

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**O ÁCARO-VERMELHO-DO-AMENDOIM, *Tetranychus ogmophallos*
(ACARI: TETRANYCHIDAE): ASPECTOS BIOECOLÓGICOS E SEU
MANEJO NA CULTURA DO AMENDOIM**

Cirano Cruz Melville

Engenheiro Agrônomo

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**O ÁCARO-VERMELHO-DO-AMENDOIM, *Tetranychus ogmophallos*
(ACARI: TETRANYCHIDAE): ASPECTOS BIOECOLÓGICOS E SEU
MANEJO NA CULTURA DO AMENDOIM**

Discente: Cirano Cruz Melville

Orientador: Prof. Dr. Daniel Junior de Andrade

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Entomologia Agrícola).

2018

M531a Melville, Cirano Cruz
O ácaro-vermelho-do-amendoim, *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae): aspectos bioecológicos e seu manejo na cultura do amendoim / Cirano Cruz Melville. -- , 2018
96 p. : il., tabs. + 1 CD-ROM

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,
Orientador: Daniel Junior de Andrade

1. *Arachis hypogaea*. 2. Cultivares de amendoim. 3. Phytoseiidae. 4. Precipitação pluviométrica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: O ACARO-VERMELHO-DO-AMENDOIM, *Tetranychus ogmophallos* (ACARI: TETRANYCHIDAE): ASPECTOS BIOECOLÓGICOS E SEU MANEJO NA CULTURA DO AMENDOIM

AUTOR: CIRANO CRUZ MELVILLE

ORIENTADOR: DANIEL JUNIOR DE ANDRADE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal



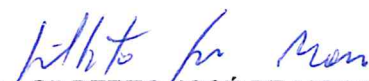
Prof. Dr. ODIMAR ZANUZO ZANARDI
FUNDECITRUS / Araraquara/SP



Prof. Dr. RAPHAEL DE CAMPOS CASTILHO
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. MARCOS DONISETI MICHELOTTO
APTA Regional Centro-Norte / Pindorama-SP



Prof. Dr. GILBERTO JOSÉ DE MORAES
Departamento de Entomologia e Acarologia/ESALQ-USP / Piracicaba/SP

Jaboticabal, 20 de novembro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Cirano Cruz Melville – Nasceu em 13 de abril de 1987 em Boa Vista, estado de Roraima, filho de Eduardo Parnell Melville e Geiza Brito Melville. É Engenheiro Agrônomo graduado em 2012 pela Universidade Federal de Roraima, câmpus Cauamé. De 2009 a 2012, durante a graduação, desenvolveu atividades de pesquisa na área de Entomologia Agrícola com ênfase em Resistência de Plantas a Insetos e Acarologia Agrícola, sendo Bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET/AGRONOMIA), sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Cesar Silva Lima. Em agosto de 2013, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Entomologia Agrícola pela Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/FCAV, câmpus de Jaboticabal, estado de São Paulo, atuando em pesquisas relacionadas à Acarologia Agrícola. Durante o Mestrado foi bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, sob orientação do Prof. Dr. Daniel Junior de Andrade. Em março de 2015 iniciou o curso de doutorado em Agronomia (Entomologia Agrícola) na mesma instituição, sendo bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, e orientado pelo Prof. Dr. Daniel Junior de Andrade. Durante o curso de doutorado realizou estágio sanduíche em Montana State University – MSU, em Bozeman, MT, EUA, entre abril e outubro de 2017 sob a supervisão da Professora Dra. Mary Burrows, com bolsa do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

E-mail: ciranomelville@outlook.com

“ Enquanto você sonha, você está fazendo o rascunho do seu futuro. ”
Charles Chaplin

DEDICO...

Ao meu pai **Eduardo Parnell Melville** e

Minha mãe **Geiza Brito Melville**,

pela educação e boa índole que procuro ter como exemplo todos os dias.

À minha esposa **Natália Trajano de Oliveira**,

cujo amor, estímulo, companheirismo, incentivo e compreensão a mim dedicados,

me tornaram mais forte, ao longo das diferentes etapas deste ciclo de minha vida.

OFEREÇO...

Ao meu irmão **Aindan Brito Melville** e minha irmã **Naoma Gordon Melville**,

por acreditarem que esse dia chegaria e confiarem

no esforço e coragem por mim dedicado à realização do meu sonho.

Ao Sr. **Ruberval Barsosa de Oliveira**, Sra. **Ednamar Trajano de Oliveira**, **Suelemmar**

Trajano de Oliveira e **Ruberval Barbosa de Oliveira Júnior** pelo apoio incondicional,

torcida e pelo carinho fraternal recebido durante toda esta fase de minha vida.

HOMENAGEIO...

“Tu me farás conhecer a vereda da vida,

a alegria plena da tua presença,

eterno prazer à tua direita”

Salmos 16:11

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelas oportunidades concedidas, por tudo permitido, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos e possibilitando um momento impar em minha vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal – UNESP/FCAV, juntamente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Entomologia Agrícola (PPG-EA), pela oportunidade da realização dos cursos de Mestrado e Doutorado, por toda infraestrutura e recursos recebidos.

À Montana State University (MSU), Bozeman, MT, EUA, pela oportunidade da realização do estágio de doutorado sanduíche (PDSE - CAPES), por todo treinamento, conhecimento adquirido e infraestrutura.

Em especial ao meu orientador Prof. Dr. Daniel Junior de Andrade não só pela constante orientação em todos os trabalhos dentro da pós-graduação, mas, sobretudo pelas oportunidades, apoio, contribuição no meu crescimento profissional e, principalmente, pela grande amizade.

Aos doutores, Robert K. D. Peterson e Mary Burrows, pelo aceite na orientação durante meu estágio doutoral nos Estados Unidos, pela grande experiência vivida durante esse período e pelos ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão das bolsas de doutorado e doutorado sanduíche (PDSE).

Aos ex- e atuais coordenadores do PPG-EA, Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes e Prof. Dr. Antonio Carlos Busoli, Prof. Dr. Raphael de Campos Castilho pelas contribuições prestadas.

Ao corpo docente do PPG-EA, pelos ensinamentos, conhecimentos e experiências transmitidas.

À secretária do Departamento de Fitossanidade, Cibeles da Silva Anton pelos esclarecimentos, paciência e ajuda prestada.

Aos professores, Dr. Raphael de Campos Castilho e Dr. Guilherme Duarte Rossi, pela preciosa participação e contribuição durante meu Exame Geral de Qualificação de Doutorado.

Ao Dr. Ignácio José de Godoy do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e ao Dr. Marcos Doniseti Michelotto do Polo Regional Centro Norte Pindorama (APTA – PINDORAMA), pela parceria de sempre, aportes e sugestões efetivas na idealização e elaboração dos projetos de mestrado e doutorado

Ao Dr. Odimar Zanuzo Zanardi do Fundecitrus, pela parceria e apoio na realização das análises estatísticas.

À Cooperativa Agroindustrial - COPLANA, pelo fornecimento das sementes de amendoim e suprimentos aos experimentos.

Ao meu orientador de graduação Prof. Dr. Antonio Cesar Silva Lima da pela amizade, ensinamentos e incentivo quando iniciei meus trabalhos de pesquisa voltados para a área de Entomologia Agrícola.

Aos colegas do Laboratório de Acarologia - UNESP/FCAV: Dionisio Celso Figueiredo, Patrice Jacob Savi, Fabiano Aparecido dos Santos, Ingrid Amaral, Matheus Rovere de Moraes, Yoandry Rodríguez Rivero, Sidnéia Terezinha Soares de Matos e Samuel Felipe Zampa pela amizade e auxílio em diversas atividades.

Aos colegas, Monica Brelsford, Uta Stuhr e Kyla Crisp (MSU) pela amizade, conhecimento compartilhado e momentos ímpares durante minha estada nos Estados Unidos.

Em especial ao amigo Luciano Nogueira pela parceria, incentivo, apoio e amizade em todos os momentos e que levarei por toda vida.

A todos que de alguma forma contribuíram direta e indiretamente a realização deste trabalho o meu eterno agradecimento.

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

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. Introdução.....	1
2. Revisão de literatura.....	3
2.1. Ácaros como pragas do amendoazeiro.....	3
2.2. <i>Tetranychus ogmophallos</i> e seus danos à cultura do amendoim.....	3
2.3. Fatores abióticos e seus efeitos nas populações de ácaros plantícolas.....	4
2.4. Cultivares de amendoim.....	7
2.5. Uso de ácaros predadores no controle biológico.....	8
3. Referências.....	10
CAPÍTULO 2 - AÇÃO DA CHUVA NA REGULAÇÃO POPULACIONAL DE <i>Tetranychus ogmophallos</i> FERREIRA & FLECHTMANN (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM AMENDOIM	17
RESUMO.....	17
ABSTRACT	18
1. Introdução.....	19

2. Material e métodos.....	21
2.1. Ácaros.....	21
2.2. Bioensaios	21
2.3. Caracterização do simulador de chuva.....	22
2.4. Experimento 1: Ação da chuva na densidade populacional do ácaro <i>Tetranychus ogmophallos</i>	22
2.5. Experimento 2: Ação da chuva na densidade populacional do ácaro <i>Tetranychus ogmophallos</i> em diferentes estratos da planta.....	23
2.6. Avaliação da produtividade do amendoim.....	24
2.7. Análise estatística.....	24
3. Resultados.....	26
3.1. Experimento 1: Ação da chuva na densidade populacional do ácaro <i>Tetranychus ogmophallos</i>	26
3.2. Experimento 2: Ação da chuva na densidade populacional do ácaro <i>Tetranychus ogmophallos</i> em diferentes estratos da planta.....	30
3.3. Avaliação da produtividade das plantas de amendoim.....	34
4. Discussão.....	35
5. Referências.....	39
CAPÍTULO 3 – CULTIVARES ALTO OLEICAS APRESENTAM POTENCIAL SUSCEPTIBILIDADE PARA DESENCADear SURTOS DE <i>Tetranychus ogmophallos</i> (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM CULTIVO DE AMENDOIM.....	44
RESUMO.....	44

ABSTRACT.....	45
1. Introduction.....	46
2. Material and Methods.....	48
2.1. Sourcing and maintenance of the <i>Tetranychus ogmophallos</i> colony.....	48
2.2. Peanut cultivars and breeding lines.....	48
2.3. Experimental set-up.....	49
2.4. Immature development and survival.....	50
2.5. Reproduction and adult longevity parameters.....	50
2.6. Life table analysis.....	50
3. Results.....	53
3.1. Immature development and survival.....	53
3.2. Reproduction and adult longevity parameters.....	55
3.3. Age-stage-specific survival rate (s_{xj}).....	57
3.4. Age-specific survival rate (l_x) and Age-specific fecundity (m_x).....	58
3.5. Age-stage life expectancies (e_{xj}) and Age-stage-specific reproductive value (V_{xj}).....	59
3.6. Life table parameters.....	61
4. Discussion.....	62
5. References.....	67

CAPÍTULO 4 – RESPOSTA FUNCIONAL E CONSUMO MÉDIO DE <i>Neoseiulus idaeus</i> E <i>Neoseiulus californicus</i> (ACARI: PHYTOSEIIDAE) SOBRE O ÁCARO-VERMELHO-DO-AMENDOIM.....	73
RESUMO.....	73
ABSTRACT.....	74
1. Introdução.....	75
2. Material e métodos.....	76
2.1. Criação de <i>Tetranychus ogmophallos</i>	76
2.2. Criação de <i>Neoseiulus idaeus</i> e <i>Neoseiulus californicus</i>	77
2.3. Condições experimentais	78
2.4. Resposta funcional.....	78
2.5. Análise estatística.....	79
3. Resultados.....	80
4. Discussão.....	86
5. Referências.....	90
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95

O ÁCARO-VERMELHO-DO-AMENDOIM, *Tetranychus ogmophallos* (ACARI: TETRANYCHIDAE): ASPECTOS BIOECOLÓGICOS E SEU MANEJO NA CULTURA DO AMENDOIM

RESUMO – O ácaro-vermelho-do-amendoim, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann (Acari: Tetranychidae), é atualmente considerado uma praga de grande importância para cultura do amendoim. Surtos populacionais desse ácaro têm levado os produtores a efetuar aplicações de acaricidas nas áreas de cultivo de amendoim. Diante dos surtos de *T. ogmophallos* na cultura do amendoim, reconhecido potencial biótico e os danos causados por este ácaro, torna-se fundamental o conhecimento dos aspectos biológicos, requisitos ecológicos, inimigos naturais, bem como dos fatores abióticos associados. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da precipitação pluviométrica na densidade populacional de *T. ogmophallos*, identificar se cultivares de amendoim recém liberadas são responsáveis por causar surtos de *T. ogmophallos* em amendoim e determinar a resposta funcional e o consumo médio de *Neoseiulus idaeus* Denmark e Muma e *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) sobre o ácaro *T. ogmophallos*. Os estudos foram conduzidos em condições de laboratório e semi-campo. A chuva exerceu um efeito positivo e significativo na população de *T. ogmophallos* em plantas de amendoim. Em relação as cultivares, os resultados mostraram que a maioria das cultivares de amendoim lançadas nos últimos dez anos são suscetíveis e fazem parte de um conjunto de fatores que desencadeiam os surtos de *T. ogmophallos*. As proporções de presas consumidas por *N. idaeus* e *N. californicus* foram maiores nas densidades mais baixas em todos os estádios do ácaro-vermelho-do-amendoim, sugerindo que estes fitoseídeos possuem alta capacidade de busca e são mais eficazes na supressão populacional do ácaro-vermelho-do-amendoim em baixas densidades. Esses resultados obtidos e a compreensão dos fatores estudados, servirão para subsidiar os produtores na busca de novas alternativas e estratégias de controle mais sustentáveis para manejo de *T. ogmophallos* em cultivo de amendoim.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea*, cultivares de amendoim, Phytoseiidae, precipitação pluviométrica

THE PEANUT RED SPIDER MITE, *Tetranychus ogmophallos* (ACARI: TETRANYCHIDAE): BIOLOGICAL ASPECTS AND ITS MANAGEMENT ON PEANUT CROP

ABSTRACT – The peanut red spider mite, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira and Flechtmann (Acari: Tetranychidae) is currently considered an important pest for peanut crop. Population outbreaks of this mite have led farmers to make applications of acaricides in peanut growing areas. Given the *T. ogmophallos* outbreaks in the peanut crop, recognized biotic potential and the damage caused by this mite, knowledge of the biological aspects, ecological requirements, natural enemies, as well as associated abiotic factors becomes necessary. The objective of this study was to evaluate the effect of rainfall on *T. ogmophallos* population density on the peanut crop, identify whether newly released peanut cultivars were responsible for causing *T. ogmophallos* outbreaks in peanut and determine the functional response and prey consumption of *Neoseiulus idaeus* Denmark and Muma and *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) on *T. ogmophallos* mite. The studies were conducted under laboratory and semi-field conditions. Rainfall had a positive and significant effect in reducing the population of *T. ogmophallos* on peanut plants. Regarding the cultivars, the results show that the majority of the peanut cultivars released in the last ten years are susceptible and are part of a set of factors that trigger *T. ogmophallos* outbreaks. The proportions of prey consumed by *N. idaeus* and *N. californicus* were higher at lower densities for all stages of peanut red spider mite, implying that these phytoseiids have a high search capacity and should be more effective at suppressing peanut red spider mite populations at lower densities. The results obtained and the understanding of the studied factors, will support growers with new alternatives and sustainable control strategies in the management of *T. ogmophallos* in peanut crop.

Keywords: *Arachis hypogaea*, peanut cultivar, Phytoseiidae, rainfall

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 2 – AÇÃO DA CHUVA NA REGULAÇÃO POPULACIONAL DO ÁCARO <i>Tetranychus ogmophallos</i> FERREIRA & FLECHTMANN (PROSTIGMATA: TETRANYCHIDAE) EM AMENDOIM.....	17
Tabela 1. Efeito da lâmina de chuva nos níveis populacionais de <i>Tetranychus ogmophallos</i> em plantas de amendoim.....	27
Tabela 2. Efeito da lâmina de chuva na recolonização de <i>Tetranychus ogmophallos</i> em plantas de amendoim.....	29
Tabela 3. Efeito da lâmina de chuva nos níveis populacionais de <i>Tetranychus ogmophallos</i> nos extratos superior e inferior das plantas de amendoim.....	31
Tabela 4. Efeito da lâmina de chuva na recolonização de <i>Tetranychus ogmophallos</i> nos extratos inferior e superior das plantas de amendoim.....	33
CAPÍTULO 3 – CULTIVARES ALTO OLEICAS APRESENTAM POTENCIAL SUSCEPTIBILIDADE PARA DESENCADear SURTOS DE <i>Tetranychus ogmophallos</i> (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM CULTIVO DE AMENDOIM.....	44
Table 1. Characteristics of the cultivars and breeding lines used in the experiment.....	49
Table 2. Mean ($\pm$ SE) duration and survival of immature stages of <i>Tetranychus ogmophallos</i> reared on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.....	54

Table 3. Mean ($\pm$ SE) of sex ratio (females/females + males) duration of pre-oviposition period (APOP), total pre-oviposition period (TPOP), oviposition period, fecundity and longevity of <i>Tetranychus ogmophallos</i> reared on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.....	56
---	----

Table 4. Mean ($\pm$ SE) life table parameters (r , intrinsic rate of increase; λ , finite rate of increase; R_0 , net reproductive rate and T , mean generation time) of <i>Tetranychus ogmophallos</i> reared on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.....	61
---	----

CAPÍTULO 4 – RESPOSTA FUNCIONAL E CONSUMO MÉDIO DE de <i>Neoseiulus idaeus</i> e <i>Neoseiulus californicus</i> (ACARI: PHYTOSEIIDAE) SOBRE O ÁCARO-VERMELHO-DO-AMENDOIM.....	73
---	----

Tabela 1. Estimativas de máxima verossimilhança ($\pm$ EP) a partir da regressão logística da proporção de <i>Tetranychus ogmophallos</i> em diferentes estádios de desenvolvimento consumidas em função das densidades iniciais de presas por fêmeas adultas de <i>Neoseiulus idaeus</i> e <i>Neoseiulus californicus</i>	82
---	----

Tabela 2. Estimativa ($\pm$ EP) da taxa de ataque (α) e tempo de manipulação (T_h) de <i>Neoseiulus idaeus</i> em diferentes estádios de <i>Tetranychus ogmophallos</i> durante 24 horas.....	83
---	----

Tabela 3. Estimativa ($\pm$ EP) da taxa de ataque (α) e tempo de manipulação (T_h) de <i>Neoseiulus californicus</i> em diferentes estádios de <i>Tetranychus ogmophallos</i> durante 24 horas.....	84
---	----

Tabela 4. Consumo médio ($\pm$ EP) de fêmeas adultas de espécies de <i>Neoseiulus idaeus</i> e <i>Neoseiulus californicus</i> em diferentes densidades de ovo, larva, protoninfa e deutoninfa de <i>Tetranychus ogmophallos</i> durante 24 horas.....	85
--	----

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 2 – AÇÃO DA CHUVA NA REGULAÇÃO POPULACIONAL DO ÁCARO <i>Tetranychus ogmophallos</i> FERREIRA & FLECHTMANN (PROSTIGMATA: TETRANYCHIDAE) EM AMENDOIM	17
Figura 1. Efeito da lâmina de chuva na produtividade de amendoim.....	34
CAPÍTULO 3 – CULTIVARES ALTO OLEICAS APRESENTAM POTENCIAL SUSCEPTIBILIDADE PARA DESENCADear SURTOS DE <i>Tetranychus ogmophallos</i> (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM CULTIVO DE AMENDOIM.....	44
Figure 1. Age-stage-specific survival rate of <i>Tetranychus ogmophallos</i> reared on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod: (a) preadult stages and (b) adult stages.....	57
Figure 2. Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of <i>Tetranychus ogmophallos</i> reared on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.....	58
Figure 3. Age-stage-specific life expectancy of <i>Tetranychus ogmophallos</i> reared on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod: (a) preadult stages and (b) adult stages.....	59
Figure 4. Age-stage-specific reproductive value of <i>Tetranychus ogmophallos</i> reared on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.....	60

CAPÍTULO 4 – RESPOSTA FUNCIONAL E CONSUMO MÉDIO DE <i>Neoseiulus idaeus</i> e <i>Neoseiulus californicus</i> (ACARI: PHYTOSEIIDAE) SOBRE O ÁCARO-VERMELHO-DO-AMENDOIM.....	74
--	----

Figura 1. Proporção média ($\pm$ EP) de presas consumidas por fêmeas adultas de <i>Neoseiulus idaeus</i> e <i>Neoseiulus californicus</i> em cinco densidades de <i>Tetranychus ogmophallos</i> durante 24 horas.....	81
--	----

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os quinze maiores produtores de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) no ranking mundial (USDA, 2018), posição essa alcançada e atribuída em grande parte ao estado de São Paulo, que na safra de 2017/2018 colheu 486,2 mil toneladas de amendoim, quase 95% do total produzido no País. Em São Paulo, a área de plantio aumentou em 13% levando a um incremento de 3% na produtividade em relação à safra passada (CONAB, 2018). O plantio nessas áreas é feito durante a entressafra da cana-de-açúcar, cujo sistema é bastante utilizado pelos produtores do Sudeste (Godoy et al., 2017). Aumentos em produtividade, registrados nos últimos quinze anos, devem-se, especialmente a introdução de cultivares do tipo *runner* na cadeia produtiva do amendoim (Martins, 2013).

Apesar da expansão da cultura do amendoim nos últimos anos no Brasil, o alto custo agrícola devido à necessidade de aplicações frequentes de produtos químicos para o controle de pragas e doenças coloca em risco a viabilidade do agronegócio do amendoim (Pirrota et al., 2017). Estima-se que 30% do custo total de condução de um hectare sejam gastos com o controle de pragas e doenças que acometem a cultura (Michelotto et al., 2015).

Nos últimos anos, altas infestações do ácaro-vermelho-do-amendoim, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann (Acari: Tetranychidae) no estado de São Paulo mudaram o *status* desta praga de ocasional e esporádica para recorrente e abundante, exigindo aplicações de acaricidas, fato até então incomum nesta cultura. Os fatores envolvidos com os surtos populacionais de *T. ogmophallos* são desconhecidos ou pouco compreendidos. Entre as hipóteses sugeridas para explicar o aumento das infestações citam-se os veranicos cada vez mais frequentes (períodos de interrupção das precipitações pluviométricas em plena estação chuvosa), altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar. Tais condições climáticas favorecem ao desenvolvimento

desses ácaros (Andrade et al., 2016), reduzindo a ação mecânica que a precipitação pluviométrica exerce na população desses organismos (Vieira et al., 2004). Ainda neste contexto, as cultivares lançadas recentemente podem apresentar características bioquímicas e morfológicas que favoreçam o desenvolvimento e os surtos de populações de ácaros. Finalmente, o uso intensivo de produtos fitossanitários de amplo espectro, que exercem efeito deletério sobre os inimigos naturais (Trichilo e Wilson, 1993). Todos esses fatores agravam-se somado ao alto potencial biótico, elevado número de gerações em curto espaço de tempo, grande número de hospedeiros, entre outras características comportamentais e biológicas apresentadas pelos ácaros tetraniquídeos (Barros et al., 2007).

Melville et al. (2018) verificaram que altas infestações de *T. ogmophallos* podem inviabilizar o crescimento da planta de amendoim, reduzir o número de folhas, a qualidade e a quantidade de grãos produzidos e até causar a morte das plantas. Além Infestações aos 90 dias após emergência das plantas podem ocasionar redução de produtividade de até 85%. Diante dos surtos populacionais de *T. ogmophallos* cada vez mais frequentes na cultura do amendoim, reconhecido potencial biótico e os danos causados por este ácaro, torna-se fundamental o conhecimento detalhado por meio da biologia da praga, dos requisitos ecológicos, dos inimigos naturais, bem como dos fatores abióticos associados. Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da precipitação pluviométrica na densidade populacional de *T. ogmophallos*, identificar se cultivares de amendoim recém liberadas são responsáveis por causar surtos de *T. ogmophallos* em amendoim e determinar a resposta funcional e o consumo médio de *Neoseiulus idaeus* Denmark e Muma e *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) sobre o ácaro *T. ogmophallos*.

2. Revisão de literatura

2.1. Ácaros como pragas do amendoimzeiro

Dentre os ácaros associados à cultura do amendoim, a maior parte pertence à família Tetranychidae, sendo relatadas 32 espécies, 22 das quais pertencentes ao gênero *Tetranychus* (Mingeon e Dorkeld, 2018). O ácaro *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) apresenta-se como a espécie mais prejudicial para essa leguminosa nos Estados Unidos (Leuck e Hammons, 1968; Boykin e Campbell, 1982; Smith e Mozingo, 1983; Heagle et al., 1994).

No Brasil, ocorrem 14 espécies de ácaros associados ao amendoim (Ferreira e Flechtmann, 1997; Mingeon e Dorkeld, 2018) dos quais três com "status" de praga, sendo o ácaro-rajado, *T. urticae*, o ácaro-vermelho-do-amendoim, *T. ogmophallos* e o ácaro-verde *Mononychellus planki* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). Na literatura há relatos de infestações de *Tetranychus neocaledonicus* André (Acari: Tetranychidae) em plantas de amendoim no estado da Paraíba (Silva e Gondim Junior, 2016). Almeida (2013) e Fletchmann (1979), relatam *Tetranychus evansi* Pritchard e Baker (Acari: Tetranychidae) como praga da cultura do amendoim, entretanto, Moraes e Flechtmann (2008) citam que *T. evansi* mencionado pelos autores na verdade trata-se do ácaro *T. ogmophallos*.

2.2. *Tetranychus ogmophallos* e seus danos à cultura do amendoim

Fêmeas adultas de *T. ogmophallos* possuem coloração vermelho carmim (Ferreira e Flechtmann, 1997), já os indivíduos em estádios iniciais de desenvolvimento geralmente apresentam coloração vermelho-clara (Andrade et al., 2016). Bonato et al. (2000) verificaram que o ciclo biológico desse ácaro de ovo-adulto é de 14 dias e a fecundidade é de 60 ovos por fêmea à 26 °C em plantas de amendoim (*A. hypogaea*). Embora esse ácaro tenha sido encontrado no campo somente em plantas do gênero

Arachis esses mesmos autores em experimentos com *T. ogmophallos* em amendoim, soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e feijão [*Phaseolus vulgaris* L.], verificaram que o desenvolvimento de ovo-adulto ocorreu sobre as três espécies de plantas. Mas o feijoeiro mostrou-se como o hospedeiro mais favorável ao desenvolvimento desse ácaro.

Nas áreas de cultivo de amendoim, infestações de *T. ogmophallos* iniciam-se em pequenas reboleiras, o que dificulta o diagnóstico precoce da praga (Melville, 2015). Desde que haja condições climáticas favoráveis (altas temperaturas e baixa umidade relativa), o ácaro-vermelho pode ocorrer desde os primeiros estádios de desenvolvimento até o final do ciclo da cultura. O ácaro causa injúrias principalmente em folhas, porém é comum observar ácaros sobre flores e ramos jovens. Nas folhas inicialmente atacadas surgem pontuações amareladas e rapidamente as folhas adquirem manchas que podem cobrir totalmente sua superfície, levando-as a secar e cair (Andrade et al., 2016). O ácaro *T. ogmophallos* apresenta potencial de causar danos irreversíveis ao desenvolvimento das plantas de amendoim, acarretam diminuição do processo fotossintético, redução da taxa de crescimento da planta, redução do número de folhas e prejuízo à qualidade e a quantidade de grãos produzidos, podendo até levar as plantas a morte.

2.3. Fatores abióticos e seus efeitos nas populações de ácaros plantícolas

No desenvolvimento de um sistema de manejo de pragas, prioridade deve ser dada aos fatores intrínsecos e extrínsecos responsáveis pelas variações sazonais nas populações de pragas. Dos muitos fatores exógenos que afetam os ácaros tetraniquídeos provavelmente nenhum é mais importante que as variações abióticas, visto que podem afetar direta e indiretamente populações de herbívoros. Diretamente, as consequências são percebidas por meio do efeito sobre os processos fisiológicos, biológicos e comportamentais (Pedro-Neto et al., 2009), indiretamente, os efeitos são surtidos por meio das plantas hospedeiras e simbiontes (Rosado et al., 2015). Os

principais fatores abióticos que podem afetar a abundância de artrópodes herbívoros são temperatura, umidade, vento, fotoperíodo e precipitação (Rosado et al., 2015).

A temperatura é o mais estudado de todos os fatores abióticos e, provavelmente, tem a influência mais geral sobre as populações de ácaros (Jeppson et al., 1975; Messenger, 1970). Sabe-se que temperaturas acima de 25 °C aumentam a reprodução e o desenvolvimento de muitas espécies de ácaros tetraniquídeos (Bounfour e Tanigoshi, 2001). A umidade relativa é um importante fator climático que influencia a ocorrência de artrópodes no campo (Zundel et al., 2009). Para os ácaros, a perda ou ganho de água da atmosfera é vital devido à grande razão superfície/volume (van de Vrie et al., 1972). A umidade relativa, quando alta e contínua, provoca redução no número de indivíduos, podendo afetar a oviposição, eclosão e a sobrevivência das larvas (Moraes e Flechtmann, 2008). Sob baixa umidade, a perda de água por transpiração pode ser compensada pelo aumento da alimentação (Boudreaux, 1958). Porém, umidades relativa abaixo de 30% afetam negativamente parâmetros biológicos de algumas espécies (Rêgo et al., 2013).

Sabe-se que o vento está geralmente relacionado com altas populações de tetraniquídeos, tanto pela redução da umidade do ar, favorecendo assim a biologia desses organismos, como por carrear poeira e sujidades para as folhas, o que favorece algumas espécies (Rosado et al., 2015). O fotoperíodo tem efeito particularmente significativo em regiões temperadas, sendo um dos fatores que frequentemente determinam a entrada em repouso fisiológico (diapausa) de diferentes organismos (Moraes e Flechtmann, 2008; Hoy, 2011). Rosado et al. (2015) estudando a variação sazonal de populações de *Tetranychus bastosi* Tuttle, Baker e Sales (Acari: Tetranychidae) em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), verificaram ataques mais intensos desse ácaro durante dias mais longos, indicando que o fotoperíodo afeta as populações desse ácaro em dias curtos.

Em regiões com ocorrência de alta pluviosidade, problemas com a ocorrência de ácaros pragas são menos frequentes (Hoy, 2011), pois a precipitação promove a diminuição das populações de ácaros por meio da ação direta do impacto das gotas, lavando as folhas das plantas e removendo os ácaros (Li et al., 2010; Abreu et al.,

2014). Porém, alguns indícios mostram que os ácaros, principalmente tetraniquídeos, coevoluíram com as plantas e desenvolveram algumas características morfológicas e comportamentais que os auxiliam a suportar efeitos abióticos adversos, como, por exemplo a chuva. Algumas espécies de tetraniquídeos adquiriram maior facilidade de viver na superfície abaxial da folha, e isso estaria relacionado com o tipo de ambulacro (parte distal do tarso) e com a capacidade de tecer grande quantidade de teia (Gutierrez e Helle, 1985). Visto que, espécies pertencentes ao gênero *Oligonychus* que habitam a superfície adaxial das folhas, tecem teia com fios dispersos e apresentam tarso com menor capacidade de fixação, deixando-os mais vulneráveis ao efeito físico da chuva (Franco et al., 2008). Ademais, algumas espécies dos gêneros *Tetranychus* e *Panonychus* apresentam a capacidade de retardar a eclosão das larvas e de prolongar os estádios quiescentes (protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida) de desenvolvimento como estratégia ecológica em resposta a ação mecânica da chuva (Ikegame et al., 2000; Ubara e Osakane, 2015).

A chuva não somente causa mortalidade de ácaros pela ação direta, como, também indiretamente aumenta a umidade relativa e promove incremento na ocorrência de fungos acaropatogênicos. Duas espécies de fungos patogênicos *Hirsutella thompsonii* Fisher e *Neozygites floridana* Weiser e Muma são conhecidos por serem específicos e importantes reguladores naturais de populações de ácaros (Chandler et al., 1979). A produção desses fungos *in vitro* continua sendo um desafio e isso tem dificultado sua adoção em escala comercial. No entanto, eles permanecem como os únicos patógenos com grande potencial conhecido para regular ácaros de importância agrícola em ambientes naturais quando as condições são favoráveis (Wekesa et al., 2015). Embora existam indícios na literatura dos efeitos diretos e indiretos da ocorrência de chuva sobre populações de tetraniquídeos, há poucos dados disponíveis demonstrando o impacto quantitativo sobre a maioria das populações de ácaros em geral ou sobre *T. ogmophallos* em particular.

2.4. Cultivares de amendoim

O mercado de amendoim no Brasil tem passado por algumas modificações nas últimas décadas por causa da crescente demanda do produto para os segmentos de alimentos industrializados e de óleo (Santos et al., 2018). Tal fato tem influenciado as características das recentes cultivares desenvolvidas pelas empresas de pesquisa, nos quais tem tido maior especificidade nas características agronômicas e físico-químicas para atender às demandas do mercado (Godoy et al., 2017).

Os cultivares presentes no mercado apresentam dois hábitos de crescimento, ereto ou rasteiro. Os hábitos de crescimento apresentam importância agronômica importante e implicam diretamente no manejo da cultura. A estrutura vegetativa dos cultivares rasteiros pertencem ao tipo Virgínia Runner, com ciclo mais longo, entre 120 e 140 dias. As cultivares de porte ereto (grupos Valência e Spanish) apresentam ciclo curto, entre 90 e 110 dias (Bolonhezi et al., 2013).

Segundo o Registro Nacional de Cultivares, há atualmente 32 cultivares aptas para produção e comercialização de sementes no país, como: BR 1 BRS 15-L7, BRS 421, BRS 423, BRS 425, BRS Havana e BRS Pérola Branca, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); IAC 5, IAC 22, IAC 127, IAC 137, IAC 147, IAC 213, IAC 503, IAC 505, IAC 8112, IAC Caiapó, IAC Tatu ST, Runner IAC 886, Tatu Vermelho, IAC tupã, IAC Poitara, IAC Oirã, IAC OL 3, IAC OL 4 e IAC OL 5 do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e IAPAR 25 – Ticão, do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR); Tamrun OL 01 e Olin, introduzidas da Universidade do Texas A&M (EUA) pela empresa Wilco do Brasil Ltda. e a Granoleico, EC 98 AO e PRONTO AO da El Carmem Sementes do Brasil. Todas estão registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e são da espécie *A. hypogaea* e destinam-se à produção de grãos (MAPA, 2018). Nos últimos cinco anos sete cultivares foram registradas e liberadas para o plantio no Brasil. O IAC possui o maior banco de germoplasma, pois recentemente registrou e disponibilizou ao segmento mais três cultivares (IAC OL 3, IAC OL 4 e IAC OL 5), de um total de 19. Segundo a CONAB (2018), 60-70% das áreas de amendoim no Brasil foram plantadas utilizando cultivares do tipo *runner*.

2.5. Uso de ácaros predadores no controle biológico

Invertebrados – inimigos naturais pertencentes a dez grupos taxonômicos são utilizados no manejo de pragas em todo mundo. De um total de 219 espécies de artrópodes predadores, a classe Acari representa o segundo maior grupo com 13,1% (van Lenteren 2012).

Os ácaros predadores de importância agrícola pertencem principalmente à família Phytoseiidae. Eles são os mais estudados para o uso no controle biológico de ácaros fitófagos e de pequenos insetos, especialmente tripes e mosca-branca (McMurtry et al., 2013). Segundo Demite et al. (2018) esta família contém 2.436 espécies descritas válidas, distribuídas em 91 gêneros e três subfamílias, Amblyseiinae, Phytoseiinae e Typhlodrominae. A subfamília Phytoseiinae tem 229 espécies descritas em três gêneros. O gênero *Neoseiulus* tem 355 espécies descritas válidas. No Brasil, já foram descritas e validadas 190 espécies pertencente à família Phytoseiidae. Espécies pertencentes ao gênero *Neoseiulus* estão entre os mais importantes predadores de ácaros tetraniquídeos nos sistemas agrícolas (McMurtry, 2010). Este gênero inclui predadores especializados aos ácaros tetraniquídeos, mais frequentemente associados com espécies produtoras de teias densas, como as espécies *Oligonychus* e *Tetranychus* (McMurtry et al., 2013). As espécies *Neoseiulus anonymus* (Chant e Baker), *Neoseiulus californicus* (McGregor), *Neoseiulus idaeus* Denmark e Muma e *Neoseiulus tunus* (De Leon) estão entre as principais espécies de fitoseídeos encontradas sobre plantas cultivadas no Brasil (Moraes e Flechtmann, 2008).

Das quatro espécies, *N. anonymus* e *N. idaeus* já foram encontradas em associação com ácaro *T. ogmophallos* na cultura do amendoim (Melville et al., 2014; Santos e Andrade, 2017). Porém, até o presente momento não existiam estudos visando a utilização desses predadores como agentes de controle biológico de *T. ogmophallos* em amendoim. No entanto, o potencial da espécie *N. idaeus* como agente de controle biológico pode ser exemplificado pelo sucesso da introdução desse predador em Benin (África) em 1989 para controle do ácaro da mandioca *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae) (Yaninek et al., 1991). O ácaro

predador *N. anonymus* já foi relatado no Brasil em diversas culturas como, morango (*Fragaria x ananassa* Duch), pepino (*Cucumis sativus* L.), seringueira (*Hevea brasiliensis* L.), soja, gramíneas [*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D Webster] e *Melinis minutiflora* Beauvois] e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Watanabe et al., 1994; Ferla e Moraes, 2002; Roggia et al., 2009; Lofego et al., 2009; Duarte et al., 2015).

A preservação dos inimigos naturais, por meio da preservação do habitat e fontes de alimento alternativo e do uso de agrotóxicos seletivos, aliada à liberação de ácaros predadores reduz rapidamente as populações de ácaros fitófagos abaixo do nível de dano econômico (Andrade Bertolo et al., 2011). A utilização do controle biológico como medida de controle de ácaros tem apresentado resultados altamente satisfatórios em várias regiões do mundo. Dessa forma, estudos mais detalhados utilizando ácaros predadores de ocorrência natural e/ou disponíveis no mercado podem ser considerados uma alternativa promissora no manejo do ácaro *T. ogmophallos* nas regiões em que se cultiva o amendoim. Tal tática de controle tem sido considerado ambientalmente mais segura e economicamente rentável no controle de pragas (DeBach e Rosen, 1991; Cock et al., 2010).

3. Referências

Abreu FA, Reis PR, Marafeli PP, Silva RA, Bernardi LFO, Carvalho CF (2014) Influência da precipitação na abundância de ácaros em cafeeiro. **Coffee Science** 9:329–335.

Almeida RP (2013) Manejo de insetos-praga da cultura do amendoim. In: Santos RC, Freire RMM, Lima ML (Eds.) **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa. p. 335-390.

Andrade DJ, Melville CC, Michelotto MD (Eds.) (2016) **Manual prático sobre ácaros do amendoim no Brasil**. Jaboticabal: Funep, 22p.

Andrade-Bertolo FO, Ott AP, Ferla NJ (Eds.) (2011) Ácaros em videira no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Fepagro, 24p.

Barros R, Degrande PE, Soria MF, Ribeiro JSF (2007) Desequilíbrio biológico do ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) após aplicações de inseticidas em algodoeiro. **Arquivos do Instituto Biológico** 74:171–174.

Bolonhezi D, Santos RC, Godoy IJ (2013) Manejo cultural do amendoim. In: Santos RC (Eds.) **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa, p. 187–254.

Bonato O, Santarosa PL, Ribeiro G, Lucchini F (2000) Suitability of three legumes for development of *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae). **Florida Entomological Society** 83:203-205.

Boudreaux HB (1958) The effect of relative humidity on egg-laying, hatching, and survival in various spider mites. **Journal of Insect Physiology** 2:65–72.

Bounfour M, Tanigoshi LK (2001) Effect of temperature on development and demographic parameters of *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus carpini borealis* (Acari: Tetranychidae). **Annals of the Entomological Society of America** 94:400–404.

Boykin LS, Campbell WV (1982) Rate of population increase of the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on peanut leaves treated with pesticides. **Journal of Economic Entomology** 75:966-971.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018) **Registro Nacional de Cultivares – RNC**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/guia-de-servicos/registro-nacional-de-cultivares-rnc>>. Acesso em: 19 ago 2018.

Chandler LD, Archer TL, Ward CR, Lyle WM (1979) Influences of irrigation practices on spider mite densities on field corn. **Environmental Entomology** 8:196–201.

Cock MJW, van Lenteren JC, Brodeur J, Barratt BIP, Bigler F, Bolckmans K, Cônsoli FL, Haas F, Mason PG, Parra JRP (2010) Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? **Biological Control** 55:199–218.

Companhia Nacional de Abastecimento (2018) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 11 Safra 2017/18 - Décimo primeiro levantamento, Brasília agosto 2018: Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

DeBach P, Rosen D (1991) **Biological control by natural enemies**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. P.443.

Demite PR, JAMES A. McMurtry JA, Moraes GJ (2018) Phytoseiidae Database: a website for taxonomic and distributional information on phytoseiid mites (Acari) **Zootaxa** 3795:571–577.

Duarte, M. E., Navia, D., dos Santos, L. R., Rideiqui, P. J. S., & Silva, E. S. (2015). Mites associated with sugarcane crop and with native trees from adjacent Atlantic forest fragment in Brazil. **Experimental and Applied Acarology** 66:529–540.

Ferla NJ, Moraes GJ (2002) Ácaros (Arachnida, Acari) da seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) no Estado do Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia** 19:867–888.

Ferreira DNM, Flechtmann CHW (1997) Two new phytophagous mites (Acari: Tetranychidae, Eriophyidae) from *Arachis pintoii* from Brazil, Nova Zelândia, **Systematic & Applied Acarology** 2:181-188.

Flechtmann CHW (Eds.) 1979 **Ácaros de importância agrícola**. São Paulo: Nobel, 189p.

Franco AR, Reis PR, Zacarias MS, Altoé BF, Pedro-Neto M (2008) Dinâmica populacional de *Oligonychus ilicis* (Mcgregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro e de fitoseídeos associados a ele. **Coffee Science** 3:38-46.

Godoy IJ, Santos JF, Michelotto MD, Moraes ARA, Bolonhezi D, Freitas R, Carvalho CR, Finoto EL, Martins ALM (2017) IAC OL 5 - New high oleic runner peanut cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 17:295–298.

Gutierrez J, Helle W (1985) Evolutionary changes in the Tetranychidae. In: Helle W, Sabelis MW (Eds.) **Spider mites: their biology, natural enemies and control**. Amsterdam: Elsevier, p. 91–107.

Heagle AS, Brandenburg RL, Burns JC, Miller JE (1994) Ozone and carbon-dioxide effects on spider-mites in white clover and peanut. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 23:55-61.

Hoy MA (2011) **Agricultural acarology — introduction to integrated mite management**. Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group, p. 393.

Ikegami Y, Yano S, Takabayashi J, Takafuji A (2000) Function of quiescence of *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae), as a defense mechanism against rain. **Applied Entomology and Zoology** 35:339–343.

Jeppson LR, Keifer HH, Baker EW (1975) **Mites injurious to economic plants**. Berkeley: University of California Press, p. 614.

Leuck DB, Hammons RO (1968) Resistance of wild peanut plants to mite *Tetranychus tumidellus*. **Journal of Economic Entomology** 61:687.

Li H, Li N, Xue X, Dong B, Zhang S (2010) Analyzing the influence of meteorology on occurrence and development of wheat aphids in Shandong province. **Chinese Agricultural Science Bulletin** 26:221–225.

Lofego AC, Demite PR, Kishimoto RG, Moraes GJ (2009) Phytoseiid mites on grasses in Brazil (Acari: Phytoseiidae). **Zootaxa** 2240:41–59.

Martins R (2013) Manejo cultural do amendoim. In: Santos RC (Eds.) **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa, p. 25–43.

McMurtry JA (2010). Concepts of classification of the phytoseiidae: relevance to biological control of mites. **Trends in Acarology** 393–397.

McMurtry JA, Moraes GJ, Sourassou NF (2013) Revision of the lifestyles of Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. **Systematic & Applied Acarology** 18:297–320.

Melville CC (2015) **Distribuição espacial e determinação da depreciação quantitativa e qualitativa causada por *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae) ao amendoimzeiro**. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Entomologia Agrícola) – Unesp, Jaboticabal.

Melville CC, Andrade SC, Andrade DJ (2014) Ácaros associados à cultura do amendoim na região de Jaboticabal-SP. In: XXV Congresso brasileiro de entomologia. **Anais...** Goiânia: CBE, p. 105.

Melville CC, Andrade SC, Oliveira NT, Andrade DJ (2018) Impact of *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae) on different phenological stages of peanuts. **Bragantia** 77:116–123.

Messenger P. (1970) Bioclimatic inputs to biological control and pest management programs. In: Rabb RL, Guthrie FE (Eds.) **Concepts of Pest Management**. Raleigh: Proceedings Conference of North Carolina State University, p. 84–102.

Michelotto MD, Santos JF, Godoy IJ (2015) Resistência a pragas e doenças em amendoim. In: Busoli AC, Castilho RC, Andrade DJ, Rossi GD, Viana DL, Fraga DF, Souza LA (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola VIII**. Jaboticabal: Gráfica Multipress, p. 105–116.

Migeon A, Dorkeld F (2018) **Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae**. Disponível em: <<http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>> Acesso em: 17 ago. 2018.

Moraes GJ, Flechtmann CHW (2008) **Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2008. p.111.

Pedro Neto M, Reis PR, Zacarias MS, Silva RA (2009) Influence of rainfall on mite distribution in organic and conventional coffee systems. **Coffee Science** 4:1–8.

Pirotta MZ, Silva FM, Michelotto MD, Fávero AP, Godoy IJ, Trevisoli SHU (2017) Resistance to *Enneothrips flavens* Moulton and genetic parameters estimation in interspecific genotypes of peanut. **Acta Scientiarum Agronomy** 39:339–348.

Regô AS, Teodoro AV, Maciel AGC, Sarmiento RA (2013) Relative contribution of biotic and abiotic factors to the population density of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology** 60:479–484.

Roggia S, Guedes JVC, Kuss-Roggia CRR, Vasconcelos GJD, Denise Navia D, Delalibera Junior I (2009) Ácaros predadores e o fungo *Neozygites floridana* associados a tetraniquídeos em soja no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 44:107–110.

Rosado JF, Picanço MC, Sarmiento RA, Silva RS, Pedro-Neto M, Carvalho MA, Erasmo EAL, Silva LCR (2015) Seasonal variation in the populations of *Polyphagotarsonemus latus* and *Tetranychus bastosi* in physic nut (*Jatropha curcas*) plantations. **Experimental and Applied Acarology** 66:415–426.

Santos AF, Andrade DJ (2017) *Neoseiulus idaeus* (Acari: Phytoseiidae) como agente de controle biológico do ácaro-vermelho-do-amendoim *Tetranychus ogmophallos* (Acari Tetranychidae). In: XV Simpósio nacional de controle biológico. **Resumos...** Ribeirão Preto: SICONBIOL, p. 90.

Santos JF, Godoy JI, Moraes ARA, Michelotto MD, Freitas RS, Bolonhezi D, Cavichioli JC, Martins ALM (2018) Productivity, adaptability and stability of high-oleic peanut lines in the State of São Paulo. **Bragantia** 77:265–272.

Silva CAD, Gondim Junio MGC (2016) First record and characteristics of damage caused by the spider mite *Tetranychus neocaledonicus* André on peanuts in the State of Paraíba, Brazil. **Bragantia** 75:331–334.

Smith JC, Mozingo RW (1983) Effect of two spotted spider mites (Acari, Tetranychidae) on large-seeded, virginia-type peanuts. **Journal of Economic Entomology** 76:1.315-1.319.

Trichilo RJ, Wilson LT (1993) An ecosystem analysis of spider mite outbreaks: physiological stimulation or natural enemy suppression. **Experimental and Applied Acarology** 17:291-314.

Ubara M, Osakabe M (2015) Suspension of egg hatching caused by high humidity and submergence in spider mites. **Environmental Entomology**. 44:1210–1219.

USDA - United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. **PSD On line**. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdquery.aspx>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

van de Vrie M, JMcMurtry JA, Huffaker CD (1972) Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review. III. Biology, ecology, and pest status, and host-plant relations of tetranychids. **Hilgardia** 41:343–432.

van Lenteren JC (2012) The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. **Biological Control** 57:1–20.

Vieira MR, Correa LS, Castro TMG, Silva LFS, Monteverde MS (2004) Efeito do cultivo do mamoeiro (*Carica papaya* L.) em ambiente protegido sobre a ocorrência de ácaros fitófagos e moscas-branca. **Revista Brasileira Fruticultura** 26:441-445.

Watanabe MA; Moraes GJ, Gastaldo Júnior I, Nicolella G (1994) Controle biológico do acaro rajado com ácaros predadores fitoseídeos (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) em culturas de pepino e morango. **Scientia Agricola** 51:75–81.

Wekesa VW, Hountondji FCC, Dara SK (2015) Mite Pathogens and Their Use in Biological Control In. Carrillo D, Moraes GJ, Peña JE **Prospects for biological control of plant feeding mites and other harmful organisms**. Switzerland: Springer p.309-328.

Yaninek JS, Mégevand B, Moraes GJ, Bakker F, Braun A, Herren HR (1991) Establishment of the neotropical predator *Amblyseius idaeus* (Acari: Phytoseiidae) in Benin, West Africa. **Biocontrol Science and Technology** 1:323–330.

Zundel C, Nagel P, Hanna R, Korner F, Scheidegger U (2009) Environment and host-plant genotype effects on the seasonal dynamics of a predatory mite on cassava in sub-humid tropical Africa. **Agricultural and Forest Entomology** 11:321–331.

CAPÍTULO 2 – Ação da chuva na regulação populacional de *Tetranychus ogmophallos* Ferreira & Flechtmann (Acari: Tetranychidae) em amendoim

RESUMO - O ácaro vermelho do amendoim, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann tem sido relatado como uma das principais pragas que atacam a cultura do amendoim no Brasil. Os menores níveis populacionais são observados durante o período de maior incidência de chuvas. O entendimento dos efeitos da precipitação pluviométrica nos níveis populacionais do ácaro pode contribuir para o desenvolvimento de um programa de manejo mais sustentável. Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da precipitação pluviométrica na densidade populacional de *T. ogmophallos* e produtividade da cultura do amendoim. Foram realizados dois experimentos em casa-de-vegetação para avaliar: 1) Ação da chuva na densidade populacional e recolonização do ácaro-vermelho-do-amendoim 2) Ação da chuva na densidade populacional em diferentes estratos da planta e recolonização do ácaro-vermelho-do-amendoim. Para realização dos bioensaios, 100 vasos de 8 L contendo uma planta de amendoim em estágio R3 foram previamente infestadas com 100 fêmeas acasaladas do ácaro (25 fêmeas por quadrante da planta) e utilizado como unidade experimental. Após 14 dias da transferência das fêmeas, plantas foram avaliadas para caracterização dos níveis de infestação inicial de *T. ogmophallos* (pré-amostragem). Feito isso, plantas de ambos experimentos foram expostas ao simulador de chuva para aplicação diária de 10, 20, 30 e 60 mm de chuva durante cinco dias consecutivos. A chuva exerceu um efeito positivo e significativo na diminuição da população e dificultou a capacidade recolonização de *T. ogmophallos*. Portanto, a chuva assume papel importante na supressão populacional de *T. ogmophallos* e contribui para o aumento na produtividade e rentabilidade do amendoim nos sistemas de produção.

Palavra-chave: ácaro-vermelho-do-amendoim, *Arachis hypogaea*, manejo integrado de praga, fator de controle

CHAPTER 2 – Rainfall effect on the regulation of *Tetranychus ogmophallos* Ferreira & Flechtmann (Acari: Tetranychidae) population on peanut

ABSTRACT – The peanut red spider mite, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira and Flechtmann has been reported as one of the main pests that attack the peanut crop in Brazil. The lowest population levels are observed during the period of high rainfall. Understanding the effects of rainfall on population mite levels can contribute to the development of a more sustainable management program. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of rainfall on *T. ogmophallos* population density and productivity of the peanut crop. Two experiments were carried out, all in a greenhouse to evaluate: 1) Rainfall effect on population density and recolonization of the peanut red spider mite on peanut plants. 2) Rainfall effect on population density in different strata of the plant and recolonization of the peanut red spider mite on peanut plants. For the bioassays, 100 pots of 8 L containing a peanut plant at stage R3 were previously infested with 100 mated females of *T. ogmophallos*. For the bioassays, 100 pots of 8 L containing a peanut plant at stage R3 were previously infested with 100 mated females of *T. ogmophallos*. 14 days after females transfer, plants were evaluated for characterization of *T. ogmophallos* infestation levels (pre-sampling). After this, plants of both experiments were exposed to the rainfall simulator for daily application of 10, 20, 30 and 60 mm of rain during five consecutive days. Rainfall had a positive and significant effect on population decrease and hampered the recolonization capacity of *T. ogmophallos* on peanut plants. Therefore, rain plays an important role in the population suppression of *T. ogmophallos* and contributes to the increase in productivity and profitability of peanuts production systems.

Keywords: peanut red spider mite, *Arachis hypogaea*, integrated pest management, control factor

1. Introdução

O amendoim, *Arachis hypogaea* L. (Fabales: Fabaceae), é uma das principais oleaginosas cultivadas no mundo (Martins, 2013; Almeida et al., 2015; FAO, 2016), sendo utilizado não somente para a produção de grãos e farelo (Ferrari-Neto et al., 2012), mas também como fonte de proteína, óleo vegetal (Nakagawa e Rosolem, 2011) e matéria prima para a produção de biodiesel (Gonçalves et al., 2004; Nakagawa e Rosolem, 2011). O amendoim é uma planta nativa da América do Sul, herbácea, ereta ou prostrada, de ciclo anual indeterminado e com grande capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas (Thirumalaisamy et al., 2016).

A cultura do amendoim tem demonstrado grande adaptação em regiões com temperatura mais elevadas e precipitação variando de 500 a 1000 mm distribuídos ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura (Misra e Rathnakumar, 2011). No Brasil, o amendoim é cultivado em praticamente todas as regiões, mas são provenientes do Sul e Sudeste cerca de 95% da produção nacional (CONAB, 2018).

No sudeste brasileiro, especialmente no estado de São Paulo, o amendoim é cultivado principalmente em sucessão/rotação a cana-de-açúcar devido a reciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, proteção do solo contra a erosão e multiplicação de plantas espontâneas (Ambrosano et al., 2011). Em São Paulo, o amendoim é cultivado em duas épocas do ano, sendo a primeira no início de setembro (safra das águas) e a segunda em janeiro (safra da seca) (Bolonhezi et al., 2013). A safra da seca tem sido a mais onerosa devido às condições ambientais favoráveis à ocorrência de artrópodes-praga que afetam a produção e a rentabilidade da cultura (Pirota et al., 2017).

Entre os artrópodes, o ácaro-vermelho-do-amendoim, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann (Acari: Tetranychidae), tem sido uma das principais pragas que atacam esta cultura no Brasil (Santos et al., 2017). Os menores níveis populacionais são observados durante o período de maior incidência de chuvas (setembro-janeiro). No entanto, clima seco e com temperaturas mais elevadas (fevereiro a abril) são mais favoráveis ao crescimento populacional do ácaro na cultura (Andrade et al., 2016). Devido ao elevado potencial biótico e a ausência de um

programa de amostragem/monitoramento eficiente deste ácaro durante o ciclo do cultivo de amendoim, a incidência do ácaro pode acarretar perdas de até 85% na produção, principalmente quando o ataque ocorre no final do ciclo (Melville et al., 2018). Em sistemas de produção de amendoim, o uso de produtos fitossanitários tem sido um dos principais custos de produção nos últimos anos (Pirrotta et al., 2017). Entre os pesticidas, aplicações de acaricidas para o controle de *T. ogmophallos* têm sido consideradas necessárias para reduzir os níveis populacionais do ácaro e dos danos causados a cultura (Santos et al., 2017; Barbosa et al. 2018).

A elevação do *status* do ácaro à condição de praga (Barbosa et al., 2018) está relacionado aos fatores abióticos como, temperatura, umidade relativa, fotoperíodo e precipitação, os quais desempenham papel fundamental na regulação da densidade populacional da praga (Mandal et al., 2006). As condições ótimas ou adversas alteram não somente os aspectos biológicos como fecundidade, reprodução e longevidade (Bakar et al., 2016), mas também a dinâmica populacional, distribuição, intensidade de infestação e comportamento alimentar de artrópodes praga (Macfadyen et al., 2018). Entre os fatores abióticos, a precipitação pode influenciar negativamente as populações de pragas (Li et al., 2010). Em campo, observações indicaram que o regime de chuvas de uma determinada região altera os níveis populacionais de uma ampla gama de pragas agrícolas pela sua ação mecânica e promove condições ambientais à ocorrência natural de agentes de controle biológico (Reis e Souza, 1986; Reis et al., 2000; Silva et al., 2006; Demite e Feres, 2007; Franco et al., 2008).

Dessa forma, o entendimento da bioecologia de *T. ogmophallos*, dos efeitos da precipitação pluviométrica nos níveis populacionais do ácaro e da interação ácaro-planta podem contribuir para o desenvolvimento de um programa de manejo mais sustentável nos sistemas de produção de amendoim. Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da precipitação pluviométrica na densidade populacional de *T. ogmophallos* e produtividade da cultura do amendoim.

2. Material e Métodos

2.1. Ácaros

A colônia de *T. ogmophallos* foi estabelecida a partir de espécimes coletados em plantas de amendoim da cultivar 'Granoleico' [*Arachis hypogaea* L. (Fabales: Fabaceae)] em uma área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Os espécimes foram transportados ao laboratório e transferidos para plantas de amendoim forrageiro 'Amarillo' [*Arachis pinto*i Krapovickas e Gregory (Fabales: Fabaceae)] cultivados em vasos de 5 L e mantidos em sala climatizada (temperatura de 23 ± 2 °C), umidade relativa do ar (UR) de $65 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12L: 12E horas). As plantas de amendoim foram substituídas a cada 15 dias.

2.2. Bioensaios

Os bioensaios foram realizados em casa de vegetação com temperaturas mínima, média e máxima de $22,9 \pm 3$, $25,7 \pm 3$ e $35,1 \pm 3$ °C e umidade relativa mínima, média e máxima de $52,2 \pm 5$, $64,9 \pm 5$, e $72,5\% \pm 5$, respectivamente. Para os bioensaios, 50 vasos de 8 L contendo substrato à base de solo, areia e esterco bovino, na proporção de 2:1:1, foram utilizados para semeadura do amendoim 'Granoleico'. Após a germinação, uma plântula de amendoim foi mantida em cada vaso por 55 dias (plantas no estágio reprodutivo R3). Durante este período, as plantas foram mantidas sem adubação e aplicação de produtos fitossanitários para o controle de pragas e doenças. No entanto, 250 mL de água foram diariamente adicionados ao substrato de cada vaso.

2.3. Caracterização do simulador de chuva

Para aplicação das diferentes lâminas de chuva foi utilizado um simulador de chuva um constituído por um tubo circular metálico com seis pontas de pulverização FL10 TeeJet (Teejet Technologies Company, São Paulo, Brasil) e instalado horizontalmente em casa de vegetação a 2,88 m da superfície do solo. As pontas de pulverização foram instaladas no tubo circular a cada 25 cm. A pressão nominal utilizada foi de 137,8 kPa e vazão constante de 2,12 L min⁻¹ de água. Antes do início dos bioensaios, um pré-teste foi realizado para ajuste da vazão e da uniformização de distribuição da chuva na superfície.

2.4. Experimento 1: Ação da chuva na densidade populacional do ácaro *Tetranychus ogmophallos*

Plantas com 55 dias após germinação de amendoim foram previamente infestadas com 100 fêmeas acasaladas do ácaro (25 fêmeas por quadrante de cada planta) e cada planta correspondeu a uma unidade experimental. Após 14 dias da infestação (período necessário para o desenvolvimento ovo-adulto do ácaro), uma folha completamente expandida de cada planta foi aleatoriamente tomada para contagem do número de larvas, ninfas e adultos de *T. ogmophallos* contados em ambas as superfícies (abaxial e adaxial) das folhas utilizando uma lupa de mão de 20× de aumento para caracterização dos níveis de infestação inicial do ácaro nas plantas (pré-amostragem). Feito isso, as plantas foram expostas ao simulador de chuva para aplicação diária de 10, 20, 30 e 60 mm de chuva durante cinco dias consecutivos, correspondendo a 50, 100, 150 e 300 mm de chuva acumulada, respectivamente. As lâminas de chuva utilizadas neste estudo foram definidas com base nas médias pluviométricas mínimas e máximas ocorridas no período de setembro a março nos últimos cinco anos para o município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, de acordo com o registro da Estação Agroclimatológica da FCAV/UNESP. Como tratamento controle,

foram utilizadas plantas de amendoim sem aplicação de chuva. Para cada tratamento (lâmina de chuva), 20 plantas (repetições) foram usadas.

O número de espécimes do ácaro remanescentes nas plantas foi contado diariamente duas horas após a aplicação de cada lâmina de chuva, seguindo o mesmo procedimento e critério descrito na pré-amostragem. Após a última avaliação, as plantas foram mantidas em casa de vegetação para avaliação da capacidade de recolonização do ácaro, determinada com base no número de ácaros nas plantas. Para isso, as avaliações foram realizadas a cada três dias durante 15 dias, seguindo o mesmo procedimento e critério descrito previamente.

2.5. Experimento 2: Ação da chuva na densidade populacional de *Tetranychus ogmophallos* em diferentes estratos da planta

O efeito da chuva na densidade populacional do ácaro nos estratos inferior e superior das plantas foram avaliados em casa de vegetação. Para isso, plantas de amendoim foram infestadas com 100 fêmeas acasaladas de *T. ogmophallos* conforme descrito no experimento 1. Quatorze dias após a infestação, uma folha de cada estrato da planta foi tomada aleatoriamente para contagem dos ácaros contado para caracterização dos níveis populacionais inicial do ácaro (pré-amostragem). Para contagem dos ácaros presentes nas faces abaxiais e adaxiais das folhas foi utilizado uma lupa de mão com aumento de 20×. Feito isso, plantas foram expostas ao simulador pluviométrico para aplicação diária de 10, 20, 30 e 60 mm de chuva por cinco dias consecutivos conforme descrito no experimento 1. Plantas sem aplicação de chuva foram utilizadas como tratamento controle. Para cada tratamento (lâmina de chuva), 20 plantas (repetições) foram usadas. Os números de ácaros nas plantas foram avaliados aos três e cinco dias após a pré-amostragem. Na avaliação final, as plantas foram mantidas em casa de vegetação e avaliadas aos 3, 9 e 15 dias após a última avaliação para verificar a capacidade de recolonização do ácaro, seguindo o mesmo procedimento descrito no experimento 1.

2.6. Avaliação da produtividade do amendoim

Para avaliação do efeito da chuva e dos níveis de infestação do ácaro na produtividade, plantas de amendoim utilizadas no experimento 1 foram pulverizadas com o acaricida fenpyroximate 47 mg L⁻¹ (Ortus 50 SC, Arysta Lifescience do Brasil Indústria Química e Agropecuária S.A., São Paulo, SP, Brasil) aos 76 e 83 dias após a emergência das plantas para eliminação dos ácaros sobreviventes. As pulverizações foram realizadas com um pulverizador costal manual Jacto PJH 20L (Jacto do Brasil S.A, Pompéia, São Paulo, Brasil) equipado com ponta de pulverização tipo leque XR11002 TeeJet (Teejet Technologies Company, São Paulo, Brasil) até o ponto de escorrimento. Após a pulverização, as plantas foram mantidas em casa de vegetação até 130 dias após a emergência. Decorrido este período, as plantas foram removidas dos vasos por ocasião da colheita. Os geocarpos obtidos foram abertos e os grãos coletados e submetidos à secagem em estufa de circulação de ar forçada MA035 (Marconi Equipamentos para Laboratórios Ltda., Piracicaba, São Paulo, Brasil) a 65 °C até atingir peso constante. O peso dos grãos foi aferido em balança de precisão (0,0001g) M5202 (Bel Equipamentos Analíticos Ltda., Piracicaba, São Paulo, Brasil). A produtividade da cultura nos diferentes níveis de tratamento (lâminas de chuva × níveis populacionais do ácaro) foi determinada por meio do peso de grãos a 9% de umidade previamente aferido com um medidor de umidade universal MD4–105 (Equipacenter Equipamentos Industriais Ltda., Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil).

2.7. Análise estatística

Para verificar o efeito da chuva na densidade populacional do ácaro ao longo do tempo [dias após a aplicação da chuva (DAAC)], os dados foram submetidos a análise de medidas repetidas usando modelos lineares generalizados mistos (GLMM) do pacote “lme4” (Bates et al., 2015) com distribuição de Poisson. Para isso, o efeito das características explanatórias (volumes de chuva e tempo) foram considerados como fatores fixos, enquanto que, o número de ácaros em cada planta no tempo foi

considerado como variável aleatória. O efeito das diferentes lâminas de chuva no tempo foi avaliado por meio de testes de razão de verossimilhança ($P < 0,05$) entre um modelo completo e um modelo reduzido. O mesmo teste foi utilizado para verificar a significância da interação dos volumes de chuva no tempo, comparando dois modelos: um com interação e outro sem interação.

Para comparação do número de ácaros nas plantas nas diferentes lâminas de chuva foi utilizado modelos lineares generalizados (GLM) (Nelder e Wedderburn, 1972) com distribuição quase-Poisson. A qualidade do ajuste foi feita pelo gráfico meio-normal de probabilidades com envelope de simulação usando o pacote “*hnp*” (Demétrio et al., 2014). Em caso de diferenças significativas entre os tratamentos, múltiplas comparações com o teste de Tukey ($P < 0,05$) foram feitas usando a função “*glht*” do pacote “*multcomp*”, com ajustes nos valores de P . No entanto, para análise do efeito das diferentes lâminas de chuva na densidade populacional do ácaro nos dois estratos da planta (superior e inferior), os dados foram arranjados em um esquema fatorial (volume de chuva $\times$ estrato da planta) e analisados por meio de GLM com distribuição quase-Poisson. Quando houve interação significativa entre as características explanatórias (volume de chuva $\times$ estrato da planta), o desmembramento da interação foi feito por meio da função “*ExpDes*” e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Para análise da produtividade das plantas, os dados foram inicialmente submetidos a análise de homogeneidade das variâncias utilizando o teste de Bartlett (Bartlett, 1937) e de normalidade dos resíduos usando o teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965). Como os dados apresentaram homocedasticidade e normalidade, estes foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Todas essas análises foram feitas utilizando o software estatístico “*R*” versão 3.5.1 (R Development Core Team, 2018).

3. Resultados

3.1. Experimento 1: Ação da chuva na densidade populacional do ácaro *Tetranychus ogmophallos*

Os resultados indicaram que houve uma interação significativa da lâmina de chuva com o tempo, indicando que o número de ácaros nas plantas de amendoim diminuiu com o tempo ($\chi^2 = 189,910$; g.l. = 4; $P < 0,0001$) (Tabela 1). Na pré-amostragem, nenhuma diferença significativa foi observada entre os tratamentos, indicando alta homogeneidade nos níveis populacionais do ácaro nas plantas no início do experimento (Tabela 1). Na avaliação realizada 1 dia após a aplicação da chuva (DAAC), uma significativa redução na população do ácaro foi observada somente em plantas de amendoim expostas a chuva de 60 mm. No entanto, lâminas de 10, 20 e 30 mm não afetaram significativamente os níveis populacionais do ácaro nas plantas de amendoim e foram similares ao controle (Tabela 1).

Aos 2 DAAC, chuvas acumuladas de 40, 60 e 120 mm reduziram significativamente o número de ácaros nas plantas quando comparado ao controle. Entre as lâminas de chuva testadas, a maior redução populacional do ácaro foi observada em plantas expostas a chuva acumulada de 60 mm (acumulado de 120 mm) (Tabela 1). Aos 3 e 4 DAAC, todas as lâminas de chuvas reduziram significativamente a população do ácaro nas plantas em relação ao controle (Tabela 1).

Tabela 1. Efeito da lâmina de chuva nos níveis populacionais de *Tetranychus ogmophallos* em plantas de amendoim.

Chuva (mm)	Número de ácaros por folha ¹ /Dias após aplicação de chuva (DAAC)					
	Pré-amostragem	1	2	3	4	5
0	68,7 ± 3,00 a	68,4 ± 2,80 a	70,1 ± 3,20 a	81,0 ± 2,53 a	81,2 ± 2,65 a	79,2 ± 3,71 a
50	66,3 ± 2,93 a	63,2 ± 3,34 a	62,9 ± 3,71 at	65,8 ± 3,98 b	63,0 ± 3,39 b	61,5 ± 3,55 b
100	69,0 ± 3,03 a	61,1 ± 3,50 a	56,6 ± 3,54 bc	57,7 ± 3,51 b	53,1 ± 3,24 b	49,9 ± 3,43 c
150	66,3 ± 2,97 a	58,0 ± 2,97 a	51,2 ± 3,09 c	38,0 ± 2,51 c	27,6 ± 2,22 c	21,9 ± 2,10 d
300	62,6 ± 2,41 a	31,9 ± 1,25 b	21,2 ± 1,46 d	17,3 ± 1,47 d	9,9 ± 1,32 d	7,3 ± 1,42 e
F	0,796	29,308	45,336	80,690	120,240	103,600
g.l.	4, 195	4, 195	4, 195	4, 195	4, 195	4, 195
Valor de P	0,5292	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

¹Médias (± EP) seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente (GLM com distribuição quase-Poisson seguido por teste *post hoc* de Tukey, $P < 0,05$).

No entanto, as maiores reduções populacionais foram observadas em plantas expostas 30 e 60 mm de chuva (Tabela 1). Da mesma forma, na avaliação final (5 DAAC), os níveis populacionais do ácaro foram significativamente menores em plantas expostas a chuva do que o controle

Em relação aos resultados apresentados na tabela 2, pode-se observar que houve diferença entre os tratamentos avaliados ($\chi^2 = 299,550$; d.f. = 4; $P < 0.0001$) (Tabela 2). Os dados utilizados na avaliação prévia, foram retirados da última avaliação do experimento de chuva aos 5 DAAC. Fica evidenciado pela diferença estatística que as densidades populacionais entre os tratamentos nesta etapa do experimento (controle, 50, 100, 150 e 300 mm) eram diferentes (Tabela 2).

Aos 3 DAAC, a densidade populacional do ácaro após chuva acumulada de 300 mm foi significativamente menor do que nos demais tratamentos, embora tenha ocorrido incremento no número de ácaros em todos os tratamentos (Tabela 2). Nas avaliações realizadas aos 6, 9 e 12 DAAC, houve um aumento gradativo nos níveis populacionais do ácaro (recolonização) nas plantas de amendoim em todos os tratamentos. Em contraste, plantas tratadas com chuva de 60 mm por cinco dias (300 mm de chuva acumulada) foi 88,1% menor do que no tratamento controle (Tabela 2). No último dia de avaliação (15 DAAC), o número de ácaros nos tratamentos 50 e 100 mm de chuva não apresentaram diferenças entre si, mas o número de ácaros nos dois tratamentos foi inferior em relação ao controle. Diante dos efeitos da chuva de 300 mm, os resultados demonstraram que a chuva contribuiu significativamente para redução do número de ácaros e retardou o crescimento populacional do ácaro após a chuva (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito da lâmina de chuva na recolonização de *Tetranychus ogmophallos* em plantas de amendoim.

Chuva (mm)	Número de ácaros por folha ¹ /Dias após aplicação de chuva (DAAC)					
	Pré-amostragem	3	6	9	12	15
0	79,2 ± 3,71 a	169,8 ± 5,30 a	179,0 ± 5,66 a	182,2 ± 5,91 a	227,7 ± 8,88 a	248,2 ± 10,41 a
50	61,5 ± 3,55 b	125,5 ± 6,87 b	128,2 ± 7,23 b	135,6 ± 7,60 b	167,4 ± 7,44 b	175,8 ± 7,61 b
100	49,9 ± 3,43 c	100,5 ± 5,89 c	102,9 ± 6,07 c	103,6 ± 6,11 c	131,9 ± 5,20 c	166,9 ± 6,11 b
150	21,9 ± 2,10 d	43,3 ± 3,42 d	45,2 ± 3,42 d	48,1 ± 4,44 d	66,5 ± 4,36 d	87,2 ± 4,67 c
300	7,3 ± 1,42 e	12,5 ± 2,24 e	13,7 ± 2,26 e	17,6 ± 2,83 e	27,0 ± 3,03 e	33,2 ± 3,48 d
F	103,600	164,740	167,850	137,250	188,440	173,070
g.l.	4, 195	4, 195	4, 195	4, 195	4, 195	4, 195
Valor de P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

¹Médias (± EP) seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente (GLM com distribuição quase-Poisson seguido por teste *post hoc* de Tukey, $P < 0,05$).

3.2. Experimento 2: Ação da chuva na densidade populacional de *Tetranychus ogmophallos* em diferentes estratos da planta

Os resultados indicaram que os níveis populacionais do ácaro foram dependentes do estrato da planta e da lâmina de chuva aplicada sobre as plantas de amendoim. Maior número médio de ácaros foi observado em folhas do estrato inferior (Tabela 3). Considerando cada estrato da planta, nenhuma diferença estatística foi observada na densidade populacional do ácaro na pré-amostragem (Tabela 3).

Aos 3 DAAC, o número de ácaros no estrato superior das plantas foi significativamente menor em plantas expostas à chuva acumulada de 300 mm do que no tratamento controle (Tabela 3). No estrato inferior, o número de ácaros no tratamento com aplicação de chuva acumulada de 300 mm foi menor do que no tratamento controle e chuva acumulada de 50 mm.

Na avaliação realizada aos 5 DAAC, verificou-se uma redução no número de ácaros no estrato superior das plantas expostas a chuva quando comparado ao controle. Porém, a densidade populacional do ácaro em plantas tratadas com 300 mm de chuva foi 95,1% menor do que no tratamento controle. Efeito similar foi observado para o estrato inferior das plantas expostas as chuvas acumuladas de 50, 100, 150 e 300 mm. No entanto, o número de ácaros foi significativamente menor no tratamento 300 mm quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito da lâmina de chuva nos níveis populacionais de *Tetranychus ogmophallos* nos estratos superior e inferior das plantas de amendoim.

Chuva (mm)	Número de ácaros por folha ¹ /Dias após aplicação de chuva (DAAC)					
	Pré-amostragem		3		5	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
0	52,6 ± 2,27 Ba	84,8 ± 2,49 Aa	52,8 ± 2,76 Ba	87,4 ± 2,03 Aa	68,9 ± 3,19 Ba	93,6 ± 2,96 Aa
50	50,7 ± 1,56 Ba	81,9 ± 2,68 Aa	41,8 ± 1,85 Bb	84,0 ± 2,50 Aab	45,2 ± 1,84 Bb	80,9 ± 3,20 Ab
100	52,2 ± 1,67 Ba	85,8 ± 2,32 Aa	36,2 ± 3,53 Bbc	77,0 ± 1,87 Ab	35,0 ± 3,43 Bc	71,3 ± 2,30 Ac
150	51,5 ± 2,44 Ba	81,1 ± 2,65 Aa	33,8 ± 1,95 Bc	68,7 ± 1,77 Ac	17,1 ± 1,66 Bd	38,1 ± 2,39 Ad
300	50,3 ± 1,92 Ba	85,0 ± 2,07 Aa	15,4 ± 1,24 Bd	27,1 ± 1,88 Ad	3,4 ± 0,98 Be	16,4 ± 1,31 Ae

¹Médias (± EP) seguidas pela mesma letra maiúscula (linha) e minúscula (coluna) não diferem estatisticamente (GLM com distribuição quase-Poisson seguido por teste *post hoc* de Tukey, $P < 0,05$).

Com base nos dados apresentados na tabela 4, foi possível observar diferença entre os tratamentos avaliados. No que se refere aos estratos da planta (superior e inferior), o número de ácaros no estrato inferior foi maior que o estrato superior na avaliação prévia e ao longo de todas as avaliações da recolonização. Na avaliação prévia dos tratamentos (controle, 50, 100, 150 e 300 mm de chuva), foi possível observar que o número de ácaros diferiu entre os tratamentos. Considerando a recolonização do ácaro 3 e 9 DAAC em ambos estratos (superior e inferior), os resultados indicaram um incremento no número de ácaros (larvas, ninfas e adultos) em todos os tratamentos. No entanto, esse incremento foi significativamente menor em plantas expostas a chuva acumulada de 300 mm em ambos estratos do que nos demais tratamentos (Tabela 4).

Na avaliação final (15 DAAC) o número de ácaros no estrato superior de plantas expostas a chuvas acumuladas de 50 e 100 mm não apresentaram diferenças entre si, mas diferiram do controle (Tabela 4). Por sua vez, em função do menor número de ácaros na pré-amostragem e incremento inferior ao longo das avaliações no tratamento com chuva de 300 mm, a densidade populacional no estrato superior ao final do experimento foi 13 vezes menor quando comparado ao controle. Considerando o estrato inferior, houve diferença entre os tratamentos testados. O tratamento com chuva de 300 mm apresentou menor número de ácaros quando comparado aos demais tratamentos. A diferença no incremento do número de ácaros no estrato inferior da planta de amendoim na chuva de 300 mm foi seis vezes menor que nas plantas controle (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito da lâmina de chuva na recolonização de *Tetranychus ogmophallos* nos extratos inferior e superior das plantas de amendoim.

Chuva (mm)	Número de ácaros por folha ¹ /Dias após aplicação de chuva (DAAC)							
	Pré-amostragem		3		9		15	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
0	68,9 ± 3,19 Ba	93,6 ± 2,96 Aa	142,2 ± 4,48 Ba	197,5 ± 3,87 Aa	149,2 ± 3,84 Ba	215,3 ± 3,69 Aa	188,5 ± 6,16 Ba	307,9 ± 5,62 Aa
50	45,2 ± 1,84 Bb	80,9 ± 3,20 Ab	84,5 ± 2,66 Bb	166,5 ± 3,06 Ab	90,1 ± 2,78 Bb	181,2 ± 3,38 Ab	132,5 ± 4,64 Bb	219,1 ± 4,35 Ab
100	35,0 ± 3,43 Bc	71,3 ± 2,30 Ac	66,2 ± 2,77 Bc	134,8 ± 3,25 Ac	68,3 ± 2,39 Bc	139,0 ± 4,01 Ac	133,5 ± 4,78 Bb	200,4 ± 3,57 Ac
150	17,1 ± 1,66 Bd	38,1 ± 2,39 Ad	23,5 ± 0,87 Bd	63,1 ± 2,43 Ad	25,8 ± 1,39 Bd	70,5 ± 5,16 Ad	66,5 ± 4,46 Bc	108,0 ± 4,92 Ad
300	3,4 ± 0,98 Be	16,4 ± 1,31 Ae	0,0 ± 0,00 Be	25,1 ± 2,03 Ae	1,4 ± 1,40 Be	33,8 ± 1,83 Ae	14,5 ± 3,01 Bd	51,9 ± 1,95 Ae

¹Médias (± EP) seguidas pela mesma letra maiúscula (linha) e minúscula (coluna) não diferem estatisticamente (GLM com distribuição quase Poisson seguido por teste *post hoc* de Tukey, $P < 0,05$).

3.3. Avaliação da produtividade das plantas de amendoim

Plantas de amendoim expostas as chuvas de 150 e 300 mm tiveram a maior produtividade quando comparadas as plantas do tratamento controle (Figura 1).

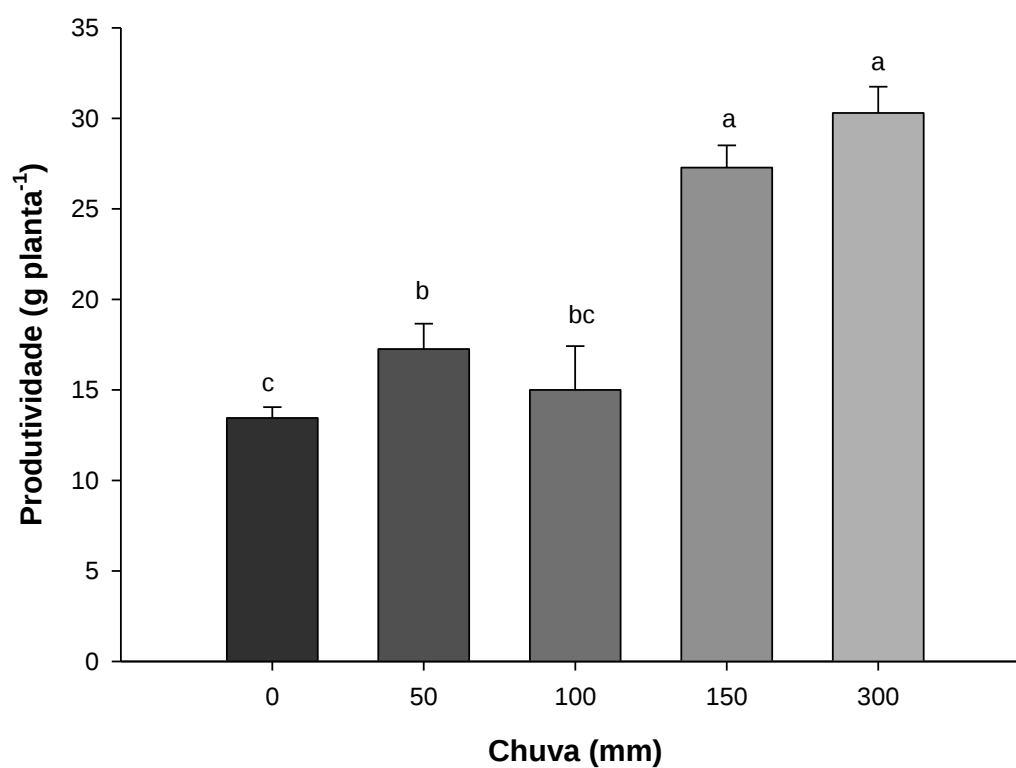


Figura1. Efeito da lâmina de chuva na produtividade de amendoim.

4. Discussão

A chuva exerceu um efeito positivo e significativo na diminuição da população de *T. ogmophallos* em plantas de amendoim. A chuva promoveu uma ação mecânica sobre os ácaros presentes na superfície das folhas, evidenciado pela redução na densidade populacional do ácaro em plantas expostas ao simulador de chuva. No entanto, os níveis de redução populacional dependem da lâmina de chuva acumulada aos quais as plantas foram expostas ao longo do tempo (Tabela 1).

A maiores reduções populacionais do ácaro foram observadas em plantas expostas a lâminas de chuva acumulada igual ou superior a 150 mm. O grande volume de chuva pode ter contribuído para a remoção dos ácaros da superfície das folhas das plantas de amendoim. Ahmed et al. (2012) demonstraram menor incidência do ácaro *Oligonychus coffeae* (Nietner) (Acari: Tetranychidae) em áreas de cultivo de chá nos períodos de maior ocorrência de precipitações pluviométricas. Yaninek et al. (1989), verificou que precipitação reduziu substancialmente as populações de *Mononychellus planki* em plantas de mandioca [*Manihot esculenta* Crantz], em condição de semi-campo e campo. Portanto, a ação direta das gotas de chuva sobre as folhas de amendoim é um fator importante no controle populacional do ácaro-vermelho-do-amendoim.

Além da ação direta, a chuva pode promover efeitos indiretos na redução populacional de pragas agrícolas (Oliveira et al., 2012). No caso do ácaro *T. ogmophallos*, a ação mecânica da chuva pode causar o deslocamento dos ácaros em direção ao solo, causando mortalidade por afogamento (Pedro-Neto et al., 2009) e expondo ao ataque de artrópodes predadores que habitam o solo (Huffaker et al., 1969). A chuva também pode ocasionar efeitos indiretos mais lentos aos ácaros, pelo aumento da umidade que proporciona condições favoráveis ao processo de infecção dos ácaros por fungos entomopatogênicos de ocorrência natural e/ou via pulverização. Diversas espécies de ácaros, incluindo tetraniquídeos, são infectados por fungos entomopatogênicos (Castro et al., 2018). Barbosa et al. (2018) demonstraram o potencial de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Cordycipitaceae) e *Metarhizium*

anisopliae (Metschnikof) Sorokin (Clavicipitaceae) como agentes controladores de *T. ogmophallos* na cultura do amendoim.

Na avaliação realizada aos 3 DAAC de 50 e 100 mm de chuva (experimento 1), os ácaros conseguiram restabelecer parcialmente a população inicial constatada na pré-amostragem. Deste modo, situações de veranico com baixa precipitação pluviométrica proporciona condições favoráveis ao desenvolvimento de *T. ogmophallos* e pode induzir surtos populacionais do ácaro e, conseqüentemente, danos generalizados nas plantas de amendoim (Andrade et al., 2016).

Além disso, fatores relacionados à interação ácaro-planta também podem ter contribuído para a permanência parcial dos ácaros nas plantas. Durante as avaliações, verificou-se que a superfície abaxial das folhas apresentava número maior de ácaros após a chuva. Somado a isso, o ácaro *T. ogmophallos* possui o hábito de alimentar-se em ambas superfícies foliares (adaxial e abaxial), todavia, o maior número de ovos dessa espécie é encontrado na superfície abaxial das folhas do amendoim (Andrade et al., 2016). Ácaros que vivem na superfície adaxial parecem estar adaptados as condições ambientais adversas, pois apresentam a capacidade de migrar de uma superfície para outra durante a chuva (Kato, 1972).

Além disso, algumas espécies de ácaros do gênero *Tetranychus* e *Panonychus* apresentam a capacidade de retardar a eclosão das larvas e de prolongar os estádios quiescente (protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida) de desenvolvimento como estratégia ecológica em resposta à ação da chuva e microclima desfavorável devido ao aumento da umidade (Ikegame et al., 2000; Ubarae e Osakane, 2015). A chuva desempenha papel relevante na mortalidade principalmente dos estádios móveis do ácaro *Tetranychus kansawai* Kishida (Acari: Tetranychidae) no cultivo de chá (Ikegame et al. 2000).

Adicionalmente, a habilidade de *T. ogmophallos* em tecer teia pode ter contribuído não somente para o processo de oviposição e movimentação do ácaro entre as estruturas vegetais, mas também para a permanência de indivíduos nas plantas. A teia protege os ácaros tetraniquídeos da ação mecânica das gotas da chuva, dificultando que atinjam a colônia (Moraes e Flechtmann, 2008). No entanto,

neste estudo, a aplicação de chuva de 60 mm por cinco dias consecutivos proporcionou a desestruturação parcial da teia produzida por *T. ogmophallos* proporcionando maior remoção dos estádios móveis e estáticos do ácaro.

Alternativamente, a planta também pode ter contribuído para a permanência parcial e capacidade de recolonização de *T. ogmophallos* na cultura. As cultivares do tipo *runner* (cultivar utilizada nos experimentos) possuem arquitetura de parte aérea em formato triangular e folhas novas presentes no ápice com folíolos longos e maiores quando comparado às folhas maduras do baixeiro da planta de amendoim (Nogueira e Távora, 2005). Além disso, o ácaro *T. ogmophallos* possui preferência pelas folhas do estrato inferior das plantas no início da infestação (Andrade et al., 2016). Portanto, é provável que a arquitetura da planta tenha exercido uma proteção ao ácaro da ação da chuva. Dessa forma, o crescimento das plantas de amendoim pode reduzir a capacidade de penetração das gotas de chuva e diminuir o potencial de supressão populacional do ácaro.

Na avaliação de produtividade, o efeito observado refere-se ao somatório da chuva e número de ácaro. Logo, observamos que populações de *T. ogmophallos* podem persistir com baixo incremento populacional mesmo em situações de alta precipitação pluviométrica, mas com pouco efeito sobre a produtividade. Porém, reduções significativas na produtividade foram observadas quando os níveis populacionais de *T. ogmophallos* são mais elevados. Melville et al. (2018) reportaram perdas de até 85% na produtividade de plantas de amendoim quando altos níveis populacionais do ácaro foram observados no estágio R7 (90 dias após emergência das plantas). Dessa forma, o plantio de amendoim durante a safra das águas no estado de São Paulo (setembro-dezembro) diminui a possibilidade de surtos populacionais de *T. ogmophallos* e, conseqüentemente, perdas na produtividade. No caso da safra das secas, a utilização de irrigação por aspersão pode atenuar os efeitos da infestação do ácaro. Ranga et al. (1990) reportaram que a utilização de irrigação por aspersão em cultivo de amendoim reduziu em até 80% a população de ácaros tetranychídeos. Portanto, o uso de irrigação pode ser utilizado como estratégia de manejo populacional de *T. ogmophallos* em sistemas de produção de amendoim. Além do uso da irrigação

em sistema de produção de amendoim destinado a produção de grão, esta técnica poderá ser utilizada em amendoim forrageiro (*A. pintoï*) para redução dos níveis populacionais de *T. ogmophallos* em jardins, parques e ruas que utilizam esta cultura como planta ornamental de forração (Ferreira e Flechtmann, 1997; Moraes e Flechtmann, 2008).

De forma geral, este estudo pode contribuir não somente para a previsibilidade de ocorrência de *T. ogmophallos* nas áreas de produção, mas também no reagendamento e uso criterioso de acaricidas, planejamento da época de plantio mais adequada da cultura e na redução dos prejuízos causados pelo ácaro nos sistemas de produção de amendoim. Portanto, a chuva assume papel importante na supressão populacional de *T. ogmophallos* e contribui para o aumento na produtividade e rentabilidade do amendoim nos sistemas de produção.

5. Referências

Ahmed M, Mamun MSA, Hoque MM, CHOWDHURY RS (2012) Influence of weather parameters on red spider mite - a major pest of tea in Bangladesh. **Journal of Science and Technology** 19:47–53.

Almeida HJ, Pancelli MA, Prado RM, Cavalcante VS, Cruz FJR (2015) Effect of potassium on nutritional status and productivity of peanuts in succession with sugar cane. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 15:1–10.

Ambrosano EJ, Cantarella H, Ambrosano GMB, Schammas EA, Dias FLF, Rossi F, Trivelin PCO, Muraoka T, Sachs RCC, Azcón R (2011) Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, 70:810–818.

Andrade DJ, Melville CC, Michelotto MD (2016) **Manual prático sobre ácaros do amendoim no Brasil**. Jaboticabal: Funep, 22p.

Bakar MA, Aqueel MA, Sohail M, Raza ABM, Afzal M, Tayyab M, Arshad M (2016) Influence of weather factors on the seasonal abundance of citrus mite *Eutetranychus orientalis* (Klein) on different citrus cultivars. **Journal of Entomology and Zoology Studies** 4:105–111.

Barbosa TS, Andrade DJ, Polanczyk RA, Duarte RT (2018) Susceptibility of *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae) to *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. **Florida Entomologist** 10:249–253.

Bartlett MS (1937) Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society of London** 160:268–282.

Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effects models using *lme4*. **Journal of Statistical Software** 67:1–48.

Bolonhezi D, Santos RC, Godoy IJ (2013) Manejo cultural do amendoim. In: Santos RC (Ed.) **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa, p.187–254.

Castro T, Eilenberg J, Delalibera I (2018) Exploring virulence of new and less studied species of *Metarhizium* spp. from Brazil for two-spotted spider mite control. **Experimental and Applied Acarology** 74:139–146.

Companhia Nacional de Abastecimento (2018) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 11 Safra 2017/18 - Décimo primeiro levantamento, Brasília agosto 2018: Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

Demétrio CGB, Hinde J, Moral RA (2014) Models for overdispersed data in entomology. In: Ferreira CP, Godoy WAC (Eds.) **Ecological modeling applied to entomology**. Springer: Switzerland, p. 219–259.

Demite PR, Feres RJF (2007) Ocorrência e flutuação populacional de ácaros associados a seringaais vizinhos de fragmentos de cerrado. **Neotropical Entomology** 36:117–127.

Ferrari-Neto J; Costa CHM, Castro GSA (2012) Ecofisiologia do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis** 11:1–13.

Ferreira DNM, Flechtmann CHW (1997) Two new phytophagous mites (Acari: Tetranychidae, Eriophyidae) from *Arachis pintoi* from Brazil. **Systematic and Applied Acarology** 2:181–188.

Food and Agriculture Organization – FAO (2016). **Production statistics of crops, food and agriculture organization**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acessado em: 6 ago. 2018.

Franco RA, Reis PR, Zacarias MS, Altoé BF, Pedro neto M (2008) Dinâmica populacional de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro e de fitoseídeos associados a ele. **Coffee Science** 3:38–46.

Gonçalves JA, Peixoto CP, Ledo CAS, Peixoto MFSP, Sampaio HSV, Sampaio LSV, Almeida NS (2004) Componentes de produção de amendoim em diferentes arranjos espaciais no Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas** 8:801–812.

Huffaker CB, Van de Vrie M, McMurtry JA (1969) The ecology of tetranychid mites and their natural control. **Annual Review of Entomology** 14:125–174.

Ikegami Y, Yano S, Takabayashi J, Takafuji A (2000) Function of quiescence of *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae), as a defense mechanism against rain. **Applied Entomology and Zoology** 35:339–343.

Kato T (1972) Seasonal behaviour of citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor), in a leaf of citrus tree. **Japanese Journal Applied Entomology and Zoology** 16:154–56.

Li H, Li N, Xue X, Dong B, Zhang S (2010) Analyzing the influence of meteorology on occurrence and development of wheat aphids in Shandong province. **Chinese Agricultural Science Bulletin** 26:221–225.

Macfadyen S, McDonald G, Hilla MP (2018) From species distributions to climate change adaptation: Knowledge gaps in managing invertebrate pests in broad-acre grain crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 253:208–219.

Mandal SK, Sattar A, Banerjee S (2006) Impact of meteorological parameters on population build up of red spider mite in okra, *Abelmoschus esculentus* L. under North Bihar condition. **Journal of Agricultural Physics** 6:35–38.

Martins R (2013) Amendoim: o mercado brasileiro no período de 2000 a 2011. In: Santos RC, Freire RMM, Lima LM (Eds.) **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, p. 19–43.

Melville CC, Andrade SC, Oliveira NT, Andrade DJ (2018) Impact of *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae) on different phenological stages of peanuts. **Bragantia** 77:116–123.

Misra JB, Rathnakumar I (2011) Vision 2030, Directorate of Groundnut Research, DGR, Junagadh. 36 p.

Moraes GJ, Flechtmann CHW (2008) **Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, p.111.

Nakagawa J, Rosolem CA (2011) **O amendoim: tecnologia de produção. Botucatu:** FEPAF, p. 325.

Nakagawa J, Rosolem CA (2011) O amendoim: tecnologia de produção. Botucatu: FEPAF. 325 p.

Nelder JA, Wedderburn RWM (1972) Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society, Series A** 135:370–384.

Nogueira RJMC, Távora FJAF (2015) Ecofisiologia do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In.: Santos RC (Ed.) **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa, p. 71–122.

Oliveira KN, Jesus FM, Silva JO, Espírito-Santo MM, Faria ML (2012) An experimental test of rainfall as a control agent of *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera, Psyllidae) on seedlings of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Entomologia** 56:101–105.

Pedro Neto M, Reis PR, Zacarias MS, Silva RA (2009) Influence of rainfall on mite distribution in organic and conventional coffee systems. **Coffee Science** 4:1–8.

Pirotta MZ, Silva FM, Michelotto MD, Fávero AP, Godoy IJ, Trevisoli SHU (2017) Resistance to *Enneothrips flavens* Moulton and genetic parameters estimation in interspecific genotypes of peanut. **Acta Scientiarum Agronomy** 39:339–348.

R Development Core Team (2018) **R: A language and environment for statistical computing**. A foundation for statistical computing, Vienna, Austria.

Ranga GVR, Ranga DVR, Reddy MP, Wightman JA (1990) Overhead irrigation and the integrated management of spider mites in a groundnut crop. **International Arachis Newsletter** 8:23–24.

Reis PR, Chiavegato LG, Alves EB, Sousa EO (2000) Ácaros da família Phytoseiidae associados aos citros no município de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 29:95–105.

Reis PR, Souza JC (1986) Influência das condições do tempo sobre a população de insetos e ácaros. **Informe Agropecuário** 12:5–30.

Santos AF, Melville CC, Andrade DJ (2017) Fenpyroximate for the control of *Tetranychus ogmophallos* and *Mononychellus planki* (Acari: Tetranychidae) in the peanut crop **Científica** 45:355–360.

Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika** 52:591–611.

Silva RA, Reis PR, Souza B, Carvalho CF, Carvalho GA, Cosme LV (2006) Flutuação populacional de adultos de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) em cafeeiros conduzidos em sistema orgânico e convencional. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología** 7:44–49.

Thirumalaisamy PP, Vennila S, Nataraja MV, HarishG, Jasrotia P, Ramamurthy VV (2016) *Cyrtomezia dispar* Pascoe (Coleoptera: Curculionidae) A new insect pest on peanut in India. **Entomological News** 126:12–18.

Ubara M, Osakabe M (2015) Suspension of egg hatching caused by high humidity and submergence in spider mites. **Environmental Entomology**. 44:1210–1219.

¹CAPÍTULO 3 – Cultivares alto oleicas apresentam potencial susceptibilidade para desencadear surtos de *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae) em cultivo de amendoim

RESUMO – *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann (Acari: Tetranychidae) é uma importante praga da cultura do amendoim no Brasil e uma praga quarentenária para outros países. Este trabalho objetivou identificar se cultivares de amendoim atualmente utilizadas foram responsáveis por causar surtos de *T. ogmophallos* em amendoim. Os parâmetros de desenvolvimento, reprodução e tabela de vida foram avaliados em cinco cultivares de amendoim (Granoleico, Runner IAC 886, IAC Tatu ST, IAC OL 3 e IAC 503) e duas linhagens (L. 8008 e L.322) na câmara de crescimento. Houve diferenças entre os tempos de desenvolvimento de todos os estádios imaturos, período de oviposição, fecundidade e longevidade de adultos de *T. ogmophallos* criados nas cultivares de amendoim e linhagens. A maior duração do estágio imaturo e a menor fecundidade ocorreram nas cultivares Granoleico, Runner IAC 886 e L. 322. A menor taxa intrínseca de crescimento (r), taxa finita de aumento (λ), taxa líquida reprodutiva (R_0) e o menor tempo médio entre gerações (T) ocorreram na Granoleico, Runner IAC 886 e L.322, enquanto o maior ocorreu no IAC Tatu ST, IAC OL 3, IAC 503 e L.8008. No geral, nosso estudo mostra que a maioria das cultivares de amendoim lançadas nos últimos dez anos são suscetíveis e fazem parte de um conjunto de fatores que desencadeiam os surtos de *T. ogmophallos*. Granoleico, Runner IAC 886 e L. 322 são menos favoráveis ao desenvolvimento e reprodução de *T. ogmophallos* e fornecem aos agricultores boas alternativas às cultivares atualmente utilizadas.

Palavras-chave: ácaro-vermelho-do-amendoim, *Arachis hypogaea*, parâmetros demográficos, tabela de vida

¹Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista Journal of Pest Science e encontra-se em avaliação para publicação.

CHAPTER 3 – High oleic cultivars displays potential susceptibility by triggering outbreaks of *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae) in peanut crop

ABSTRACT – *Tetranychus ogmophallos* Ferreira and Flechtmann (Acari: Tetranychidae) is an important pest of peanut in Brazil and is considered a quarantine pest to other countries. This study aimed to identify if currently used peanut cultivars were responsible for causing *T. ogmophallos* outbreaks in peanut. The development, reproduction and life table parameters were evaluated on five peanut cultivars (Granoleico, Runner IAC 886, IAC Tatu ST, IAC OL 3 and IAC 503) and two breeding lines (L. 8008 and L.322) in the growt chamber. There were differences between the developmental times of all immature stages, the oviposition period, fecundity and adult longevity of *T. ogmophallos* reared on the peanut cultivars and breeding lines. The longest duration of the immature stage and lowest fecundity occurred on the cultivar Granoleico, Runner IAC 886 and breeding line L. 322. The lowest intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ), net reproductive rate (R_0) and shortest mean generation time (T) occurred on Granoleico Runner IAC 886 and L.322, while the highest fitness occurred on the IAC Tatu ST, IAC OL 3, IAC 503 and L.8008. Overall, our study shows that most peanut cultivars released in the last ten years are susceptible and are part of a set of factors that triggers *T. ogmophallos* outbreaks. Granoleico, Runner IAC 886 and L. 322 are less favorable for development and reproduction of *T. ogmophallos* and provide farmers with good alternatives to cultivars currently grown.

Keywords: peanut red spider mite, *Arachis hypogaea*, demographic parameters, life table

1. Introduction

The peanut red spider mite, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira and Flechtmann (Acari: Tetranychidae), is an important pest of peanut. This mite was first reported in Midwestern Brazil, it is known from the south and southeast regions, including Paraná, Santa Catarina, São Paulo and Minas Gerais State, and the State of Acre located in the northwest (Ferreira and Flechtmann 1997; Lourenção et al. 2001; Flechtmann 2004; Chiaradia and Oliveira 2009; Santos, 2016). Its rapid dissemination serves as an alert to other countries, because it is considered a quarantine pest mainly for countries bordering Brazil (Melville et al. 2018).

Treated as an emerging pest in peanut growing areas, *T. ogmophallos* has been reported to cause damage to all peanut developmental stages. Direct feeding injury causes a loss of leaf chlorophyll, reducing the photosynthetic rate, causing early leaf drop and reducing plant growth rate. These losses can result in a decrease in crop yield by reducing the number of pods, number of filled pods, individual seed weight, and ultimately, plant decline and death of the peanut plants (Melville et al. 2018).

In Brazil, the demand for peanut cultivars that would better meet the requirements of the confectionery, pharmaceutical and biofuel industries and that also fit into the rotation with the sugar cane is challenging. Seed companies look for early cycle cultivars that serve the market, and high oleic cultivars became a good alternative in the peanut chain (Santos et al. 2018). Due to lack and demand for peanut cultivars with high oleic acid (80%), farmers and cooperatives in Brazil imported peanut cultivars carrying the high-oleic trait from Argentina. Concomitantly, the Agronomic Institute (Instituto Agronômico – IAC) began to use the cultivar IAC Caiapó, which was released in 1999 as genitor of many crossings, given its regular oleic acid content and greater adaptability and stability in the State of São Paulo (Santos et al. 2018). Two years later, the first report of *T. ogmophallos* outbreaks in peanuts was observed in areas growing large acreages of cultivar IAC Caiapó for two consecutive years (Lourenção et al. 2001).

The pathways that facilitate the dissemination are still unknown. Additionally, there is little information about factors involved in peanut red spider mite outbreaks. It is possible that WCM has been present in many areas for a long time, but has remained undetectable until one or more factors interact and make possible their dissemination.

Knowledge of cultivar susceptibility or resistance to a pest is an essential component of an Integrated Pest Management (IPM) program for any crop (Sedaratian et al. 2011). To date, however, there is no information on resistance of peanut cultivars to the peanut red spider mite. Life tables provide the most comprehensive analysis and description of the development, survival, and reproduction of arthropod populations. Detailed information is necessary and is the first step in developing an arthropod-resistant cultivar (Jyoti et al. 2001).

Determining life history traits will allow this study to make a connection between the cultivars present in the market today, those that were removed and served as progenitors and the question regarding which mechanism can populations of *T. ogmophallos* adapt and exploit new areas and cultivars. This information is crucial to recognize factors responsible for pest outbreaks, and to understand the adaptation processes. Thus, the goal of this study was to identify whether currently used peanut cultivars were responsible for triggering *T. ogmophallos* outbreaks in peanut growing areas. Although, there is a critical need for detailed information on the basic biology of this mite, specific information is also needed on peanut breeding lines that can serve as a source of resistance.

2. Material and Methods

2.1. Source and maintenance of the *Tetranychus ogmophallos* colony

Specimens of peanut red spider mite were collected from peanut fields Jaboticabal, São Paulo State, Brazil. Dr. Daniel Junior de Andrade (UNESP/FCAV) confirmed mite species. They were reared on forage peanuts (*Arachis pintoi* Krapovickas and Gregory, cv. Amarillo) growing in 5-L pots in a greenhouse for at least 5 months (~ 10 generations, according to Bonato et al. 2000) before conducting experiments. Severely damaged plants were replaced with new plants every other week. The colony was maintained at 23 ± 5 °C, relative humidity (RH) of 65 ± 10 % and L12: D12 h photoperiod.

2.2. Peanut cultivars and breeding lines

Five peanut cultivars were considered in this study, namely the cultivars: Granoleico, Runner IAC 886, IAC Tatu ST, IAC OL 3, IAC 503, and two breeding lines: L. 8008 and L. 322. Instituto Agronômico de Campinas (IAC) and Cooperativa Agroindustrial (COPLANA), São Paulo, Brazil, supplied the seeds. The cultivars and breeding lines were selected based on their economical relevance, year in which the germplasm was registered and allowed for planting in Brazil combined with reports of resistance to pests and diseases in the literature (Table 1). In addition, some breeding lines were tested to identify potentially useful sources of resistance to the mite (Table 1). Five seeds were sown in each 8-L plastic pots filled with a pasteurized substrate composed of soil, sand, and bovine manure (2:1:1) (pasteurized at 120 °C for three hours) and kept in a greenhouse. About 15 days of germination thinning was done, leaving a single plant per pot. Plants were irrigated manually every other day or as needed and no fertilizers or pesticides were applied during the experiments.

Table 1. Characteristics of the cultivars and breeding lines used in the experiment

	Cultivars					Breeding lines	
	Granoleico	Runner IAC 886	IAC Tatu ST	IAC OL3	IAC 503	L.322	L. 8008
Year of registration in Brazil	2010	2002	2000	2013	2009	Not registered	Not registered
Origin	Tegua x I. J. S. 95-1	Florunner	IAC Tatu	Line 886 x accession 2562	IAC Caiapó x accession 2562	Accession 69007 x line 886	IAC Caiapó x accession 2562
Botanical type	Virginia	Virginia	Valencia	Virginia	Virginia	Virginia	Virginia
Cycle and growth habit	125-130 d runner	125-130 d runner	90-100 d upright	125-130 d runner	130-140 d runner	140 d runner	130-140 d runner
Oleic trait	high-oleic	comun	comun	high-oleic	high-oleic	comun	high-oleic
Resistance to foliar diseases	low	low	low	low	moderate	high	moderate
Resistance to thrips	-	low	low	low	low	low	-

‘-’ not evaluated

2.3. Experimental set-up

To perform the study, arenas were made with fully expanded young leaflets (fifth leaf below the apical meristem of plant at reproductive stage – R3) of each cultivar and breeding lines plant. Each leaflet was placed with the adaxial surface down in a Petri dish (9 cm diameter × 2 cm high) with the aid of an entomological pin stuck in the center of each arena (Petri dish) with hot glue. Each arena was filled daily with deionized water (~10 mL) to keep the leaflet floating, maintain leaflet turgor and serve as a barrier for the mites.

2.4. Immature development and survival

To determine the development times (egg-adult) of the immature stages and survival rate, two engorged adult females of *T. ogmophallos* were placed in each arena and allowed to lay eggs for 24 h. Females and extra eggs were removed, leaving a single egg per arena. For each treatment, a cohort of 120 eggs of *T. ogmophallos* were used. Observations were made twice daily (12-h interval) and the duration, survival of immature stages and their quiescent stages of each treatment was recorded. Body size, presence of exuvia and a silvery appearance (quiescent period) were used to identify the duration and molting to the next stage (Laing 1969). Experiments were carried out in a room at 25 ± 1 °C, 65 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod. The leaflet of each arena was exchanged every seven days, except when the mite was in the quiescent stage. A camel hairbrush was used to transfer the mites from old to new leaflet.

2.5. Reproduction and adult longevity parameters

When adults of *T. ogmophallos* emerged, virgin male and female mites were paired, and transferred into a new arena with a fresh leaflet of each treatment. The pre-oviposition, total pre-oviposition and oviposition periods, female daily fecundity and female and male longevities were recorded. If males died while the experiments were running, additional male was obtained from the maintenance-rearing colony for mating purposes. Males obtained from the maintenance-rearing colony were excluded from the analysis. Observations were done also every 12 h. Eggs were counted and discarded daily.

2.6. Life table analysis

The computer program TWSEX-MSChart (Chi 2018) was used for the raw data analysis and calculation of population parameters. The developmental time, adult longevity, adult fecundity, and population parameters were estimated by using the

bootstrap method (Efron and Tibshirani 1993, Huang and Chi 2012), with 100,000 resampling to estimate the variances and standard errors. We used the paired bootstrap method to compare differences (Efron and Tibshirani 1993; Akkopru et al. 2015). The raw life table data of all individuals (females, males and those dying during at immature stages) were analyzed according to the age-stage, two sex life table procedure developed by Chi and Liu (1985) and Chi (1988). The age-stage specific survival rate (s_{xj} , where x = age in days (d), j = development stage), the age-specific survival rate (l_x), age-specific fecundity (m_x) and the population parameters (R_0 : net reproduction rate; r : intrinsic rate of increase; λ : finite rate of increase; T : the mean generation time) were calculated accordingly. The adult pre-oviposition period (APOP) is considered the time from the emergence of the adult female to its initial oviposition, while the total pre-oviposition period (TPOP) is the total time duration from the beginning of the egg stage to the female's initial oviposition. In the age-stage, two-sex life table, the l_x , m_x values are calculated as:

$$l_x = \sum_{j=1}^k s_{xj} \quad (1)$$

$$m_x = \frac{\sum_{j=1}^k s_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^k s_{xj}} \quad (2)$$

where k is the number of stages. The net reproduction rate (R_0) is defined as the mean number of offspring that an individual can produce during its life-span. It was calculated as:

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x \quad (3)$$

The intrinsic rate of increase (r) was estimated using the Euler–Lotka formula with the age indexed from day 0 (Goodman 1982):

$$(4)$$

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$$

The finite rate (λ) was calculated as $\lambda = e^r$. The mean generation time (T) is defined as the length of time that is required by a population to increase to R_0 -fold of its size at the stable age-stage distribution, and was calculated as:

$$T = \frac{\ln R_0}{r} \quad (5)$$

The age-stage life expectancy (e_{xj}) is the time length that an individual of age x and stage j is expected to survive and it was calculated as:

$$e_{xj} = \sum_{i=x}^{\infty} \sum_{y=j}^k s'_{iy} \quad (6)$$

where s'_{xj} is the probability that an individual of age x and stage j will survive to age i and stage y and was calculated by assuming $s'_{xj} = 1$, following the procedures described by Chi (1988) and Chi and Su (2006). According to Fisher (1993), the age-stage reproductive value (v_{xj}) is defined as the contribution of an individual of age x and stage j to the future population. According to Huang and Chi (2011) and Tuan et al. (2014), the reproductive value (v_{xj}) in the age-stage, two-sex life table is calculated as:

$$v_{xj} = \frac{e^{r(x+1)}}{s_{xj}} \sum_{i=x}^{\infty} e^{-r(i+1)} \sum_{y=1}^k s'_{iy} f_{iy} \quad (7)$$

3. Results

3.1. Immature development and survival

The immature development stages of *T. ogmophallos* on peanut cultivars and breeding lines are given in Table 2. All *T. ogmophallos* eggs hatched on the fifth day, showing no differences between egg incubation periods among treatments. The duration of development time of the larvae, protonymphs and deutonymphs were different among peanut cultivars and breeding lines tested. The longest duration of the larval developmental stage was observed on Granoleico, Runner IAC 886 and L. 322. The shortest duration was observed on IAC Tatu ST (Table 2). The mite had the longest of protonymph development time on Granoleico, Runner IAC 886 and L. 322, while it was shortest on L. 8008 and IAC 503 (Table 2). The last developmental stage (deutonymphs) of *T. ogmophallos* was significantly longer on Granoleico, Runner IAC 886 and line L.322 cultivars compared with the other hosts (Table 2). The duration of the protochrysalis stage of *T. ogmophallos* was affected by peanut cultivar and breeding lines, which was longer for mites reared on Granoleico, Runner IAC 886, IAC Tatu ST, IAC 503 and L.322 than those reared on L. 8008. Conversely, no difference among the cultivars and breeding lines was observed for the deutochrysalis and teliochrysalis developmental stages (Table 2). Based on the duration of the immature stages, males of *T. ogmophallos* developed faster than females on peanut plants. The duration of development of male and female immature stages was longer on Granoleico, Runner IAC 886 and L. 322 compared with IAC Tatu ST and L. 322 (Table 2). The survival of immature stages of *T. ogmophallos* were more than 65.0% on all tested hosts. Granoleico and L.322 *Tetranychus ogmophallos* exhibited the lowest percentage of larval survival, whereas the highest survival was on IAC 503, IAC OL 3 and L. 8008 (Table 2).

Table 2. Mean ($\pm$ SE) duration and survival of immature stages of *Tetranychus ogmophallos* on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.

Parameters	Cultivars					Breeding lines	
	Granoleico	Runner IAC 886	IAC Tatu ST	IAC OL 3	IAC 503	L. 322	L. 8008
Egg incubation period (days)	5.41 $\pm$ 0.10 a	5.40 $\pm$ 0.11 a	5.39 $\pm$ 0.10 a	5.42 $\pm$ 9.59 a	5.38 $\pm$ 0.10 a	5.39 $\pm$ 0.11 a	5.40 $\pm$ 9.20 a
Larval duration (days)	2.23 $\pm$ 0.21 a	2.19 $\pm$ 0.16 a	1.12 $\pm$ 0.13 c	1.33 $\pm$ 0.13 b	1.33 $\pm$ 0.10 b	2.25 $\pm$ 0.19 a	1.43 $\pm$ 0.10 b
Protochrysalis duration (days)	1.13 $\pm$ 2.55 a	1.03 $\pm$ 0.10 a	0.90 $\pm$ 3.31 ab	0.87 $\pm$ 4.50 b	0.90 $\pm$ 4.06 ab	0.97 $\pm$ 4.74 ab	0.78 $\pm$ 4.00 c
Protonymph duration (days)	1.35 $\pm$ 0.11 a	1.33 $\pm$ 9.24 a	0.92 $\pm$ 3.32 b	0.95 $\pm$ 5.34 b	0.83 $\pm$ 7.36 c	1.30 $\pm$ 4.43 a	0.89 $\pm$ 3.75b c
Deutochrysalis duration (days)	0.94 $\pm$ 0.03 a	1.00 $\pm$ 4.89 a	0.91 $\pm$ 3.31 a	1.05 $\pm$ 4.89 a	1.03 $\pm$ 6.89 a	1.07 $\pm$ 0.10 a	1.07 $\pm$ 9.05 a
Deutonymph duration (days)	1.36 $\pm$ 0.06 a	1.29 $\pm$ 4.85 a	1.23 $\pm$ 7.75 ab	1.00 $\pm$ 3.48 bc	1.06 $\pm$ 7.86 bc	1.40 $\pm$ 0.12 a	0.95 $\pm$ 0.07 c
Teliocrysalis duration (days)	1.53 $\pm$ 5.71 a	1.52 $\pm$ 3.38 a	1.54 $\pm$ 4.37 a	1.5 5 $\pm$ 5.30 a	1.51 $\pm$ 0.11 a	1.55 $\pm$ 4.4 a	1.52 $\pm$ 0.10 a
Duration of the immature stage							
Female (days)	13.12 $\pm$ 0.17 a	13.04 $\pm$ 0.18 a	11.15 $\pm$ 0.16 c	12.23 $\pm$ 0.12 b	12.05 $\pm$ 0.13 b	13.05 $\pm$ 0.31 a	11.76 $\pm$ 0.18b c
Male (days)	11.89 $\pm$ 0.68 ab	11.92 $\pm$ 0.57 ab	10.75 $\pm$ 0.14 c	11.33 $\pm$ 0.30 b	11.31 $\pm$ 0.29 b	12.33 $\pm$ 0.77 a	11.13 $\pm$ 0.20 bc
Sobrevivência do estágio imaturo (%)	68.89 $\pm$ 4.33 c	70.47 $\pm$ 3.24 bc	73.42 $\pm$ 0.70 b	77.73 $\pm$ 3.11 a	79.44 $\pm$ 1.66 a	66.50 $\pm$ 3.31 c	75.00 $\pm$ 0.25 ab

Means within a row followed by the same letter are not significantly different by the bootstrap paired test ($P < 0.05$).

3.2. Reproduction and adult longevity parameters

Differences were observed in the sex ratio of *T. ogmophallos* (F1 generation) on all peanut cultivars and breeding lines (Table 3). The lowest sex ratio occurred on L. 322, whereas the highest occurred on IAC 503 followed by L. 8008. The adult pre-oviposition period (APOP) of *T. ogmophallos* females reared on different peanut cultivars and breeding lines, was much longer on Granoleico and L. 322, while for IAC tatu ST, IAC OL3 and IAC 503 were significantly shorter (Table 3). Likewise, the TPOP parameter was different and had the longest time was observed on Granoleico, Runner IAC 886 and L. 322 compared with the other hosts tested (Table 3). The oviposition period was shorter for females reared on Granoleico, Runner IAC 886, IAC Tatu ST and L.322 than on cultivars IAC OL 3, IAC 503 and line L.8008. There was a significant difference in the mean total fecundity of *T. ogmophallos*. The lowest and highest values of this parameter were observed on Granoleico and IAC 503 cultivars, respectively (Table 3). Peanut cultivars and breeding lines affected *T. ogmophallos* female and male longevity. The lowest longevity for both sexes was recorded on Granoleico, Runner IAC 886 and L.322, and the highest longevity for both was recorded on IAC Tatu ST, IAC OL 3, IAC 503 and L.8008 (Table 3). Males displayed lower longevity in comparison with females, but this case was converse on peanut hosts with greater longevity (Table 3).

Table 3. Mean ($\pm$ SE) of sex ratio (females/females + males) duration of pre-oviposition period (APOP), total pre-oviposition period (TPOP), oviposition period, fecundity and longevity of *Tetranychus ogmophallos* on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.

Parameters	Cultivars					Breeding lines	
	Granoleico	Runner IAC 886	IAC Tatu ST	IAC OL 3	IAC 503	L. 322	L. 8008
Sex ratio	0.89 $\pm$ 0.02 b	0.84 $\pm$ 0.04 b	0.88 $\pm$ 0.03 b	0.87 $\pm$ 0.03 b	0.95 $\pm$ 0.01 a	0.75 $\pm$ 0.04 c	0.93 $\pm$ 0.01 a
APOP (days)	0.53 $\pm$ 2.48 a	0.50 $\pm$ 0.0 b	0.45 $\pm$ 4.54 c	0.45 $\pm$ 3.39 c	0.45 $\pm$ 3.38 c	0.50 $\pm$ 3.39 a	0.48 $\pm$ 3.39 b
TPOP (days)	13.68 $\pm$ 0.31 a	13.56 $\pm$ 0.15 a	11.65 $\pm$ 0.18 c	12.68 $\pm$ 0.12 b	12.50 $\pm$ 0.14 b	13.54 $\pm$ 0.19 a	12.25 $\pm$ 0.16 b
Oviposition period (days)	7.51 $\pm$ 0.62 b	7.35 $\pm$ 0.73 b	7.65 $\pm$ 0.73 b	8.15 $\pm$ 0.59 a	8.85 $\pm$ 0.78 a	7.58 $\pm$ 0.56 b	8.20 $\pm$ 0.81 a
Mean total fecundity (un)	89.15 $\pm$ 1.02 c	98.15 $\pm$ 2.67 b	112.87 $\pm$ 0.59 a	115.54 $\pm$ 1.74 a	119.13 $\pm$ 0.07 a	101.61 $\pm$ 1.73 b	110.44 $\pm$ 1.09 a
Longevity							
Female (days)	32.84 $\pm$ 0.88 c	32.47 $\pm$ 1.06 c	34.31 $\pm$ 0.88 b	35.98 $\pm$ 1.48 a	36.42 $\pm$ 0.66 a	32.40 $\pm$ 0.96 c	36.01 $\pm$ 0.78 a
Male (days)	30.85 $\pm$ 1.75 b	29.70 $\pm$ 3.60 b	42.95 $\pm$ 1.62 a	43.11 $\pm$ 18 a	42.93 $\pm$ 3.12 a	31.12 $\pm$ 2.63 b	43.83 $\pm$ 2.52 a

Means within a row followed by the same letter are not significantly different by the bootstrap paired test ($P < 0.05$)

3.3. Age-stage-specific survival rate (s_{xj})

The overlaps seen in the age-stage-specific survival rate curves (s_{xj}) (Fig.1) found in successive stages, clearly show the differences between the stages of development and the survival that is found in individuals reared on all hosts (Fig. 1).

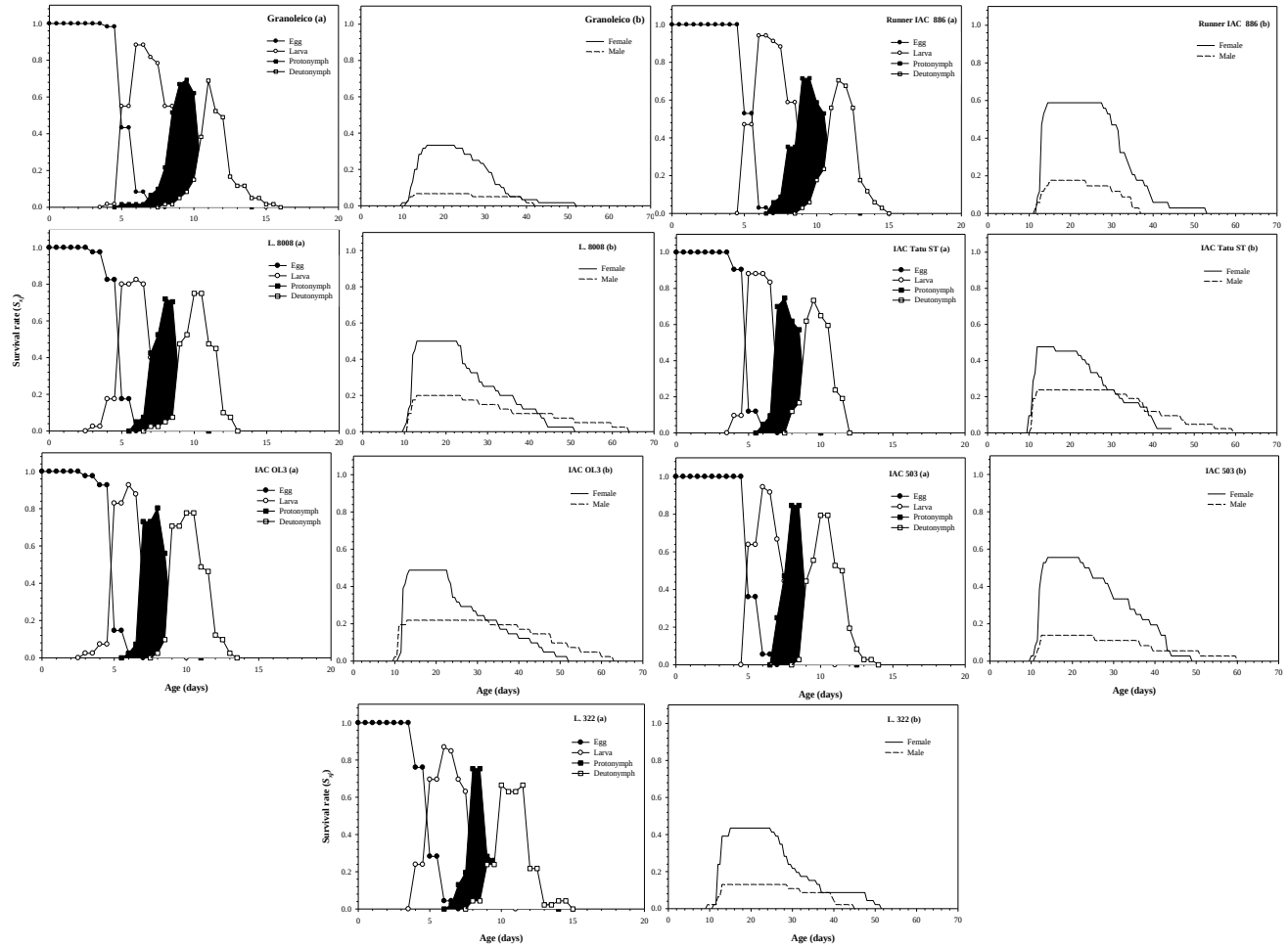


Figure 1. Age-stage-specific survival rate of *Tetranychus ogmophallos* on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod: (a) preadult stages and (b) adult stages.

The probability that a new hatched individual of *T. ogmophallos* to survive to the adult 'female' stage was lower on Granoleico (0.33), followed by L. 322 (0.43), IAC Tatu ST (0.48), IAC OL 3 (0.49), L. 8008 (0.50), IAC 503 (0.56) and Runner IAC 886 (0.59)

(Fig. 1a). Regarding the ‘male’ individuals, this probability was lower on Granoleico (0.06) than on L. 322 (0.13), IAC 503 (0.14), Runner IAC 886 (0.18), L. 8008 (0.20), IAC OL 3 (0.21) and IAC Tatu ST (0.23) (Fig. 1b).

3.4. Age-specific survival rate (l_x) and Age-specific fecundity (m_x)

Considering the survival rate of the total population at different ages of *T. ogmophallos*, the l_x curve in general maintained a pattern from 10 to 25 days on all hosts tested (Fig. 2).

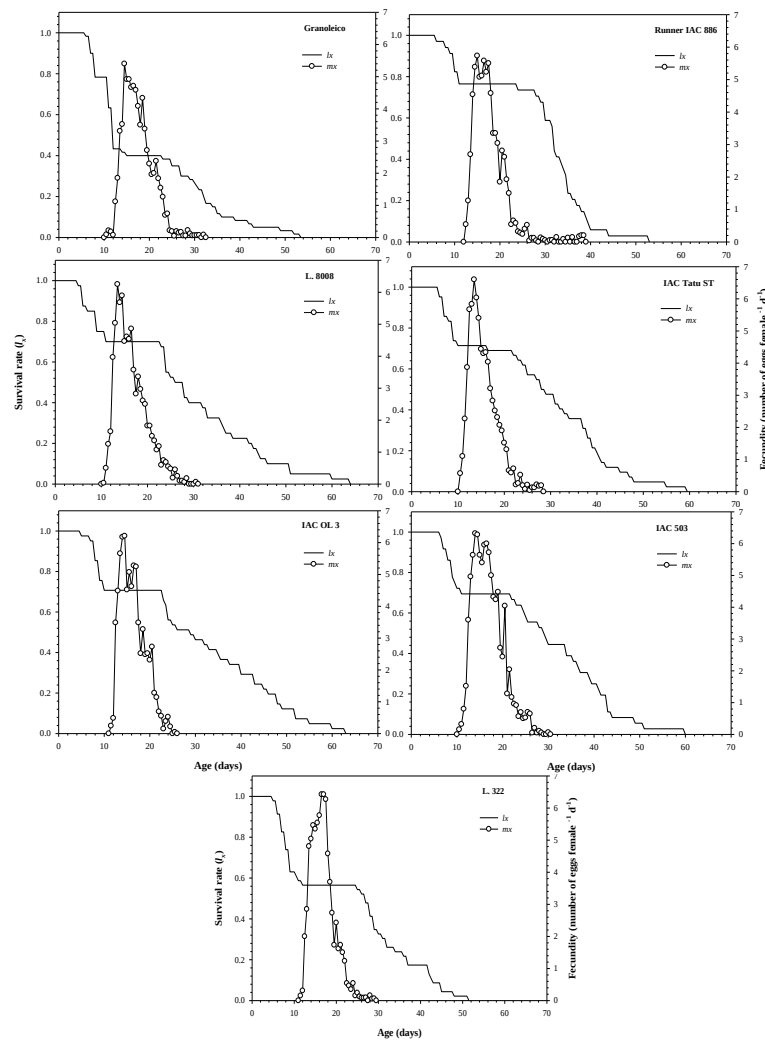


Figure 2. Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of *Tetranychus ogmophallos* on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.

A lower survival rate was recorded for *T. ogmophallos* when reared on cultivar Granoleico (0.4 at age 15) (Fig. 2). The age-specific fecundity (m_x) of *T. ogmophallos* obtained the lowest value on Granoleico (5.4 eggs) and Runner IAC 886 (5.7 eggs), followed by IAC OL 3 (6.2 eggs), L. 8008 (6.3 eggs), IAC 503 (6.3 eggs), L. 322 (6.4 eggs) and IAC Tatu ST (6.6 eggs) (Fig. 2).

3.5. Age-stage life expectancies (e_{xj}) and Age-stage-specific reproductive value (v_{xj})

The life expectancy (e_{xj}) of each age-stage group of *T. ogmophallos* (Fig. 3) indicates the time length that individuals of age x and stage j were expected to live after age x on different cultivars and breeding lines of peanut.

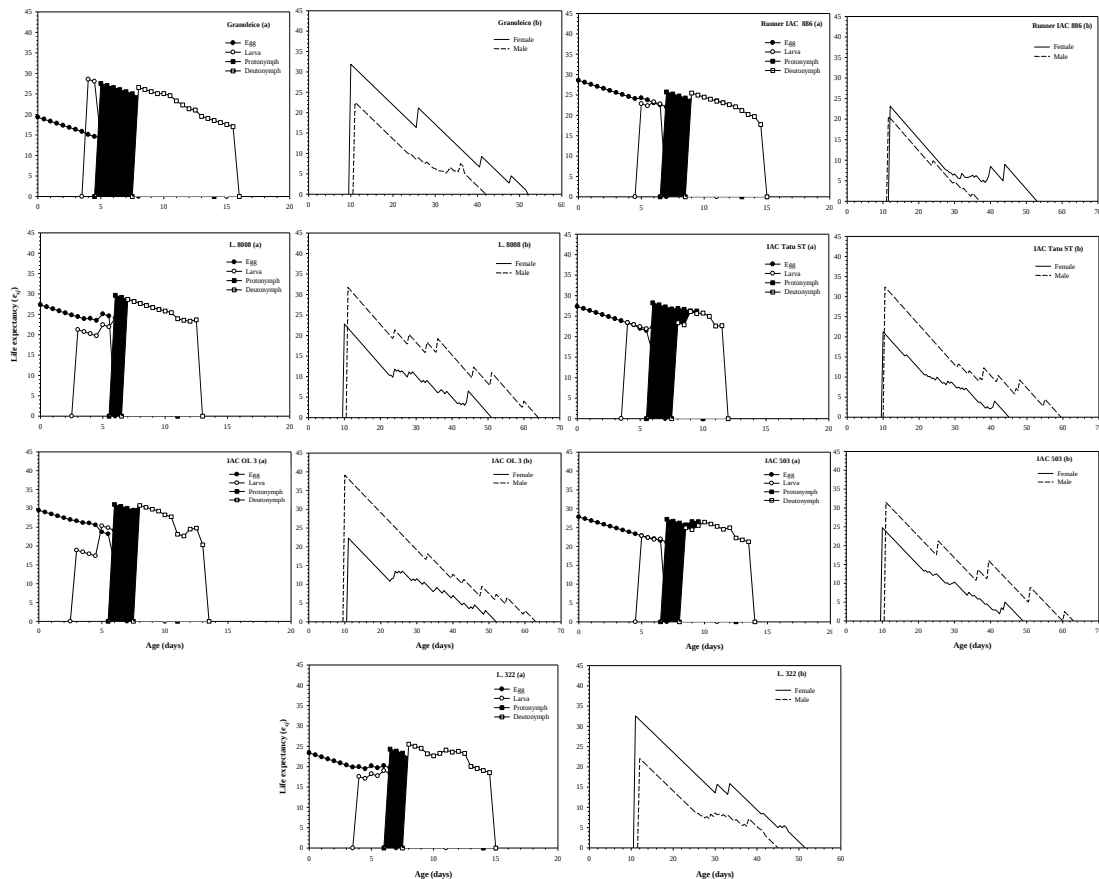


Figure 3. Age-stage-specific life expectancy of *Tetranychus ogmophallos* on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod: (a) preadult stages and (b) adult stages.

The e_{01} (newly hatched mite) values on Granoleico, L. 322, L. 8008, IAC Tatu ST, IAC 503, Runner IAC 886 and IAC OL 3 were 19.32, 23.37, 27.31, 27.35, 27.82, 28.58 and 29.48 days, respectively (Fig. 3a). The reproductive value (V_{xj}) describes the contribution of an individual mite of age x and stage j to the future population (Fig. 4).

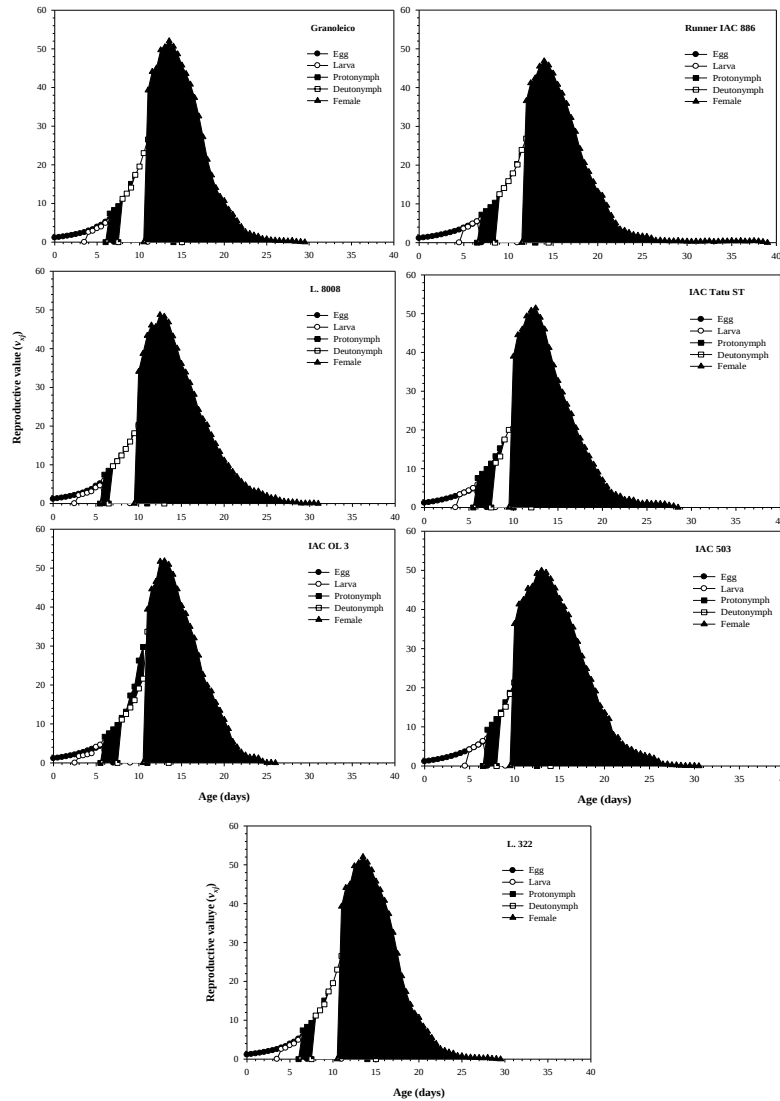


Figure 4. Age-stage-specific reproductive value of *Tetranychus ogmophallos* on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.

The V_{xj} of a newly hatched egg is exactly the finite rate of increase (λ). The major peak of V_{xj} of *T. ogmophallos* females occurred at 14 days when reared on Granoleico ($V_{14} = 52.04$), Runner IAC 886 ($V_{14} = 46.83$), and L. 322 ($V_{14} = 52.03$); and 13 days when females reared on IAC Tatu ST ($V_{13} = 51.40$), IAC OL 3 ($V_{13} = 51.80$), IAC 503 ($V_{13} = 49.93$) and L. 8008 ($V_{13} = 48.72$) (Fig. 4).

3.6. Life table parameters

Peanut cultivars and lines affected the population parameters, intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ), net reproductive rate (R_0) and mean generation time (T) of *T. ogmophallos* (Table 4). The r value was lowest on Granoleico followed by Runner IAC 886 and L. 322, whereas mites reared on IAC Tatu ST, IAC OL 3 and L. 8008 obtained the highest value of r (Table 4). The finite rate of increase values for mites reared on Granoleico were higher than those reared on IAC Tatu ST, IAC OL 3 IAC 503 and L. 8008 (Table 4). The R_0 value was lower, while the mean generation time (T) was longer in mites reared on Granoleico, Runner IAC 886 and L. 322, differing from mites reared on IAC 503 (Table 4).

Table 4. Mean ($\pm$ SE) life table parameters (r : day⁻¹; λ : day⁻¹; R_0 : offspring/individual and T : day) of *Tetranychus ogmophallos* on five peanut cultivars and two breeding lines at 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % RH and L12:D12 h photoperiod.

	Cultivars					Breeding lines	
	Granoleico	Runner IAC 886	IAC Tatu ST	IAC OL 3	IAC 503	L. 322	L. 8008
r	0.20 ± 1.26 c	0.21 ± 1.05 c	0.26 ± 1.27 a	0.26 ± 1.11 a	0.25 ± 1.17 b	0.21 ± 1.41 c	0.26 ± 0.01 a
λ	1.22 ± 1.54 c	1.26 ± 1.32 b	1.30 ± 1.64 a	1.28 ± 1.50 a	1.29 ± 1.44 a	1.25 ± 0.09 b	1.29 ± 1.63 a
R_0	45.68 ± 1.55 c	46.14 ± 3.69 c	53.71 ± 3.01 b	53.41 ± 0.13 b	70.06 ± 1.62 a	45.46 ± 2.34 c	55.2 ± 1.30 b
T	17.09 ± 0.43 a	17.06 ± 0.25 a	16.20 ± 0.28 b	16.02 ± 0.20 b	14.00 ± 0.24 c	17.83 ± 0.26 a	15.69 ± 0.28 b

Means within a row followed by the same letter are not significantly different by the bootstrap paired test ($P < 0.05$).

4. Discussion

The results presented in this study provide support to the hypothesis that peanut cultivars play a role in the *T. ogmophallos* outbreaks. By combining all the estimated parameters, we found ample evidence that *T. ogmophallos* population growth rate is extremely high on peanut plants and this may facilitate its exploitation of new peanut cultivars and therefore broaden its host range.

Bonato et al. (2000) assessed the suitability of the peanut red spider mite on three legumes, and verified the urgent need for more detailed information on the basic mite biology and highlighted the possible expansion of its number of host diversity, based on the high rates of increase by *T. ogmophallos* when reared on beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). Surprisingly, the same author reported poor performance of *T. ogmophallos* on peanut as a host compared to beans and soybeans plants. It is reasonable to speculate that this mite has now found better environmental conditions for its development in peanuts growing area. Peanut red spider mite is facilitated by management practices currently used by the farmers, green bridge effects, key pest increase (*Enneothrips flavens* Moulton – Thysanoptera: Thripidae and *Stegasta bosquella* (Chambers) – Lepidoptera: Gelechiidae), high frequency of pesticide applications that reduce beneficials (Pirrotta et al. 2017), and new high oleic peanut cultivars, except Granoleico.

In this study Granoleico, Runner IAC 886 and the breeding line L. 322 promoted longer mobile (active) immature stages (larva, protonymph, and deutonymph) and longer duration of quiescent stages for *T. ogmophallos* (Table 2). Feeding on these cultivars and breeding lines, mites had an increase of approximately one to two days in the total duration of the immature stage for both sexes. In addition, the strongest effect was verified in the larval stage, mites had a day of delay in development when compared to the susceptible cultivars (IAC Tatu ST, IAC OL3 and IAC 503) and breeding line (L. 8008). In contrast, Bonato et al. (2000) reported total immature stages (egg-adult) of *T. ogmophallos* (without sex distinction) on soybeans (11.9 days), beans (11.7 days) and

peanut (14.2 days). These results are similar to ours obtained for males on soybeans and beans, but the days to maturity are longer on peanuts for both sexes.

The variation in the development period for *T. ogmophallos* among peanut cultivars and breeding lines, can be linked with individual's gender, host acceptance and/or consumption, plant nutritional quality, morphological or allelochemical features (Wilson 1994; Awmack and Leather 2002; Steinite and Ievinsh 2002; Van Den Boom et al. 2003; Razmjou et al. 2009). Cultivars may differ in chemical profiles, thereby affecting arthropod physiology (Ode 2006). A previous study on *T. urticae* attributed variation on immature development to be related to plant antifeedant and deterrent factors such as the presence of secondary metabolites, leaf surface structure (trichomes) and leaf waxiness (Dabrowski 1973; Potter and Anderson 1982; Skorupska 2004; Najafabadi et al. 2014; Bensoussan et al. 2016). These characteristics were not measured in this study.

The lower immature survival of *T. ogmophallos* on L. 322, Granoleico and Runner IAC 886 could explain why this mite species may have benefited from the change of cultivars and found better conditions for its development on the cultivars currently used (IAC 503 and IAC OL 3). According to Marinosci et al. (2015) responses of herbivore populations to environmental changes, such as a host plant shift, can range from local extinction to adaptation. In this study, it is very likely that mites feeding on less susceptible cultivars (Granoleico, Runner IAC 886, L. 322) require a higher fitness cost than others, including, IAC Tatu ST, IAC 503, IAC OL 3 and L. 8008. It is reasonable to say that the cultivar Runner IAC 886 played an important role in regulating the mite population in the recent past, mainly in maintaining the mite population below the economic threshold and avoiding outbreaks. Additionally, the cultivar Granoleico (Argentina cultivar) was the most used by the farmers recently. Together with the breeding line L. 322, these sources have the potential to be used for breeding new cultivars resistant to *T. ogmophallos*.

Besides the poor performance of *T. ogmophallos* in the immature stages on Granoleico, Runner IAC 886 and L. 322, these cultivars and breeding line exhibited longer APOP and TPOP, a short oviposition period, lower fecundity and shorter adult

longevity. Fecundity of on Granoleico was nearly 26% lower than those on IAC. These values are different from those previously estimated for *T. ogmophallos* on beans (63 eggs/female) and peanut (60 eggs/female), but similar to females that developed on soybeans (104.3 eggs/female) (Bonato et al. 2000). Fecundity is an ideal biological parameter for demonstrating the susceptibility of a host plant by measuring the reproductive performance of the arthropod (Awmack and Leather 2002). Tetranychid female have poor performance when are exposed to less suitable or resistant host plants (Johnson et al. 1982; Khanamani et al. 2013; Zanardi et al. 2015). This reduced performance in reproduction traits observed on females individuals developed on Granoleico may be directly related to differences in nutrient contents among host plants. According to Tarikul Islam et al. (2017), adult females need a nitrogen source to develop mature ovaries and produce eggs, and a carbohydrate source for energy. Low quantity and quality of these compounds result in decreased herbivorous fecundity (Wekesa et al. 2011; Maleknia et al. 2016). In addition, females that reached reproductive maturity by feeding on low-quality substrate (leaf) and acquired low energy during its development may allow females to precisely control the sex ratio of their offspring (Roeder et al. 1996). In *T. urticae*, males result from smaller eggs than females (Macke et al. 2011), and may thus be less costly to produce in a poor environment (Marinosci et al. 2015). These reports are in agreement with the results described here, noted by the values of sex ratio on L. 322 as 0.75, while on IAC 503 was 0.95, and followed by L.8008 with 0.93. We could thus hypothesize that the female of *T. ogmophallos* when reared on L.322 increased the percentage of male individuals in the population, in response to the poor quality of the substrate and as a strategy to enhance its fecundity.

The results obtained in this study showed that feeding on Granoleico, Runner IAC 886 and L. 322 decreased the *T. ogmophallos* male and female longevities. This shorter longevity may be linked with lower suitability of host plants due to the presence of some phytochemicals in them acting as antibiotic compounds or the absence of essential nutrients (Wilson 1994; Seradatin et al. 2009). Bonato et al. (2000) reported *T. ogmophallos* female longevity ranging from 16.5 to 25.3 days in peanut soybeans and beans. An additional interesting finding from the present study is that males had shorter

longevity compared to females when fed on less susceptible cultivars and breeding line, and longer on susceptible cultivars (IAC Tatu ST, IAC OL 3, IAC 503 and L.8008). This emphasizes the male's role in maintaining and stimulation female's reproductive traits and in increasing the longevity (Saito 2010). We observed that males of *T. ogmophallos* share the costs of offspring care with the female during the oviposition process. We assume that this males behavior, allow females to redirect part of parental care costs (gained energy) to spend with the feeding and oviposition process. However, the detailed physiological and/or behavior mechanisms and major factors related to these differences among cultivars need further studies.

Using the age-stage, two-sex life table allowed us to demonstrate the differences in all aspects of demographic parameters of *T. ogmophallos* between the peanut cultivars and breeding lines. Accordingly, the intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ) and net reproductive rate (R_0) of *T. ogmophallos* reared on Granoleico and Runner IAC 886 cultivars and the breeding L. 322 presented lower values of each these parameters. Similar trend was observed in case of *T. ogmophallos* fed on peanut, beans and soybeans (Bonato et al. 2000). It may be assumed that the adaptation of *T. ogmophallos* to the cultivars recently released (IAC 503 and OL 3) occurred with an increase in its development and reproductive performance, leading to poor performance of the mite on the cultivars that were previously used by farmers, i.e., Runner IAC 886 cultivar.

When we look at the cultivars tested in our study and their progenitors, we can observe that the cultivar IAC Caiapó and accession 2562 are the progenitors of the cultivars and breeding line (IAC 503, IAC OL 3 and L. 8008) susceptible to *T. ogmophallos*. We assume that the progenitors IAC Caiapó and/or accession 2562 may exhibit susceptibility as well as their descendants to *T. ogmophallos*.

Secondary pest outbreaks are not always solely caused by cultivar shift, but may result from change in the cropping system. The rapid dissemination of *T. ogmophallos* in peanut growing areas is a product of a complex agroecosystem including environmental cues, the intra- and inter-interspecific competition, reduction in populations of natural enemies due to pesticide applications, and drought-stressed

plants (Gerson and Cohen 1989; Wermelinger et al. 1991; Hill et al. 2017; Ruckert et al. 2018). Investigations on the effect of biotic and abiotic factors on *T. ogmophallos* population dynamics should be conducted to determine the main factors responsible for changes in population parameters.

Overall, our study shows that most peanut cultivars released in the last ten years are susceptible and are part of a set of factors that triggers *T. ogmophallos* outbreaks. The cultivars Granoleico, Runner IAC 886 and breeding line L. 322 are less favorable or more resistant hosts for development and reproduction of this pest. Furthermore, the resistant germplasm identified in this study should be useful in future breeding trials to impart resistance to the peanut red spider mite. Best of all, our data provide farmers with good perspectives and alternatives to cultivars currently available on the market and relevant information in the design and control strategies as a part of an IPM program.

5. References

- Akkopru EP, Atlihan R, Okut H, Chi H (2015) Demographic assessment of plant cultivar resistance to insect pests: a case study of the dusky-veined walnut aphid (Hemiptera: Callaphididae) on five walnut cultivars. *J Econ Entomol* 108:378–387. <https://doi.org/10.1093/jee/tov011>
- Awmack CS, Leather SR (2002) Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Ann Rev Entomol* 47:817–844. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145300>
- Bensoussan N, Santamaria ME, Zhurov V, Diaz I, Grbic M, Grbic V (2016) Plant-herbivore interaction: dissection of the cellular pattern of *Tetranychus urticae* feeding on the host plant. *Front in Plant Sci* 7:1105. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01105>
- Bonato O, Santarosa PL, Ribeiro G, Lucchini F (2000) Suitability of three legumes for development of *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae). *Fla Entomol* 83:203–205. <https://doi.org/10.2307/3496159>
- Chi H, (1988) Life table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environ Entomol* 17:26–34. <https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>
- Chi H, (2018) TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, (<http://140.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChart.zip>) (accessed 1March 2018).
- Chi H, Liu H (1985) Two new methods for the study of insect population ecology. *Bull Inst Zool Acad Sin* 24:225–240.
- Chi H, Su HY (2006) Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environ Entomol* 35:10–21. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.1.10>

Chiaradia LA, Oliveira VP (2009) Infestação de *Tetranychus ogmophallos* em plantas de amendoim: primeiro registro em Santa Catarina. Agrop Cat 22:85-86

Dabrowski ZT (1973) Studies on the relationships of *Tetranychus urticae* Koch and host plants. II. Gustatory effect of some plant extracts. Bull Entomol Polog 43:127–138.

Efron B, Tibshirani RJ (1993) An introduction to the bootstrap. New York: Chapman and Hall.

Ferreira DNM, Flechtmann CHW (1997) Two new phytophagous mites (Acari: Tetranychidae, Eriophyidae) from *Arachis pintoii* from Brazil. Syst Appl Acarol 2:181-188.

Fisher RA (1993) The genetical theory of natural selection: A complete variorum edition. Oxford University Press, Oxford, UK.

Flechtmann CHW (2004) Two new plant feeding mites from *Brachiaria ruziziensis* in citrus groves in São Paulo, Brazil and new distribution records of other plant mites in Brazil. Zootaxa 708:1-11.

Gerson U, Cohen E (1989) Resurgences of spider mites (Acari: Tetranychidae) induced by synthetic pyrethroids. Exp Appl Acarol 6:29-46 <https://doi.org/10.1007/BF01193231>

Goodman D (1982) Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. Am Nat 119:803–823. <https://doi.org/10.1086/283956>

Hill MP, Macfadyen S, Nash MA (2017) Broad-spectrum pesticide application alters natural enemy communities and may facilitate secondary pest outbreaks. Peer J 5:e4179 <https://doi.org/10.7717/peerj.4179>

Huang YB, Chi H (2011) The age-stage, two-sex life table with an offspring sex ratio dependent on female age. J Agric For 60:337–345.

Huang YB, Chi H (2012) Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age specific life tables to insect populations. Insect Sci 19:263–273. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2011.01424.x>

Johnson DR., Campbell WV, Wynne C J (1982) Resistance of peanuts to the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). J Econ Entomol 75: 1045-1047. <https://doi.org/10.1093/jee/75.6.1045>

Jyoti JL, Shelton AM, Earle ED (2001) Identifying sources and mechanisms of resistance in crucifers for control of cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae). J Econ Entomol 94:942–949. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-94.4.942>

Khanamani M, Fathipour Y, Hajiqanbar H (2013) Population growth response of *Tetranychus urticae* to eggplant quality: application of female age-specific and age-stage, two-sex life tables. Int J Acarol 39:638–648. <https://doi.org/10.1080/01647954.2013.861867>

Laing JE (1969) Life history and life table of *Tetranychus urticae* Koch. Acarologia 9:32–42.

Lourencão AL, Kasai FS, Navia D, Godoy IJ, Flechtmann CHW (2001) *Tetranychus ogmophallos* Ferreira & Flechtmann (Acari: Tetranychidae) on peanut in the State of Sao Paulo, Brazil. Neotrop Entomol 30:495-496. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2001000300029>

Macke E, Magalhães S, Do-Thi Khan H, Luciano A, Frantz A, Facon B, Olivieri I (2011) Sex allocation in haplodiploids is mediated by egg size: evidence in the spider mite *Tetranychus urticae* Koch. Proc R Soc B 278:1054–1063 doi:10.1098/rspb.2010.1706

Maleknia B, Fathipour Y, Soufbaf M (2016) How greenhouse cucumber cultivars affect population growth and two-sex life table parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Int J Acarol 42:70-78. doi: 10.1080/01647954.2015.1118157
Marinosci C, Magalhães S, Macke E, Navajas M, Carbonell D, Devaux C, Olivieri I (2015) Effects of host plant on life-history traits in the polyphagous spider mite *Tetranychus urticae*. Ecol Evol 5:3151–3158. <https://doi.org/10.1002/ece3.1554>

Melville CC, Andrade SC, Oliveira NT, Andrade DJ (2018) Impact of *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae) on different phenological stages of peanuts. Bragantia 77:116-123. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2016364>

Najafabadi SSM, Vafaei Shoushtari R, Zamani AA, Arbabi M, Farazmand H (2014) Life parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on six common bean cultivars. J Econ Entomol 107:614–622. <https://doi.org/10.1603/EC11205>

Ode PJ (2006) Plant chemistry and natural enemy fitness: effects on herbivore and natural enemy interactions. Ann Rev Entomol 51:163–185. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151110>

Pirotta MZ, Silva FM, Michelotto MD, Fávero AP, Godoy IJ, Trevisoli SHU (2017) Resistance to *Enneothrips flavens* Moulton and genetic parameters estimation in interspecific genotypes of peanut. Acta Scien Agron 39:339–348. doi:10.4025/actasciagron.v39i3.32776

Potter DA, Anderson RG (1982) Resistance of ivy geraniums to the twospotted spider mite. J Am Soc Horticul Sci 107:1089–1092.

Razmjou J, Tavakkoli H, Nemat M (2009) Life history traits of *Tetranychus urticae* on three legumes (Acari: Tetranychidae). Mun Ent Zool 4:204–211.

Roeder C, Harmsen R, Mouldey S (1996) The effects of relatedness on progeny sex ratio in spider mites. J Evol Biol 9:143–151. doi:10.1046/j.1420-9101.1996.9020143.x

Ruckert A, Allen LN, Ramirez RA (2018) Combinations of plant water-stress and neonicotinoids can lead to secondary outbreaks of Banks grass mite (*Oligonychus pratensis* Banks). PLoS ONE 13(2): e0191536. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191536>

Saito Y (2010) Plant mite and sociality – diversity and evolution. Tokyo: Springer, p. 187. Santos JF, Godoy JI, Moraes ARA, Michelotto MD, Freitas RS, Bolonhezi D, Cavichioli JC, Martins ALM (2018) Productivity, adaptability and stability of high-oleic peanut lines in the State of São Paulo. Bragantia 77:265–272. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2017152>

Santos RS (2016) Infestação de *Tetranychus ogmophallos* Ferreira & Flechtmann (Acari: Tetranychidae) em amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & Greg.) nos Estados do Acre e Minas Gerais. Ento Brasil 9:69-72.

Sedaratian A, Fathipour Y, Moharramipour S (2009) Evaluation of resistance in 14 soybean genotypes to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). J Pest Sci 82:163–170. <https://doi.org/10.1007/s10340-008-0235-8>

Sedaratian A, Fathipour Y, Moharramipour Saeid (2011) Comparative life table analysis of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on 14 soybean genotypes. Insect Sci 18:541–553. DOI 10.1111/j.1744-7917.2010.01379.x

Skorupska A (2004) Resistance of apple cultivars to spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acarina, Tetranychidae) Part II. Influence of leaf pubescence of selected apple cultivars on fecundity of two-spotted spider mite. J Plant Protec Res 44:69–74

Steinitz I, Levinsh G (2002) Wound-induced responses in leaves of strawberry cultivars differing in susceptibility to spider mite. J Plant Physiol 159:491–497. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00683>

Tarikul Islam MD, Jahan M, Gotoh T, Ullah MS (2017) Host-dependent life history and life table parameters of *Tetranychus truncatus* (Acari: Tetranychidae). Syst Appl Acarol 22:2068–2082. <https://doi.org/10.11158/saa.22.12.4>

Tuan SJ, Lee CC, Chi H (2014) Population and damage projection of *Spodoptera litura* (F.) on peanuts (*Arachis hypogaea* L.) under different conditions using the age-stage, two-sex life table. Pest Manag Sci 70:805–813. <https://doi.org/10.1002/ps.3618>

Van den Boom CEM, Van Beek TA, Dicke M (2003) Differences among plant species in acceptance by the spider mite *Tetranychus urticae* Koch. J Appl Ent 127:177–183. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2003.00726.x>

Wekesa VW, Vital S, Silva RA, Ortega EMM, Klingens I, Delalibera JI (2011) The effect of host plants on *Tetranychus evansi*, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and on their fungal pathogen *Neozygites floridana* (Entomophthorales: Neozygitesaceae). J Invertebr Pathol 107:139–145. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.04.003>

Wermelinger B, Oertli JJ, Baumgartner J (1991) Environmental factors affecting the life-tables of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). III. Host-plant nutrition. Exp Appl Acarol 12:259-274. <https://doi.org/10.1007/BF01193472>

Wilson LJ (1994) Plant-quality effect on life-history parameters of the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on cotton. J Econ Entomol 87:1665–1673. <https://doi.org/10.1093/jee/87.6.1665>

Zanardi OZ, Bordini GP, Franco AA, Matheus RM, Pedro TY (2015) Development and reproduction of *Panonychus citri* (Prostigmata: Tetranychidae) on different species and varieties of citrus plants. Exp Appl Acarol 67:565. <https://doi.org/10.1007/s10493-015-9968-2>

CAPÍTULO 4 – Resposta funcional e consumo médio de *Neoseiulus idaeus* e *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) sobre o ácaro-vermelho-do-amendoim

RESUMO – O ácaro ácaro-vermelho-do-amendoim, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann (Acari: Tetranychidae), é uma praga importante do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Atualmente *T. ogmophallos* é manejado com a utilização de acaricida de alto custo e estratégias alternativas são necessárias. O objetivo deste estudo foi determinar a resposta funcional e o consumo médio de *Neoseiulus idaeus* Denmark e Muma e *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) em densidades constantes de ovos, larvas, protoninfa e deutoninfa de *T. ogmophallos*. As densidades utilizadas de cada estágio de desenvolvimento da presa foram 2, 4, 8, 16, 32 e 64 por arena, com 10 repetições cada. Arenas foram confeccionadas com placa de Petri e todos os experimentos foram realizados em sala de criação com condições controladas. As avaliações do número de presas consumidas se deram com 24 h após início dos experimentos. Ambas as espécies de *Neoseiulus* apresentaram uma resposta funcional do tipo II sobre todas os estádios de presas e consumiram significativamente mais larvas do que outros estádios de presas. As proporções de presas consumidas por *N. idaeus* e *N. californicus* foram maiores nas densidades mais baixas em todos os estádios de desenvolvimento do ácaro-vermelho-do-amendoim, sugerindo que estes fitoseídeos possuem alta capacidade de busca e devem ser mais eficazes na supressão de populações do ácaro-vermelho-do-amendoim em baixas densidades.

Palavras-chave: controle biológico, *Tetranychus ogmophallos*, Tetranychidae, *Arachis hypogaea*

CHAPTER 4 – Functional response and prey consumption of *Neoseiulus idaeus* and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on the peanut red spider mite

ABSTRACT - The peanut red spider mite, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann (Acari: Tetranychidae), is a serious pest of peanuts (*Arachis hypogaea* L.). Currently *T. ogmophallos* is managed using miticide and alternative strategies are necessary. The objective of this study was to determine the functional response and the prey consumption of *Neoseiulus idaeus* Denmark e Muma and *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) at constant densities of *T. ogmophallos* eggs, larvae, protonymphs and deutonymphs of *T. ogmophallos*. The densities used at each stage of prey development were 2, 4, 8, 16, 32 and 64 per arena with 10 replicates each. Arenas were made with Petri dish and all experiments were carried out in a growth room with controlled environment. Evaluations of the number of prey consumed occurred 24 hours after the beginning of the experiments. Both species of *Neoseiulus* displayed a type II functional response on all prey stages and consumed significantly more larvae than other prey stages. The proportions of prey consumed by *N. idaeus* and *N. californicus* were higher at lower densities for all developmental stages of peanut red spider mite, implying that these phytoseiids have a high search capacity and should be more effective at suppressing peanut red spider mite populations at lower densities.

Keywords: Biological control, *Tetranychus ogmophallos*, Tetranychidae, *Arachis hypogaea*

1. Introdução

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.), é nativo da América do Sul, e uma das oleaginosas mais cultivadas do mundo (Valls e Simpson, 1994; USDA, 2018). No Brasil, a cultura apresenta grande importância ao agronegócio, pois integra cadeias de produção que envolvem indústrias de doces e de óleo vegetais (Martins 2013, Pirrota et al., 2017). O estado de São Paulo é responsável por 95% do total produzido no Brasil (CONAB, 2018; Santos et al., 2018).

No entanto, os problemas fitossanitários comprometem significativamente a produção, elevando os custos devido ao uso intensivo de produtos fitossanitários para o controle de pragas e doenças (Pirrota et al., 2017). Dentre as pragas, o ácaro-vermelho-do-amendoim, *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann (Acari: Tetranychidae), tem acarretado perdas significativas na produção da cultura do amendoim e causado elevados prejuízos econômicos aos produtores (Melville et al., 2018). Comumente relatado em altas infestações nas áreas de cultivo, o controle químico tem se constituído como a única alternativa de supressão do ácaro-vermelho-do-amendoim (Santos et al., 2017). Além disso, *T. ogmophallos* pode coexistir com outras espécies de tetrâniquídeos, como *Tetranychus urticae* Koch e *Mononychellus planki* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), resultando em um complexo de pragas de difícil controle (Andrade et al., 2016).

Visando uma alternativa ao controle químico do ácaro-vermelho-do-amendoim, recentemente foi relatada a ocorrência natural do ácaro *Neoseiulus idaeus* Denmark e Muma (Acari: Phytoseiidae) associado a *T. ogmophallos* em amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapovickas e Gregory) no município de Jaboticabal – São Paulo, Brasil, (Santos e Andrade, 2017). Este fitoseídeo tem ampla distribuição na América do Sul, e está presente em 17 estados do Brasil (Demite et al., 2018), em cultivos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), mamão (*Carica papaya* L.) e de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (Moraes et al., 1993; Collier et al., 2007; Reichert et al., 2017). *Neoseiulus idaeus* é um predador tipo II (Holling 1959) que mostra adaptações substanciais e preferência por ácaros tetrâniquídeos (McMurtry e Croft, 1997; Croft et al., 2004).

Neoseiulus californicus (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) está entre os predadores mais utilizados no controle biológico de ácaros tetranychídeos (Mendel e Schausberger, 2011). Esta espécie é comercializada em vários países, inclusive no Brasil (Gotoh et al., 2004; Canlas et al., 2006; McMurtry et al., 2013; Barbosa e Moraes, 2015). *Neoseiulus californicus* mostra habilidade para viver em colônias de ácaros que tecem grande quantidade de teia (McMurtry et al., 2013) apresentando altas taxas de predação de larvas e ninfas de *T. urticae* (Song et al., 2016).

Dado a ocorrência natural de *N. idaeus* em amendoim e o grande potencial e viabilidade para pronta utilização existente por parte de *N. californicus*, fazem desses fitoseídeos uma alternativa real no emprego como agentes controladores de *T. ogmophallos*. Dessa forma, são necessários esforços para avaliar as habilidades predatórias de *N. idaeus* e o potencial de *N. californicus* como agentes de controle de *T. ogmophallos*. A resposta funcional e a taxa de consumo são fatores importantes que influenciam o papel dos predadores no controle biológico. Esses fatores explicam a dinâmica populacional de sistemas predador-presa, e podem ser usados para inferir mecanismos básicos subjacentes às interações predador-presa, esclarecer relações coevolutivas e ajudar no sucesso do controle biológico (Houck e Strauss, 1985). O objetivo deste trabalho foi determinar a resposta funcional e o consumo médio de *N. idaeus* e *N. californicus* sobre o ácaro *T. ogmophallos*.

2. Material e Métodos

2.1. Criação de *Tetranychus ogmophallos*

Espécimes de *T. ogmophallos* foram coletados em campos de amendoim no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. A identidade do ácaro foi confirmada pelo Dr. Daniel Júnior de Andrade (UNESP/FCAV). Os ácaros foram criados em amendoim forrageiro (cv. Amarillo) em vasos de 5 L mantidos em casa de vegetação. Plantas severamente atacadas foram substituídas por novas plantas de amendoim a cada duas

semanas. A colônia foi mantida à 23 ± 5 °C, umidade relativa (UR) de $65 \pm 10\%$ e fotoperíodo L12: D12h.

2.2. Criação de *Neoseiulus idaeus* e *Neoseiulus californicus*

Espécimes de *N. idaeus* foram coletados de plantas de amendoim forrageiro com infestação de *T. ogmophallos* na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal (UNESP/FCAV) - Jaboticabal – SP, Brasil. Os ácaros foram criados por três gerações, coletando-se então uma amostra destes para a identificação feita por Sofia Jiménez Jorge (UNESP/FCAV) e Gilberto José de Moraes (USP/ESALQ). A criação dos predadores foi mantida sobre folhas de feijão-de-porco [*Canavalia ensiformes* L. (Fabaceae)] colocada com a face adaxial voltada para cima, sobre uma camada de espuma umedecida com água deionizada em bandejas plásticas retangulares com tampa (27,0 × 18,0 × 9,0 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente). Tiras de algodão hidrófilo umedecido foram utilizadas nas bordas das folhas para manutenção da turgescência e impedir o escape dos ácaros. As folhas foram substituídas sempre que necessário. Os predadores foram alimentados com população mista (ovos, ninfas e adultos) de *T. urticae* e com adicional de pólen de mamona (*Ricinus communis* L.). Os predadores foram mantidos em câmara climatizada com temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa do ar (UR) de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 L:12 E horas.

Indivíduos de *N. californicus* foram obtidos junto à PROMIP – Manejo Integrado de pragas, Limeira, São Paulo, Brasil. Os ácaros predadores dessa espécie foram mantidos sobre as mesmas condições descritas para *N. idaeus*. Porém, as populações de ambas espécies foram mantidas em câmaras de criação distintas para evitar contaminação.

2.3. Condições experimentais

Para realização do estudo, cada unidade experimental (arena) consistiu de um folíolo totalmente expandido de amendoim (quinta folha a partir do ápice do meristema apical da planta no estágio reprodutivo – R3) do cultivar Granoleico. O folíolo foi colocado com a superfície adaxial voltada para cima no centro da placa de Petri (9 cm de diâmetro x 2 cm de altura) com auxílio de alfinete entomológico preso no centro de cada arena (placa de Petri) com cola quente. As arenas foram preenchidas com água filtrada diariamente (~10 mL) com intuito de manter o folíolo flutuando, a turgescência e servir como uma barreira para impedir o escape dos ácaros. Todos os experimentos foram realizados a 25 ± 1 °C, $65 \pm 10\%$ UR e fotoperíodo de 12h:12 h (L: D). Afim de uniformizar a idade, fêmeas adultas acasaladas (72 h de vida) de cada espécie de predador foram retiradas aleatoriamente da criação estoque, isoladas e privadas de alimento por 24h.

2.4. Resposta funcional

Com base em experimento preliminar, fêmeas adultas de cada espécie de predador que estavam privadas de alimento foram expostas a seis densidades de ovos, larvas, protoninfa e deutoninfa de *T. ogmophallos*. As densidades utilizadas de cada estágio de desenvolvimento da presa foram 2, 4, 8, 16, 32 e 64 por arena. As diferentes densidades de ovos de *T. ogmophallos* foram obtidas com a transferência de 5–15 fêmeas adultas da criação-estoque para as arenas e deixadas para oviposição por 24 h. Em seguida, as fêmeas foram retiradas, e o número de ovos foi ajustado para cada densidade removendo-se os ovos excedentes com um pincel fino. Para as larvas, protoninfas e deutoninfas, indivíduos de cada estágio foram transferidos diretamente da criação-estoque para as arenas correspondentes a cada densidade. Para cada estágio de desenvolvimento e densidade da presa avaliada, 10 repetições foram realizadas. Após 24 h, o número de presas consumidas foi registrado. Apenas repetições em que a

fêmea permaneceu dentro da arena de teste e produziu pelo menos um ovo dentro de 48 h foram consideradas para análise.

2.5. Análise estatística

Uma regressão logística da proporção de presas consumida em função da densidade inicial de presas foi usada para determinar a forma da curva de resposta funcional de *N. idaeus* e *N. californicus* para diferentes estádios de desenvolvimento *T. ogmophallos* usando o procedimento CADMOD do programa SAS versão 9.4 (SAS Institute, 2013):

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)} \quad (1)$$

onde N_e é o número de presas consumidas, N_0 é a densidade inicial de presas, (N_e/N_0) é a probabilidade de consumo de presas, e P_0 , P_1 , P_2 e P_3 são as estimativas de máxima verossimilhança do intercepto, linear, quadrático e coeficientes cúbicos, respectivamente (Juliano, 2001). O tipo de resposta funcional foi determinado pelo ajuste dos dados ao modelo (1) por meio da verificação do sinal de P_1 e P_2 . Inicialmente, foi testado o modelo cúbico devido à capacidade de capturar as possíveis variações das curvas de resposta funcional. Posteriormente, foi feita a redução dos termos da equação até a obtenção de significância desses. Quando o coeficiente linear é significativamente negativo ($P_1 < 0$), o predador exibe uma resposta funcional do tipo I que indica que a proporção de presa consumidas declina monotonicamente com a densidade inicial da presa. Quando o coeficiente linear é positivo ($P_1 > 0$) e o coeficiente quadrático é negativo ($P_2 < 0$), o predador exibe uma resposta funcional do tipo II e, quando positivo ($P_1 > 0$ e $P_2 < 0$) considera-se que a resposta funcional é do Tipo III (Juliano, 2001). A análise de regressão logística indicou que nossos dados se ajustaram a uma resposta funcional do tipo II para todos os estádios de desenvolvimento *T. ogmophallos*, portanto, análises posteriores foram restritas a uma resposta do tipo II. O tempo de manipulação (T_h) e os coeficientes de taxa de ataque (α)

de uma resposta do tipo II foram estimados usando a equação aleatória de Rogers (Rogers, 1972):

$$N_e = N_0 \{1 - \exp[\alpha(T_h N_e - T)]\} \quad (2)$$

Em que N_e é o número de presas consumidas, N_0 é a densidade inicial de presas, T_h é o tempo de manipulação, T é o tempo de busca (24 h), α é a taxa de ataque. Regressão não-linear procedimento NLIN do software SAS versão 9.4 (SAS Institute, 2013) foi usado para estimar a taxa de ataque e os parâmetros de tempo de manipulação dos predadores. O consumo diário de *N. idaeus* e *N. californicus* foram testados quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) e homogeneidade de variâncias (Bartlett) (Bartlett, 1937). Atendendo os pressupostos, os dados foram então submetidos a análise de variância (ANOVA) (PROC GLM) (SAS Institute, 2013) e as médias comparadas através do teste *t* emparelhado ($P < 0,05$).

3. Resultados

A proporção média de presas de cada estágio de desenvolvimento consumidas diminuiu com o aumento da sua densidade para ambos os predadores (Fig. 1). Inicialmente, a curva de reposta aumentou linearmente com aumento da densidade das presas até atingir o máximo da capacidade de consumo do predador, e então começou a estabilizar à medida que a taxa de consumo diminuiu. Considerando todas as fases de desenvolvimento de *T. ogmophallos* oferecidas aos predadores *N. idaeus* e *N. californicus*, verificou-se maior proporção de consumo de presas nas menores densidades (2, 4 e 8) (Fig. 1).

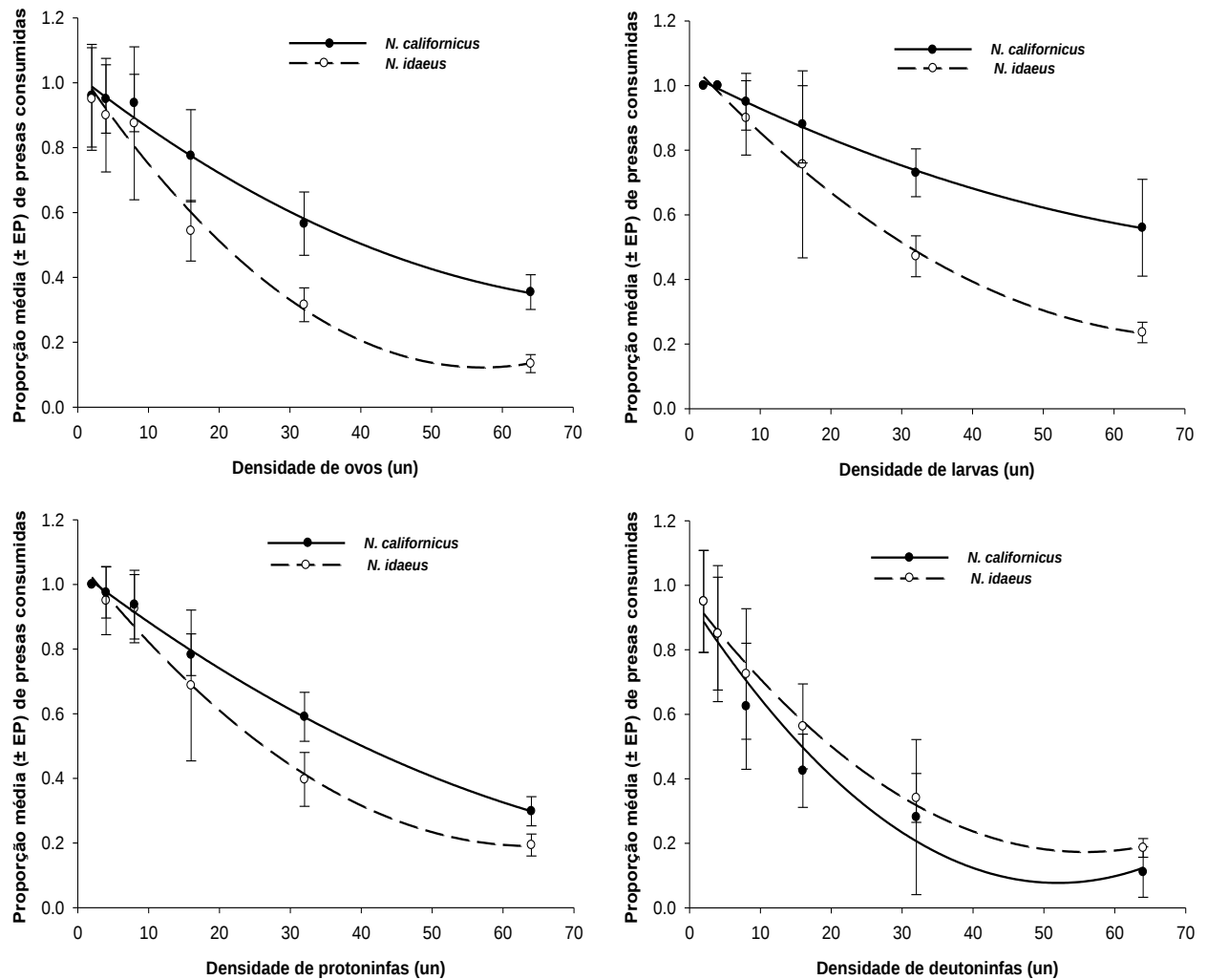


Figura 1. Proporção média ($\pm$ EP) de presas consumidas por fêmeas adultas de *Neoseiulus idaeus* e *Neoseiulus californicus* em cinco densidades de *Tetranychus ogmophallos* durante 24 horas.

Diante do comportamento de predação apresentado pelas duas espécies de *Neoseiulus*, a regressão logística gerou um parâmetro linear negativo significativo ($P_1 < 0$) e coeficiente quadrático positivo (P_2) para todos os estádios de desenvolvimento de *T. ogmophallos* testados, sugerindo que a resposta funcional de ambas espécies de predadores fosse do tipo II (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativas de máxima verossimilhança ($\pm$ EP) a partir da regressão logística da proporção de *Tetranychus ogmophallos* em diferentes estádios de desenvolvimento consumidas em função das densidades iniciais de presas por fêmeas adultas de *Neoseiulus idaeus* e *Neoseiulus californicus*.

Presa	Parâmetros	<i>Neoseiulus idaeus</i>			<i>Neoseiulus californicus</i>		
		Valores ($\pm$ EP)	χ^2	P	Valores ($\pm$ EP)	χ^2	P
Ovo	P ₀	2,5320 $\pm$ 0,2851	78,85	<, 0001	3,2369 $\pm$ 0,3611	80,34	<,0001
	P ₁	-0,1450 $\pm$ 0,0178	66,44	<, 0001	-0,1280 $\pm$ 0,0203	39,79	<,0001
	P ₂	1,20xE ⁻³ $\pm$ 2,22xE ⁻⁴	29,14	0,0007	1,06xE ⁻³ $\pm$ 2,39xE ⁻⁴	19,92	<,0001
Larva	P ₀	3,6686 $\pm$ 0,3697	98,47	<,0001	4,0024 $\pm$ 0,4840	68,37	<,0001
	P ₁	-0,1797 $\pm$ 0,0209	74,17	<,0001	-0,1298 $\pm$ 0,0260	24,91	<,0001
	P ₂	1,89xE ⁻³ $\pm$ 2,48xE ⁻⁴	57,99	<,0001	1,09xE ⁻³ $\pm$ 2,97xE ⁻⁴	13,51	0,0002
Protoninfa	P ₀	3,2995 $\pm$ 0,3396	94,40	<,0001	4,7534 $\pm$ 0,5335	79,40	<,0001
	P ₁	-0,1627 $\pm$ 0,0197	68,24	<,0001	-0,1848 $\pm$ 0,0279	44,05	<,0001
	P ₂	1,39xE ⁻³ $\pm$ 2,36xE ⁻⁴	34,74	<,0001	1,52xE ⁻³ $\pm$ 3,13xE ⁻⁴	23,48	<,0001
Deutoninfa	P ₀	1,9253 $\pm$ 0,2569	56,17	<,0001	1,5145 $\pm$ 0,2387	40,26	<,0001
	P ₁	-0,1118 $\pm$ 0,0163	47,16	<,0001	-0,1125 $\pm$ 0,0159	50,17	<,0001
	P ₂	9,16xE ⁻⁴ $\pm$ 2,04xE ⁻⁴	20,23	<,0001	8,85xE ⁻⁴ $\pm$ 2,05xE ⁻⁴	18,66	<,0001

EP: Erro padrão; Parâmetros: P₀, P₁ e P₂ são coeficientes: intercepto, lineares e quadráticos, respectivamente.

Os intervalos de confiança de 95% das taxas estimadas de ataque (α) de *N. idaeus* sobre os quatro estádios de desenvolvimento de *T. ogmophallos* se sobrepuseram, indicando nenhuma diferença significativa (Tabela 2). Em relação entre a taxa de ataque de *N. californicus* e os estádios de desenvolvimento das presas

testados, os dados apresentaram sobreposição, exceto, para comparação feita entre larva e protoninfa. A taxa de ataque de *N. californicus* sobre larva (0,0072) foi menor quando comparado com a protoninfa (0,0147) (Tabela 3). Os intervalos das taxas estimadas de ataque (α) de *N. idaeus* e *N. californicus* se sobrepuseram, demonstrando que não houve diferença entre os predadores testados para cada estágio da presa (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Estimativa ($\pm$ EP) da taxa de ataque (α) e tempo de manipulação (T_h) de *Neoseiulus idaeus* em diferentes estádios de *Tetranychus ogmophallos* durante 24 horas.

Presa	α^h	T_h	T/T_h
Ovo	0,00738 (0,00571-0,00906)	2,3661 (2,1238-2,6084)	10,14 (9,201 - 11,300)
Larva	0,0158 (0,00906-0,0225)	1,5708 (1,4481-1,6934)	15,29 (14,173 - 16,573)
Protoninfa	0,0115 (0,00902-0,0140)	1,8539 (1,7160-1,9918)	12,59 (11,810-13,490)
Deutoninfa	0,0147 (0,00825-0,0211)	2,1027 (1,9542-2,2511)	11,41 (10,661-12,281)

Valores entre parênteses representam intervalos de confiança de 95%. T/T_h , taxa máxima de ataque.

O menor tempo de manipulação (T_h) para *N. idaeus* foi verificado quando predou larvas de *T. ogmophallos* (Tabela 2). O ácaro *N. californicus* obteve melhor T_h sobre larva, seguido de ovo, protoninfa e deutoninfa (Tabela 3). Com referência aos dois predadores, foi possível verificar que o tempo de manipulação de *N. idaeus* foi superior sobre os estádios de ovo, larva, e protoninfa quando comparado com *N. californicus*. No entanto, o predador *N. idaeus* se mostrou mais rápido no tempo de manipulação do estágio de deutoninfa quando comparado com *N. californicus* (Tabela 2 e 3).

Tabela 3. Estimativa ($\pm$ EP) da taxa de ataque (α) e tempo de manipulação (T_h) de *Neoseiulus californicus* em diferentes estádios de *Tetranychus ogmophallos* durante 24 horas.

Presa	α^h	T_h	T/T_h
Ovo	0,0117 (0,00761-0,0158)	1,0962 (1,0315-1,1610)	21,89 (20,672 - 23,267)
Larva	0,00772 (0,00515-0,0103)	0,6669 (0,6182-0,7156)	35,98 (33,538 - 38,822)
Protoninfa	0,0147 (0,0110-0,0185)	1,1822 (1,1226-1,2417)	20,30 (19,328-21,379)
Deutoninfa	0,00833 (0,00228-0,0144)	2,9721 (2,3467-3,5975)	8,075 (6,671-10,227)

Valores entre parênteses representam intervalos de confiança de 95%. T/T_h , taxa máxima de ataque.

O menor tempo de manipulação dos fitoseídeos sobre a fase de larva foi determinante para que ambas as espécies também obtivessem maior taxa máxima de ataque (T/T_h) para este estágio (unidade de presas consumidas em 24), quando comparado com os demais estádios (Tabela 2 e 3). Além disso, foi possível verificar que os T/T_h de *N. idaeus* sobre ovos (10,14), larvas (15,29) e protoninfa (12,49) foram quase duas vezes menor quando comparada com *N. californicus* (21,89, 35,98 e 20,30), respectivamente (Tabela 2 e 3). Em relação à taxa máxima de ataque sobre as deutoninfas, *N. idaeus* obteve melhor performance que *N. californicus* (Tabela 2 e 3).

A medida que a densidade dos diferentes estádios da presa foram aumentando, as diferenças no desempenho de predação entre *N. idaeus* e *N. californicus* ficaram mais evidente (Tabela 4). Nas densidades 16, 32 e 64 dos diferentes estádios de desenvolvimento da presa, o consumo médio de *N. californicus* foi superior quando comparado com *N. idaeus*, exceto para a estágio de deutoninfa (Tabela 4). Assim, como evidenciado pela taxa de ataque e tempo de manipulação (Tabelas 2 e 3), a larva foi o estágio de desenvolvimento de mais pelos dois predadores testados. O consumo de larvas por fêmeas de *N. idaeus* tendeu a estabilização quando foram oferecidas mais de 32 larvas, alcançando um platô de aproximadamente 15 larvas/24 h.

Tabela 4. Consumo médio ($\pm$ EP) de fêmeas adultas de espécies de *Neoseiulus idaeus* e *Neoseiulus californicus* em diferentes densidades de ovo, larva, protoninfa e deutoninfa de *Tetranychus ogmophallos* durante 24 horas.

Densidades	Estádios de desenvolvimento de <i>Tetranychus ogmophallos</i>							
	Ovo		Larva		Protoninfa		Deutoninfa	
	<i>N. idaeus</i>	<i>N. californicus</i>	<i>N. idaeus</i>	<i>N. californicus</i>	<i>N. idaeus</i>	<i>N. californicus</i>	<i>N. idaeus</i>	<i>N. californicus</i>
2	1,90 $\pm$ 0,10 a	2,00 $\pm$ 0,00 a	2,00 $\pm$ 0,00 a	2,00 $\pm$ 0,00 a	2,00 $\pm$ 0,00 a	2,00 $\pm$ 0,00 a	1,90 $\pm$ 0,10 a	1,90 $\pm$ 0,10 a
4	3,60 $\pm$ 0,22 a	3,80 $\pm$ 0,13 a	4,00 $\pm$ 0,00 a	4,00 $\pm$ 0,00 a	3,80 $\pm$ 0,13 a	3,90 $\pm$ 0,10 a	3,40 $\pm$ 0,22 a	3,40 $\pm$ 0,27 a
8	7,00 $\pm$ 0,59 a	7,50 $\pm$ 0,22 a	7,20 $\pm$ 0,29 a	7,60 $\pm$ 0,22 a	7,40 $\pm$ 0,26 a	7,50 $\pm$ 0,26 a	5,80 $\pm$ 0,51 a	5,00 $\pm$ 0,49 a
16	8,70 $\pm$ 0,47 b	12,40 $\pm$ 0,72 a	12,10 $\pm$ 1,46 a	14,10 $\pm$ 0,60 a	11,00 $\pm$ 0,42 b	14,80 $\pm$ 0,32 a	9,00 $\pm$ 0,67 a	6,80 $\pm$ 0,57 b
32	10,10 $\pm$ 0,53 b	18,10 $\pm$ 0,62 a	15,10 $\pm$ 0,64 b	23,40 $\pm$ 0,56 a	12,70 $\pm$ 0,84 b	18,90 $\pm$ 0,76 a	10,90 $\pm$ 0,76 a	9,00 $\pm$ 2,43 a
64	8,60 $\pm$ 0,56 b	22,70 $\pm$ 1,09 a	15,10 $\pm$ 0,64 b	34,70 $\pm$ 1,95 a	12,40 $\pm$ 0,68 b	19,10 $\pm$ 0,91 a	11,90 $\pm$ 0,58 a	7,10 $\pm$ 0,60 b

Médias ($\pm$ EP) seguidas pela mesma letra na linha dentro de cada estágio não diferem significativamente entre si (GLM, teste *t* emparelhado, $p < 0,05$).

Em contrapartida, *N. californicus* aumentou seu consumo médio, alcançando um platô de aproximadamente 34 larvas/24 h na densidade de 64 (Tabela 4).

4. Discussão

Dentre as ferramentas existentes, a resposta funcional é considerada essencial no entendimento da relação entre predador-presa, sendo, portanto, amplamente utilizada em estudos envolvendo inimigos naturais (Van Rijn et al., 2005; Khan et al., 2016).

A maneira com que fêmeas adultas de *N. idaeus* e *N. californicus* exercem a predação de *T. ogmophallos*, evidencia claramente que estes predadores modificam o comportamento de predação em razão da densidade e estágio de desenvolvimento ao quais foram expostos. De acordo com Milonas et al. (2011), o tipo II de resposta funcional, encontrada no presente estudo para ambos fitoseídeos, podem modificar e desestabilizar a dinâmica predador-presa. Os mesmos autores afirmaram que predadores tipo II apresentam comportamento de predação densidade-dependente inversa, ou seja, o número de presas atacadas pelas fêmeas de *N. idaeus* e *N. californicus* aumentou assintoticamente com o aumento do número de presas oferecidas. Em seguida, houve uma redução gradual até atingir um platô em que a taxa da capacidade predatória se tornou mais ou menos constante, independentemente da densidade das presas. Isso mostra uma alta capacidade de busca pelos predadores em condições de baixa densidade populacional da presa.

A taxa de ataque e o tempo de manipulação são parâmetros essenciais usados para verificar a reposta de um predador frente a diferentes densidades e estádios de desenvolvimento da presa (Pervez e Omkar, 2005). O tamanho da presa (estádios de desenvolvimento de *T. ogmophallos*) possivelmente afetou a taxa de ataque dos fitoseídeos testados. Os predadores obtiveram maior taxa de ataque quando foram expostos aos estádios iniciais de desenvolvimento da presa. A melhor performance de *N. idaeus* e *N. californicus* sobre os estádios imaturos pode estar relacionado com a

passividade da presa (Reichert et al., 2016), isto é, as diferenças intrínsecas em como os diferentes estádios de desenvolvimento da presa respondem aos ataques de predadores, manifestando-os por meio da eficiência de escape (Lang e Gsödl, 2001).

Dessa forma, a probabilidade de indivíduos de *T. ogmophallos* no estágio de deutoninfa evadir ao ataque do predador durante o processo de forrageamento é maior que dos estádios iniciais de desenvolvimento, em virtude do maior poder de defesa e mobilidade. Embora *N. californicus* tenha apresentado melhor desempenho (tempo de manipulação, taxa máxima de ataque e consumo médio) quando exposto à fase de larva da presa, no entanto, isso implicou em taxa de ataque inferior quando comparado aos demais estádios da presa e até mesmo quando comparado com *N. idaeus*. A proporção de presas que são atacadas quando encontradas pode variar com a densidade das presas (Streams, 1994). Quando os predadores se tornam mais seletivos à medida que a densidade de presas aumentam e atacam apenas as presas mais prováveis de serem capturadas, o sucesso da captura aumenta e a probabilidade de ataque diminui (Abrams, 1990; Zheng et al., 2017).

Notadamente, para ambas espécies de fitoseídeos, o tempo de manipulação foi menor no estágio de larva da presa. Possivelmente, o estágio de desenvolvimento da presa pode ter influenciado e promovido um incremento no tempo e diminuído a velocidade que esses fitoseídeos levaram para consumir, digerir e, se necessário, descansar quando expostos aos estádios de protoninfa e deutoninfa (Veeravel e Baskaran, 1997). O tempo gasto durante esses processos resulta em um platô para o número de presas que podem ser capturadas e consumidas durante um período de tempo finito (Streams, 1994). Embora a preferência dos ácaros predadores testados não tenha sido tema deste estudo, os indícios levantados evidenciam uma provável preferência de *N. idaeus* às formas ativas de *T. ogmophallos* e de *N. californicus* mais especificamente pelo estágio de larva. Isso demonstra a necessidade de um aprofundamento maior sobre tal comportamento, pois o tempo de manipulação pode ser afetado por vários fatores, principalmente pela espécie do predador e o estágio da presa envolvida (Escudero e Ferragut, 2005).

A taxa máxima de ataque e o consumo médio de *N. idaeus* sobre larvas de *T. ogmophallos* foi maior, seguida pelas protoninfa, deutoninfa e ovos. Similarmente, Reichert et al. (2016) apontaram maior consumo dos estádios de ninfas de *T. urticae* por adultos de *N. idaeus* em comparação com *M. planki*. No entanto, Akpokodje et al. (1990) relataram maior taxa máxima de ataque e consumo médio de *N. idaeus* sobre ovos de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae) na cultura da mandioca quando comparado com os demais estádios de desenvolvimento da presa. Provavelmente, as diferenças de consumo (estádios da presa) de *N. idaeus* entre *T. ogmophallos* e demais espécies mencionadas esteja relacionada com gênero da qual as espécies pertencem, espécie de plantas hospedeiras e, até mesmo, com as características comportamentais. McMurtry e Croft (1997) relataram maior predação em predadores do Tipo II por tetraniquídeos que produzem teias mais densas. Ácaros do gênero *Mononychellus* pertencem ao tipo LW-f, ou seja, não produzem teias (Saito, 2010). Isso possivelmente seja uma das razões pela qual *N. idaeus* apresente diferença no consumo sobre os diferentes estádios de desenvolvimento das espécies.

No caso de *N. californicus*, a taxa máxima de ataque e consumo médio foram maiores sobre larvas, ovos, protoninfa e deutoninfa, respectivamente. Similarmente, Zheng et al. (2017) relataram maior consumo de larvas de *T. urticae* por *N. californicus* quando comparado com *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae). Isso pode ser devido ao fato de larvas de *Tetranychus* se alimentarem em grupos tornando-as supostamente mais fáceis de capturá-las e, assim, refletindo no aumento de consumo por parte dos predadores (Song et al., 2016). Ademais, a preferência por larvas apresentado pelos dois predadores é um fator importante do ponto de vista do manejo de *T. ogmophallos*, pois esses predadores consumirão um grande número de larvas antes que esses indivíduos passem para os estádios seguintes e comecem a causar danos mais severos as plantas e até mesmo impedindo-os de chegar ao estágio reprodutivo.

Este estudo mostrou pela primeira vez a capacidade de predação de ácaros fitoseídeos sobre *T. ogmophallos*. O estudo e a busca de inimigos naturais altamente eficazes, principalmente de espécies associadas aos ácaros pragas e espécies já

utilizadas e comercializadas como controladores biológicos, quando bem-sucedida, é de grande importância e pode ser autossustentável (Waterhouse, 1998).

Verificou-se que maiores proporções de presa foram consumidas por *N. idaeus* e *N. californicus* nas densidades mais baixas de todos os estádios de desenvolvimento de *T. ogmophallos*, sugerindo uma alta capacidade de busca desses fitoseídeos. Isto sugere que os predadores devem ser mais efetivos em suprimir as populações de *T. ogmophallos* em baixas densidades. No entanto, é necessário considerar os resultados observados com cautela, visto que todos os experimentos foram conduzidos sob condições simplificadas usando folhas destacadas de amendoim em condições de laboratório. Em um sistema de planta inteira, os predadores podem se dispersar e interagir com outras comunidades de presas e de predadores, o que poderia afetar significativamente a eficiência desses predadores (Carrillo e Peña, 2012). Além disso, estudos adicionais em condições de campo ou semi-campo podem dar uma ideia mais realista da eficácia de *N. idaeus* e *N. californicus* como agentes controladores de *T. ogmophallos*.

5. Referências

Abrams PA (1990) The effects of adaptive behavior on the type-2 functional response. **Ecology** 71:877–885.

Akpokode GO, Odebiyi JA, Ochieng RS, Herren HR (1990) Functional responses of *Neoseiulus idaeus* e *Iphiseius degerans* (Acarina: Phytoseiidae) feeding on the cassia green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acarina: Tetranychidae). **Bulletin de La Société Entomologique Suisse** 63:327–335.

Andrade DJ, Melville CC, Michelotto MD (Eds.) (2016) **Manual prático sobre ácaros do amendoim no Brasil**. Jaboticabal: Funep, 22p.

Barbosa MFC, Moraes GJ (2015) Evaluation of astigmatid mites as factitious food for rearing four predaceous phytoseiid mites (Acari: Astigmatina; Phytoseiidae). **Biological Control** 91:22–26.

Bartlett MS (1937) Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society of London** 160:268–282.

Canlas, L.J., Amano, H., Ochiai, N. & Takeda, M. (2006) Biology and predation of the Japanese strain of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). **Systematic & Applied Acarology** 11:141–157.

Carrillo D, Peña JE (2012) Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Experimental and Applied Acarology** 57:361–372.

Collier KFS, Albuquerque GS, Lima JOG, Pallini A, Molina-Rugama AJ (2007) *Neoseiulus idaeus* (Acari: Phytoseiidae) as a potential biocontrol agent of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in papaya: performance on different prey stage–host plant combinations. **Experimental and Applied Acarology** 41:27–36.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2018) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 11 Safra 2017/18 - Décimo primeiro levantamento, Brasília agosto 2018: Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

Croft BA, Blackwood JS, McMurtry JA (2004) Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits **Experimental and Applied Acarology** 33:247–260.

Demite PR, Moraes GJ, McMurtry JA, Denmark HA, Castilho RC (2018) Phytoseiidae Database. Available from: www.lea.esalq.usp.br/phytoseiidae Acesso em: 20 de ago. 2018.

Escudero LA, Ferragut F (2005) Life-history of predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on four spider mite species as prey, with special reference to *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae). **Biological Control** 32: 378–384.

Gotoh T, Nozawa M, Yamaguchi K (2004) Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. **Applied Entomology and Zoology** 39:9 –105.

Holling CS (1959) Some characteristics of simple types of predation and parasitism. **Canadian Entomologist** 91:385–398.

Houck MA, Strauss RE (1985) The comparative study of functional responses: experimental design and statistical interpretation. **Canadian Entomologist** 115:617–629.

Juliano SA (2001) Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In.: Scheiner SM, Gurevitch J (Eds.) **Design and analysis of ecological experiments**. New York: Oxford University Press, pp. 178–196.

Khan AA, Shah A, Majid S (2016) Functional response of four syrphid predators associated with green apple aphid (Hemiptera: Aphididae) in laboratory. **Journal of Economic Entomology** 109:78–83.

Lang A, Gsödl S (2001) Prey vulnerability and active predator choice as determinants of prey selection: a carabid beetle and its aphid prey. **Journal of Applied Entomology** 125:53–61.

Martins R (2013) Amendoim: o mercado brasileiro no período de 2000 a 2011. In.: Santos RC, Freire RMM, Lima LM (Eds.) **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, p. 19-44.

McMurtry JA, Croft AB (1997) Life-styles of Phytoseiidae mites and their roles in biological control. **Annual Review of Entomology** 42:291–321.

McMurtry JA, Moraes GJ, Sourassou NF (2013) Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. **Systematic & Applied Acarology** 18:297–320.

Melville CC, Andrade SC, Oliveira NT, Andrade DJ (2018) Impact of *Tetranychus ogmophallos* (Acari: Tetranychidae) on different phenological stages of peanuts. **Bragantia** 77:116–123.

Mendel D, Schausberger P (2011) Diet-dependent intraguild predation between the predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus cucumeris*. **Journal of Applied Entomology** 135:311–319.

Milonas PG, Kontodimas DCH, Martinou AF (2011) A Predator's functional response: influence of prey species and size. **Biological Control** 59:141–146.

Moraes GJ, Alencar JA, Lima JLS, Yaninek JS, Delalibera IJ (1993) Alternative plant habitats for common phytoseiid predators of the cassava green mite (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) in northeast Brazil. **Experimental and Applied Acarology** 17:77–90.

Pervez A, Omkar (2005) Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. **Journal of Insect Science** 5:1–6.

Pirotta MZ, Silva FM, Michelotto MD, Fávero AP, Godoy IJ, Trevisoli SHU (2017) Resistance to *Enneothrips flavens* Moulton and genetic parameters estimation in interspecific genotypes of peanut. **Acta Scientiarum Agronomy** 39:339–348.

Reichert MB, M. Toldi M, Rode PA, Ferla JJ, Ferla NJ (2017) Biological performance of the predatory mite *Neoseiulus idaeus* (Phytoseiidae): a candidate for the control of tetranychid mites in Brazilian soybean crops. **Brazilian Journal of Biology** 77:361–366.

Reichert MB, Toldi M, Ferla NJ (2016) Feeding preference and predation rate of *Neoseiulus idaeus* (Acari: Phytoseiidae) feeding on different preys. **Systematic & Applied Acarology** 21:1631–1640.

Rogers, D (1972) Random search and insect population models. **Journal of animal ecology** 41:369-383.

Saito, Y. (Eds.) (2010) Plant Mites and Sociality: diversity and evolution. Tokyo: Springer, 187p.

Santos AF, Melville CC, Andrade DJ (2017) Fenpyroximate for the control of *Tetranychus ogmophallos* and *Mononychellus planki* (Acari: Tetranychidae) in the peanut crop **Científica** 45:355–360.

Santos AF, Andrade DJ (2017) *Neoseiulus idaeus* (Acari: Phytoseiidae) como agente de controle biológico do ácaro-vermelho-do-amendoim *Tetranychus ogmophallos* (Acari Tetranychidae). In: XV Simpósio nacional de controle biológico. **Resumos...** Ribeirão Preto: SICONBIOL, p. 90.

Santos JF, Godoy JI, Moraes ARA, Michelotto MD, Freitas RS, Bolonhezi D, Cavichioli JC, Martins ALM (2018) Productivity, adaptability and stability of high-oleic peanut lines in the State of São Paulo. **Bragantia** 77:265–272.

SAS Institute Inc. (2013). Base SAS® 9.4 Procedures Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika** 52:591–611.

Song ZW, Zheng Y, Zhang BX, Li DS (2016) Prey consumption and functional response of *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* and *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae). **Systematic & Applied Acarology**, 21, 936–946.

Streams EA (1994) Effect of prey size on attack components of the functional response by *Notonecta undulata*. **Oecologia** 98:57–63.

USDA (2018) United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. **PSD On line**. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdquery.aspx>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

Valls JFM, Simpson CE (1994) Taxonomy, natural distribution, and attributes of *Arachis*. In.: Kerridge PC, Hardy B (Eds.) **Biology and agronomy of forage Arachys**. Cali: Ciat p. 1–18.

Van Rijn PCJ, Bakker M, Van der Hoeven WAD Sabelis MW (2005). Is arthropod predation exclusively satiation-driven? **Oikos** 109:101–116.

Veeravel R, Baskaran P (1997) Searching behaviour of two coccinellid predators, *Coccinella transversalis* Fab. and *Cheilomenes sexmaculatus* Fab., on eggplant infested with *Aphis gossypii* Glov. **International Journal of Tropical Insect Science** 17:363–368.

Waterhouse DF (1998) Prospects for the classical biological control of major insect pests and weed in Southern China. **Entomologia Sinica** 5: 320–341.

Zheng Y, Clercq P, Song Z, Li D, Zhang B (2017) Functional response of two *Neoseiulus* species preying on *Tetranychus urticae* Koch. **Systematic & Applied Acarology** 22:1059–1068.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso do amendoim como cultura agrícola no Brasil deveu-se principalmente aos avanços em tecnologia, na obtenção de cultivares melhor adaptados e de alta produtividade, melhoria nas etapas de plantio, mecanização, colheita e pós-colheita. Embora a reconhecida melhora destes segmentos nos últimos anos, percebe-se que o modelo atual empregado pelos produtores não mantém o equilíbrio entre a produção agrícola e sua sustentabilidade, pois deixam de lado o conhecimento de estratégias de manejo cultural e fitossanitário.

Até 2010 os ácaros eram reportados como pragas esporádicas na cultura do amendoim. Entretanto, a ocorrência de ácaros tem ganhado importância, tanto pelos danos à cultura quanto pela necessidade de uso de controle químico. Durante esse período, foram geradas informações de cunho prático e de emprego imediato pelos pesquisadores e produtores que foram publicadas e divulgadas por meio de livros, artigos científicos e palestras em eventos.

Primeiramente, foi verificado que entre os ácaros fitófagos de ocorrência nas áreas de cultivo de amendoim no Brasil, principalmente no estado de São Paulo, o ácaro-vermelho-do-amendoim *Tetranychus ogmophallos* Ferreira e Flechtmann (Acari: Tetranychidae) é a espécie que apresenta o maior potencial de causar danos à cultura. Desta maneira, estudos básicos sobre o ácaro-vermelho-do-amendoim foram conduzidos para verificar o padrão de distribuição vertical e espacial na cultura do amendoim para o estabelecimento de planos de amostragem. Verificou-se que os danos causados por este ácaro são marcantes desde os primeiros estádios de desenvolvimento fenológico da cultura, podendo inclusive levar a planta à morte e inviabilizar a produção. Dada a urgência por alternativas de controle de ácaros e a falta de registro de produtos químicos foram testados diversos acaricidas para uso imediato. Buscou-se informações sobre o potencial de dispersão de *T. ogmophallos*, possíveis plantas hospedeiras nas áreas de cultivo e estudos envolvendo a consorciação da cultura com outras espécies de plantas agrícolas. Além disso, com a finalidade de entregar aos produtores opções de controle sustentáveis e ambientalmente segura

foram realizados estudos com fungos entomopatogênicos, os quais se mostraram eficientes no controle. Neste trabalho particularmente, verificou-se alguns aspectos bioecológicos de *T. ogmophallos*, como, sua dinâmica populacional frente a precipitação pluviométrica, o detalhamento de sua biologia sobre o amendoim e o papel de cultivares nos surtos populacionais e, ainda, o potencial de ácaros predadores como alternativa de controle.

Fica evidente que altas infestações do ácaro-vermelho-do-amendoim estão fortemente ligadas a uma série de fatores que interagem em conjunto e acabam elevando a densidade populacional desta praga nas áreas de cultivo. A permanência do ácaro nas áreas se dá principalmente devido as falhas no processo de arranquio da planta, retenção de vagens no solo, exposição das vagens devido ao preparo da área para cultura da cana-de-açúcar e subsequente germinação de plântulas de amendoim. Menciona-se também, o extenso período de safra da cultura que se inicia em meados de setembro e finaliza em abril, o que aumenta as chances de ocorrência de veranicos. A semeadura de cultivares alto-oleicas pela grande maioria dos produtores, somado a ocorrência de clima favorável ao desenvolvimento do ácaro podem desencadear os surtos populacionais do ácaro-vermelho-do-amendoim. Além disso, existem fortes evidências de efeito deletério sobre inimigos naturais, como, insetos e ácaros predadores e fungos entomopatogênicos devido aplicação frequente de produtos fitossanitários.

Estudos estão sendo realizados para avaliar a possibilidade de ocorrência de efeito hormese sobre *T. ogmophallos*, avaliação da época de plantio e efeito da aplicação de agrotóxicos a nível de campo, busca de inimigos naturais, biologia de espécies de insetos e ácaros predadores.

Estudos detalhados a nível de campo e de semi-campo são necessários para que os achados deste e de outros trabalhos sejam validados e também para que seja conhecida as desvantagens da utilização de produtos químicos sintéticos na manutenção de agentes de controle biológico. O entendimento de todo os fatores que compõe o cultivo de amendoim e pragas associadas, servirão para entregar aos produtores novas alternativas e estratégias eficiente de manejo.