidas sintéticos (REIS; ZACARIAS, 2007), no entanto, apesar da facilidade de aplicação e do seu rápido efeito, muitos produtos são altamente tóxicos, além de causarem uma série de efeitos adversos, tais como, contaminação ambiental, risco ao aplicador e ainda favorecer o desenvolvimento de populações resistentes (DIEZ-RODRÍGUEZ; OMOTO, 2001).

Alguns produtos fitossanitários utilizados para o controle de pragas no Brasil estão sendo proibidos de serem produzidos e comercializados pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), devido à constatação da existência de graves efeitos sobre a saúde humana, por serem produtos extremamente tóxicos, com a classe toxicológica I. Esses produtos são capazes de causar intoxicação na mão de obra envolvida em sua aplicação nas lavouras.

Dessa forma, faz-se de fundamental importância o estudo de alternativas menos agressivas, que causem menor impacto ambiental. Nesse sentido, destaca-se o estudo da utilização de inimigos naturais para o controle do ácaro-praga *O. ilicis* e, dentre eles, os ácaros predadores pertencentes à família Phytoseiidae. Entre as espécies mais abundantes destaca-se *Euseius alatus* DeLeon, 1966 com aproximadamente 58% de ocorrência em Lavras, MG (REIS; ZACARIAS, 2007).

O controle biológico tem-se mostrado uma alternativa viável e econômica, sendo um método de comprovada eficiência. E para isso, o conhecimento do potencial predatório e a resposta funcional e numérica de uma espécie de predador são importantes para determinar sua capacidade em regular diferentes densidades de pragas (MURDUDUCH; OATEN, 1975) e identificar seu potencial como agente de controle biológico (SEPÚLVEDA; CARRILO, 2008). O conceito de resposta funcional tem sido amplamente utilizado para avaliar a eficácia de predadores de insetos e ácaros (BADII et al., 2004; DE CLERCQ; MOHAHEGH; TIRRY, 2000; EVERSON, 1980; LAING; OSBORN, 1974; REIS et al., 2003; SABELIS, 1985; TIMMS et al., 2008; TREXLER; MCCULLOCH; TRAVIS, 1988).

A compreensão do comportamento de busca de um inimigo natural em um agroecossistema auxilia na obtenção de maior eficiência em programas de controle biológico (MELO et al., 2011). As plantas quando atacadas pelos ácaros fitófagos se defendem produzindo compostos químicos voláteis que podem ser

usados como atraentes pelos ácaros predadores (MAEDA; TAKABAYASHI, 2001). E os voláteis emitidos pelos subprodutos da praga (teia, exúvias e fezes), pela presa e/ou pela planta hospedeira podem desempenhar importante papel na localização de presas pelo ácaro predador (COLLIER et al., 2000).

O ácaro *O. ilicis* é uma espécie que produz teia cuja densidade aumenta com a sua população (CALZA; SAUER, 1952; HEINRICH, 1972). E nessas teias ficam aderidos detritos, poeira, fezes e exúvias, produtos que podem causar interferência na localização da presa pelo predador. Existem poucos estudos sobre esta interferência, portanto, são necessárias mais informações, principalmente para o ácaro *O. ilicis* que é um produtor de teia.

Outro método alternativo ao controle químico é a indução de resistência nas plantas, que pode ser obtida por meio da aplicação de produtos químicos ou minerais. Estudos sugerem que o uso de silício é capaz de aumentar a resistência natural de maneira a impedir o desenvolvimento de pragas e doenças e assim possibilitar uma agricultura mais sustentável (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004).

Embora haja grande diversidade de estudos que comprovam a importância de silício como elemento benéfico às diversas culturas e como agente indutor de resistência às pragas, há poucos relatos de trabalhos envolvendo a aplicação de silício na cultura do cafeeiro e no efeito sobre os ácaros-praga dessa cultura.

Dessa forma este estudo teve como objetivo estudar o método de controle biológico com ácaro predador *E. alatus*, pertencente à família Phytoseiidae, e o método da indução da resistência pela aplicação foliar de silício como alternativas ao controle químico do ácaro *O. ilicis* em cafeeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Acultura do cafeeiro

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, e é também o segundo maior consumidor (AGRIANUAL, 2011). A cafeicultura brasileira tem se destacado como uma das mais produtivas e competitivas do mundo, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor brasileiro com produção em 2014/2015 estimada em 22,7 milhões de sacas de café beneficiado (arábica), seguida pelo estado do Espírito Santo com 12,2 milhões de sacas de café (Conilon mais arábica) e São Paulo 4,2 milhões de sacas (arábica) (CONAB, 2014). O café é um dos mais importantes produtos do setor agrícola brasileiro e é a segunda maior atividade geradora de divisas no mundo, perdendo apenas para o mercado do petróleo. As exportações da *commodity* bateram recordes em volume e receita, com a comercialização de 33,45 milhões de sacas de 60 quilos, que resultaram em faturamento de US\$ 8,7 bilhões (ANUÁRIO..., 2012). Na região Sul do estado de Minas Gerais, a cultura cafeeira representa 40% da arrecadação do ICM, comparável à da indústria nacional e a do comércio juntas (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002; RIBEIRO, 2005).

2.2 O ácaro vermelho-do-cafeeiro *Oligonychus ilicis*

Entre as pragas que se destacam como um dos mais sérios problemas na cultura do cafeeiros e encontra o ácaro *O. ilicis*, que já foi referido como a segunda praga em importância agrícola para o cafeeiro Conilon (*C. canephora*) no estado do Espírito Santo (INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ- IBC, 1985).

Essa espécie é conhecida no Brasil como ácaro vermelho-do-cafeeiro. Vive na superfície superior das folhas, e para se alimentar perfura as células e

absorve parte do conteúdo celular. Em consequência, as folhas perdem o brilho natural e tornam-se bronzeadas. O ataque geralmente ocorre em reboleiras, mas pode atingir toda a lavoura. Principalmente períodos de seca, com estiagem prolongada, são condições propícias ao desenvolvimento do ácaro, quando pode causar desfolha das plantas, sendo que em lavouras novas, ainda em formação, as plantas podem apresentar seu desenvolvimento retardado (REIS; SOUZA, 1986).

Espécies do gênero *Oligonychus* estão entre os tetraniquídeos que tecem teia, embora sua teia seja mais dispersa que a de outros ácaros da mesma família (GUTIERREZ; HELLE, 1985). *Oligonychus ilicis* é uma espécie comumente encontrada em cafeeiros, onde produz teias (HEINRICH, 1972) que são mais densas quanto maior for a população do ácaro (CALZA; SAUER, 1952). Nas teias produzidas ficam aderidos detritos, poeira, fezes e suas exúvias, dando às folhas um aspecto de sujeira (REIS; ZACARIAS, 2007). A produção de teia por ácaros é importante por diversas razões incluindo a sua proteção contra a ação de alguns predadores. (McMURTRY; HUFFAKER; VAN DE VRIE, 1970).

Além do cafeeiro, esse ácaro também infesta outras espécies vegetais como o eucalipto *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (Mirtaceae) (FLECHTMANN, 1983), e as ornamentais *Azalea* sp. (Ericaceae), *Camellia* spp. (Theaceae) e *Rhododendron* sp. (Ericaceae) (ROTA; BIRAGHI, 1987) entre outras.

Os ovos desse ácaro são de formato arredondado, apresentam coloração vermelho escura a rósea, brilhantes, com um filamento saindo da parte superior, e quase invisível a olho nu. As fêmeas ovipositam na superfície superior da folha e próximo às nervuras. O tempo de incubação encontrado por Reis, Alves e Souza (1997) foi de, aproximadamente 5,5 dias, em média, para machos e fêmeas. As larvas recém-eclodidas apresentam coloração rósea, são piriformes, hexápodes e se locomovem com dificuldade. A fase de larva tem duração média

em torno de 1,6 dias. No estágio de ninfa, o ácaro apresenta quatro pares de pernas (octópodes). Para passar de larva a protoninfa, o ácaro entra em estado de quiescência, chamado de protocrisálida, que tem duração média de 0,8 dias. Como protoninfa, o ácaro vive aproximadamente 1,2 dias. Antes de transformar-se em deutoninfa, passa por outro estágio quiescente, denominado de deutocrisálida, com duração de 0,7 dias. O estágio de deutoninfa dura, em média, 1,2 dias, ao final do qual passa novamente por um estado de quiescência, chamado teleiocrisálida, com duração de 0,9 dias em média. Todos os estágios entre ovo e adulto apresentam durações semelhantes para machos e fêmeas (REIS; ZACARIAS, 2007).

O ciclo de ovo a adulto, a 25°C de temperatura, para fêmeas foi de 11,6 dias e, para machos, de 11,8 dias, praticamente não havendo diferença entre eles (REIS; ALVES; SOUZA, 1997). Já Calza e Sauer (1952), a 23,5°C, relataram um ciclo de 11 a 17 dias, com média de 14 dias sem distinção entre sexos. Portanto em temperaturas mais elevadas o ciclo tende a ser menor e ocorre maior número de gerações.

2.3 Controle biológico

O controle biológico é resultado dos diversos tipos de interações entre dois ou mais organismos, o que ocasiona redução no crescimento populacional do organismo-alvo (TORRES; BASTOS; PRATISSOLI, 2009). Esforços consistentes e bem documentados de se utilizar ácaros como inimigos naturais de pragas agrícolas foram iniciados somente na segunda metade do século XX (MORAES et al., 2004). Sendo o primeiro relato de um ácaro da família Phytoseiidae, como predador de ácaros fitófagos, publicado por Parrot, Hodgkiss e Schoene (1906), que observaram *Typhlodromus pomi* (Parrot), agora

Metaseiulus pomi (Parrot) predando *Eriophyes pyri* (Pagenstecher, 1857) (Eriophyidae) em pereira.

Ácaros-praga podem ser naturalmente controlados no campo por uma grande diversidade de inimigos naturais, os quais têm potencial para serem utilizados em programas de controle biológico na agricultura (FADINI et al., 2009). Desse modo, os inimigos naturais precisam ser conservados (controle biológico conservativo), para que haja incremento dessa ação, com manutenção das densidades das pragas abaixo dos limiares de dano econômico.

O controle biológico conservativo é uma estratégia para promover a sobrevivência e incrementar o desempenho dos inimigos naturais existentes no campo, o qual resulta em reduções populacionais das pragas (BARBOSA, 1998; EILENBERG; HAJEK; LOWER, 2001). Os métodos utilizados para conservar e favorecer a atividade dos inimigos naturais inclui o fornecimento de alimentos alternativos, como néctar, pólen e *honeydew* e/ou presas alternativas em épocas diversas; áreas de refúgio e de microclima para condições adversas; voláteis, que modificam o comportamento das pragas e seus inimigos naturais e a utilização de práticas de controle seletivo de pragas (BARBOSA, 1998; GURR; WRATTEN; LUNA, 2003; LANDIS; WRATTEN; GURR, 2000).

Os ácaros predadores são os inimigos naturais mais utilizados no controle biológico de ácaros-praga, sendo que os mais encontrados em campo são os ácaros das famílias Phytoseiidae, Ascidae, Stigmaeidae, Bdellidae, Cheyletidae e Cunaxidae (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

O uso do controle biológico conservativo requer conhecimento sobre a estrutura e funcionamento da teia alimentar presente no sistema, para o uso de técnicas que visem à conservação e aumento das espécies desejáveis. São necessários estudos a respeito das exigências nutricionais e ecológicas dos inimigos naturais que servirão como guia na escolha da estratégia de manejo ambiental a ser utilizada. Além disso, é necessário verificar a eficiência dos

inimigos naturais e a viabilidade econômica ou ecológica de se aumentar sua ocorrência na área considerada (VENZON; SUJII, 2009).

2.3.1 Respostas funcional e numérica

O conceito de resposta funcional foi primeiro descrito por Holling (1959) e tem sido muito utilizado para avaliar a eficiência de predadores de insetos e ácaros para utilização em programas de controle biológico (BADII et al., 2004; DE CLERCQ; MOHAHEGH; TIRRY, 2000; EVERSON, 1980; LAING; OSBORN, 1974; REIS et al., 2003; SABELIS, 1985; TIMMS et al., 2008; TREXLER; MCCULLOCH; TRAVIS, 1988).

A atuação dos predadores no controle biológico leva em consideração a relação entre a densidade de presas e o número de presas atacadas, aspecto fundamental para a dinâmica predador-presa (O'NEIL, 1990).

A relação entre a proporção de presas atacadas em função de suas densidades é denominada de resposta funcional e, por resposta numérica, entende-se como sendo o aumento no número de predadores em função de um acréscimo na densidade de presas (FONSECA; CARVALHO; SOUZA, 2000; HOLLING, 1961).

A resposta funcional e numérica são componentes básicos da predação e originários da relação entre as densidades de presas e de predadores, podendo afetar diretamente o número de indivíduos predados (HOLLING, 1959).

A resposta funcional dos inimigos naturais a mudanças na densidade das presas é uma forma de constatação da variação na relação entre esses organismos, em que um aumento na disponibilidade de presas pode levar o predador a um aumento do consumo (SOLOMON, 1949).

As respostas, funcional e numérica, de um predador à densidade de presa podem seguir três tipos básicos: tipo I (linear), tipo II (convexa) e tipo III

(sigmoide). Na linear, o número de presas consumidas eleva-se linearmente até atingir um ponto máximo. Na convexa, o número de presas consumidas cresce com o aumento da densidade da presa, porém, começa a decrescer ao atingir um ponto máximo, ou seja, passa a apresentar uma redução na taxa de presas consumidas com o aumento de sua densidade. Na sigmoide, a representação gráfica do número de presas consumidas resulta em uma forma sigmoide com o aumento da densidade de presas, até atingir um ponto máximo de consumo por unidade de tempo. O primeiro tipo de resposta é supostamente típico de invertebrados aquáticos; o segundo, de artrópodes predadores e parasitoides e o terceiro, de vertebrados predadores (DE CLERCQ; MOHAHEGH; TIRRY, 2000; HOLLING, 1959; TIMMS et al., 2008; TREXLER; MCCULLOCH; TRAVIS, 1988).

A resposta funcional de um ácaro predador pode diferir como resultado de uma série de fatores: diferentes histórias nutricionais (CASTAGNOLI; LIGUORI; SIMONI, 1999), temperatura ambiente (GOTOH; MITSUYOSHI; YAMAGUCHI, 2004) e a utilização de pesticidas (POLETTI; MAIA; OMO, 2002).

2.4 O ácaro predador *Euseius alatus*

Ácaros predadores pertencentes à família Phytoseiidae, entre eles *E. alatus* são importantes reguladores de populações de ácaros fitófagos nos agroecossistemas cafeeiros (REIS; ZACARIAS, 2007). Os fitoseídeos são ácaros predadores de ácaros-praga mais importantes e estudados (MCMURTRY; CROFT, 1997). Especialmente desde 1960, ficou evidenciado que algumas espécies eram importantes inimigos naturais de ácaros fitófagos (MCMURTRY; HUFFAKER; VRIE, 1970).

Estudando a flutuação populacional do ácaro da mancha-anular do cafeeiro, *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Tenuipalpidae), durante três anos, Reis et al. (2000) constataram também a ocorrência de inimigos naturais, como ácaros predadores pertencentes às famílias Phytoseiidae, Stigmaeidae e Bdellidae. Entre os fitoseídeos, mais conhecidos e estudados, a espécie *E. alatus* foi a mais abundante com aproximadamente 58% de ocorrência seguida de *Amblyseius herbicolus* (Chant, 1959) com 33,6%, *Amblyseius compositus* Denmark, 1973 com 6,9% e *Iphiseiodes zuluagai* Denmark e Muma, 1973 com 1,5% do total de ácaros predadores mais encontrados dessa família em lavouras de café. Considerando somente as duas espécies mais encontradas, a proporção de ocorrência foi de 63% para *E. alatus* e de 37% para *A. herbicolus*.

Uma das características mais importantes dos fitoseídeos é a baixa exigência alimentar para sua manutenção, o que os torna mais eficientes que predadores de outros grupos (MORAES, 1991).

A espécie *E. alatus* foi descrita por DeLeon em 1966 sobre *Cassia bicapsularis* em Georgetown, nas Guianas Britânicas. As espécies de ácaros do gênero *Euseius* têm sido relatadas como predadoras eficientes de ácaros fitófagos de várias espécies e em diversos cultivos. O gênero *Euseius* compreende aproximadamente 150 espécies (MORAES et al., 2004) e são consideradas polítrófagas, mas, também se alimentam de um grande número de insetos e ácaros (MUMA, 1971). Esta característica pode ser interessante para a sobrevivência dos ácaros predadores na ausência de seu principal alimento.

No Brasil, *E. alatus* apresenta ampla distribuição, ocorrendo desde o Ceará até o Rio Grande do Sul (MORAES et al., 2004). No Nordeste, ocorre associado a diversas culturas, sobretudo fruteiras, tais como acerola, banana, caju, cajá, citros, coqueiro, manga, mamão e maracujá (BARBOSA et al., 2003; GODIM JUNIOR; MORAES, 2001; MORAES; MCMURTRY, 1983), nas

regiões Sudeste e Sul foi detectado em cafeeiro, citros (MORAES; MCMURTRY, 1983) e macieira (FERLA; MORAES, 1998).

2.5 Resposta olfativa de ácaro predador na localização da praga

Para se defenderem de pragas, às plantas apresentam defesas constitutivas, que são naturalmente presentes, e defesas induzidas, ausentes ou de pouca expressividade em plantas sadias (AGRAWAL, 2007).

A defesa constitutiva de plantas se expressa fisicamente na forma de domácias, tricomas e cutículas espessas, ou por meio de metabólitos secundários produzidos pelas plantas como os terpenoides, compostos fenólicos e nitrogenados, fazendo com que os herbívoros as evitem (AGRAWAL, 1998, 2007; SCHOONHOVEN; LOON; DICKE, 2005).

As defesas induzidas são aquelas existentes quando as plantas produzem odores para se protegerem indiretamente contra o ataque de artrópodes herbívoros, como, por exemplo, voláteis que atraem inimigos naturais dos herbívoros (ARIMURA; KOST; BOLAND, 2005; DICKIE et al., 2003). A defesa induzida pode ser definida como uma mudança fisiológica na qualidade da planta, que é resultado de um dano causado pelo herbívoro e tem um efeito negativo no desempenho desse organismo na planta (KARBAN; BALDWIN, 1997).

A defesa induzida pode ocorrer de forma direta ou indireta (AGRAWAL et al., 2002). A forma direta de defesa induzida expressa pelas plantas ao ataque de herbívoros está baseada em vários mecanismos de defesa como, por exemplo, a produção de inibidores de proteases em várias espécies de planta incluindo o tomateiro (CHEN et al., 2005; KANT et al., 2004). A forma indireta de defesa induzida das plantas constitui a produção de compostos voláteis que servem

como indicadores aos inimigos naturais de herbívoros na localização das plantas hospedeiras de suas presas (AGRAWAL et al., 2002; DICKE et al., 1998, 2003).

Os voláteis liberados pelas plantas, quando atacadas por herbívoros, são referidos como HIPV's (*Herbivore Induced Plant Volatiles*), e variam qualitativamente e quantitativamente dependendo da espécie (TAKABAYASHI; DICKE; POSTHUMUS, 1991; WIJK; DE BRUIJN; SABELIS, 2008) da variedade da planta (DICKE et al., 1990), da idade da planta (TAKABAYASHI et al., 1994), da densidade de herbívoros (MAEDA; TAKABAYASHI, 2001) e do nível de infestação (NACHAPPA et al., 2006).

Esses voláteis são “metabólitos secundários das plantas”. É estimado que as plantas apresentem a capacidade de produzir mais de 100.000 compostos orgânicos diferentes, que podem ser usados como compostos de defesa contra herbívoros. Alguns exemplos destes compostos secundários são: terpenos, fenólicos, compostos orgânicos contendo nitrogênio (glucosinolatos, glicosídeos cianogênicos) e compostos voláteis (WALTERS, 2011).

Os ácaros predadores são capazes de localizar plantas infestadas com suas presas fitófagas através dos voláteis produzidos pela planta em resposta aos danos causados. Como, por exemplo, os ácaros fitófagos como *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard, 1960 e *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Tetranychidae) podem induzir a produção de voláteis pelas plantas, os quais por sua vez podem atrair inimigos naturais desses herbívoros (DICKE et al., 1998, 2003).

Os predadores pertencentes à família Phytoseiidae são capazes de captar os voláteis pela presença de quimiorreceptores nos palpos e tarso do primeiro par de pernas (AKKERHUIS; SABELIS; TJALLINGII, 1985). Como o ácaro *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954) (Phytoseiidae) que é capaz de ser atraído pelos voláteis emitidos pelas plantas de feijão-de-porco, *Canavalia ensiformis* (L.) DC. (Fabaceae), infestadas pelo ácaro *T. urticae* (SHIMODA et

al., 2005). Existem diversos estudos que comprovam a atração de ácaros predadores por voláteis emitidos por plantas infestadas com ácaros-praga (MELO et al., 2011; NACHAPPA et al., 2006; SHIMODA, 2010).

Algumas características como a produção de teia e outros subprodutos (ovos, fezes e exúvias) dos ácaros fitófagos da família Tetranychidae (MCMURTRY; HUFFAKER; VRIE, 1970) podem influenciar na localização da presa pelo predador. Como foi observado em experimento com olfatômetro no processo de localização de *Panonychus ulmi* (Koch, 1836) e *T. urticae* (Tetranychidae) por *N. californicus*, tanto os estímulos olfativos da presa e de seus subprodutos, como aqueles emitidos pelas plantas atacadas, podem funcionar como sinalizadores para o predador localizar as “colônias” de ácaros fitófagos (COLLIER et al., 2001).

Porém são necessários estudos específicos com os ácaros-praga para o conhecimento dos subprodutos produzidos por eles e se podem influenciar na sua localização pelos ácaros predadores.

2.6 O silício

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre depois do oxigênio (EPSTEIN, 1999); ocorre na forma de ácido monossílico (H_4SiO_4) e juntamente com a água (fluxo de massa) é prontamente absorvido pelas plantas, nas quais o seu conteúdo varia amplamente (RAVEN, 1983). Após absorvido, a água é evaporada e o silício é depositado no tecido da planta, não ocorrendo a sua translocação (MA; TAKAHASHI, 1990a, 1990b; MIYAKE; TAKAHASHI, 1983).

O silício é depositado, principalmente, na forma de $SiO_2.nH_2O$ amorfo ou opala e uma vez depositado fica imóvel e não é redistribuído (RAVEN, 1983).

O ácido silícico é a única forma disponível de silício para as plantas, e diversos fatores podem influenciar o seu teor no solo. Os principais fatores que aumentam a sua disponibilidade são: adição de fertilizantes silicatados, a água de irrigação, a dissolução de ácido silícico polimérico, a liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, a dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos e a decomposição de resíduos vegetais (SAVANT; SNYDER; DATNOFF, 1997).

O conteúdo de Si nas plantas pode variar de 0,1% a 10% em base seca, concentrando-se nos tecidos do caule e das folhas, mas também pode ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos (RAVEN, 1983).

As plantas podem ser classificadas como acumuladoras e não acumuladoras de Si, de acordo com suas habilidades, e podem ser avaliadas de acordo com a relação molar Si:Ca encontrada nos tecidos. Nas relações acima de 1,0, as plantas são consideradas acumuladoras; entre 1,0 e 0,5 são consideradas intermediárias e menor do que 0,5, não acumuladoras (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001; MIYAKE; TAKAHASHI, 1983).

Jones e Handreck (1967), com base no conteúdo de Si em tecidos, distinguiram três grupos de plantas: as dicotiledôneas, com concentrações na ordem de 0,1%; as gramíneas de terra seca, tais como aveia e arroz, que tem cerca de 1% e as gramíneas de solo alagado, com níveis na ordem de 5% ou maiores. Plantas com mais de 1% de Si na matéria seca foram consideradas como acumuladoras e 34 espécies, ou aproximadamente 19%, foram enquadradas nessa categoria. O valor correspondente às não acumuladoras (81% das espécies) foi de 0,25% de Si na matéria seca.

Nas plantas acumuladoras, com teor bastante elevado de Si, a absorção está ligada à respiração aeróbica, sendo representantes desse grupo plantas de arroz e cana-de-açúcar. Plantas intermediárias, como as cucurbitáceas e a soja, apresentam uma quantidade considerável de Si. Já as plantas não acumuladoras

são caracterizadas por baixo teor de Si, mesmo com altos níveis desse elemento no meio, existindo um provável mecanismo de exclusão. Como exemplo, o morango, tomate, cafeeiro e outras dicotiledôneas (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004; REIS et al., 2007).

Apesar de ser um constituinte majoritário dos vegetais (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995), o silício não é considerado como elemento essencial, pois suas características não se enquadram nos conceitos de essencialidade estabelecidos por Arnon e Stout (1939). Porém, diversos benefícios agrônômicos foram atribuídos ao silício, sendo, portanto, considerado como elemento benéfico ou útil para a maioria das plantas superiores (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995).

O Si é considerado útil porque pode aumentar o rendimento de algumas espécies cultivadas, promovendo vários processos fisiológicos desejáveis para as plantas, como o aumento da produtividade e o crescimento de diversas culturas entre elas as gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, milho, trigo, sorgo, aveia, milheto e forrageiras) e muitas não gramíneas como feijão, tomate, brássicas e alface (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

Várias classes de solo da Região Central do Brasil, principalmente nas áreas sob vegetação de Cerrado, são pobres em matéria orgânica e em Si solúvel disponível para as plantas (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004). Nessas condições, podem ser esperadas respostas das plantas à aplicação de Si na forma de fertilizantes e/ou corretivos silicatados.

Aubos contendo silício são usados em vários países e esse elemento tem sido considerado chave para a sustentabilidade, não apenas da agricultura convencional, mas também da agricultura orgânica (REIS et al., 2007).

2.6.1 Fontes de silício

Diversas fontes são usadas para fornecer silício às plantas (SAVANT et al., 1999). Os fertilizantes contendo Si podem ser aplicados via solo ou foliar, sendo os silicatos as principais fontes de silício utilizadas no Brasil (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004).

De maneira geral, ambos os tipos de fonte de Si, insolúvel e solúvel, têm como objetivo suprir as plantas desse elemento. Entretanto, elas diferem no modo de aplicação e nos cátions acompanhantes e com isso alteram o efeito direto e indireto das fontes, o que, do ponto de vista técnico, podem se complementar em função da resposta da planta a cada fonte (REIS et al., 2007).

2.6.2 Aplicação de silício via foliar

O silício aplicado via foliar se deposita na superfície das folhas e desempenha papel semelhante àquele aplicado via solo e pode ser responsável por efeitos protetores contra estresses bióticos, prevenindo o ataque por insetos e ou tornando as células das plantas menos suscetíveis à degradação enzimática por fungos patogênicos (ALVAREZ; DATNOFF, 2001).

A aplicação foliar de fontes de silicato solúveis tem sido o foco de várias pesquisas e os resultados mostram um aumento da resistência da planta contra estresses bióticos após a aplicação do silício via foliar, sendo, portanto bastante promissores em várias culturas, mesmo para as que não são acumuladoras do elemento (REIS et al., 2007).

De qualquer forma, a aplicação foliar de fontes de Si ainda deve continuar a ser estudada, já que não existem evidências consistentes da absorção de Si pelas plantas (GUÉVEL; MENZIES; BÉLANGER, 2007).

O silicato de potássio (K_2SiO_3) foi utilizado em investigações do efeito do Si e tem demonstrado reduzir infestações de pragas (KEEPING; KVEDARAS, 2008; LAING; GATARAYIHA; ADANDONON, 2006; SAVANT; SNYDER; DATNOFF, 1997).

2.6.3 Silício na proteção das plantas

O silício pode conferir proteção e resistência a fatores abióticos e estresses bióticos, principalmente ao ataque de insetos herbívoros e ao desenvolvimento e penetração de hifas dos fungos nos tecidos vegetais (MA et al., 2006; KVEDARAS et al., 2007; MASCHNER, 1995). Estes efeitos podem ocorrer devido a mudanças no padrão de crescimento, na morfologia, na anatomia e, particularmente, na composição química das mesmas, por meio de células epidérmicas mais espessas e pelo elevado grau de lignificação e ou silificação (MARSCHNER, 1995).

Além do seu importante papel como indutor de resistência às pragas de importância agrícola, o silício desempenha diversas outras funções benéficas nessas culturas como crescimento e desenvolvimento normal das plantas, melhoria da capacidade fotossintética, melhoria na arquitetura da planta (DEREN, 2001), maior tolerância ao estresse hídrico e redução à suscetibilidade ao estresse hídrico (DATNOFF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001; MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995).

A proteção às plantas pelo silício pode ser também decorrente do seu acúmulo e polimerização de silicatos (sílica amorfa) nas células epidérmicas, logo abaixo da cutícula, formando uma barreira mecânica conhecida como “dupla camada silício-cutícula” que, pela diminuição da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004). É reconhecido como uma defesa constitutiva da planta

(DJAMIN; PATHAK, 1967; KVEDARAS et al., 2007; KVEDARAS; KEEPING, 2007). Essa barreira mecânica é capaz de dificultar o ataque de insetos sugadores e mastigadores (EPSTEIN, 1999).

A ação do silício sobre os herbívoros pode ser considerada de duas formas: ação direta e indireta (KVEDARAS; KEEPING, 2007). Os efeitos diretos são a redução no crescimento, redução na reprodução do inseto e uma redução do dano à cultura. E os efeitos indiretos podem ser a diminuição ou atraso do ataque do inseto na planta. Essa dificuldade reduziria o tempo de exposição da planta aos inimigos naturais, às condições climáticas adversas e às medidas de controle como o químico.

Portanto, o silício é um elemento capaz de aumentar a resistência natural das plantas, possibilitando assim uma agricultura mais sustentável, com menor custo. A crescente demanda nutricional por variedades cada vez mais produtivas, assim como o aumento de áreas plantadas em solos de baixa fertilidade têm exigido uma melhor compreensão da dinâmica dos nutrientes na cultura do cafeeiro. No Brasil, são considerados poucos os experimentos relacionados com o efeito que o silício apresenta no controle das principais pragas do cafeeiro (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004).

Fernandes et al. (2009) observaram que aplicações de silicato de potássio via foliar na cultura do cafeeiro reduziram a infestação do bicho-mineiro do cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae).

Existem vários estudos que demonstraram o aumento da resistência em plantas com Si a insetos herbívoros (KVEDARAS et al., 2007; KVEDARAS; KEEPING, 2007), porém, poucos estudos com ácaros. Pesquisa com o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) em que foi realizada aplicação de silicato de potássio via solo apresentou um efeito positivo

na proteção contra a infestação do ácaro em plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas (GATARAYIHA; LAING; MILLER, 2010).

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, A.A. Induced responses to herbivory and increased plant performance. **Science**, New York, v.279, n. 12, p. 1201-1202, Feb. 1998.

AGRAWAL, A.A. Macroevolution of plant defense strategies. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v.22, n. 2, p.103-109, Dec. 2007.

AGRAWAL, A.A. et al. An ecological cost of plant defense: attractiveness of bitter cucumber plants to natural enemies of herbivores. **Ecology Letters**, Oxford, v.5, n. 3, p.377-385, May 2002.

AGRIBUS. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2011. 230 p.

AKKERHUIS, G.J.O.; SABELIS, M.W.; TJALLINGII, W.F. Ultrastructure of chemoreceptors on pedipalps and first tarsi of *Phytoseiulus persimilis*. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v.1, p.235-251, 1985.

ALVAREZ, J.; DATNOFF, L. E. The economics of silicon for integrated management and sustainable production of rice and sugarcane. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 209-219.

ANUÁRIO do café. Uberlândia: Campo e Negócios, 2012. 98p.

ARIMURA, G.I.; KOST, C.; BOLAND, W. Herbivore-induced, indirect plant defenses. **Biochemical et Biophysical Acta**, Alberta, n.1734, p.91-111, 2005.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Lancaster, v.14, p.371-375, 1939.

BADII, M.H. et al. Prey stage preference and functional response of *Euseius hibisci* to *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v.34, n. 3/4, p.263-273, Nov. 2004.

BARBOSA, D.G. F.et al. Diversidade de ácaros em aceroleira (*Malpighia emarginata*) na Universidade Federal Rural de Pernambuco em Recife. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.32, n.4, p.577-583, 2003.

BARBOSA, P. **Conservation biological control**. San Diego: Academic, 1998. 396p.

CALZA, R.; SAUER, H.F.G. A aranha vermelha dos cafezais. **O Biológico**, São Paulo, v.18, n.12, p.201-208, 1952.

CASTAGNOLI, M.; LIGUORI, M.; SIMONI, S. Effect of two different host plants on biological features of *Neoseiulus californicus* (McGregor). **International Journal of Acarology**, Oak Park, v.25 n. 2, p. 145-150, June 1999.

CHEN, M.S. et al. Synthesis and crystal structure of a hexameric organooxotin cluster from benzilic acid. China. **Journal of Structural Chemistry**, Deerfield Beach, v.24, n. 11, p.1249-1253, 2005.

COLLIER, K. F.S. et al. Estímulos envolvidos na localização de presas pelo ácaro predador *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) em macieiras e plantas hospedeiras alternativas. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.30, n. 4, p.631-639, dez. 2001.

COLLIER, K.F.S. et al. Localização de presas a curta distância por *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae): o papel dos aleloquímicos dos ácaros fitófagos *Panonychus ulmi* (Koch) e *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) e da planta hospedeira, *Malus domestica* (Borkham). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.29, n. 4, p.705-713, dez. 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café, safra 2014, segundo levantamento, maio 2014.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_05_20_08_49_17_boletim_maio-2014.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2014.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 403p.

DE CLERQ, P.; MOHAHEGH, J.; TIRRY, L. Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Biological Control**, Orlando, v.18, n. 1, p.460-470, May 2000.

DEREN, C. Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Wageningen: Elsevier Science, 2001. p.149-158.

DICKE, M. et al. Mixed blends of herbivore-induced plant volatiles and foraging success of carnivorous arthropods. **Oikos**, Buenos Aires, v.101, n. 1, p.38-48, Apr. 2003.

DICKE, M. et al. Plant-phytoseiid interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: variation in production of cues and in responses of predatory mites. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 22, n. 6, p. 311-333, June 1998.

DICKE, M. et al. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v.16, n. 11, p.3091-3118, Nov. 1990.

DÍEZ-RODRIGUEZ, G. I.; OMOTO, C. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) à lambda-cialotrina. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.2, n. 2, p. 311-316, June 2001.

DJAMIN, A.; PATHAK, M.D. Role of silica in resistance to Asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* Walker, in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v.60, p.347-351, 1967.

EILENBERG, J.; HAJEK, A.; LOWER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. **Bio Control**, Dordrecht, v.46, n.4, p.387-400, 2001.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academic Science**, Fort Lauderdale, v.91, n. 1, p.11-17, Jan. 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.

EVERSON, P. The relative active and functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) and *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae): the effect of temperature. **Canadian Entomology**, Ottawa, v.112, p. 17-24, 1980.

FADINI, M.A.de et al. Uso de ácaros predadores para o controle biológico de ácaros-praga. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.30, n. 251, p.34-40, jul./ago. 2009.

FERLA, N. J.; MORAES, G.J. Ácaros predadores em pomares de maçã no Rio Grande do Sul. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.27, n.4, p.649-654, 1998.

FERNANDES, A.L.T. et al. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. **Revista Uberaba**, Uberaba, n.6, p.11-52, 2009.

FLECHTMANN, C.H.W. Dois ácaros novos para o eucalipto, com uma lista daqueles já assinalados para esta planta. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v.23, p.43-46, 1983.

FONSECA, A.R.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Resposta funcional de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 29, n.2, p.309-317, 2000.

FRANCO, R. A. et al. Influência da infestação de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) sobre a taxa de fotossíntese potencial de folhas de cafeeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.76, n.2, p.205-210, 2009.

GATARAYIHA, M.C.; LAING, M.D.; MILLER, R.M. Combining applications of potassium silicate and *Beauveria bassiana* to four crops to control two spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. **International Journal of Pest Management**, London, v.56, n.4, p. 291-297, 2010.

GONDIM JUNIOR, M.G.C.; MORAES, G.J. de. Phytoseiid mites (Acari) associated with palm trees (Arecaceae) in Brazil. **Systematic and Applied Acarology**, Amsterdam, v.6, p.65-94, July 2001.

GOTOH, T.; MITSUYOSHI, N.; YAMAGUCHI, K. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of twospotted spider mite in the laboratory. **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v.39, n. 1, p.97-105, Dec. 2004.

GUÉVEL, M.H.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, Amsterdam, v.119, n.4, p.119-130, 2007.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; SOUZA, C.A.S. (Ed.). **Cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 317p.

GURR, G.M.; WRATTEN, S.D.; LUNA, J.M. Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. **Basic and Applied Ecology**, Jena, v.4, n.2, p.107-116, 2003.

GUTIERREZ, J.; HELLE, W. Evolutionary changes in the Tetranychidae. In: HELLE, W.; SABELIS, M.W (Ed.). **Spider mites: their biology, natural enemies and control**. Amsterdam: Elsevier, 1985. v. 1, p. 91-107.

HEINRICH, W.O. **Contribuição ao estudo da biologia do *Oligonychus (Oligonychus) ilicis* (Acarina: Tetranychidae)**.1972. 116 f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1972.

HOLLING, C.S. The components of predation as revealed by study of small mammal predation of the European Pine Sawfly. **Canadian Entomology**, Ottawa, v.91, p.293-320, 1959.

HOLLING, C.S. Principles of insect predation. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 6, p. 163-182, 1961.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. Cultivo do café conillon. In:_____. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1985. p.527-556.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.107-149, 1967.

KANT, M.R. et al. Differential timing of spider mite-induced direct and indirect defenses in tomato plants. **Plant Physiology**, Washington, v.135, n. 1, p.483-495, May 2004.

KARBAN, R.; BALDWIN, T. **Induced responses to herbivory**. Chicago: University of Chicago, 1997.317 p.

KEEPING, M.G.; KVEDERAS, O.L. Silicon as a plant defense against insect herbivory: response to Massey, Ennos and Hartley. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v.77, n. 3, p.631-633, Mar. 2008.

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças na cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.70, p.1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU, 2004. 24p. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico, 1).

KVEDARAS, O. L. et al. Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* Walker and stalk damage in sugarcane: influence of plant silicon, cultivar and feeding site. **International Journal of Pest Management**, London, v. 53, n. 3, p. 183-194, Oct. 2007.

KVEDARAS, O.L.; KEEPING, M.G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Hoboken, v.125, n. 1, p.103-110, 2007.

LAING, J.E.; OSBORN, J.A.F. The effect of prey density on functional and numerical response of three species of predatory mites. **Entomophaga**, Paris, v.19, p.267-277, 1974.

LAING, M.D.; GATARAYIHA, M.C.; ADANDONON, A. Silicon use for pest control in agriculture: a review. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, Brisbane, v.80, n. 3, p.278-286, 2006.

LANDIS, D.A.; WRATTEN, S.D.; GURR, G.M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agricultural. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v.45, p.175-201, 2000.

MA, J.; TAKAHASHI, E. The effect of silicic acid in a P-deficient soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 126, n. 1, p. 121-125, Aug. 1990a.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, The Hague, v. 126, n. 1, p.115-119, Aug. 1990b.

MA, J. F. et al. Silicone transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, n. 7084, p. 688-691, 2006.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Wageningen: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

MAEDA, T.; TAKABAYASHI, J. Production of herbivore-induced plant volatiles and their attractiveness to *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) with changes of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) density on plant. **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v.36, n. 6, p.47-52, June 2001.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2rded. New York: Academic, 1995. 889p.

MCMURTRY, J.A.; CROFT, B.A. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v.42, p.291-321, 1997.

MCMURTRY, J.A.; HUFFAKER, C.B.; VRIE, M. van de. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review I., Tetranychidae enemies: their biological characters and the impact of spray practices. **Hilgardia**, Berkeley, v.40, p.331-390, 1970.

MELO, J.W.S. et al. Olfactory response of predatory mites to vegetative and reproductive parts of coconut palm infested by *Aceria guerreronis*. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v.55, n. 2, p.191-202, Oct. 2011.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth of solution cultured cucumber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.29, p. 71-83, 1983.

MORAES, G.J. Controle biológico de ácaros fitófagos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.15, p.56-52, 1991.

MORAES, G.J. et al. A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. **Zootaxa**, Auckland, v. 434, n. 1, p. 1-494, 2004.

MORAES, G.J.; FLECHTMANN, C.H.W. **Manual de acarologia**. Ribeirão Preto: Holos, 2008.288p.

MORAES, G.J.; MCMURTRY, J.A. Phytoseiid mites (Acarina) of northeastern Brazil with descriptions of four new species. **International Journal of Acarology**, Oak Park, v.9, p.131-148, 1983.

MUMA, M.H. Food habits of Phytoseiidae (Acarina: Mesostigmata) including common species on Florida citrus. **Florida Entomologist**, Gainesville, v.54, n.1, p.21-34, 1971.

MURDOCH, W.W.; OATEN, A. Predation and population stability. **Advantages in Ecological Research**, London, v.9, p.2-131, 1975.

NACHAPPA, P. et al. *Phytoseiulus persimilis* response to herbivore-induced plant volatiles as a function of mite-days. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v.40, n. 3/4, p.231-239, Dec. 2006.

O'NEIL, R.J. Functional response of arthropod predators and its role in the biological control of insects pests in agricultural systems. In: _____. **New direction in biological control: alternatives for suppressing agricultural pests and diseases**. New York: Academic, 1990. p. 83-86.

PARROT, P.J.; HODGKISS, H.E.; SCHOENE, W.J. The apple and pear mites. **Bulletin New York Agricultural Experimental Station**, New York, v.283, p.281-318, 1906.

POLETTI, M.; MAIA, A.H.N.; OMOTO, C. Toxicity of neonicotinoid insecticides to *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on functional response to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Biological Control**, Orlando, v.40, n. 3, p.30-36, Mar. 2007.

RAVEN, J.A. The transport and function of silicone in plants. **Biological Reviews**, Cambridge, v.58, n.3, p.179-207, 1983.

REIS, P.R.; ALVES, E.B.; SOUSA, E.O. Biologia do ácaro-vermelho do cafeeiro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.21, n.3, p. 260-266, maio/jun. 1997.

REIS, P.R. et al. Effect of prey density on the functional and numerical response of two species of predaceous mites (Acari: Phytoseiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v.32, n. 3, p. 461-467, July/Sept. 2003.

REIS, P.R. et al. Flutuação populacional do ácaro da mancha-anular do cafeeiro e seus inimigos naturais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA-Café, 2000. v.2, p.1210-1212.

REIS, P.R.; SOUZA, J.C. Pragas do cafeeiro. In: RENA, A.B. et al.(Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.323-378.

REIS, P.R.; ZACARRIAS, M.S. **Ácaros em cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 76p. (Boletim Técnico, 81).

REIS, T. H. P. et al. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 119p. (Boletim Técnico, 82).

RIBEIRO, A.R. Panorama setorial: o complexo agroindustrial cafeeiro no Brasil. **Análise**, Jundiaí, n.11, p.23, fev. 2005. Disponível em: <http://www.anchieta.br/unianchieta/pos_pesquisa_extensao/pesquisa/revistas/analise/pdf/analise11.pdf#page=23>. Acesso em: 30 maio 2012.

ROTA, P.; BIRAGHI, C. *Oligonychus ilicis* (McGregor): acaro Tetranychidae nuovo per l'Z Europe, fitófago su azalea, camelie e rododendri. **L'Informatore Agrario**, Verona, v.43, n.15, p.105-107, 1987.

SABELIS, M.W. Predator-prey interaction: predation on spider mites. In: HELLE, W.; SABELIS, M.W. (Ed.). **Spider mites: their biology, natural enemies and control**. Amsterdam: Elsevier Science, 1985. p.103-129.

SAVANT, N.K. et al. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.22, n. 12, p.1853-1903, Nov. 1999.

SAVANT, N.K.; SNYDER, G.D.; DATNOFF, L.E. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, London, v.58, p.151-199, 1997.

SCHOONHOVEN, L.M.; LOON, J.J.A.V.; DICKE, M. **Insect-plant biology**. 2nded. Oxford:University of Oxford, 2005.440p.

SEPÚLVEDA, F.; CARRILLO, R. Functional response of the predatory mite *Chiliseius camposi* (Acarina: Phytoseiidae) on densities of its prey, *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae). **International Journal of Tropical Biology**, Wallingford, v.56, n. 3, p.1255-1260, Sept. 2008.

SHIMODA, T. A key volatile infochemical that elicits a strong olfactory response of the predatory mite *Neoseiulus californicus*, an important natural enemy of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v.50, n. 1, p.9-22, Jan. 2010.

SHIMODA, T. et al. The involvement of volatile infochemicals from spider mites and from food-plants in prey location of generalist predatory mite *Neoseiulus californicus*. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 31, n. 9, p. 2019-2032, 2005.

SOLOMON, M.E. The natural control of animals populations. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v.19, n.1, p. 1-35, 1949.

TAKABAYASHI, J.; DICKE, M.; POSTHUMUS, M.A. Variation in composition of predator-attracting allelochemicals emitted by herbivore-infested plants: relative influence of plant and herbivore. **Chemoecology**, Basel, v.2, n. 1, p. 1-6, Dec. 1991.

TAKABAYASHI, J. et al. Leaf age effects composition of herbivore-induced synomones and attraction of predatory mite. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v.20, n. 2, p. 373-386, Feb. 1994.

TIMMS, J.E. et al. The effects of host plant on three coccinellid functional response: is the conifer specialist *Aphidecta obliterate* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) better adapted to spruce than the generalist *Adatia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae)? **Biological Control**, Orlando, v.47, n. 3, p.273-281, Dec. 2008.

TORRES, J.B.; BASTOS, C.S.; PRATISSOLI, D. Controle biológico de pragas com uso de insetos predadores. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.30, n. 251, p.17-32, jul./ago. 2009.

TREXLER, J.C.; MCCULLOCH, C.E.; TRAVIS, J. How the functional response best be determined? **Oecologia**, Berlin, v.76, p.206-214, 1988.

VENZON, M.; SUJII, E.R. Controle biológico conservativo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.30, n. 251, p.7-16, jul./ago. 2009.

WALTERS, D.R. **Plant defense warding off attack by pathogens, herbivores, and parasitic plants**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011. 236p.

WIJK, M. van; DE BRUIJN, P.J.A.; SABELIS, M.W. Predatory mite attraction to herbivore-induced plant odor is not a consequence of attraction to individual herbivore-induced plant volatiles. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 34, n. 6, p.791-803, June 2008.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 **Predatory potential of *Euseius alatus* (Phytoseiidae) on different life stages of *Oligonychus ilicis* (Tetranychidae) on coffee leaves under laboratory conditions**

Melissa A. de Toledo

Paulo Rebelles Reis

Erika Carla da Silveira

Patrícia de Pádua Marafeli

Giselle Christiane de Souza-Pimentel

O presente artigo foi redigido conforme as normas da revista científica “Neotropical Entomology”, ISSN: 1519-566X

[este trabalho já foi publicado: Neotrop Entomol (2013) 42:185-190].

ABSTRACT

This study evaluated the predatory capacity of *Euseius alatus* (DeLeon) as a biological control agent of the pest mite *Oligonychus ilicis* (McGregor) on coffee leaves under laboratory conditions, using arenas containing 25 *O. ilicis* per coffee (*Coffea arabica*) leaf to one specimen of each stage of the predator mite. The functional response and oviposition rate of adult females of *E. alatus* were evaluated on coffee leaf arenas and offered from 1 to 125 immature stages of *O. ilicis* per arena. The number of preys killed and the number of eggs laid by the predator were evaluated every 24 h during 8 days. The preys consumed were daily replaced. Male and female adults of *E. alatus* were the most efficient in killing all developmental stages of *O. ilicis*. Larvae and nymphs of *O. ilicis* were the most consumed by all stages of the predatory mite. The functional response and oviposition rates of *E. alatus* increased as the prey density increased, with a positive and highly significant correlation. Regression analysis suggested a type II functional response, with a maximum predation of 22 *O. ilicis*/arena and a maximum oviposition rate of 1.7 eggs/day at a density of 70 *O. ilicis*/arena.

Keywords Abstract: Agricultural acarology, biological control, *Coffea arabica*, coffee red spider mite, predatory mite

Introduction

The coffee red spider mite *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) is one of the main phytophagous mites found on coffee plants (*Coffea* spp.) (IBC, 1985). This mite lives rather on the upper surface of coffee leaves, which when attacked appear to be covered by a delicate web. Waste, dust and the mite exuviae give the leaves a dirty appearance. The mites use their stylets to perforate the epidermis and mesophyll cells of the leaf and absorb the cell contents (Moraes & Flechtmann 2008). Consequently, the leaves lose their natural gloss, becoming bronze-colored, losing active-photosynthetic area, reducing the plant development and coffee production (Reis & Souza 1986, Franco *et al* 2009). The attack usually occurs in foci, but may affect the entire plantation (Reis & Souza 1986). The mites develop best during the dry season, and may cause premature leaf drop, mainly in young plants, which also may slow their development (Reis & Souza 1986, Reis 2005).

In Brazil, *O. ilicis* is usually controlled using acaricides. However, over-application of these products causes environmental contamination, hazardous for the applicators, and favors the development of resistant populations of the pest mite (Stumpf & Nauen 2001, Moraes &

Flechtmann 2008, Nicastro *et al* 2010). Thus, it is necessary to evaluate alternative methods to control *O. ilicis* in coffee plantations, particularly through the use of natural enemies.

Predatory mites are considered the most efficient natural enemies for biological control of some pest mites (Moraes *et al* 2004), especially those belonging to the family Tetranychidae (McMurthy & Croft 1997). Members of Phytoseiidae are the most important and studied natural enemies of pest mites (Moraes *et al* 2004). Among phytoseiid species in coffee plantations, *Euseius alatus* (DeLeon) is one of the most important natural predatory mite to control *O. ilicis* (Reis *et al* 2000, Franco *et al* 2008).

Nearly 150 species are known in the genus *Euseius*, and are recorded mainly in tropical and subtropical regions (Moraes *et al* 2004). In Brazil, *E. alatus* is widely distributed from the state of Ceará to the state of Rio Grande do Sul (Moraes *et al* 2004). According to Muma (1971) and McMurtry & Croft (1997), *Euseius* are pollen eaters and can facultatively feed on a large number of insects and mites. This is an important characteristic for the survival of predatory mites in the absence of their favorite food source (Reis & Alves 1997).

Therefore, knowledge on the predatory capacity and the functional response of a predatory species is important to determine how suitable it is to regulate the prey density (Murdoch & Oaten 1975), and to identify its potential effectiveness as a biological control agent (Sepúlveda & Carrillo 2008). The rate at which predators attack their prey is to some extent dependent on prey density, and this relationship has been defined as the functional response (Solomon 1949). The functional response concept (Holling 1959) has been widely utilized to evaluate the effectiveness of predatory insects and mites (Laing & Osborn 1974, Everson 1980, Sabelis 1985, Trexler *et al* 1988, De Clercq *et al* 2000, Badii *et al* 2004, Reis *et al* 2003, 2007, Timms *et al* 2008).

Considering the important role played by predatory mites in pest-mite control, this study evaluated the predatory ability of *E. alatus*, for possible use as a biological-control agent of *O. ilicis* in coffee plantations.

Material and methods

Coffee red spider mite rearing

Adults of *O. ilicis* were collected from pesticide-free coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in the municipality of Lavras, state of Minas Gerais, Brazil, taken to the laboratory and reared at controlled conditions ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$; $70\pm 10\%$ RH; 14 h photophase). Mites were reared on coffee leaves placed on a foam disk (1 cm thick) laid on the bottom part of a 15 cm Petri dish. The foam was kept constantly moist with distilled water. Hydrophilic cotton was placed around the leaves as a physical barrier to prevent the mites from escaping, following McMurtry & Scriven (1965).

Predatory mite *Euseius alatus* rearing

Adults of *E. alatus* were collected in the same area as *O. ilicis* and were kept in arenas (3 cm in diameter) made of flexible black polyvinyl chloride (PVC), floating on distilled water in open Petri dishes (15 cm in

diameter), following Reis & Alves (1997). These arenas were maintained at the same rearing conditions as described earlier, and mites were fed with castor bean (*Ricinus communis* L.) pollen and *O. ilicis* from the rearing stock.

Assessment of *E. alatus* predatory capacity

The predatory capacity of *E. alatus* was evaluated using arenas (3 cm diameter) made with coffee (*C. arabica*) leaves floating on distilled water in open Petri dishes (15 cm diameter), according to Reis *et al* (1998).

The experimental design followed a factorial design consisting of two factors (prey developmental stage and predator developmental stage), with each factor having four different levels each (prey: egg, larva, nymph, and adult; predator: larva, nymph, adult male, and adult female). Every single stage of development of the predator was individually tested with each one of the different stages of development of the prey. For each predator stage, 25 *O.ilicis* at one of the stages selected were supplied. Ten replicates were run for each treatment.

The predatory mites were starved for 24 h before the bioassay. Predation was evaluated after 24 h following Reis *et al* (2003, 2007). The normality test of Shapiro-Wilk was performed, and normality and homoscedasticity were verified for all parameters evaluated. The values obtained were submitted to analysis of variance, and the means compared by the Tukey's test at 5% significance (Ferreira 2008).

Functional response and oviposition rate

To evaluate the functional response and the number of eggs laid, adult females of *E. alatus* were confined in arenas as described before. Immature stages of *O. ilicis* were offered to one adult female of *E. alatus*. Larvae and nymphs were offered based on the preference of phytoseiids to prey on these two immature stages (Gravena *et al* 1994, Reis *et al* 2000), at the following densities per arena: 1, 2, 5, 10, 20, 30 and 35 (seven replicates), 45 (four replicates), 55 (three replicates), and 70, 100 and 125 (two replicates), according to Reis *et al* (2003, 2007). Eggs of *O. ilicis* were not offered because this is not one of the most consumed preys. Besides, eggs are difficult to manipulate as they are strongly

attached to the leaf surface. The number of replicates decreased in higher densities of *O. ilicis* due to the difficulties in handling and obtaining a large number of immature mites from the rearing stock during an 8-day period. The same number of *O. ilicis* was used as control treatment in the arenas, but in the absence of the predator, to assess for natural mortality.

The number of preys killed (functional response) and the number of eggs laid by the predator were evaluated every 24 h for 8 d. The preys killed were replaced daily in order to maintain the initial prey density. Also, the larvae and nymphs that reached adulthood or were quiescent were daily replaced. The data obtained were submitted to regression analysis (Ferreira 2008). The Abbott (1925) equation was applied in the determination of the efficiency of predation (E %) of *E. alatus*.

Results

Predatory potential

Adults of *E. alatus* were the most efficient in preying all stages of *O. ilicis*. Larvae and nymphs of *E. alatus* were the least efficient in preying *O. ilicis*. The larval and nymph stages of *O. ilicis* were the most

intensively consumed by all stages of *E. alatus*, while the eggs were the least consumed prey stage by the predator (Table 1).

Table 1 Number (mean±SE) of the different life stages (larva, nymph, adult male, and adult) of *Oligonychus ilicis* preyed on by *Euseius alatus* (n=25) under laboratory conditions (25±2°C; 70±10% RH; 14 h photophase).

| Treatment (Predador stage) | Stages of <i>O. ilicis</i> | | | |
|-------------------------------|----------------------------|----------------|----------------|---------------|
| | Egg | Larva | Nymph | Adult |
| Adult (Male) | 3,8 ± 0,69 aC | 16,7 ± 1,85 bA | 13,7 ± 0,77 aA | 9,2 ± 0,90 aB |
| Adult (Female) | 5,3 ± 0,79 aC | 20,3 ± 0,91 aA | 13,7 ± 1,08 aB | 5,4 ± 0,63 bC |
| Larva | 3,7 ± 0,42 aC | 10,9 ± 0,90 cA | 8,0 ± 0,42 bB | 4,2 ± 0,44 bC |
| Nymphs | 5,7 ± 0,76 aB | 12,0 ± 1,03 cA | 5,8 ± 0,71 bB | 3,3 ± 0,36 bB |

Means followed by the same lowercase letter in a column or by the same uppercase letter in a row do not differ by the Tukey's test ($P \geq 0.05$).

The functional response and oviposition rate of *E. alatus* increased as the number of prey increased up to a density of 70 *O. ilicis*/arena (Figs 1 and 2). The number of eggs laid per day increased as a function of the number of preys killed, with a positive and highly significant correlation. The maximum oviposition rate was 1.7 eggs/day at a density of 70 *O. ilicis*/arena (Table 2, Fig 2).

The results of the regression analysis suggest a type II functional response, as suggested by Holling (1959), where the number of prey attacked by the female predator increases with the increasing number of prey available up to a maximum; in this particular case a density of 70 *O.*

ilicis/arena. At gradually higher prey densities, the number of preys consumed decreased, forming a convex curve (Fig 1). No natural mortality was observed in the control treatment.

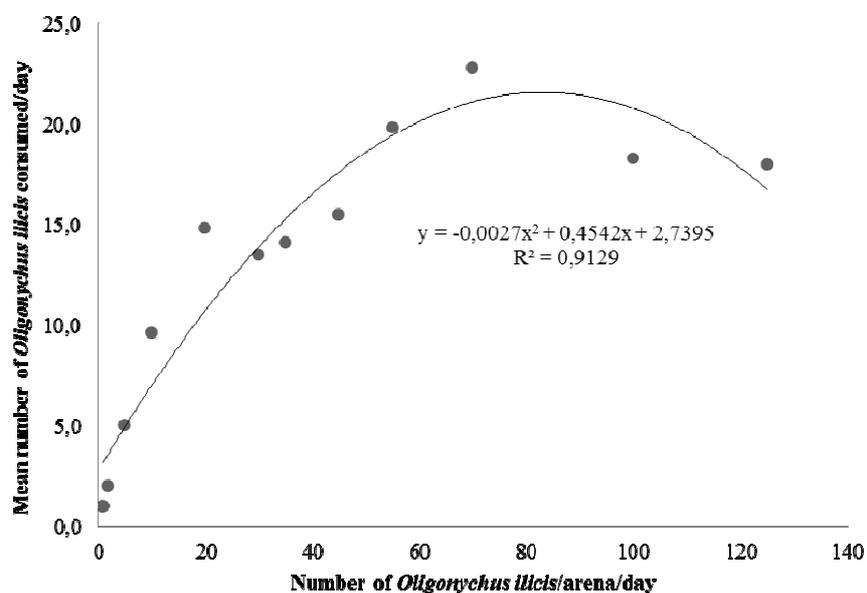


Fig 1 Number of *Oligonychus ilicis* consumed by *Euseius alatus* females, according to the density offered (circles observed; curves estimated) under laboratory conditions ($25 \pm 2^\circ\text{C}$; $70 \pm 10\%$ RH; 14-h photophase).

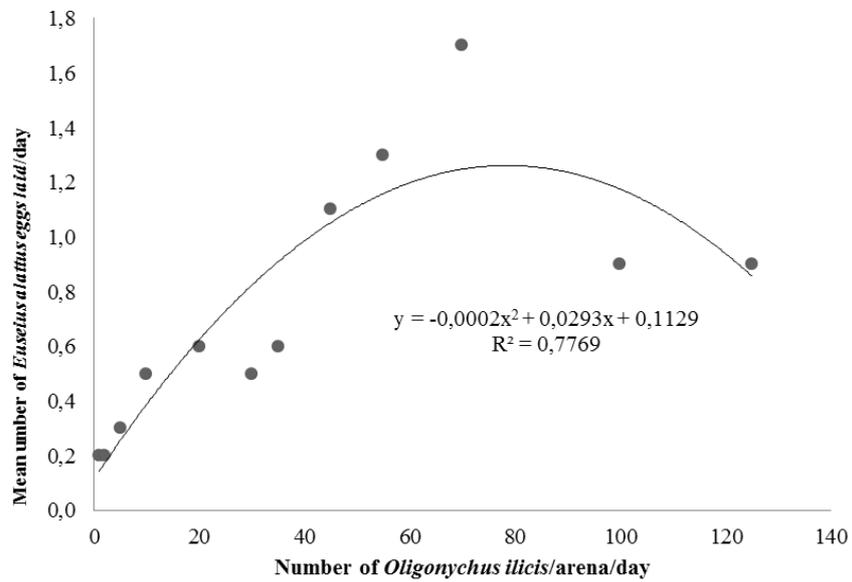


Fig 2 Number of eggs laid by females of *Euseius alatus* as a response to the density of the prey *Oligonychus ilicis* offered (circles observed; curves estimated) under laboratory conditions ($25\pm 2^\circ\text{C}$; $70\pm 10\%$ RH; 14-h photophase).

Table 2 Functional response and oviposition rate of the predatory mite *Euseius alatus* fed on *Oligonychus ilicis* under laboratory conditions ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$; $70\pm 10\%$ RH; 14-h photophase).

| Prey density/arena | Mean | | Predation (%) |
|--------------------|------------------|---------------|---------------|
| | Mites preyed/day | Eggs laid/day | |
| 1 | 1,0 | 0,2 | 100,0 |
| 2 | 2,0 | 0,2 | 100,0 |
| 5 | 5,0 | 0,3 | 100,0 |
| 10 | 9,6 | 0,5 | 96,0 |
| 20 | 14,8 | 0,6 | 74,0 |
| 30 | 13,5 | 0,5 | 45,0 |
| 35 | 14,1 | 0,6 | 40,3 |
| 45 | 15,5 | 1,1 | 34,4 |
| 55 | 19,8 | 1,3 | 36,0 |
| 70 | 22,8 | 1,7 | 32,6 |
| 100 | 18,3 | 0,9 | 18,3 |
| 125 | 18,0 | 0,9 | 14,4 |

Discussion

Predatory potential

Predatory adult females were the most efficient stage in preying any of the stages of development of *O. ilicis*, similarly to what has been observed to several other species of predatory mites (Franco *et al* 2007). The higher predatory efficiency of females at the adult stage could be explained by their large size and greater mobility, and their greater energy

requirement due to reproduction (egg development) as compared to males and immatures.

Larvae and nymphs of *E. alatus* were less-efficient predators because of their smaller size and the short duration of the larval stage, as reported to another predatory species, *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Marafeli *et al* 2011).

The predatory mite consumption rate decreased as the size of the prey increased, confirming that the phytoseiid mites consumed immatures of the prey at a higher rate. This probably occurred because of the small size of the larvae and nymphs, and also because they are less mobile if compared to other post-embryonic stages of this phytophagous mite. Several studies with phytoseiids have reported a higher predation on immatures of phytophagous mites (Reis *et al* 2000, Franco *et al* 2007, Forero *et al* 2008, Marafeli *et al* 2011).

The consumption rate of larvae was higher than that of eggs, probably because the predatory mites have more difficulty in piercing through the egg chorion, as observed in different mite species (Franco *et al* 2007, Kasap & Altihan 2011), as generalist species have mouthparts that are less effective in perforating the egg chorion than specialized

species (Blackwood *et al* 2001). Another probable reason is the fact that larvae are more nutritionally adequate and less time-consuming to handle as preys than eggs (Blackwood *et al* 2001).

Adults of *O. ilicis* were less attacked probably because they are larger and move more rapidly than the immatures (larvae and nymphs), and were therefore less likely to be dominated by the predator (Franco *et al* 2007). This fact has already been observed for *E. alatus* preying on *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Reis *et al* 2000).

Functional response and oviposition rate

Our data on *E. alatus* predatory response as a function of prey density indicated this species has a typical type II (convex) functional response, where the number of consumed prey increases in response to the increase in prey density, and then levels up when reaching a maximum density (Holling 1959). The inverse relationship of prey density and the proportion of prey consumed is an indicator of a type II response. The type of functional responses obtained in here was the same observed for *E. alatus* preying on other prey species, and it has been

shown to be a common functional response to a number of Phytoseiidae species (Reis *et al* 2007, Xiao & Fadamiro 2010, Kasap & Athihan 2011). The type II response is typical in predatory arthropods (Hassel 1978), and predatory mites that have been successfully released as biological control agents are known to display this type of response (Xiao & Fadamiro 2010).

The functional response curve showed that the percentage of prey consumed by the *E. alatus* was higher at low densities of *O. ilicis* (1–10 *O. ilicis*/arena), probably because at these low prey densities the predator mite did not consume enough prey to reach satiation.

The maximum number of *O. ilicis* consumed (22.8) in each arena was obtained at a prey density of 70 mites/arena (Table 2) probably represents the number of prey required for satiation of the predator (Sandness & McMurtry 1970), and to provide all the nutritional requirements to support the development of *E. alatus*. A population sated by a maximum consumed number of preys will have a greater chance to survive and reproduce successfully, resulting in an increase of the population (Solomon 1949). The significant decline in the predation rate observed at higher prey densities could be explained by a reduction in the

predatory ability of *E. alatus* facing a large numbers of prey or yet the fact that predator does not require any further prey as it reached satiation (Sandness & McMurtry 1970, Reis *et al* 2003). A similar behavior was observed for *E. alatus* feeding on the pest mite *B. phoenicis* (Reis *et al* 2003).

With respect to the oviposition rate, the number of eggs laid per day increased as a function of the number of prey consumed, and then began to decrease after reaching a maximum point, as already reported for this species when preying on *B. phoenicis* and with other predatory species (Reis *et al* 2003).

The reproductive success of a predatory mite critically depends on the number of preys eaten (Hassel *et al* 1978). The oviposition rate reported for *E. alatus* in here is very similar to the oviposition rate obtained when this species was fed in castor bean (*R. communis*) pollen (Reis & Alves 1997). However, contrary to Muma (1971) and McMurtry & Croft (1997), who reported that mites of the genus *Euseius* have a higher reproductive potential when feeding on pollen as compared to Tetranychidae as prey, our data demonstrated *E. alatus* had high reproduction potential when preying on *O. ilicis*. These results indicate

that *E. alatus* has a good capacity for persistence in the environment, which is an important characteristic to preserve this predatory mite in coffee plantations.

According to Franco *et al* (2009), initial infestations of 15-120 females of *O. ilicis* per coffee leaf can result in a significant decrease in photosynthesis, causing substantial damage to this crop. As the present results indicate, *E. alatus* would be capable of controlling the population of *O. ilicis* before it would reach such damaging level. The predatory efficiency of *E. alatus* has been already demonstrated against *B. phoenicis* both in citrus and coffee plantations (Reis *et al* 2003).

The functional response of a predatory mite can differ as a result of a number of factors: strains with different nutritional histories (Castagnoli *et al* 1999), environmental temperature (Goth *et al* 2004), and the use of pesticides (Poletti *et al* 2007). Castagnoli *et al* (1999) stated that it is important to know the host and the prey history of the predator strain used for the successful implementation of a biological control program. Therefore, this study showed that the strain of *E. alatus* evaluated has a good capacity to prey on *O. ilicis*, and provide the ground information to develop initiatives for the use of such predatory mite as a

biological control agent against pest mites in coffee. Nevertheless further assays under semi-field conditions would be required as the next step in developing procedures for the effective biological control with *E. alatus* in integrated management programs by conservation, since this predaceous mite occurs naturally in coffee plantations.

Acknowledgements

To the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq and the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, for scholarships awarded.

References

- Abbott WS (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J Econ Entomol* 18:265-267
- Badii MH, Hernández-Ortiz E, Flores A, Landeros JN (2004) Prey stage preference and functional response of *Euseius hibisci* to *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 34:263-273
- Blackwood JS, Schausberger P, Croft BA (2001) Prey-stage preference in generalist and specialist phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae)

- when offered *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) eggs and larvae. Environ Entomol 30:1103-1111
- Castagnoli M, Liguori M, Simoni S (1999) Effect of two different hostplants on biological features of *Neoseiulus californicus* (McGregor). Int J Acarol 25:145-150
- De Clerq P, Mohahegh J, Tirry L (2000) Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). Biol Control 18:460-470
- Everson P (1980) The relative active and functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) and *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae): the effect of temperature. Can Entomol 112:17-24
- Ferreira DF (2008) SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Rev Científ Symp 6:36-41
- Forero G, Rodrigues M, Cantor F, Rodrigues D, Cure JR (2008) Critérios para el manejo de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) com el ácaro depredador *Amblyseius* (*Neoseiulus*) sp. (Acari: Phytoseiidae) em cultivos de rosas. Agron Colomb 26:78-86

- Franco RA, Reis PR, Zacarias MS, Altoé BF (2007) Potencial de predação de três espécies de fitoseídeos sobre *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae). *Coffee Sci* 2:175-182
- Franco RA, Reis PR, Zacarias MS, Altoé BF, Barbosa JPRAD (2009) Influência da infestação de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) sobre a taxa de fotossíntese potencial de folhas de cafeeiro. *Arq Inst Biol* 76:205-210
- Franco RA, Reis PR, Zacarias MS, Altoé BF, Neto MP (2008) Dinâmica Populacional de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro e de fitoseídeos associados a ele. *Coffee Sci* 3:38-46
- Gotoh T, Mitsuyoshi N, Yamaguchi K (2004) Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of two spotted spider mite in the laboratory. *Appl Entomol Zool* 39:97-105
- Gravena S, Benetoli I, Moreira PHR, Yamamoto PT (1994) *Euseius citrifolius* Denmarck & Muma predation on citrus leprosis mite *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Phytoseiidae, Tenuipalpidae). *An Soc Entomol Brasil* 23:209-218

- Hassel MP (1978) *The Dynamics of Arthropod Predator-Prey Systems*. Princeton University Press, Princeton, 237p
- Holling CS (1959) The components of predation as revealed by study of small mammal predation of the European Pine Sawfly. *Can Entomol* 91:293-320
- IBC - Instituto Brasileiro do Café (1985) *Cultivo de Café Conilon. Cultura do Café no Brasil: Manual de Recomendação*. Rio de Janeiro: IBC-GERCA, pp. 527-556
- Kasap I, Athihan R (2011) Consumption rate and functional response of the predaceous mite *Kampimodromus aberrans* to two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* in laboratory. *Exp Appl Acarol* 53:253-261
- Laing JE, Osborn JAF (1974) The effect of prey density on functional and numerical response of three species of predatory mites. *Entomophaga* 19:267-277
- Marafeli PP, Reis PR, Silveira, EC da, Toledo MA de, Souza-Pimentel G (2011) *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954) preying in different life stages of *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari; Phytoseiidae, Tetranychidae). *Acarol* 51:499-506

- McMurtry JA, Croft BA (1997) Life of Phytoseiid mites and their roles in biological control. *Ann Rev Entomol* 42:291–321
- McMurtry JA, Scriven GT (1965) Insectary production of Phytoseiidmites. *J Econ Entomol* 58:282–284
- Moraes GJ de, McMurtry JA, Denmark HA, Campos CB (2004). A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. *Zootaxa*, 434p
- Moraes GJ, Flechtmann CHW (2008) *Manual de Acarologia*. Ribeirão Preto, Holos, 288p
- Muma MH (1971) Food habits of Phytoseiidae (Acarina: Mesostigmata) including common species on Florida citrus. *Fla Entomol* 54:21-34
- Murdoch WW, Oaten A (1975) Predation and population stability. *Advances in Ecol. Res.* 9:2-131
- Nicastro RL, Sato EM, Silva MZ da (2010) Milbemectin resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) selection, stability and cross-resistance to abamectin. *Exp Appl Acarol* 50:231-241
- Poletti M, Maia AHN, Omoto C (2007) Toxicity of neonicotinoid insects to *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on functional response to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Biol Control* 40:30–36

- Reis PR (2005) Ácaro-vermelho. Cultivar Grandes Culturas, Pelotas 7:14-17
- Reis PR, Alves EB (1997) Criação do ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) em laboratório. An Soc Entomol Bras 26:565-568
- Reis PR, Chiavegato LG, Alves EB(1998) Biologia de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). An Soc Entomol Bras 27:185-191
- Reis PR, Sousa EO, Teodoro AV, Pedro Neto M (2003) Effect of prey density on the functional and numerical responses of two species of predaceous mites (Acari: Phytoseiidae). Neotrop Entomol 32:461-467
- Reis PR, Souza JC de (1986) Pragas do cafeeiro, p.323-378. In: Rena AB, Malavolta E, Rocha M, Yamada T (eds). Cultura do Cafeeiro: Fatores que Afetam a Produtividade. Piracicaba: Potafós, 441p
- Reis PR, Teodoro AV, Pedro Neto M (2000) Predatory activity of phytoseiid mites on the developmental stages of coffee ring spot mite (Acari: Phytoseiidae: Tenuipalpidae). An Soc Entomol Bras 29:547-553

- Reis PR, Teodoro VA, Pedro Neto M, Silva EA (2007) Life history of *Amyseius herbicolus* (Chant) (Acari: Phytoseiidae) on coffee plants. *Neotrop Entomol* 36:282-287
- Sabelis MW (1985) Predator-prey interaction: predation on spider mites, p.103-129. In: Helle W and Sabelis MW (eds). *Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control*. Amsterdam, Elsevier Science, pp 103–129
- Sandness JN, McMurtry JA (1970) Functional response of three species of Phytoseiidae (Acarina) to prey density. *Can Entomol* 102:692-704
- Sepúlveda F, Carrillo R (2008) Functional response of the predatory mite *Chiliseius camposi* (Acarina: Phytoseiidae) on densities of its prey, *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae). *Intern J Trop Biol* 56:1255-260
- Solomon ME (1949) The natural control of animal population. *Journal of Animal Ecology* 18:1-15
- Stumpf N, Nauen R (2001) Cross-resistance, inheritance and biochemistry of mitochondrial electron transport inhibitor-acaricide

resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). J Econ Entomol 94:1577-1583

Timms JE, Oliver TH, Straw NA, Leather SR (2008) The effects of host plant on three coccinellid functional response: Is the conifer specialist *Aphidecta obliterate* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) better adapted to spruce than the generalist *Adatia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae)? Biol Control 47:273-281

Trexler JC, McCulloch CE, Travis (1988) How the functional response best be determined? Oecologia 76:206-214

Xiao Y, Fadamiro HY (2010) Functional responses and prey-stage preferences of three species of predacious mites (Acari: Phytoseiidae) on citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). Biol Control 53:345–352

ARTIGO 2 Resposta olfativa do ácaro predador *Euseius alatus* DeLeon, 1966 aos voláteis emitidos pelo cafeeiro e pelo ácaro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae)

Melissa Alves de Toledo *

Paulo Rebelles Reis

Martín Pareja

Normalizado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003).

* Doutoranda em Entomologia Agrícola, email: toledo.melissa@hotmail.com
Prof. Doutor em Ciências, email: paulo.rebelles@epamig.ufla.br
Prof. Doutor em Interações entre plantas e insetos, email: martinpareja@gmail.com

RESUMO

A compreensão do comportamento de forrageamento de artrópodes predadores em um agroecossistema auxilia na obtenção de maior eficiência em programas de controle biológico. As plantas atacadas por ácaros fitófagos se defendem produzindo compostos químicos voláteis que podem ser usados como atraentes pelos ácaros predadores. Entre os ácaros fitófagos que ocorrem em cafeeiro (*Coffea* spp.), destaca-se o ácaro vermelho-do-cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae), que pode causar uma redução de até 50% no potencial de fotossíntese e no crescimento de plantas novas. Entre os ácaros predadores uma das espécies mais abundantes é a *Euseius alatus* DeLeon, 1966 (Acari: Phytoseiidae), frequentemente encontrada associada ao *O. ilicis* em cafeeiros. Dessa forma objetivou-se neste trabalho compreender as interações de *E. alatus* com sua presa *O. ilicis* em cafeeiro e estudar a influência dos subprodutos do ácaro-praga (fezes, exúvias e teias) na sua localização pelo predador *E. alatus*. As respostas foram investigadas em laboratório com olfatômetro de vidro na forma de “Y”. Os ensaios foram realizados com fêmeas adultas do ácaro predador, por ser a fase mais eficiente na predação. As folhas com os ácaros *O. ilicis* e com ácaros mais os seus subprodutos foram capazes de emitir compostos químicos voláteis atrativos ao predador *E. alatus*. Porém as folhas somente com subprodutos não foram atrativas ao ácaro predador. Assim, no processo de localização de *O. ilicis* por *E. alatus*, os estímulos olfativos emitidos pela presa e aqueles emitidos pela planta infestada são suficientes para funcionar como sinalizadores para o predador localizar sua presa.

Palavras-chave: Acarologia agrícola. Semioquímicos. Compostos voláteis. Controle biológico.

1 INTRODUÇÃO

O ácaro vermelho-do-cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) é um dos principais ácaros fitófagos encontrados em folhas de cafeeiro (*Coffea* spp.) (INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ- IBC, 1985). Vive na superfície superior das folhas que, quando atacadas, apresentam-se recobertas por uma delicada teia. Para se alimentar, perfuram as células e absorvem parte do conteúdo celular, dando às folhas um aspecto bronzeado, e isso pode acarretar uma redução de até 50% no potencial de fotossíntese da planta (FRANCO et al., 2009) e no crescimento de plantas novas (REIS; ZACARIAS, 2007). O ácaro se desenvolve melhor no período de seca e pode ocasionar queda prematura das folhas, e como consequência as plantas, principalmente as novas, podem ter seu desenvolvimento reduzido (REIS; SOUZA, 1986).

O ácaro *O. ilicis* é uma espécie que produz teia (HEINRICH, 1972) cuja densidade aumenta com a sua população (CALZA; SAUER, 1952), e nessas teias ficam aderidos detritos, poeira, fezes e suas exúvias, subprodutos que podem causar interferência na localização da presa pelo predador.

O método mais utilizado para o controle do ácaro *O. ilicis* é o químico (REIS; ZACARIAS, 2007), no entanto são usados produtos altamente tóxicos, que podem ocasionar contaminação ambiental, risco ao aplicador e ainda podem favorecer a indução de populações resistentes (DIEZ-RODRÍGUEZ; OMOTO, 2001).

Portanto, o controle biológico, com ácaros predadores tem sido utilizado em vários países e culturas, substituindo o químico, e a

compreensão do comportamento de busca de um inimigo natural em um agroecossistema auxilia na obtenção de maior eficiência em programas de controle biológico (MELO et al., 2011).

Os ácaros predadores são considerados os mais eficientes inimigos naturais para o controle biológico de alguns ácaros pragas. Sendo os ácaros da família Phytoseiidae os mais importantes e estudados (MORAES et al., 2004). Entre as espécies de fitoseídeos em plantações de café, *Euseius alatus* DeLeon, 1966 destaca-se como um dos mais importantes predadores para controlar *O.ilicis*.

As plantas quando atacadas por ácaros herbívoros induzem uma reação química e se defendem liberando compostos químicos voláteis, conhecidos como HIPVs (*Herbivore Induced Plant Volatiles*) em resposta às infestações e danos causados (MAEDA; TAKABAYASHI, 2001; SABELIS; BAAN, 1983; TEA et al., 2009). Esses compostos químicos funcionam como sinalizadores para que os inimigos naturais possam localizar suas plantas hospedeiras, seus sítios de alimentação, de acasalamento e de oviposição (BALDWIN; HALISTCHKER; PASCHOAL, 2006; BRILLI et al., 2009; CHRISTIAN; MARIA; ANDREA, 2009; DICKE; VANPOEKE; DE BOER, 2003; TEA et al., 2009).

Os voláteis emitidos pelos subprodutos do ácaro-praga (teia, exúvias e fezes), pela e/ou pela planta hospedeira podem desempenhar importante papel na localização de presas pelo ácaro predador (COLLIER et al., 2000). Existem poucos estudos sobre essa interferência, portanto são necessárias mais informações, principalmente para o ácaro *O. ilicis*.

Portanto, o objetivo deste trabalho é estudar a influência dos voláteis emitidos pela presa, planta e subprodutos no comportamento de busca de *E. alatus* como uma contribuição ao incremento do controle biológico desse ácaro-praga.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Criação de *O. ilicis* em laboratório

Adultos de *O. ilicis* foram coletados em cafezais (*Coffea arabica* L.), livre de agroquímicos, no município de Lavras, estado de Minas Gerais, e levados para o laboratório onde foram criados em condições controladas (temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$; 70+10% de umidade relativa; 14h de fotofase). Os ácaros foram criados em folhas destacadas de cafeeiro e colocadas sobre uma esponja (1 cm de espessura) que ocupava todo o fundo de uma placa de Petri (15 cm) sem tampa. A espuma foi constantemente umedecida com água destilada. Uma tira de algodão hidrófilo foi colocada em volta da folha, e em contato com a espuma, para manter sua turgescência por mais tempo e para servir de barreira física e impedir a fuga dos ácaros (MCMURTRY; SCRIVEN, 1965).

2.2 Criação de *E. alatus* em laboratório

Adultos de *E. alatus* foram coletados no mesmo cafezal onde foi coletado *O. ilicis* e mantidos em arenas (3 cm de diâmetro) confeccionadas com discos de lâmina plástica de cor preta, flexível,

flutuando em água em placas de Petri sem tampa (15 cm de diâmetro) (REIS; CHIAVEGATO; ALVES, 1998). Os ácaros foram alimentados com pólen de mamoneira (*Ricinus communis* L., Euphorbiaceae) e *O. ilicis* retirados da criação de manutenção.

2.3 Experimentos com olfatômetro

Os experimentos com olfatômetro foram desenvolvidos no Laboratório de Ecologia Química, do Departamento de Entomologia, na Universidade Federal de Lavras – UFLA, no Sul de Minas Gerais.

Para a avaliação da influência dos voláteis emitidos pela presa *O. ilicis*, pelos subprodutos (teia, exúvias e fezes) e pelo cafeeiro no comportamento de busca de *E. alatus*, foi utilizado um olfatômetro de vidro, com base na metodologia de Sabelis e Baan (1983) e modificada por Dicke et al. (1990).

O aparelho consistiu de um tubo de vidro em forma de “Y” de tronco e braços de 5 cm de comprimento, sendo que cada braço foi conectado a uma mangueira de silicone e a um cilindro de vidro (2 litros) onde permaneceram os tratamentos durante os testes. Dois cilindros foram conectados a tubos de borracha que conduziu ar filtrado por meio de carvão ativado para o interior do sistema, de modo a gerar uma corrente de ar. Uma bomba de vácuo conduziu o fluxo de ar por uma mangueira de silicone até um tubo de vidro preenchido com carvão ativado formando uma corrente de ar pela qual o predador se guiou dentro do tubo em direção à fonte de odor escolhida. A corrente de ar em cada braço do olfatômetro foi de 1,0 L/min, medida por um fluxômetro.

Os ácaros predadores, que foram testados, foram individualmente introduzidos no ponto de início do “Y”. Foram utilizados ácaros da mesma idade provenientes da criação estoque, em privação de 1 hora de alimento. Foi considerada somente a resposta inicial, quando o ácaro alcançou ao menos 2 cm de um dos braços do olfatômetro. O tempo de percurso do ácaro predador até a fonte de odor foi determinado com o auxílio de um cronômetro, sendo o tempo limite de permanência de cada ácaro liberado no tubo “Y” de cinco minutos. Após esse período os ácaros foram descartados. O olfatômetro e as mangueiras dos odores, após cada utilização, foram lavados com detergente, enxaguados e colocados em estufa a 120°C para eliminação de possível contaminação para uso posterior.

Cada fonte de estímulo olfativo consistiu de cinco folhas de cafeeiro, sem aplicação de defensivos agrícolas. A cada 20 liberações de diferentes espécimes de *E. alatus*, foram substituídas as fontes de estímulos, e a cada cinco liberações, a posição das fontes de estímulo nos braços do “Y” do olfatômetro foi invertida, com o objetivo de anular qualquer interferência dos sinais químicos emitidos anteriormente. Para cada experimento, 80 fêmeas adultas de *E. alatus* foram individualmente liberadas, com auxílio de um pincel, na extremidade ímpar do olfatômetro em “Y”, sendo que cada exemplar representou uma repetição. Foram utilizadas fêmeas do ácaro-praga por ser a fase mais eficiente na predação.

Foram testados treze estímulos olfativos em relação à atratividade para o ácaro predador *E. alatus* (Tabela 1).

Tabela 1 Estímulos olfativos testados em olfatômetro de tubo “Y” em relação sua atratividade a *Euseius alatus*

| Tratamentos | |
|---|----------------------------------|
| Estímulo 1 | Estímulo 2 |
| T ₁ : Folha sem sintomas | Ar limpo |
| T ₂ : Folha sem sintomas + ácaros | Folha sem sintomas |
| T ₃ : Folha sem sintomas + subprodutos | Folha sem sintomas |
| T ₄ : Folha sem sintomas + ácaros + subprodutos | Folha sem sintomas |
| T ₅ : Folha com sintomas | Folha sem sintomas |
| T ₆ : Folha com sintomas + ácaros | Folha sem sintomas |
| T ₇ : Folha com sintomas + subprodutos | Folha sem sintomas |
| T ₈ : Folha com sintomas + ácaros + subprodutos | Folha sem sintomas |
| T ₉ : Folha com sintomas + subprodutos | Folha com sintomas |
| T ₁₀ : Folha com sintomas + ácaros | Folha com sintomas |
| T ₁₁ : Folha com sintomas + ácaros + subprodutos | Folha com sintomas + ácaros |
| T ₁₂ : Folha com sintomas + ácaros + subprodutos | Folha com sintomas |
| T ₁₃ : Folha com sintomas + ácaros + subprodutos | Folha com sintomas + subprodutos |

Folha sem sintoma: folhas de cafeeiro sem sintomas, sem ácaro, sem sintomas de ataque; folha com sintomas: folhas de cafeeiro com sintomas, mas sem a presença de ácaros e sem subprodutos.

Foi utilizada a metodologia de Collier et al. (2001), em que a folha do tratamento T₁ foi proveniente de cafeeiro sem aplicação de defensivos. O tratamento T₂ - folha sem sintomas mais 50 fêmeas do ácaro *O. ilicis* transferidos da criação estoque. O tratamento T₃ - folha sem sintomas mais subprodutos da presa (teia, exúvias e fezes) que foram obtidos com a retirada dos ácaros de folhas infestadas. Após a remoção dos ácaros, as folhas foram lavadas com o auxílio de um pincel e 2 mL de água destilada. A água proveniente da lavagem foi depositada sobre a folha sem sintoma até a completa secagem. Para o tratamento T₄ - folha sem sintoma mais ácaros e mais subprodutos, estes obtidos após a lavagem e

deposição do líquido na folha sem sintoma, como em T₃, e após foram transferidas 50 fêmeas de *O.ilicis* para a mesma. O tratamento (T₅) com folha com sintoma, sem ácaros e subprodutos (limpas) foi obtido com a remoção dos ácaros *O. ilicis* e subprodutos através da lavagem com pincel e água destilada. Para o tratamento com folhas com sintoma e ácaros (T₆), a folha foi lavada com pincel e água destilada e após a completa secagem foram transferidas 50 fêmeas de *O. ilicis*. O tratamento com folha com sintoma e subprodutos da presa (T₇) foi obtido com a retirada dos ácaros da folha com o auxílio de um pincel e microscópio estereoscópico. O tratamento (T₈) foi obtido com a infestação com 50 fêmeas de *O. ilicis* durante o tempo necessário para observação de subprodutos em considerável quantidade. Os demais tratamentos, T₉ a T₁₃, foram obtidos da mesma forma que os anteriores (T₁ a T₈).

As análises dos dados obtidos nos ensaios foram realizadas por meio do *software* R.2.10.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014), com teste de qui-quadrado (χ^2), supondo uma resposta esperada de 50% dos ácaros em cada braço do olfatômetro e uma significância de 5%. Os ácaros que não manifestaram resposta a nenhum dos braços não foram considerados nas análises.

3 RESULTADOS

As respostas de *E. alatus* no olfatômetro em tubo de Y variaram de acordo com o tipo de estímulo oferecido (Figura 1). As fêmeas de *E. alatus* não mostraram atração por folha de café sem sintomas (sadia) de *O. ilicis* e o ar limpo (T₁). Dos treze tratamentos testados, foram significativos os estímulos de folha de café sem sintomas (sadia), com a presença do ácaro-praga (T₂: $\chi^2 = 6,15$, $P < 0,01$) e ácaros mais subprodutos (fezes, teia e exúvias) (T₃: $\chi^2 = 4,12$, $P < 0,05$); os estímulos olfativos de folha com sintomas, com danos (T₅: $\chi^2 = 8,01$, $P < 0,05$), sem a presença das presas e dos subprodutos também foram atrativos aos ácaros predadores. As fêmeas de *E. alatus* foram atraídas pela folha de café com sintomas associada à presa (T₆: $\chi^2 = 8,01$, $P < 0,05$; T₁₀: $\chi^2 = 7,33$, $P < 0,05$; T₁₃: $\chi^2 = 7,33$, $P < 0,01$) e com sintomas associada aos ácaros mais seus subprodutos (T₈: $\chi^2 = 5,73$, $P < 0,01$; T₁₁: $\chi^2 = 6,91$, $P < 0,05$; T₁₂: $\chi^2 = 9,00$, $P < 0,01$); porém não houve atração por folhas somente com subprodutos (T₁₂: $\chi^2 = 9,00$, $P < 0,01$; T₁₃: $\chi^2 = 7,33$, $P < 0,01$). Não houve diferença significativa nos tratamentos com folha com sintomas mais subprodutos do ácaro e folha sem sintomas mais ácaro mais subprodutos versus folha sem sintomas (Figura 1).

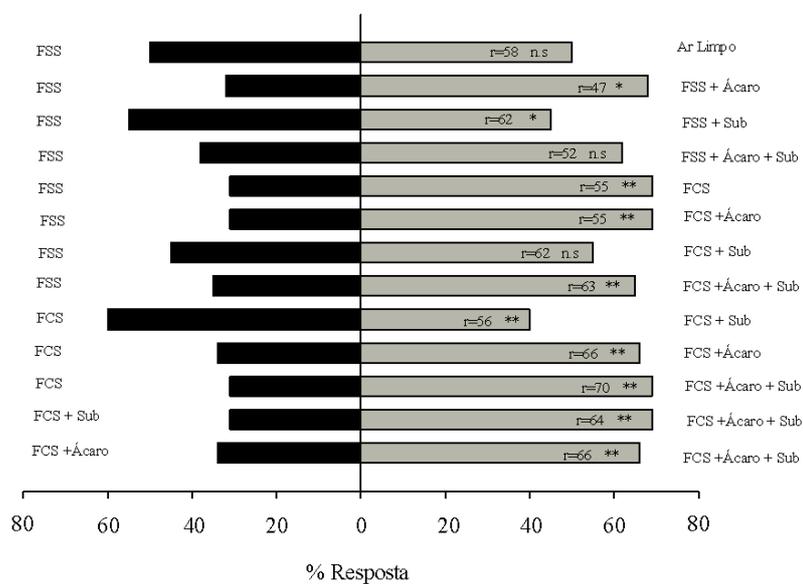


Figura 1 Respostas olfativas de *Euseius alatus* obtidas no olfatômetro de tubo em “Y” em relação aos aleloquímicos da planta hospedeira (cafeeiro) e da presa *Oligonych chusilicis*. FSS = folha sem sintoma; FCS = folha com sintoma; Sub = subprodutos da presa: fezes e exúvias e teia, r= número de ácaros que responderam aos odores

4 DISCUSSÃO

As fêmeas de *E. alatus* não apresentaram distinção entre a folha de cafeeiro sem sintomas e o ar limpo, portanto os voláteis emitidos pelas plantas de cafeeiro não foram atrativos às fêmeas desse predador. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que os voláteis de plantas não infestadas com *O. ilicis*, além de serem emitidos em baixas quantidades, são difíceis de serem detectados e, em alguns casos, não são atrativos para os inimigos naturais (DICKE; LOON, 2000; REDDY, 2002).

As folhas de cafeeiro só com *O. ilicis* ou com *O. ilicis* mais subprodutos, foram capazes de emitir compostos químicos voláteis atrativos ao ácaro predador, *E. alatus*. Resultados similares já foram observados com outras espécies de ácaros predadores, como *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans, 1930) capaz de discriminar odores de bulbos de tulipa infestados com *Aceria tulipae* Keifer, (1938) (Eriophyidae), porém, ao contrário também odores de plantas sem infestação (ARATCHIGE; LESNA; SABELIS, 2004). O ácaro predador *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, 1957 também respondeu a odores de plantas de pepino infestadas com *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (JANSSEN, 1999). Os predadores *Neoseiulus baraki* Athias-Henriot, 1966 (Phytoseiidae) e *Proctolaelaps bickleyi* (Bram, 1956) (Ascidae) preferiram plantas infestadas com *Aceria guerreronis* Keifer, 1965 (Eriophyidae) (MELO et al., 2011). Outros estudos também já demonstram a atração de ácaros predadores pelos voláteis de plantas atacadas por herbívoros (ARIMURA; KOST; BOLAND, 2005; DICKE; POECKE; DE BORER, 2003; KANT

et al., 2004; SZNAJDIR; SABELIS; EGAS, 2011; VENZON; JANSSEN; SABELIS, 1999; ZANG et al., 2009).

Muitas espécies de predadores são conhecidas por discriminar entre os voláteis emitidos por plantas com sintomas (injúria) causados por herbívoros e de plantas sem sintomas (DICKE, 1999; GEERVLiet; VET; DICKE, 1994). As plantas com sintomas se tornam mais atrativas logo que os herbívoros começam a se alimentar delas (GEERVLiet; VET; DICKE, 1994; VET; DICKE, 1992), pois sinalizam a presença de herbívoros para o ácaro predador (ARIMURA; KOST; BOLAND, 2005; DICKE, 1988, 1994; JANSSEN et al., 1999; MAEDA; TABAYASHI, 2001). No presente estudo, os estímulos olfativos somente das folhas com sintomas (T5), ou seja, com danos, também foram capazes de causar uma forte atração ao predador, o que indica que os voláteis emitidos pelas folhas de cafeeiros que foram atacadas pelo ácaro *O. ilicis* também podem servir como sinalizadores de sua localização para *E. alatus*, o que também já foi observado com outras espécies de ácaros predadores (KOVEOS; KOWLOUSSIS; BROUFAS, 1995; SHIMODA et al., 2005).

Vários estudos em laboratório têm demonstrado que em resposta à injúria de artrópodes pragas, as plantas sintetizam e liberam compostos orgânicos voláteis que tornam essas plantas atrativas para os inimigos naturais desses herbívoros (ALLISON; HARE, 2009), como observado neste trabalho, indicando a importância dos voláteis liberados pelas plantas infestadas no comportamento de busca de *E. alatus*.

Como constatado no presente estudo, no processo de busca, muitos ácaros predadores exploram uma variedade de aleloquímicos

emitidos pela presa e ou por sua planta hospedeira, ou a combinação dos dois (DWUMFOUR, 1992; STEINBERG; DICKE; VET, 1993).

Porém a folha de cafeeiro só com subprodutos do ácaro *O. ilicis* não foi atrativa à *E. alatus*. Este fato pode estar relacionado com a presença da teia tecida pelo ácaro que é um mecanismo de proteção contra a ação de predadores, e assim estar liberando algum composto químico volátil de defesa contra os inimigos naturais (MCMURTRY; HUFFAKER; VRIE, 1970).

A atração pelas folhas de cafeeiro com sintomas com a presença de ácaros e de ácaros mais subprodutos é forte, mas é subvertida pela presença de subprodutos. Portanto, no processo de localização de *O. ilicis* por *E. alatus*, as plantas de cafeeiro sob o ataque do ácaro-praga são capazes de iniciar uma defesa indireta, sintetizando e liberando misturas de substâncias voláteis que somadas àquelas emitidas pela presa são suficientes para funcionar como sinalizadores para o predador localizar sua presa.

Dessa forma, estudos de comportamento são importantes para o entendimento das interações que ocorrem entre os organismos em uma teia alimentar. Assim como é importante o conhecimento dos compostos químicos que mediam a localização de plantas infestadas com herbívoros pelos inimigos naturais, para que se tenha uma melhor compreensão da interação inseto-planta influenciando o terceiro nível trófico (BLEEKER et al., 2009; PROFFIT et al., 2011; WIJK; DE BRUIJN; SABELIS, 2008).

5 CONCLUSÃO

No processo de localização do ácaro-praga *O. ilicis* pelo predador *E. alatus*, os estímulos olfativos emitidos pela presa e aqueles emitidos pela planta atacada são suficientes para funcionar como sinalizadores para o predador localizar sua presa.

**Olfactory response of the predatory mite *Euseius alatus* DeLeon,
1966 to volatiles emitted by the coffee plants and by the mite
Oligonychus ilicis (McGregor, 1917) (Acari: Phytoseiidae,
Tetranychidae)**

ABSTRACT

Understanding the foraging behavior of predatory arthropods in agroecosystems contributes towards achieving greater efficiency in biological control programs. Plants attacked by phytophagous mites defend themselves by producing volatile chemical compounds that can be attractive to predatory mites. Among the phytophagous mites on coffee plants (*Coffea* spp.) the coffee red spider mite, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) stands out. This mite can cause a reduction of up to 50 % in the photosynthetic potential and in the growth of new plants. Among the predatory mite species one of the most abundant is *Euseius alatus* DeLeon, 1966 (Acari: Phytoseiidae), often associated with *O. ilicis* in coffee plants. Therefore this study aimed to understand the interactions of *E. alatus* with its prey, *O. ilicis*, in coffee plants and study the influence of the mite-pest byproducts (feces, exuviae and webs) in host location behaviour by the predator *E. alatus*. The responses were investigated in the laboratory using a glass Y-tube olfactometer. Bioassays were performed with adult females of the predatory mite, since this is the most efficient stage in terms of predatory behaviour. Leaves with mites and mites with byproducts were able to emit volatile chemicals attractive to the predator. However leaves with byproducts only were not attractive to the predatory mite. Thus, during the location process of *O. ilicis* by *E. alatus*, the olfactory stimuli emitted by prey and by the plant attacked are sufficient to function as cues for the predator to locate its prey.

Key-words: Agricultural acarology. Semiochemicals. Volatile compounds. Biological control.

REFERÊNCIAS

ALLISON, J. D.; HARE, J. D. Learned and naïve natural enemy responses and the interpretation of volatile organic compounds as cues or signals. **New Phytologist**, Cambridge, v. 184, n. 4, p. 768-782, Dec. 2009.

ARATCHIGE, N. S.; LESNA, I.; SABELIS, M. W. Below-ground plant parts emit herbivore-induced volatiles: olfactory responses of a predatory mite to tulip bulbs infested by rust mites. **Experimental & Applied Acarology**, Amsterdam, v. 33, n. 4, p. 21-30, Sept. 2004.

ARIMURA, G. I.; KOST, C.; BOLAND, W. Herbivore-induced, indirect plant defenses. **Biochemical et Biophysical Acta**, Alberta, n. 1734, n. 2, p. 91-111, 2005.

BALDWIN, I. T.; HALISTCHKE, R.; PASCHOLD, A. Volatile signaling in plant-plant interactions: talking trees in the genomics era. **Science**, New York, v. 311, n. 1, p. 812-815, Feb. 2006.

BLEEKER, P. M. et al. The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 151, n. 2, p. 925-935, Oct. 2009.

BRILLI, F. et al. Constitutive and herbivore-induced monoterpenes emitted by *Populus×euroamericana* leaves are key volatiles that orient *Chrysomela populi* beetles. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 32, n. 5, p. 542-552, May 2009.

CALZA, R.; SAUER, H. F. G. A aranha vermelha dos cafezais. **O Biológico**, São Paulo, v. 18, n. 12, p. 201-208, 1952.

CHRISTIAN, A.; MARIA, C.; ANDREA, S. Floral and insect-induced volatile formation in *Arabidopsis lyrata* ssp. *Petraea*, a perennial, outcrossing relative of *A. thaliana*. **Planta**, Berlin, v. 230, n. 1, p. 1-11, June 2009.

COLLIER, K. F. S. et al. Estímulos envolvidos na localização de presas pelo ácaro predador *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) em macieiras e plantas hospedeiras alternativas. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 631-639, set. 2001.

COLLIER, K. F. S. et al. Localização de presas a curta distância por *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae): o papel dos aleloquímicos dos ácaros fitófagos *Panonychus ulmi* (Koch) e *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) e da planta hospedeira, *Malus domestica* (Borkham). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 705-713, set. 2000.

DICKE, M. Are herbivore-induced plant volatiles reliable indicators of herbivore identity to foraging carnivorous arthropods? **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 91, n. 1, p. 131-142, Apr. 1999.

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

DICKE, M. Prey preference of the phytoseiid mite *Typhlodromus pyri* 1-response to volatile kairomones. **Experimental Applied Acarology**, Dordrecht, v. 4, p. 1-13, 1988.

DICKE, M. et al. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 16, p. 3091-3118, 1990.

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

DICKE, M.; POECKE, R. M. P. van; DE BOER, J. G. Inducible indirect defense of plants: from mechanisms to ecological functions. **Basic and Applied Ecology**, Jena, v. 4, n. 1, p. 27-42, Nov. 2003.

DÍEZ-RODRIGUEZ, G. I.; OMOTO, C. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) à lambda-cialotrina. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 2, n. 2, p. 311-316, jun. 2001.

DWUMFOUR, E. F. Volatile substances evoking orientation in the predatory flowerbug *Anthocoris memorum* (Heteroptera: Anthocoridae). **Bulletin of Entomological Research**, Farnham Royal, v. 82, n. 4, p. 465-469, Dec. 1992.

FRANCO, R. A. et al. Influência da infestação de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) sobre a taxa de fotossíntese potencial de folhas de cafeeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 76, n. 2, p. 205-210, 2009.

GEERVLiet, J. B. F.; VET, L. E. M.; DICKE, M. Volatiles from damaged plants as major cues in long-range host searching by the specialist parasitoid *Cotesia rubecula*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 73, n. 3, p. 289-297, Dec. 1994.

HEINRICH, W. O. **Contribuição ao estudo da biologia do *Oligonychus (Oligonychus) ilicis* (Acarina: Tetranychidae)**. 1972. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. Cultivo do café conillon. In: _____ . **Cultura do café no Brasil**: manual de recomendações. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1985. p. 527-556.

JANSSEN, A. Plants with spider-mite prey attract more predatory mites than clean plants under greenhouse conditions. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 90, n. 2, p. 191-198, Feb. 1999.

KANT, M. R. et al. Differential timing of spider mite-induced direct and indirect defenses in tomato plants. **Plant Physiology**, Washington, v. 135, n. 1, p. 483-495, Apr. 2004.

KOVEOS, D. S.; KOULOSSIS, N. A.; BROUFAS, G. D. Olfactory responses of the predatory mite *Amblyseius andersoni* Chant (Acari: Phytoseiidae) to bean plants infested by spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v. 119, n. 1/5, p. 615-619, Jan./Dec. 1995.

MAEDA, T.; TAKABAYASHI, J. Production of herbivore-induced plant volatiles and their attractiveness to *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) with changes of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) density on plant. **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 36, n. 1, p. 47-52, 2001.

MCMURTRY, J. A.; HUFFAKER, C. B.; VRIE, M. van de. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review I., Tetranychidae enemies: their biological characters and the impact of spray practices. **Hilgardia**, Berkeley, v. 40, p. 331-390, 1970.

MCMURTRY, J. A.; SCRIVEN, G. T. Insectary production of Phytoseiid mites. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 58, p. 282-284, 1965.

MELO, J. W. S. et al. Olfactory response of predatory mites to vegetative and reproductive parts of coconut palm infested by *Aceria guerreronis*. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 55, n. 2, p. 191-202, Nov. 2011.

MORAES, G. J. et al. **A revised catalog of the mite family Phytoseiidae**. Auckland: Magnolia, 2004. 494 p. (Zootaxa, 434).

PROFFIT, M. et al. Attraction and oviposition of *Tuta absoluta* females in response to tomato leaf volatiles. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 37, n. 6, p. 565-574, June 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **The R project statistical computing**. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 6 jan. 2014.

REDDY, G. V. P. Plant volatiles mediate orientation and plant preference by the predator *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae). **Biological Control**, San Diego, v. 25, n. 1, p. 49-55, Sept. 2002.

REIS, P. R.; CHIAVEGATO, L. G.; ALVES, E. B. Biologia de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **Anais da Sociedade de Entomologia do Brasil**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 185-191, jun. 1998.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Pragas do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 323-378.

REIS, P. R.; ZACARRIAS, M. S. **Ácaros em cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 76 p. (Boletim Técnico, 81).

SABELIS, M. W.; BAAN, H. E. van de. Location of distant spider mite colonies by phytoseiid predators: demonstration of specific kairomones emitted by *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 33, p. 303-314, 1983.

SHIMODA, T. et al. The involvement of volatile infochemicals from spider mites and from food-plants in prey location of generalist predatory mite *Neoseiulus californicus*. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 31, n. 9, p. 2019-2032, Sept. 2005.

STEINBERG, S.; DICKE, M.; VET, L. E. M. Relative importance of infochemicals from first and second trophic level in long-range host location by the larval parasitoid *Cotesia glomerata*. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 19, n. 1, p. 47-59, Jan. 1993.

SZNAJDER, B.; SABELIS, M. W.; EGAS, M. Innate responses of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* to a herbivore-induced plant volatile. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 54, n. 2, p. 125-138, June 2011.

TEA, A. et al. Larval parasitism of the autumnal moth reduces feeding intensity on the mountain birch. **Oecologia**, Berlin, v. 159, n. 3, p. 539-547, Mar. 2009.

VENZON, M.; JANSSEN, A.; SABELIS, M. N. Attraction of generalist predator towards herbivore-infested plants. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 93, n. 3, p. 305-314, Dec. 1999.

VET, L. E. M.; DICKE, M. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 32, p. 141-172, 1992.

WIJK, M. van; DE BRUIJN, P. J. A.; SABELIS, M. W. Predatory mite attraction to herbivore-induced plant odor is not a consequence of attraction to individual herbivore-induced plant volatiles. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 34, n. 6, p. 791-803, June 2008.

ZANG, P. J. et al. Whiteflies interfere with indirect plant defense against spider mites in lima bean. **Proceedings of the National Academy of Sciences of United States**, Washington, v. 106, n. 50, p. 21202-21207, 2009.

ARTIGO 3 **Aplicação de silicato de potássio para o controle de**
***Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae)**
em cafeeiro

Melissa Alves de Toledo *

Paulo Rebelles Reis

Normalizado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003).

* Doutoranda em Entomologia Agrícola, email ; toledo.melissa@hotmail.com
Prof. Doutor em Ciências, email: paulo.rebelles@epamig.ufla.br

RESUMO

O ácaro vermelho-do-cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) pode acarretar uma redução significativa no potencial de fotossíntese e no crescimento de plantas novas de cafeeiro (*Coffea* spp.). Estudos sugerem que a aplicação de silício (Si) leva ao aumento da resistência das plantas de maneira a reduzir infestações de insetos-praga. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de aplicações foliares de silicato de potássio para o controle do ácaro vermelho-do-cafeeiro. Experimentos em casa de vegetação foram desenvolvidos em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) usando delineamento inteiramente casualizados com seis tratamentos e cinco repetições, sendo os tratamentos: 0 (Testemunha), 2, 4, 6, 8, 10 L de silicato de potássio ha⁻¹. As plantas tratadas com silicato de potássio apresentaram uma menor infestação de *O.ilicis* em relação à testemunha, não permitindo que esta população aumentasse, e assim apresentando um menor dano nas folhas de cafeeiro. O conteúdo de silício nas folhas foi maior nas plantas tratadas com as maiores doses de silicato de potássio. Observou-se que houve a indução de moléculas de defesa como taninos e ligninas nas plantas pulverizadas com silicato de potássio. Conclui-se que as aplicações de silicato de potássio apresentaram efeito positivo na redução do ataque de *O.ilicis* nas plantas de cafeeiro, mesmo sendo uma dicotiledônea.

Palavras-chave: Resistência induzida. Acarologia agrícola. Silício. Manejo Integrado de Pragas. Ácaro vermelho-do-cafeeiro.

1 INTRODUÇÃO

O ácaro vermelho-do-cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae), é uma importante praga da cultura cafeeira (*Coffea* spp.) em todas as regiões produtoras do Brasil. Esse ácaro vive na superfície superior das folhas e, para se alimentar, perfura as células da epiderme e do mesófilo e absorve o conteúdo celular extravasado (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Em consequência, as folhas perdem o brilho natural, tornam-se bronzeadas, podendo ocorrer uma redução de até 50% no potencial de fotossíntese (FRANCO et al., 2009) e atraso no crescimento de plantas novas (REIS; ZACARIAS, 2007), e assim resultando em prejuízo no desenvolvimento das plantas e na produção de café (FRANCO et al., 2009; REIS; SOUZA, 1986).

O uso contínuo de acaricidas químicos para controlar a população do ácaro *O. ilicis* pode resultar em espécimes resistentes entre a população de ácaros, além, da possibilidade de causar resistência em outras pragas e afetar a saúde dos seres humanos devido às altas quantidades de resíduos tóxicos (BUTT; JACKSON; MAGAN, 2001; MORAES; FLECHTMANN, 2008; NICASTRO; SATO; SILVA, 2010; STUMPF; NAUEN, 2001).

Estudos sugerem que a aplicação de silício (Si) leva ao aumento da resistência das plantas de maneira a impedir o desenvolvimento de pragas e doenças e assim possibilita uma agricultura mais sustentável (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004). A aplicação de silício tem demonstrado reduzir infestações de insetos-praga, como herbívoros, brocas, sugadores e ácaros (KEEPING; KVEDERAS, 2008; LAING;

GATARAYIHA; ADANDONOM, 2006; SAVANT; SNYDER; DATNOFF, 1997).

Efeitos positivos com o tratamento de Si estão evidentes na redução do tempo de alimentação de *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) em trigo (*Triticum aestivum* L.) (COSTA; MORAES; COSTA, 2011), na proteção de plantas de pepino (*Cucumis sativa* L.), berinjela (*Solanum melongena* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.) contra o ácaro-rajado, *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Tetranychidae) (GATARAYIHA; LAING; MILLER, 2010) e redução na palatabilidade das folhas de girassol (*Helianthus annuus* L.) para *Chlosyne lacinia saundersii* Doubleday, 1847 (Lepidoptera: Nymphalidae) (ASSIS et al., 2013).

A eficiência da aplicação de silício pode ser observada no terceiro nível trófico em experimento com olfatômetro de tubo Y; plantas de pepino (*C. sativus*) tratadas com silicato de potássio e infestadas com larvas de *Helicoverpa armigera* Hübner, 1827 (Lepidoptera: Noctuidae) foram mais atrativas ao predador *Dicranolaius bellulus* (Guérin-Mèneville, 1830) (Coleoptera: Melyridae) que plantas sadias tratadas com silicato de potássio (KVEDARAS et al., 2010).

Embora haja grande diversidade de estudos que comprovam a importância do silício como elemento benéfico às diversas culturas, e como agente indutor de resistência às pragas, poucos são os trabalhos encontrados na literatura envolvendo a aplicação de silício na cultura do cafeeiro e sobre o efeito nos ácaros-praga nesse agroecossistema. Portanto, experimentos nesse sentido foram conduzidos com o objetivo de

avaliar a infestação de *O. ilicis* em plantas de cafeeiro tratadas com Si, visando o manejo sustentável de pragas e proteção ao meio ambiente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Fazenda Experimental da EPAMIG Sul de Minas em Lavras, Minas Gerais.

2.1 Criação de *O. ilicis* em laboratório

Adultos de *O. ilicis* foram coletados em cafezais (*C. arabica*), livre de agroquímicos, no município de Lavras, estado de Minas Gerais, levados para o laboratório da EPAMIG Sul de Minas /EcoCentro e criados em condições controladas (temperatura $25\pm 2^{\circ}\text{C}$; 70+10% de umidade relativa; 14h de fotofase). Os ácaros foram criados em folhas destacadas de cafeeiro colocadas sobre uma esponja (1 cm de espessura) em uma placa de Petri (15 cm) constantemente umedecida com água destilada. Uma tira de algodão hidrófilo foi colocada em volta da folha e em contato com a esponja úmida para manter sua turgescência e servir de barreira física para impedir a fuga dos ácaros (MCMURTRY; SCRIVEN, 1965; REIS; ALVES; SOUSA, 1997).

2.2 Efeito tóxico mais residual do Si nas folhas

Foram utilizadas 30 plantas da cultivar Catucaí de cafeeiro (*C. arabica*) com aproximadamente 80-100 cm de altura, plantadas em vasos de 20 L.

Quarenta fêmeas adultas de *O. ilicis*, da criação estoque do laboratório, foram transferidas, com auxílio de um pincel, para cada planta de cafeeiro, totalizando 1.200 fêmeas adultas.

Os tratamentos consistiram de silicato de potássio (K_2SiO_3), como fonte de silício (SiO_2 12,2 % - 15% K_2O), da empresa Unaprosil, sendo as doses testadas: 2, 4, 6, 8, 10 L de silicato de potássio ha^{-1} , e uma testemunha pulverizada só com água. Após 20-30 dias da infestação com os ácaros, foram realizadas duas aplicações de silicato de potássio com intervalo de 15 dias. Para as aplicações, foi utilizado pulverizador manual de pressão constante e as plantas foram mantidas em casa de vegetação.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizados com seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 parcelas. Aos três e sete dias após a primeira aplicação e aos sete e quinze dias após a segunda aplicação, foi retirada uma folha por planta e levadas para o laboratório onde foram contados os números de ovos, fases jovens (larvas e ninfas) e adultos vivos do ácaro *O. ilicis* sob um microscópio estereoscópio de 40X de aumento.

2.3 Determinação de Si nas folhas de cafeeiro

No final do experimento, as folhas das plantas dos tratamentos com Si foram coletadas e submetidas a uma análise da concentração foliar de Si, no Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). A análise foi realizada segundo a metodologia de Korndörfer, Pereira e Camargo (2004).

2.4 Avaliação do índice de dano foliar em casa de vegetação

O índice de dano (ID) causado pelos ácaros nas folhas foi avaliado de acordo com Smith-Meyer (1996), visualmente de acordo com o bronzeamento causado pelo ácaro-praga, com notas de 0 a 5, com algumas modificações: 0 = sem danos; 1 = até 20% de danos da área foliar; 2 = 21-40% de danos da área foliar; 3 = 41-60% de danos da área foliar; 4 = 61-80% de área foliar com danos e 5 = >80% de danos da área foliar.

2.5 Determinação dos teores de taninos e lignina

Ao final do experimento, 10 folhas dos cafeeiros foram retiradas de cada vaso (repetição) da testemunha e do tratamento 6 (dose 10 L de silicato de potássio/ha) e secadas em estufa de secagem a 60°C; após foram trituradas em moinho do tipo Willy TE-648, peneira 30 “mesh”, sendo as amostras enviadas ao Laboratório de Produtos Vegetais do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA. Para a determinação

de taninos, o extrato das folhas foi obtido segundo metodologia de Deshpande, Cheryan e Salunke (1986) e a determinação foi realizada pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, conforme Association of Official Analytical Chemists - AOAC (1990). O teor de lignina foi determinado pelo método de Soest (1967).

2.6 Teste efeito residual do Si nas folhas

A metodologia deste experimento foi a mesma utilizada no experimento anterior, diferindo apenas na infestação pelos ácaros que foi realizada 24 horas e 15 dias após a aplicação de silicato de potássio, sendo transferidas quarenta fêmeas adultas de *O. ilicis*, da criação estoque do laboratório, para cada planta de cafeeiro, totalizando 1.200 fêmeas adultas. Foi realizada somente uma aplicação de silicato de potássio. As avaliações foram realizadas após 7, 15 e 21 dias da primeira infestação, da mesma forma que no experimento anterior.

2.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e apresentaram normalidade e homogeneidade para todos os parâmetros. Os valores obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) (SIGMAPLOT..., 2004). Foi realizada análise de regressão apenas para a última avaliação. Os índices de danos em casa de vegetação foram analisados usando o teste de Kruskal-Wallis e as médias dos tratamentos

foram separadas com teste de Dunn's ($p=0,05$). Para o experimento de tanino e lignina, foi utilizado o teste t de Student.

3 RESULTADOS

3.1 Teste de efeito tópico mais residual do Si nas folhas

Com relação ao número de ácaros *O.ilicis* nas fases imaturas e adultos vivos, não foram observadas diferença significativa entre as dosagens de silicato de potássio e a testemunha nas duas primeiras semanas após a primeira aplicação do produto (Tabela 1). Após sete dias da segunda aplicação, observou-se que todos os tratamentos com silicato apresentaram redução na infestação de *O.ilicis* em relação à testemunha, sendo a dose de 10L/ha de silicato a que apresentou o menor número de *O.ilicis* vivos. Após 15 dias da segunda aplicação, a testemunha e o tratamento 2 apresentaram maior número de ácaros vivos em relação aos demais tratamentos. (Tabela 1).

Tabela 1 Número (média \pm SE) de ácaros (adultos, larvas e ninfas) vivos de *Oligonychus ilicis* por folha de cafeeiro, em função do efeito tópico mais residual do silicato de potássio, após três e sete dias da primeira, sete e 15 dias da segunda aplicação

| Tratamentos Litros de silicato de potássio/ha | Número médio de ácaros vivos por folha entre 3 e 7 dias após a 1ª e 7 e 15 dias após a 2ª aplicação | | | |
|--|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | 3 dias após 1ª aplicação | 7 dias após a 1ª aplicação | 7 dias após a 2ª aplicação | 15 dias após a 2ª aplicação |
| 1 - 0 | 29,20 \pm 20,61 a | 11,40 \pm 10,55 a | 60,20 \pm 19,60 a | 49,40 \pm 42,55 a |
| 2 - 2 | 23,00 \pm 24,09 a | 0,80 \pm 01,79 a | 10,00 \pm 08,00 b | 17,80 \pm 20,62 ab |
| 3 - 4 | 2,40 \pm 01,14 a | 7,20 \pm 05,67 a | 37,60 \pm 24,70 ab | 05,60 \pm 06,06 b |
| 4 - 6 | 2,80 \pm 02,59 a | 1,00 \pm 00,70 a | 12,20 \pm 09,81 b | 07,60 \pm 03,91 b |
| 5 - 8 | 8,00 \pm 07,97 a | 5,80 \pm 08,01 a | 23,00 \pm 26,57 b | 07,80 \pm 05,58 b |
| 6 - 10 | 3,20 \pm 04,15 a | 0,60 \pm 00,55 a | 05,00 \pm 05,19 b | 02,60 \pm 02,60 b |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

O número de ovos colocados por *O.ilicis* foi afetado pelas diferentes dosagens de silicato de potássio somente após sete dias da primeira aplicação, em que a testemunha e o tratamento 3 apresentaram uma maior quantidade de ovos em relação aos demais, já nas outras avaliações não foram observadas diferenças entre as diferentes doses avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2 Número (média \pm SE) de ovos colocados de *Oligonychus ilicis* por folha cafeeiro, em função do efeito tópico mais residual do silicato de potássio, após três e sete dias da primeira, sete e 15 dias da segunda aplicação

| Tratamentos Litros de silicato de potássio/ha | Número médio de ovos por folha entre 3 e 7 dias após a 1ª aplicação e 7e 15 dias após a 2ª aplicação | | | |
|--|---|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | 3 dias após a 1ª aplicação | 7 dias após a 1ª aplicação | 7 dias após a 2ª aplicação | 15 dias após a 2ª aplicação |
| 1- 0 | 55,60 \pm 39,83 a | 101,00 \pm 19,026 a | 75,80 \pm 71,00 a | 29,00 \pm 17,17 a |
| 2 - 2 | 47,00 \pm 45,22 a | 16,00 \pm 25,05 b | 40,00 \pm 58,03 a | 40,60 \pm 23,49 a |
| 3 - 4 | 17,40 \pm 20,58 a | 65,80 \pm 40,41 ab | 45,40 \pm 24,60 a | 45,20 \pm 44,61 a |
| 4 - 6 | 16,20 \pm 15,10 a | 18,40 \pm 11,15 b | 29,80 \pm 12,25 a | 29,20 \pm 28,70 a |
| 5- 8 | 52,00 \pm 51,69 a | 25,20 \pm 32,57 b | 30,80 \pm 29,82 a | 29,80 \pm 12,95 a |
| 6- 10 | 28,60 \pm 34,38 a | 18,20 \pm 11,76 b | 26,80 \pm 22,87 a | 23,20 \pm 21,79 a |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

De acordo com a análise de regressão, observou-se que nas doses maiores de silicato de potássio menor foi o número de adultos vivos, larvas, ninfas vivas (Figura 1) e ovos (Figura 2).

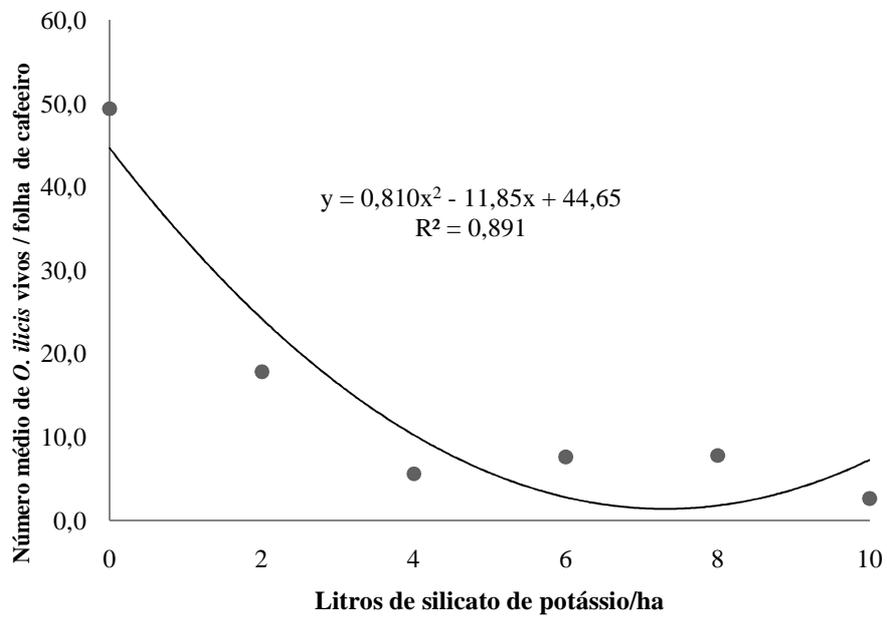


Figura 1 Número médio de adultos vivos, larvas e ninfas vivas de *Oligonychus ilicis* por folha de café de acordo com as diferentes dosagens de silicato de potássio 15 dias após a segunda aplicação

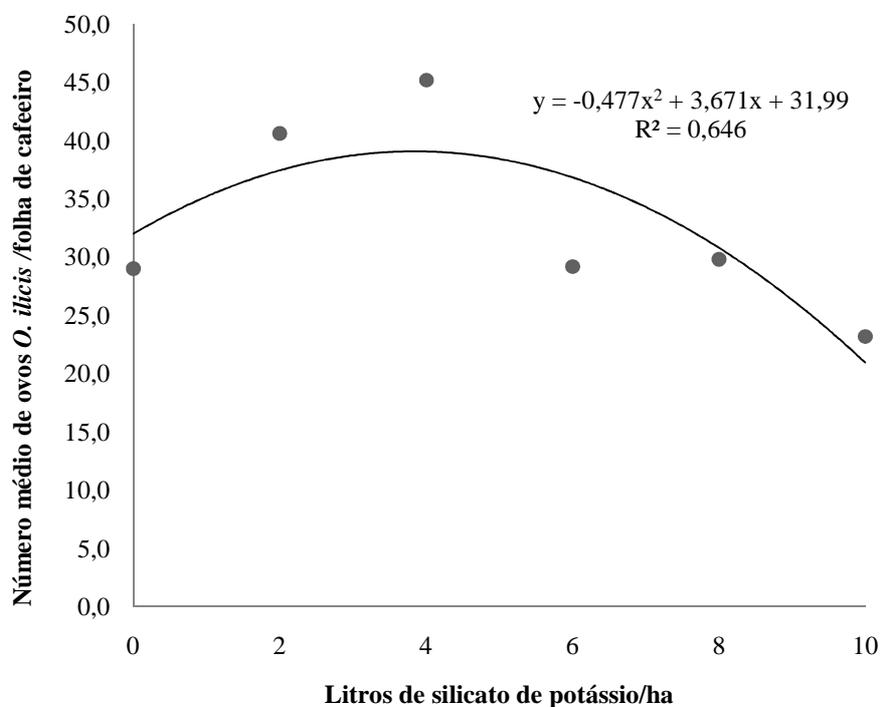


Figura 2 Número médio de ovos de *Oligonychus ilicis* por folha de café de acordo com as diferentes dosagens de silicato de potássio aplicadas 15 dias após a segunda aplicação

3.2 Determinação de Si nas folhas de café

Todos os tratamentos apresentaram maior conteúdo de Si nas folhas em relação à testemunha, sendo que o tratamento nas doses de 8 e 10 L/ha de silicato de potássio apresentaram 80% e 70% respectivamente, maior teor de Si que a testemunha (Figura 3).

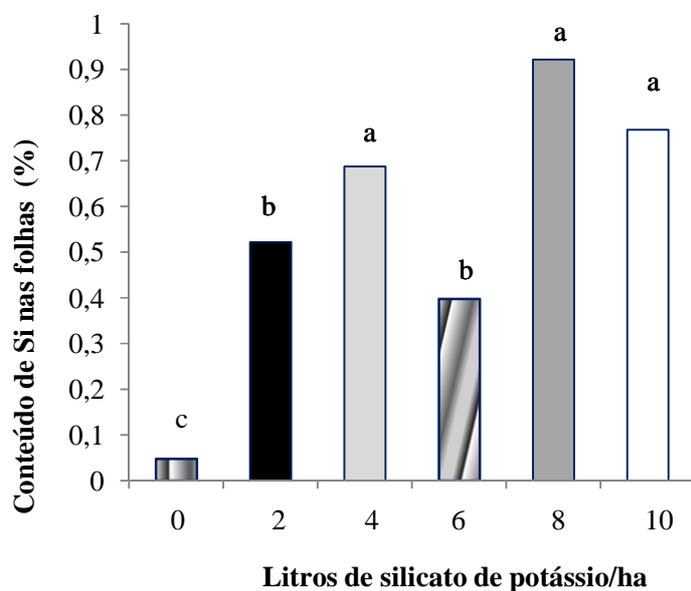


Figura 3 Teor de silício (%) em folhas de cafeeiro submetidas a diferentes concentrações de silicato de potássio. Letras diferentes indicam diferença significativa determinada pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

3.3 Avaliação do índice de dano foliar em casa de vegetação

Quanto maior a dose de silicato de potássio aplicada, menor foi o dano causado pelo ácaro-vermelho nas folhas de cafeeiro medido pelo índice de dano (nota de 0 a 5). A testemunha apresentou o maior dano de área foliar e o tratamento 6, o menor (Tabela 3).

Tabela 3 Índice de dano (ID+SE) causado por *Oligonychus ilicis* em folha de cafeeiro em função da dose aplicada de silicato de potássio

| Tratamento (litros de silicato de potássio/ha) | Nota Índice de dano¹ |
|---|--|
| 1 – 0 | 4,8 ± 0,45 a ² |
| 2– 2 | 3,0 ± 0,00 b |
| 3 – 4 | 3,0 ± 0,45 b |
| 4– 6 | 2,2 ± 0,45 b |
| 5– 8 | 2,2 ± 0,45 b |
| 6– 10 | 1,2 ± 0,45 c |

¹Índice de dano causado pelos ácaros nas folhas de acordo com Smith-Meyer (1996): 0 = sem danos; 1 = até 20% de dano da área foliar; 2 = 21-40% de danos da área foliar; 3 = 41-60% de dano da área foliar; 4 = 61-80% de área foliar com dano e 5 = >80% de dano da área foliar.

²Médias dos índices de dano seguido de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Dunn's (p = 0,05).

3.4 Determinação dos teores de tanino e lignina

As folhas dos cafeeiros pulverizadas com silicato de potássio apresentaram maior porcentagem de taninos (24,42%), comparadas com as folhas sem Si (22,6%) (Tabela 4). Os teores de lignina nas folhas de cafeeiro foram maiores nas plantas com silício em relação às plantas sem Si (Tabela 4).

Tabela 4 Teores (média \pm SE) de taninos e lignina em folhas de cafeeiro tratadas com silicato de potássio

| Tratamentos | Taninos(%) | Lignina (%) |
|-------------|--------------------|-------------------|
| Sem Si | 22,60 \pm 0,31 b | 8,53 \pm 0,30 b |
| Com Si | 24,42 \pm 0,24 a | 9,40 \pm 0,53 a |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

3.5 Teste de efeito residual do Si nas folhas

O resíduo da resultante da aplicação de silicato de potássio nas folhas afetou significativamente a infestação de ácaros na fase jovem e adultos vivos do ácaro-praga; a testemunha apresentou uma alta infestação de *O. ilicis* em relação aos demais tratamentos (Tabela 5). Nos tratamentos com diferentes dosagens de silicato de potássio, observou-se uma ação direta na população de *O. ilicis*, houve uma redução no crescimento, na reprodução do inseto e no dano à cultura (Tabela 5). Foram realizadas somente três avaliações, pois houve uma infestação de cochonilhas, impedindo a realização demais avaliações.

Tabela 5 Número (média± SE) de adultos, larvas e ninfas vivas de *Oligonychus ilicis* por folha de cafeeiro, em função do efeito residual do silicato de potássio, após três, sete e 21 dias após a aplicação

| Tratamento (litros de silicato de potássio/ha) | Número de ácaros vivos por folha de cafeeiro | | |
|--|--|-----------------------|------------------------|
| | 3 dias após aplicação | 7 dias após aplicação | 21 dias após aplicação |
| 1 – 0 | 19,60 ± 09,26 a | 44,60 ± 13,01 a | 50,00 ± 00,00 a |
| 2 – 2 | 10,80 ± 10,98 ab | 08,80 ± 14,17 b | 06,80 ± 01,09 b |
| 3 – 4 | 04,60 ± 10,28 b | 09,00 ± 13,47 b | 02,00 ± 00,00 cd |
| 4 – 6 | 00,40 ± 00,89 b | 07,00 ± 06,70 b | 00,20 ± 00,45 d |
| 5 – 8 | 02,20 ± 04,92 b | 03,80 ± 06,94 b | 03,40 ± 02,07 cd |
| 6 – 10 | 00,00 ± 00,00 b | 02,80 ± 01,79 b | 00,00 ± 00,00 d |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Quanto ao número de ovos colocados por *O. ilicis* observou-se que foi maior na testemunha (nível zero de silicato de potássio) em relação aos tratamentos com aplicação de silicato de potássio, nas três avaliações realizadas (Tabela 6).

Tabela 6 Número (média ± SE) de ovos de *Oligonychus ilicis* por folha de cafeeiro, em função do efeito residual do silicato de potássio, após três, sete e 21 dias após aplicação

| Tratamento (litros de silicato de potássio/ha) | Número ovos por folha de cafeeiro | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | 3 dias após aplicação | 7 dias após aplicação | 21 dias após aplicação |
| 1 – 0 | 101,60 ± 64,88 a | 45,20 ± 1,64 a | 50,80 ± 1,30 a |
| 2 – 2 | 021,80 ± 13,10 b | 09,80 ± 9,40 b | 02,00 ± 0,71 b |
| 3 – 4 | 001,00 ± 02,24 b | 02,80 ± 4,38 b | 01,00 ± 0,00 bc |
| 4 – 6 | 000,60 ± 01,34 b | 04,00 ± 5,48 b | 00,00 ± 0,00 c |
| 5 – 8 | 002,80 ± 04,38 b | 05,20 ± 5,97 b | 01,00 ± 0,00 bc |
| 6 – 10 | 000,00 ± 13,10 b | 00,00 ± 0,00 b | 00,00 ± 0,00 c |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

4 DISCUSSÃO

As aplicações de silicato de potássio, em todas as dosagens, proporcionaram uma redução na infestação de *O.ilicis* vivos nas plantas de cafeeiro. Fato semelhante foi também verificado por outros autores para outras pragas, ou seja, a aplicação de silício afetou negativamente o número de ninfas e o crescimento da população do pulgão *S. graminum* em plantas de trigo e batata (COSTA; MORAES, 2006; GOMES et al., 2008).

Neste estudo observou-se que o efeito de proteção do silício pode estar associado a mudanças químicas e físicas da planta, como endurecimento do tecido foliar, podendo causar redução da alimentação dos ácaros-praga e assim ocasionando a redução da população (fase jovem, adultos vivos e ovos) de *O.ilicis* e conseqüentemente o índice de dano causado em cafeeiros.

Observou-se que houve a indução de moléculas de defesa das plantas como taninos e ligninas. Botelho et al. (2005) também observaram aumento de lignina nos tecidos foliares de plantas de cafeeiro, adubadas com silicato de sódio ou de cálcio. Porém, não foi observado aumento do teor de lignina com a aplicação de silício na cultura da soja (FERREIRA, 2006). Os metabólitos secundários produzidos pelas plantas podem ser tóxicos ou deterrentes aos herbívoros, causando limitação nutricional (BIALCYK; LECHOWSKI; LIBIK, 1999). Segundo Swain (1977), o grupo mais importante de compostos secundários defensivos são os taninos, por atuar como deterrentes alimentares. A síntese e acúmulo de taninos nas folhas podem ter contribuído para a indução de resistência do

cafeeiro ao açúcar. A lignina é um polímero complexo quando depositado na parede celular e é responsável pelo enrijecimento da parede e pelo aumento da resistência ao ataque de agentes externos (STRACK, 1997), causando assim uma barreira mecânica, tornando a parede celular mais resistente.

Massey e Hartley (2009) também observaram que a resistência conferida pela aplicação de silício causaram alterações químicas e físicas em três variedades de gramíneas (poáceas) (*Deschampsia caespitosa* L., *Festuca ovina* e *Lolium perene* L.) como redução na digestibilidade, aumento da rigidez dos tecidos e aumento da abrasividade. Porém, Santa-Cecília, Prado e Moraes (2014) observaram, com aplicação de silicato de cálcio no solo em cafeeiro, que as cochonilhas atingiram o floema, local de alimentação, sem dificuldades, indicando que nesse estudo não houve a formação de barreira mecânica a penetração dos estiletes bucais.

Evidências de deterrência para herbívoros artrópodes em plantas de milho tratadas com silício foram observadas por Goussain et al. (2002) em lagartas-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* Smith & Abbot, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae), cuja alimentação foi inibida em plantas tratadas com silicato de sódio, e as larvas apresentaram desgaste mandibular, alta mortalidade e canibalismo, devido ao aumento de resistência a essa espécie. Aplicações de silicato de cálcio em cana-de-açúcar reduziram os danos causados por *Eldana saccharina* Walker, 1865 (Lepidoptera: Pyralidae) (KEEPING; MEYR, 2002; KVEDARAS; KEEPING, 2007). Gatarayiha, Laing e Miller (2010) constataram que a aplicação de silicato de potássio em plantas de milho, feijão, pepino e berinjela, aumentaram a resistência dessas plantas contra infestação do

ácaro-rajado, *T. urticae*, por meio de um efeito na redução de sua alimentação.

Quanto ao número de ovos postos por *O. ilicis*, foi observado que nos cafeeiros tratados com Si houve uma redução no número de ovos, provavelmente devido à redução da alimentação dos ácaros-praga e assim ocasionando a redução da população. Moraes et al. (2005) demonstraram que a aplicação de Si reduziu a fecundidade do pulgão *S. graminum*, além da preferência e a longevidade em folhas de arroz tratadas com silicato de sódio.

A aplicação de diferentes doses de silicato de potássio demonstrou que a concentração desse elemento nas folhas de cafeeiro aumentou de acordo com o aumento das doses aplicadas, indicando que houve absorção pelo cafeeiro, mesmo sendo uma dicotiledônea. Fernandes et al. (2009) também observaram a absorção de Si em plantas de cafeeiro. Gomes et al (2008) em resultados encontrados com aplicação de Si em plantas de batata, concluíram que o silício atua como elicitador da resistência induzida ao pulgão *Myzus persicae* (Sulzer, 1778) (Hemiptera: Aphididae), apesar de essas plantas serem classificadas como não acumuladoras desse mineral (MA; MIYAKI; TAKAHASHI, 2001).

Não foram observadas grandes diferenças na infestação de *O. ilicis* vivos em relação às diferentes doses de silicato de potássio utilizadas neste presente estudo. Hogendorp, Cloyd e Swiader (2009) também não observaram diferença no número de ovos e no tempo de desenvolvimento da cochonilha *Planococcus citri* (Risso, 1813) (Hemiptera: Pseudococcidae) com o aumento das taxas de silicato de potássio em coleus.

A aplicação de silicato de potássio em cafeeiro aumentou a resistência aos danos causados pelo ácaro *O.ilicis*, o que foi comprovado pela diminuição do valor do índice de dano encontrado. Gomes, Moraes e Neri (2009) constataram que *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) causou duas vezes mais lesões na testemunha do que em plantas de batata inglesa tratadas com ácido silícico. Pinto et al. (2014) também observaram que a aplicação de silicato de potássio em plantas de cacau reduziram a incidência e o nível de dano provocado por insetos-praga dessa cultura.

5 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que, as aplicações foliar de silicato de potássio como fonte de silício resultaram em um efeito positivo na redução da população do ácaro *O. ilicis* e nos danos por ele causados nas folhas, mesmo sendo o cafeeiro uma dicotiledônea. Portanto são necessárias estudos em campo para recomendação da aplicação de silicato de potássio em programas de manejo integrado de pragas para o controle do ácaro vermelho-do-cafeeiro, tendo em vista o manejo sustentável de pragas e proteção ao meio ambiente.

The study of potassium silicate application to control *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) in coffee plants

ABSTRACT

The coffee red spider mite, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) can cause a significant reduction in the photosynthesis potential and the growth of new coffee plants (*Coffea* spp.). Studies suggest that the application of silicon (Si) leads to increase plants resistance in order to reduce infestations of insect pests such as herbivores, borer, sucking and mites. The objective of this study was to evaluate the effect of foliar applications of potassium silicate to control the coffee red spider mite. Experiments in a greenhouse were conducted in coffee plants (*Coffea arabica* L.) using completely randomized design with six treatments and five replications, and the treatments: 0 (control), 2, 4, 6, 8, 10 L silicate potassium ha⁻¹. Plants treated with potassium silicate had a lower *O. ilicis* infestation compared to the control, not allowing this population to increase, thus a smaller damage in coffee leaves. The silicon content in leaves was higher in plants treated with the highest dose of potassium silicate. It was observed that there was induction of defense molecules such as tannins and lignins in plants sprayed with potassium silicate. It concludes that the potassium silicate applications had positive effect on reducing *O. ilicis* attack in coffee plants, even being a dicot. So for more sustainable agriculture, potassium silicate applications can be used in the field for the integrated management of the red mite of the coffee.

Keywords: Induced resistance. Agricultural acarology. Silicon. Integrated pest management. Coffee red spider mite.

REFERÊNCIAS

ASSIS, F. A. et al. The effects of foliar spray application of silicon on plant damage levels and components of larval biology of the pest butterfly *Chlosyne lacinia saundersii* (Nymphalidae). **International Journal of Pest Management**, London, v. 59, n. 2, p. 128-134, Mar. 2013.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15th ed. Washington, 1990.994 p.

BIALCYK, J.; LECHOWSKI, Z.; LIBIK, A. The protective action of tannins against glasshouse whitefly in tomato seedlings. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 133, n. 2, p. 197-201, 1999.

BOTELHO, D. M. S. et al. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 582-588, nov./dez. 2005.

BUTT, T. M.; JACKSON, C.; MAGAN, N. Introduction: fungal biological control agent: progress, problems and potential. In: BUTT, T. M.; JACKSON, C.; MAGAN, N. (Ed.). **Fungi as biological control agents: progress, problems and potential**. Wallingford: CABI, 2001. p. 1-8.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-s-methyl sobre *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 834-839, nov./dez. 2006.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; COSTA, R. R. da. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v. 135, n. 1/2, p. 115-120, Feb. 2011.

DESHPANDE, S. S.; CHERYAN, M.; SALUNKE, D. K. Tannin analysis of food products. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 24, p. 401-449, 1986.

FERNANDES, A. L. T. et al. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. **Revista Uberaba**, Uberaba, n. 6, p. 11-52, 2009.

FERREIRA, R. S. **Influência do silício na indução de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) e no desenvolvimento vegetativo em dois cultivares de soja *Glycine max* (L.) Merrill.** 2006. 40 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

FRANCO, R. A. et al. Influência da infestação de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) sobre a taxa de fotossíntese potencial de folhas de cafeeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 76, n. 2, p. 205-210, 2009.

GATARAYIHA, M. C.; LAING, M. D.; MILLER, R. M. Combining applications of potassium silicate and *Beauveria bassiana* to four crops to control two spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. **International Journal of Pest Management**, London, v. 56, n. 4, p. 291-297, 2010.

GOMES, F. B. et al. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 2, p. 185-190, mar./abr. 2008.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência a insetos praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 18-23, jan./fev. 2009.

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, abr./jun. 2002.

HOGENDORP, B. K.; CLOYD, R. A.; SWIADER, J. M. Effect of silicon-based fertilizer applications on the reproduction and development of the citrus mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) feeding on green coleus. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 102, n. 6, p. 2198-2209, Dec. 2009.

KEEPING, M. G.; KVEDERAS, O. L. Silicon as a plant defense against insect herbivory: response to Massey, Ennos and Hartley. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 631-633, May 2008.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalkborer, *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera; Pyralidae). **Agricultural and Forest Entomology**, London, v. 4, n. 4, p. 265-274, Nov. 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU, 2004. 24 p. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico, 1).

KVEDARAS, O. L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defenses. **Bulletin of Entomology Research**, Cambridge, v. 100, n. 3, p. 367-371, June 2010.

KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Hoboken, v. 125, n. 1, p. 103-110, Oct. 2007.

LAING, M. D.; GATARAYIHA, M. C.; ADANDONON, A. Silicon use for pest control in agriculture: a review. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, Brisbane, v. 80, n. 3, p. 278-286, May 2006.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Wageningen: Elsevier Science, 2001.p. 17-39.

MASSEY, E. P.; HARTLEY, S. E. Physical defense wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 78, n. 1, p. 281-291, Jan. 2009.

MCMURTRY, J. A.; SCRIVEN, G. T. Insectary production of Phytoseiid mites. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 58, p. 282-284, 1965.

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Manual de acarologia**. Ribeirão Preto: Holos, 2008. 288 p.

MORAES, J. C. et al. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 761-766, jul./ago. 2005.

NICASTRO, R. L.; SATO, E. M.; SILVA, M. Z. da. Milbemectin resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) selection, stability and cross-resistance to abamectin. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 50, n. 3, p. 231-241, Mar. 2010.

PINTO, D. G. et al. Fotossíntese, crescimento e incidência de insetos-pragas em genótipos de cacau pulverizados com silício. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 715-724, 2014.

REIS, P. R.; ALVES, E. B.; SOUSA, E. O. Biologia do ácaro-vermelho do cafeeiro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 21, n. 3, p. 260-266, maio/jun. 1997.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Pragas do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 323-378.

REIS, P. R.; ZACARRIAS, M. S. **Ácaros em cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 76 p. (Boletim Técnico, 81).

SANTA-CECÍLIA, L. V. C.; PRADO, E.; MORAES, J. C. de. Avaliação do silício no comportamento alimentar da cochonilha branca *Planococcus citri* (Risso) (Pseudococcidae) em cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 10-13, 2014.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. D.; DATNOFF, L. E. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, London, v. 58, p. 151-199, 1997.

SIGMAPLOT for Windows. Version 9.01. San Jose: Systat Software, 2004.

SMITH-MEYER, M. K. P. **Mite pests and their predators on cultivated plants in Southern Africa:** vegetables and berries. Pretoria: ARC-Plant Protection Research Institute, 1996. 90 p.

SOEST, P. J. van. Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forage. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, p. 119-128, 1967.

STRACK, D. Phenolic metabolism. In: DEY, J. B.; HARBONE, J. B. (Ed.). **Plant biochemistry**. London: Academic, 1997. p. 387-416.

STUMPF, N.; NAUEN, R. Cross-resistance, inheritance and biochemistry of mitochondrial electron transport inhibitor-acaricide resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 94, n. 6, p. 1577-1583, 2001.

SWAIN, T. The effect of plant secondary products on insect plant co-evolution. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 28, p. 479-501, 1977.