

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

ALIRYA MAGDA SANTOS DO VALE GOMES

**DINÂMICA DE *Aleurocanthus woglumi* ASHBY (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) EM
LIMA-ÁCIDA TAHITI SOB DIFERENTES ADUBAÇÕES: RESPOSTAS
ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS**

SÃO LUÍS-MA
2020

ALIRYA MAGDA SANTOS DO VALE GOMES
Engenheira Agrônoma

**DINÂMICA DE *Aleurocanthus woglumi* ASHBY (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) EM
LIMA-ÁCIDA TAHITI SOB DIFERENTES ADUBAÇÕES: RESPOSTAS
ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agroecologia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Raimunda Nonata Santos de Lemos.

**SÃO LUÍS-MA
2020**

Gomes, Alirya Magda dos Santos Vale.

Dinâmica de *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) em lima-ácida Tahiti em diferentes adubações: respostas ecofisiológicas e bioquímicas / Alirya Magda Santos do Vale Gomes. – São Luís, 2020.

130 f

Tese (Doutorado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Profa. Dra. Raimunda Nonata Santos de Lemos.

1. Mosca negra dos citros. 2. *Citrus latifolia*. 3. Trocas gasosas. 4. Atividade enzimática. I. Título.

CDU: 634.337-27

**DINÂMICA DE *Aleurocanthus woglumi* ASHBY (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) EM
LIMA-ÁCIDA TAHITI SOB DIFERENTES ADUBAÇÕES: RESPOSTAS
ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS**

ALIRYA MAGDA SANTOS DO VALE GOMES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agroecologia.

Aprovada em: 06 de novembro de 2020.

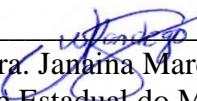
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Raimunda Nonata Santos de Lemos (Orientadora)
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA



Prof. Dr. José Ribamar Gusmão Araújo
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA



Profa. Dra. Janaina Marques Mondego
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA



Profa. Dra. Gislane da Silva Lopes
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA



Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

OFEREÇO

Ao meu papai Magno do Vale (In memoriam) que sempre desejou a mim o melhor, estimulando a persistir e nunca desistir, visando sempre a conquista, te amarei para todo o sempre meu Tesouro!!! E à minha mamãe, Eulania S. do Vale guerreira e vencedora que jamais me deixou só em nenhum momento da minha vida, sempre auxiliando e intercedendo por mim, minha Jóia preciosa, simplesmente amo!!

DEDICO

Ao meu esposo e companheiro José Ribamar Rodrigues Gomes pelo grande incentivo e apoio constante em todos os momentos da minha vida e durante esta longa jornada! Obrigada Vida por sua presença que completa a minha vida... Te amo!!!.E a minha filha Hakylla Saphyra do Vale, difícil foi o trajeto, mas meu bebê suportou e é minha fonte de inspiração para avançar.... Minha Florzinha!!!

AGRADEÇO

Aos meus irmãos Alzemira S. do Vale, Valcira S. do Vale, Alcélcio S. do Vale, Anália S. do Vale e Alionafis S. do Vale sempre me estimulando e dando forças para prosseguir. Aos meus sobrinhos queridos: Marcos Antônio do Vale, Marcelo do Vale, Magno do Vale Neto, Magdiel Pedro L. do Vale, Alionafis S. do Vale Junior e Heitor R. do Vale (In memoriam).

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, meu Pai Eterno, Justo e Digno de toda a glória, por tudo que tem proporcionado a mim; pela Sua graça infinita e seu amor sem medida. Obrigada Senhor por me proporcionar oportunidades e realizações todos os dias da minha vida, tudo pertence a Ti, e por meio de Ti são todas as coisas!

A todos os meus familiares e parentela, que de uma forma tão constante e significativa me incentivaram durante esta etapa. Sintam-se todos parte de mais esta conquista.

Ao Programa de Pós-graduação da Universidade Estadual do Maranhão pelo direito de obter a titulação de Doutor em Agroecologia, oferecendo grandes oportunidades de conquistas ao longo desta trajetória.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de Doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro, essencial para a execução da pesquisa.

À minha orientadora professora Dra. Raimunda Nonata Santos de Lemos, que sinceramente não tenho palavras para agradecer pela oportunidade, pelo apoio, compreensão, confiança, paciência e ensinamentos durante todos esses anos. Tenho profunda admiração e respeito! Sua ajuda foi um presente de Deus, agradeço e desejo uma porção dobrada de bênçãos sobre sua vida. Nunca vou esquecer tudo o que fez por mim. A amo! Sinceramente obrigada.

Ao professor Dr. Fabrício de Oliveira Reis, pela ajuda, confiança, compreensão, amizade e carinho, que me acolheu e me conduziu na Fisiologia Vegetal, és alguém por quem tenho um profundo respeito!

A professora Dra. Ana Maria Silva Araújo, pelo acompanhamento e pela orientação com a parte de Nutrição de plantas! Deus lhe recompense grandemente!

A professora Dra. Antônia Alice Costa Rodrigues, pelo acompanhamento e pela orientação com a parte de atividade enzimática! Desafio concluído! Deus lhe abençoe!

A todos os professores, mestres, doutores e amigos do curso de pós-graduação em Agroecologia da UEMA, por cooperarem direta e indiretamente com este trabalho e por estarmos juntos em um laço de amizade.

À secretária do curso de pós-graduação em Agroecologia Rayanne Cristine C. E. Ferreira pela grande ajuda com tudo, em todos os momentos e situações, por sua amizade sincera e momentos inesquecíveis.

Ao Sr. Moacyr proprietário da área em que o estudo de campo foi instalado e conduzido e ao Sr. Biné caseiro da propriedade que sempre nos recebeu com alegria e sempre nos forneceu apoio em todas as avaliações.

Aos colegas da área da Nutrição Vegetal (Mestrado), em especial os meus colegas Thales Pereira Pires e Jéssica de Freitas N. Pires pela grande ajuda durante as análises de nutrição ao longo da pesquisa.

Aos colegas da Entomologia, em especial as minhas amigas Janaína Mondego e Alberyca Stephany Ramos pela grande ajuda, pela amizade sincera, convivência sadia e por vocês serem especiais para mim e fornecerem auxílio em todos os momentos.

Aos meus pastores Júlio de Sousa Rosa e Celly Rosa pelo carinho, apoio, intercessão juntamente com todo o povo de Deus da Igreja Assembleia de Deus-Área 61.

A todos que de alguma forma contribuíram direta e indiretamente neste ciclo da minha vida, proporcionando o avanço e conquista.

Muitíssimo grata a todos!

Sl 40:5 “Muitas são, SENHOR, meu Deus, as maravilhas que Tens operado para conosco, e os Teus pensamentos não se podem contar diante de Ti; eu quisera anuncia-los e manifestá-los, mas são mais do que se podem contar”.

SUMÁRIO

	pág.
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO	
BIBLIOGRÁFICA.....	16
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1. Cultura dos citros.....	19
2.2. Mosca negra dos citros.....	20
2.3. Alterações fisiológicas em plantas infestadas por hemipteros.....	22
2.4. Nutrição de plantas e seu efeito sobre os insetos-pragas.....	26
2.5. Ativação de defesa das plantas ao ataque de insetos.....	30
REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO 2: Dynamics of <i>Aleurocanthus woglumi</i> Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) in Tahiti acid lime orchards under different fertilizer applications....	49
Novelty statement.....	50
Abstract.....	50
Introduction.....	51
Material and methods.....	53
Results.....	55
Discussion.....	57
Conclusion.....	62
Acknowledgments.....	63
Author contributions.....	63
References.....	63
CAPÍTULO 3: Ecophysiological changes in <i>Citrus latifolia</i> Tanaka infested with <i>Aleurocanthus woglumi</i> Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) and under organic and mineral fertilization	70
Abstract.....	71

Introduction	71
Material and methods	72
<i>Location and characterization of the experiment area</i>	72
<i>Experimental design</i>	72
<i>Implementation and conduction of the experiment</i>	73
<i>Statistical analysis</i>	73
Results	74
<i>A. woglumi population density</i>	74
<i>Chlorophyll content estimates</i>	75
<i>Gas exchanges</i>	76
Discussion	77
Conclusions	80
References	81
CAPÍTULO 4: Diferentes manejos de adubação em lima-ácida Tahiti e respostas bioquímicas à infestação de <i>Aleurocanthus woglumi</i> Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae)	86
Resumo	87
Introdução	88
Resultados e discussão	89
Densidade populacional de <i>A. woglumi</i>	89
Atividade enzimática	90
<i>Proteínas totais</i>	91
<i>Atividade de Peroxidase</i>	92
<i>Atividade de Polifenoloxidase</i>	94
Materiais e métodos	96
Densidade populacional de <i>A. woglumi</i>	98
Atividade enzimática	98
<i>Obtenção dos extratos protéicos</i>	98
<i>Proteínas totais</i>	99
<i>Atividade de Peroxidase</i>	99
<i>Atividade de Polifenoloxidase</i>	99
Análise estatística	99
Conclusões	100

Referências.....	100
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES GERAIS.....	112
CONCLUSÕES GERAIS.....	113
ANEXO 1. Normas de formatação da International Journal of Agriculture and Biology.....	114
ANEXO 2. Normas de formatação da Revista Arthropod-Plant Interactions.....	118
ANEXO 3. Normas de formatação da Australian Journal of Crop Science.....	128

LISTA DE FIGURAS

	pág.
CAPÍTULO 2	
Figura 1 A-C: Mean number of egg laying events per plot (A), abundance of 1 st instar nymphs per plot (B), and abundance of 2 nd instar nymphs per plot (C) in <i>Citrus latifolia</i> plants infested with <i>Aleurocanthus woglumi</i> under soil organic and mineral fertilizer applications. Paço do Lumiar, MA, Brazil, 2019.....	67
Figura 2 A-C: Mean number of eggs per plot (A), abundance of 3 rd instar nymphs per plot (B), and abundance of 4 th instar nymphs per plot (C) in <i>Citrus latifolia</i> plants infested with <i>Aleurocanthus woglumi</i> under soil organic and mineral fertilizer applications. Paço do Lumiar, MA, Brazil, 2019.....	68
Figura 3 A-F: Mean number of eggs per plot (A), number of egg laying events per plot (B), abundance of 1 st instar nymphs per plot (C), abundance of 2 nd instar nymphs per plot (D), abundance of 3 rd instar nymphs per plot (E), and abundance of 4 th instar nymphs per plot (F) on <i>Citrus latifolia</i> infested with <i>Aleurocanthus woglumi</i> under soil organic and mineral fertilizer applications. Paço do Lumiar, MA, Brazil, 2019.....	69
CAPÍTULO 3	
Figura 1 Mean number of oviposition events (a), number of eggs (b), abundance of 2 nd instar nymphs (c) and abundance of 4 th instar nymphs (d) in a <i>Citrus latifolia</i> orchard infested with <i>Aleurocanthus woglumi</i> under organic and mineral fertilization in the rainy and dry seasons. São Luís, MA, Brazil.....	75
Figura 2 Mean number of 1 st and 3 rd instar nymphs in a <i>Citrus latifolia</i> orchard infested with <i>Aleurocanthus woglumi</i> under organic and mineral fertilization in the rainy and dry seasons. São Luís, MA, Brazil.....	75
Figura 3 Mean SPAD index in a <i>Citrus latifolia</i> orchard infested with <i>Aleurocanthus woglumi</i> under organic and mineral fertilization in the rainy and dry seasons. São Luís, MA, Brazil.....	76

CAPÍTULO 4

Figura 1	Valores médios do número de ovos em <i>Citrus latifolia</i> infestados com <i>Aleurocanthus woglumi</i> e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA.....	106
Figura 2	Abundância de ninfas em <i>Citrus latifolia</i> infestados com <i>Aleurocanthus woglumi</i> e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA.....	107
Figura 3	Valores médios do conteúdo total de proteínas expressas mg de proteína g ⁻¹ de tecido fresco extraído da folha de <i>Citrus latifolia</i> infestada com <i>Aleurocanthus woglumi</i> e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA.....	108
Figura 4	Valores médios da atividade enzimática da peroxidase expressas em $\Delta\text{abs}_{470\text{nm}} \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$, extraída da folha de <i>Citrus latifolia</i> infestada com <i>Aleurocanthus woglumi</i> e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA.....	109
Figura 5	Valores médios da atividade enzimática da polifenoloxidase expressas em $\Delta\text{abs}_{470\text{nm}} \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$, extraída da folha de <i>Citrus latifolia</i> infestada com <i>Aleurocanthus woglumi</i> e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA.....	110
Figura 6	Temperatura média do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. Paço do Lumiar, MA, 2018.....	111

LISTA DE TABELAS

	pág.
CAPÍTULO 2	
Tabela 1 Chemical analysis of the soil before of the application of the treatments. Paço do Lumiar, MA, Brazil, 2016.....	54
CAPÍTULO 3	
Tabela 1 Soil chemical characterization before the application of the treatments. São Luís, MA, Brazil.....	72
Tabela 2 Mean and standard deviations of photosynthetic CO ² assimilation (<i>A</i>), stomatal conductance (<i>g_S</i>), instantaneous transpiration (<i>E</i>), internal CO ² concentration in the leaf mesophyll (<i>C_i</i>), ratio between internal CO ² concentration in the leaf mesophyll and external CO ² concentration (<i>C_i/C_a</i>) and leaf-to-air vapor pressure deficit (VPD) in a <i>Citrus latifolia</i> orchard infested with <i>Aleurocanthus woglumi</i> under organic and mineral fertilization in the rainy and dry seasons. São Luís, MA, Brazil.....	77
CAPÍTULO 4	
Tabela 1 Caracterização química do solo antes da aplicação dos tratamentos. Paço do Lumiar, MA.....	111

RESUMO

Aleurocanthus woglumi Asbhy é um inseto-praga responsável por ocasionar alterações no desempenho fisiológico e bioquímico da planta em função dos sintomas e danos causados nas fases de ninfa e adulto. Este trabalho objetivou estudar a dinâmica populacional de *A. woglumi* em *Citrus latifolia* submetido a diferentes adubações e as respostas ecofisiológicas e bioquímicas das plantas em condições de campo. O experimento foi instalado em pomar cítrico no município de Paço do Lumiar - MA. Foram utilizadas 60 plantas de lima-ácida Tahiti selecionadas ao acaso, infestadas naturalmente por *A. woglumi*. Os tratamentos foram constituídos por: T1- Testemunha (Solo sem adubação); T2- Adubação orgânica (Esterco bovino); T3- Adubação orgânica (Esterco bovino) + Silicato de potássio (K_2O_3Si); T4- NPK e T5- NPK + K_2O_3Si . Primeiramente avaliou-se a dinâmica populacional de *A. woglumi* (incidência e distribuição de ovos e ninfas de *A. woglumi* nos estratos basal, mediano e apical, aos 30, 60 e 90 dias após a última parcela da adubação). Em seguida, analisou-se os parâmetros ecofisiológicos (teor de clorofila e trocas gasosas) e bioquímicos (teor de proteínas totais, atividade da peroxidase e polifenoloxidase) em folhas de *C. latifolia* infestadas por *A. woglumi* tanto no período seco quanto chuvoso. Na determinação da densidade populacional da *A. woglumi*, observou-se reduções no número de ovos e ninfas nos tratamentos com adubação orgânica + K_2O_3Si e NPK + K_2O_3Si e maiores incidências no tratamento NPK nos estratos basal, mediano e apical. Plantas de *C. latifolia* fertilizados com NPK + K_2O_3Si e Adubação orgânica + K_2O_3Si são menos suscetíveis à *A. woglumi*, o que dificulta a oviposição das posturas e desenvolvimento do ciclo biológico da praga aos 30, 60 e 90 dias de avaliação, enquanto as plantas adubadas com NPK apresentam maior suscetibilidade à *A. woglumi*. Ocorre maior incidência de posturas, ovos e ninfas de 1º instar no estrato apical e incidências de ninfas de 2º, 3º e 4º instar são favorecidas nos estratos basal e mediano em *C. latifolia*. Os resultados obtidos para os parâmetros ecofisiológicos mostraram que os tratamentos com a presença de K_2O_3Si favoreceram o aumento da produção de fotoassimilados pelas plantas, devido ao incremento da assimilação fotossintética de CO_2 e do Índice SPAD e foram menos suscetíveis ao ataque da *A. woglumi*. *C. latifolia* adubadas com NPK e adubação orgânica apresentam maior suscetibilidade à *A. woglumi* e provocam alterações fisiológicas quanto ao Índice SPAD, assimilação fotossintética de CO_2 , condutância estomática, transpiração instantânea e $DPV_{folha-ar}$ durante o período seco e chuvoso. Para os parâmetros bioquímicos, os maiores conteúdos de proteínas totais foram constatados em plantas de citros com adubação orgânica + K_2O_3Si , NPK e NPK + K_2O_3Si e maior atividade de peroxidase e polifenoloxidase em *C. latifolia* infestadas por *A. woglumi*. Plantas de *C. latifolia* adubadas com NPK + K_2O_3Si e Adubação orgânica + K_2O_3Si são menos suscetíveis aos estádios de desenvolvimento de *A. woglumi* e as plantas adubadas com NPK apresentam maior suscetibilidade em período seco e chuvoso. Maior conteúdo de proteínas totais são expressos durante o período seco em plantas com adubação orgânica + K_2O_3Si , NPK e NPK + K_2O_3Si . A adição de adubo mineral e orgânico diminui a atividade de peroxidase e aumenta a atividade de polifenoloxidase promovendo alterações em *C. latifolia* infestadas por *A. woglumi*.

Palavras-chave: Mosca negra dos citros. *Citrus latifolia*. Trocas gasosas. Atividade enzimática.

ABSTRACT

Aleurocanthus woglumi Asbhy is an insect pest responsible for causing changes in the physiological and biochemical performance of the plant due to the symptoms and damage caused in the nymph and adult phases. This work aimed to study the population dynamics of *A. woglumi* in *Citrus latifolia* submitted to different fertilizations and the ecophysiological and biochemical responses of plants under field conditions. The experiment was installed in a citrus groves in the city of Paço do Lumiar - MA. Sixty randomly selected Tahiti acid lime plants were used, naturally infested by *A. woglumi*. The treatments consisted of: T1- Control (Soil without fertilization); T2- Organic fertilization (bovine manure); T3- Organic fertilization (bovine manure) + Potassium silicate (K_2O_3Si); T4- NPK and T5- NPK + K_2O_3Si . First, the population dynamics of *A. woglumi* (incidence and distribution of *A. woglumi* eggs and nymphs in the basal, median and apical strata, at 30, 60 and 90 days after the last fertilization plot) was evaluated. Then, the ecophysiological parameters (chlorophyll content and gas exchange) and biochemical parameters (total protein content, peroxidase and polyphenoloxidase activity) were analyzed in leaves of *C. latifolia* infested by *A. woglumi* in both the dry and rainy periods. In determining the population density of *A. woglumi*, reductions in the number of eggs and nymphs were observed in treatments with organic fertilization + K_2O_3Si and NPK + K_2O_3Si and greater incidence in NPK treatment in the basal, median and apical strata. Plants of *C. latifolia* fertilized with NPK + K_2O_3Si and organic fertilization + K_2O_3Si are less susceptible to *A. woglumi*, which hinders the oviposition of the postures and the development of the biological cycle of the pest at 30, 60 and 90 days of evaluation, while the plants fertilized with NPK are more susceptible to *A. woglumi*. There is a higher incidence of laying, eggs and 1st instar nymphs in the apical stratum and incidence of 2nd, 3rd and 4th instar nymphs are favored in the basal and median strata in *C. latifolia*. The results obtained for the ecophysiological parameters showed that the treatments with the presence of K_2O_3Si favored the increase of the production of photoassimilates by the plants, due to the increase of the photosynthetic assimilation of CO_2 and the SPAD Index and were less susceptible to the attack of *A. woglumi*. *C. latifolia* fertilized with NPK and organic fertilization are more susceptible to *A. woglumi* and cause physiological changes regarding the SPAD index, photosynthetic CO_2 assimilation, stomatal conductance, instant sweating and $VPD_{leaf-air}$ during the dry and rainy season. For biochemical parameters, the highest total protein content was found in citrus plants with organic fertilizer + K_2O_3Si , NPK and NPK + K_2O_3Si and higher peroxidase and polyphenoloxidase activity in *C. latifolia* infested by *A. woglumi*. Plants of *C. latifolia* fertilized with NPK + K_2O_3Si and Organic fertilization + K_2O_3Si are less susceptible to the development stages of *A. woglumi* and plants fertilized with NPK present greater susceptibility in dry and rainy periods. Higher content of total proteins is expressed during the dry period in plants with organic fertilization + K_2O_3Si , NPK and NPK + K_2O_3Si . The addition of mineral and organic fertilizer decreases the activity of peroxidase and increases the activity of polyphenoloxidase promoting changes in *C. latifolia* infested by *A. woglumi*.

Keywords: Black citrus fly. *Citrus latifolia*. Gas exchange. Enzymatic activity.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor de citros, responsável por aproximadamente 41% da produção mundial; seguido da China e União Europeia (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2020). A produção de citros no Brasil em novembro de 2020 alcançou 17.010.920 toneladas, e grande parte dessa produção é exportada na forma de suco de laranja para todo o mundo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020). A lima-ácida, cv. Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka), conhecida como limão Tahiti, destaca-se no Brasil como uma das frutas cítricas de maior importância econômica, de origem tropical, além de ser a quinta fruta mais exportada no país (EMBRAPA, 2019), constituindo-se em uma das mais expressivas dentre as cítricas (EMBRAPA, 2012).

Apesar do Brasil ocupar posição de destaque na citricultura e do uso de tecnologia de ponta na produção de citros alguns aspectos ainda merecem atenção, como os fatores de ordem fitossanitária (ALMEIDA; PASSOS, 2011). Dentre os artrópodes fitófagos, a mosca negra dos citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1915 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae) tem preocupado produtores de citros devido sua elevada capacidade de dispersão, ocorrência de inúmeras gerações por ano, adaptação às diversas condições climáticas e elevada redução na produtividade dos citros (VILELA; ZUCCHI, 2015). Embora essa praga seja encontrada em uma ampla variedade de plantas, seus hospedeiros principais são do gênero *Citrus* (ANDRADE et al., 2014) e estão sujeitos aos danos nas diferentes fases de formação e desenvolvimento (EMBRAPA, 2019).

Os sintomas da infestação de *A. woglumi* apresentam-se na face inferior da folha, onde a fêmea realiza a oviposição em formato de espiral, o que a diferencia de outras pragas (SILVA et al., 2011; ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018). Os danos devem-se a sucção da seiva e consequente, depauperamento das folhas (MORAES et al., 2014) e os açúcares existentes nos dejetos da *A. woglumi* favorecem o crescimento do fungo *Capnodium* spp. nas folhas (ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018). Esse fungo chamado de fumagina pode revestir totalmente a superfície das folhas e reduzir os processos de fotossíntese, trocas gasosas (GOMES et al., 2019), além de diminuir a respiração, a transpiração e o nível de nitrogênio nas folhas (RAGA; COSTA, 2008; LOPES et al., 2009). Em altas infestações, a fumagina prejudica o desenvolvimento normal dos frutos com redução da qualidade e produtividade (LAZZARI; CARVALHO, 2009; ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018).

A incidência de insetos fitófagos, ocorrem como um resultado do aumento na qualidade de nutrientes disponíveis, especialmente compostos nitrogenados solúveis no floema

(BIANCHINI et al., 2015), uma vez que as plantas e os insetos mantêm uma relação de mútua dependência, principalmente em aspectos relacionados à busca de alimentos e reprodução, pois as plantas fornecem alimento, abrigo e locais para a reprodução dos insetos herbívoros (SILVA et al., 2012).

Diante do desafio de controlar insetos tão bem adaptados à cultura dos citros, o manejo de pragas via adubação pode ser uma prática cultural de fácil manipulação por parte dos produtores, quando um ou mais nutrientes possibilitam à planta maior defesa aos danos causados pelos insetos (BIANCHINI et al., 2015). A exposição da planta às condições de estresses abióticos e bióticos, como pragas ou patógenos, se reflete no enfraquecimento das defesas vegetais (TAIZ et al., 2017) e a resistência induzida pode ser uma alternativa viável de controle que resulta da ativação do sistema de defesa da planta, por elicitores bióticos e/ou abióticos (BOUKERMA et al., 2017). As alterações nas atividades de enzimas-chave permitem acompanhar o estado de indução de resistência em plantas expostas a estresses. Entre as enzimas relacionadas com a resistência induzida, estão as peroxidases, polifenoloxidasas, fenilalanina amônia-liases, lipoxigenases, β -1,3-glucanases e quitinases (ALMEIDA et al., 2012).

Dessa forma, é importante o conhecimento das interações da praga com o estado nutricional da planta hospedeira, visando melhorar as práticas de adubação e o equilíbrio fisiológico e bioquímico da planta, reduzir as infestações de pragas e favorecer a produção das culturas (CHOW et al., 2009), uma vez que as adubações orgânica e minerais, podem fornecer os elementos essenciais às plantas, apresentar efeitos positivos nas características físicas, químicas e microbiológicas do solo e proporcionar um equilíbrio fisiológico e metabólico normal da planta (STIRBET; GOVINDJEE, 2011).

Poucos são os estudos que avaliam a influência de insetos-pragas sobre os processos ecofisiológicos (GOMES et al., 2019), nutricionais (GUIDO, 2014) e bioquímicos das plantas (NASCIMENTO; BARRIGOSI, 2014). Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo estudar a dinâmica populacional de *Aleurocanthus woglumi* em *Citrus latifolia* submetido a diferentes adubações e as respostas ecofisiológicas e bioquímicas das plantas em condições de campo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultura dos Citros

Os citros compreendem um grande grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros gêneros afins (*Fortunella e Poncirus*) ou híbridos da família Rutaceae, representado, na maioria, por laranjas *Citrus sinensis* Osbeck, tangerinas *Citrus reticulata* Blanco e *Citrus deliciosa* Tenore, limões *Citrus limon* Linnaeus, limas-ácidas como o Tahiti *Citrus latifolia* Tanaka e o Galego *Citrus aurantiifolia* Christm., e doces como a lima da Pérsia *Citrus limettioides* Tanaka, pomelo *Citrus paradisi* Macfad., cidra *Citrus medica* Linnaeus, laranja-azeda *Citrus aurantium* Linnaeus e toranjas *Citrus grandis* Osbeck (LOPES et al., 2011). Dentre as espécies, a lima-ácida, cv. Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka), destaca-se no Brasil como uma das frutas cítricas de maior importância comercial devido sua boa aceitação no mercado nacional e internacional (OLIVA et al., 2017).

De origem tropical, o limão Tahiti, também conhecido como lima-ácida é cultivado desde o século passado na Califórnia (EUA) e admite-se que sua introdução nesta região tenha sido feita a partir de sementes de frutos importados do Tahiti, o que justifica sua denominação (BARROS, 1986). É uma árvore perenifólia, com ramos um tanto pêndulos, brotos novos arroxeados, com altura variável de 4-6 metros e seu crescimento e desenvolvimento não exige qualidade diferenciada de solo. É muito sensível ao frio, às geadas e às altas temperaturas, mais do que a laranjeira, a toranjeira e a tangerineira (LORENZI et al., 2006). As vantagens desta variedade são o seu sabor e a ausência de sementes, devido a sua constituição genética triploide, produz pólen não viável. A coloração externa da casca é um dos principais atributos de qualidade e um fator determinante na comercialização do limão Tahiti (MAZZUZ, 1996).

O agronegócio dos citros no Brasil é altamente competitivo no mercado internacional devido a importantes instituições ligadas a pesquisa, como o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) e o Centro de Citricultura Sylvio Moreira, além do baixo custo de produção, clima favorável, oferta abundante da fruta *in natura*, proximidade do setor produtivo com o canal de escoamento, indústrias de grande porte, com canal de coordenação estruturado e inserção no mercado exterior (TURRA; GHISI, 2004). Trata-se de uma atividade de elevada importância social e emprega um expressivo contingente de mão-de-obra (VIDAL, 2018).

O Brasil se destaca na produção mundial de citros e apresentou números expressivos para a safra 2019 de 17.614.270 toneladas, com produção em novembro da safra 2020 de 17.010.920 toneladas (IBGE, 2020); sendo responsável por aproximadamente 41% da produção

mundial, seguido da China e União Europeia, além de responsável com 79% das exportações mundiais (USDA, 2020).

No cenário brasileiro, a produção de citros está concentrada no estado de São Paulo, que possui mais de 60% do total de área cultivada com laranja no país (IBGE, 2020). O Nordeste é responsável por somente 10% da produção nacional de citros, com uma produção de 1.154.104 toneladas em novembro de 2020, com destaque aos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas e Ceará (IBGE, 2020).

O Estado do Maranhão possui uma posição privilegiada por ser zona de transição entre as regiões nordeste e norte; e possui 56% do total da rede hidrográfica do Nordeste, precipitações pluviométricas que variam de 700 a 2.200 mm anuais e uma área ínfima de semiárido (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2019); reúne boas condições para o desenvolvimento da citricultura, por possuir essas características pedoclimatológicas (OLIVEIRA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2012).

No Maranhão a área colhida de citros é de 130 hectares e destaca-se a produção de laranjas com 598 toneladas e rendimento de 4,6 t/ha (IBGE, 2020). Na Ilha de São Luís, a preferência é pelo cultivo da lima-ácida Tahiti que tem mercado garantido nas comunidades do interior e na capital (OLIVEIRA et al., 2003).

Apesar da posição de destaque na citricultura e do uso de tecnologia existem alguns aspectos que merecem atenção, como os fatores de ordem fitossanitária (ALMEIDA; PASSOS, 2011), dentre eles destacam-se as pragas, tais como psilídeos, mosca negra dos citros, mosca branca, ácaros, cochonilhas, coleobrocas, pulgões, moscas das frutas, larva-minadora, bicho-furão e formigas; que afetam essa cultura e acarretam prejuízos no setor citrícola (OLIVEIRA et al., 2010).

2.2. Mosca negra dos Citros

A mosca negra dos citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1915 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae) tem como centro de origem o Sul da Ásia e hoje se encontra difundida em todo o mundo (ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018). *A. woglumi* recebeu esse nome devido a coloração das asas anteriores, que além da cor escura predominante, possuem pequenas manchas pontuais na região mediana e uma linha transversal na parte final (SILVA, 2005).

É uma das 69 espécies de aleirodídeos do gênero *Aleurocanthus*, dos quais 29 são encontradas no Oriente (China, Índia e sudeste Asiático), 23 na África e 17 na Austrália, na

região do Pacífico; as únicas espécies com ampla distribuição biogeográfica são *A. woglumi* e *A. spiniferus* (Quaintance), ambas associadas aos citros (DOWELL et al., 1981).

A. woglumi teve sua primeira ocorrência registrada no Brasil no ano de 2001 em Belém no estado do Pará, houve uma rápida disseminação para outros estados e regiões citrícolas do Brasil (SILVA, 2005). O Maranhão foi o segundo estado brasileiro a relatar a presença da mosca negra dos citros, em 2003, nos municípios de Imperatriz e Bacabal (LEMONS et al., 2006). Atualmente, sua ocorrência foi registrada em vários estados brasileiros (ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018), e como resultado dessa disseminação, esta praga foi excluída da lista de pragas quarentenárias presentes (A2), segundo a Instrução Normativa nº 42/2014 (MAPA, 2015).

Esta praga apresenta reprodução sexuada com oviparidade, mas pode ocorrer partenogênese, com ciclo biológico de ovo ao estágio adulto de 45 a 133 dias, favorecendo sua dispersão para outras plantas hospedeiras (ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018).

A. woglumi alimenta-se de seiva da planta, que fica debilitada, com definhamento lento e morte gradual (SILVA et al., 2011). Os sintomas da infestação são visíveis na face inferior da folha, onde as fêmeas depositam as posturas em formato de espiral (SILVA et al., 2011; ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018). Além da sucção da seiva, observa-se os danos indiretos causados pelos açúcares presentes nos dejetos da *A. woglumi* que favorecem o crescimento do fungo (*Capnodium* spp.) nas folhas (MENDONÇA et al., 2015). Esse fungo pode revestir totalmente a superfície das folhas e diminuir a incidência de luz e, conseqüentemente pode reduzir o processo de fotossíntese, impedir as trocas gasosas foliares (LOPES et al., 2009) e interferir na formação e valor comercial dos frutos, e prejudica a produção (ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018).

Segundo Maia et al. (2009), o ataque de *A. woglumi* e conseqüente produção de fumagina, provocaram redução de 34,5% de proteínas, 46,7% de aminoácidos e 36,9% de amônio em folhas de laranja “Pera”. A alta densidade de ninfas de *A. woglumi* pode promover ainda redução do nível de produção (BRANDÃO et al., 2011), pois retardam o crescimento das plantas atacadas, reduzem a qualidade, tamanho e número de frutos (LAZZARI; CARVALHO, 2009) o que prejudica a produção e diminui o valor comercial dos frutos para comercialização “*in natura*” (RAGA; COSTA, 2008).

A. woglumi é uma praga de hábito alimentar polífago, é um inseto sugador que ataca mais de 300 espécies de plantas hospedeiras, como abacateiro *Persea americana* Mill., bananeira *Musa* spp., cajueiro *Anacardium occidentale* Linnaeus, caramboleira *Averrhoa carambola* Linnaeus, goiabeira *Psidium guajava* Linnaeus, gravioleira *Annona muricata* Linnaeus, mamoeiro *Carica papaya* Linnaeus, mangueira *Mangifera indica* Linnaeus,

maracujazeiro *Passiflora edulis* Sims., dentre outras, destacando-se os citros *Citrus* spp. como seu hospedeiro principal (MAPA, 2017; ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018).

Como medidas de controle deste inseto-praga destaca-se o controle cultural que consiste em restringir a disseminação ou a entrada da praga em área onde não foi identificada, através do plantio de espécies vegetais que formam barreiras fitossanitárias naturais e agem como quebra vento (MENDONÇA et al., 2015); podar e queimar os ramos e galhos infestados; inspecionar outras plantas hospedeiras presentes na propriedade; usar armadilhas adesivas de cor amarela para capturar os adultos (FRENCH; MEAGHER, 1992); preservar a população de inimigos naturais (ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018).

Para o controle químico dessa praga são realizadas aplicações de inseticidas, com os produtos Kohinor 200 SC e Provado 200 SC, do grupo químico dos neonicotinóides, e imidacloprid como ingrediente ativo; e o Ampligo que pertence ao grupo químico dos chlorantraniliprole (MAPA, 2019). A utilização de óleos comerciais de *Glycine max* (Linnaeus) Merrill., *Zea mays* Linnaeus, *Helianthus annuus* Linnaeus, *Gossypium hirsutum* Linnaeus e extrato de nim (Nim® Rot) na concentração de 0,5% do produto comercial provocaram 100% de mortalidade de ninfas de 4º instar de *A. woglumi*, sendo que o óleo de soja e algodão também apresentaram efeito ovicida, além de serem um método de controle menos tóxico aos inimigos naturais (SILVA et al., 2012).

No controle biológico da *A. woglumi* destacam-se os microhimenópteros *Amitus hesperidum* Silvestri e *Encarsia opulenta* Silvestri (NGUYEN et al., 1983) e os parasitoides *Cales* sp., *Prospaltella* sp., *Eretmocerus* sp., *Cales noacki* Howard e *Encarsia* spp. que foram detectados em ninfas de *A. woglumi* no Pará e em São Paulo (FELIPPE; RAGA, 2012).

Quanto aos predadores citam-se as joaninhas *Azya trinitatis* Marshall, *Pentilia castanea* Mulsant, *Azya* sp., *Curinus* sp., *Delphastus* sp., *Diomus* sp. e *Stethorus* sp., *Mantispilla viridis* Walker; os crisopídeos *Ceraeochrysa cubana* Hagen, *Chrysopa* sp. e *Nodita* sp.; e um díptero da família Syrphidae como importante inimigo natural de *A. woglumi* (FELIPPE; RAGA, 2012). Como controle microbiano citam-se os fungos entomopatogênicos: *Aegerita webberi* Fawcett, *Aschersonia aleyrodidis* Webber e *Fusarium* sp. (RAGA; COSTA 2008).

2.3. Alterações fisiológicas em plantas infestadas por hemipteros

No Reino Animal, os insetos são o grupo dominante em riqueza, representados por mais de 1.100.000 espécies (DEL-CLARO; TOREZANSILINGARDI, 2012), onde metade deles são insetos fitófagos (SCHALLER, 2008). Grande parte desses insetos fitófagos estão

representados pela ordem Hemiptera, que se distingue de outros insetos devido a característica de apresentar peças bucais adaptadas à perfuração e sucção (picador-sugador) (GALLO et al., 2002).

Insetos sugadores de seiva do floema ocasionam impactos fisiológicos de longa duração sobre a planta, pois ao sugarem os fotoassimilados presentes na seiva floemática, causam menor crescimento e redução na assimilação fotossintética de CO₂ (VELIKOVA et al., 2010) e, promovem o aparecimento de sintomas como clorose, que leva à perda prematura das folhas e decréscimo da produtividade (LI et al., 2013). O hábito alimentar de insetos sugadores em plantas, podem danificar diretamente o tecido fotossintético, e afetar indiretamente as trocas gasosas, por interromper o transporte de nutrientes e água (ALDEA et al., 2005), o que provoca reduções nos parâmetros fisiológicos como a assimilação fotossintética de CO₂, a transpiração, a condutância estomática e teor de clorofila, além de alterações no potencial de água, o que simula um estresse hídrico na planta (FLORENTINE et al., 2005; GARCIA et al., 2010; MOORE et al., 2010).

- *Fotossíntese*: as plantas capturam a energia solar e a convertem em energia química na forma de ATP e compostos orgânicos reduzidos; este processo químico é a fonte primária de energia de todos os seres vivos (TAIZ et al., 2017). A resposta fotossintética das plantas à estresses abióticos e/ou bióticos podem estimular a fotorrespiração e a fotossíntese é inibida (RENNENBERG et al., 2006); dessa forma, podem aumentar a transpiração, o que provoca o fechamento dos estômatos, e redução da quantidade de CO₂ assimilada pelas plantas (MARRICHI, 2009).

Para compensar o ataque dos insetos, na maioria dos casos as respostas de defesa da planta estão relacionadas à diminuição da taxa fotossintética (BILGIN et al., 2010). Pois, na maioria das interações insetos-planta, as taxas fotossintéticas líquidas e brutas diminuem com o aumento da infestação, provocando um incremento na fluorescência da clorofila *a*, e um crescimento na dissipação na forma de calor, respiração e transpiração (LEITE; PASCHOLATI, 1995; AGRIOS, 1997; LUCAS, 1998; NEVES, 2004).

Velikova et al. (2010), trabalhando com *Brassica oleracea* Linnaeus e *Phaseolus vulgaris* Linnaeus, constataram que a assimilação fotossintética de CO₂, condutância estomática e a transpiração foram reduzidas sob o ataque de *Murgantia histrionica* Hahn e *Nezara viridula* Linnaeus (Hemiptera: Pentatomidae), resultado da oviposição e alimentação da praga, ocasionando uma difusão reduzida de CO₂ no mesófilo, e danos no rendimento fotoquímico da planta.

De acordo com Gonda-King et al. (2014) os ataques por insetos sugadores de seiva geralmente tendem a reduzir a assimilação fotossintética de CO₂ em espécies vegetais e, de acordo com Nabity et al. (2009) e Zvereva et al. (2010), essa redução decorre de vários modos, sendo o decréscimo da condutância estomática e a alteração do transporte de água os principais componentes responsáveis por essa redução na fotossíntese.

- *Transpiração*: as plantas eliminam a água para a atmosfera na forma de vapor por meio dos estômatos, e este processo está condicionado a uma diferença de concentração de vapor de água entre a folha e o ar atmosférico (LARCHER, 2000), e suas principais funções são: transporte de água, íons e certas substâncias para as partes aéreas e o efeito refrigerante, que permite o resfriamento das folhas (SALISBURY; ROSS, 2012; TAIZ et al., 2017).

O processo de transpiração ocorre nos estômatos e, por esta via, a maioria das plantas perde 90% de água absorvida pelas raízes e a intensidade dessa transpiração varia com a ação de fatores internos como a área superficial, forma e disposição das folhas e sua estrutura interna (estrutura e composição da cutícula, número, distribuição e tamanho dos estômatos) e fatores externos (luz, umidade do ar, concentração atmosférica de CO₂, temperatura, vento, disponibilidade de água no solo e ataque de insetos-pragas ou patógenos) (SALISBURY; ROSS, 2012; TAIZ et al., 2017).

As plantas quando submetidas a uma condição de estresse, desenvolvem adaptações para controlar a perda de água pelas folhas e repor a água que foi perdida para a atmosfera, com o objetivo de satisfazer às demandas de maximizar a absorção de CO₂ enquanto limitam a perda de água. Dessa forma, a planta reduz a quantidade de estômatos abertos reduzindo a taxa de transpiração (TAIZ et al., 2017).

Nesse sentido, como consequência da atividade dos insetos sugadores, pode ocorrer variação na transpiração, bem como na fotossíntese e na condutância estomática, além do potencial de água do xilema, o que simula um estresse hídrico na planta (GARCIA et al., 2010).

Velikova et al. (2010) relataram que a transpiração e a condutância estomática foram reduzidas significativamente após 3 dias da infestação pelo percevejo-alerquim *Murgantia histrionica* Hahn (Hemiptera: Pentatomidae) em plantas de couve, decorrente da alimentação da praga, que refletiu na redução da eficiência fotossintética da planta. Em trabalhos conduzidos por Moore et al. (2010) a redução da transpiração em cana-do-reino (*Arundo donax* L.) infestadas pela cochonilha *Rhizaspidotus donacis* Leonardi (Hemiptera: Diaspididae) foi 40% menor, em comparação ao seu controle, atribuída a sucção contínua de seiva da planta pelo inseto, tornando as folhas mais propensas a murchar. Trabalhos realizados por Gomes et al. (2019) constataram menores valores de transpiração em plantas de citros infestadas por A.

woglumi, em redução paralela a fotossíntese, conferido pela alimentação dos estágios da praga e presença de fumagina, o que dificultou maior intensificação da luz sobre as folhas.

- *Condutância estomática*: a planta limita a abertura estomática para evitar a perda de água, pois o mecanismo de abertura e fechamento estomático é um fator primordial para a manutenção da planta e está ligado a vários processos bioquímicos para a sua sobrevivência (CHAVES, 2015). Os processos de fotossíntese e transpiração estão altamente associados aos estômatos, que permitem a resistência à difusão da água de dentro da folha para a atmosfera e constituem-se em uma barreira para a aquisição de CO₂ (MARRICHI, 2009). Os principais fatores ambientais que controlam a condutância estomática são intensidade da luz, a umidade do solo e do ar, o déficit de pressão de vapor e a quantidade de água nas folhas (LANDSBERG; GOWER, 1997).

A diminuição da condutância estomática em partes da folha por causa do ataque de insetos, pode ocasionar redução na assimilação do CO₂ apesar de aparentemente não resultar em danos ao Fotossistema II e assim afetar negativamente o crescimento das plantas (LEMOS FILHO et al., 2007). Portanto, reduções na condutância estomática visando à diminuição da perda de água também diminuem as taxas fotossintéticas (PEARCY; PFTISCH, 1991).

O alto valor de condutância estomática pode estar relacionado a uma resposta do genótipo resistente à infestação da praga, pois com a maior abertura estomática a planta tende a adquirir mais CO₂ para ser utilizado nos processos fotossintéticos (CHAVES, 2015).

Lemos Filho et al. (2007) verificaram que a redução na condutância estomática em partes da folha devido ao ataque de insetos-pragas, pode resultar em diminuição na assimilação do CO₂. Com o fechamento estomático ocorre a diminuição da concentração interna de gás carbônico, o que compromete a atividade da Rubisco (enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase), devido à baixa concentração de substrato, que reflete em menor fotossíntese, sendo essa redução causada pela limitação estomática (SOUZA et al., 2013). Chaves (2015) também observou a restrição estomática como explicação para baixa taxa fotossintética, o que afetou também a transpiração em cana-de-açúcar, sob ataque cigarrinhas-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae).

- *Teor de clorofila*: a fotossíntese pode ser realizada nas plantas devido à capacidade que têm as clorofilas (e outros pigmentos) de absorver e captar energia luminosa para posterior conversão dessa energia em ATP e poder redutor, os quais podem ser usados na síntese de carboidratos (GODVINJE; COLEMAN, 1990). Desse modo, o aumento da síntese deste pigmento permite à planta um aumento da sua atividade fotossintética, conseqüentemente maior desenvolvimento e produção de energia (TAIZ et al., 2017).

A quantificação do conteúdo de clorofilas é utilizada em estudos fisiológicos e agrônômicos para avaliar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, importantes no estudo do estágio vegetativo de espécies frutíferas (ENGEL; POGGIANI, 1991; LOPES, 1994; MURISIER, 1996), e ainda pode servir como suporte para prever a real necessidade de nitrogênio da cultura, e/ou na tomada de decisão da adubação durante o ciclo da cultura, pois os pigmentos fotossintéticos apresentam alta relação com os rendimentos em diversas espécies (AMARANTRE et al., 2008). Essa relação é atribuída, ao fato de 50 a 70% do N total das folhas serem integrantes de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997).

Existe resposta diferencial das espécies de plantas ao ataque de pragas na determinação do teor de clorofila, devido a elevada variabilidade dos dados medidos em campo, Rodrigues et al. (2013) indicam que novos e mais aprofundados estudos devem ser realizados antes que sensores de SPAD/Clorofila possam ser indicados para o diagnóstico do ataque de praga. Trabalhos realizados por Rodrigues et al. (2013) com o percevejo-marrom em soja, mostraram que o aumento da intensidade de ataque de percevejos reduziu significativamente os valores de SPAD e o teor de clorofila.

Trabalhos conduzidos por Gomes et al. (2016) constataram maior índice SPAD em plantas de *Citrus* spp. infestadas por *A. woglumi*, atribuído a presença de posturas, ninfas e ao escurecimento das folhas causado por fumagina, o que impossibilitou uma maior incidência de luminosidade sobre os órgãos vegetativos das plantas, e a luz é um fator de degradação da clorofila. Goławska et al. (2010), estudando quatro espécies de Fabaceae (*Pisum sativum* Linnaeus, *Vicia faba* Linnaeus, *Trifolium pretense* Linnaeus e *Medicago sativa* Linnaeus) atacadas por pulgões, também observaram níveis diferenciais de SPAD com correlação de 96% entre a densidade do ataque da praga e o valor SPAD.

2.4. Nutrição de plantas e seu efeito sobre os insetos-pragas

Os insetos fitófagos manipulam o tecido da planta hospedeira para alimentarem-se com recursos ricos em nutrientes do tecido alterado (SCHOONHOVEN et al., 1998). Assim como outros animais, os insetos também requerem, proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais em sua dieta. No entanto, alguns nutrientes mais complexos, como os aminoácidos essenciais e esteróis, são difíceis de sintetizar, portanto os insetos precisam obter esses nutrientes de suas plantas hospedeiras (HERRERA; PELLMYR, 2002). Essa exigência nutricional dos herbívoros pode variar entre as espécies, estágios de desenvolvimento e condições ambientais (CORNELISSEN; FERNANDES, 2001).

O conteúdo de nitrogênio é um dos principais fatores que determinam o valor da planta para o inseto, assim como a dureza foliar, que afeta tanto a alimentação como o crescimento do herbívoro (SCHOONHOVEN et al., 1998). As folhas mais novas de uma planta apresentam menor conteúdo de fibras e são mais nutritivas, porém, possuem uma maior concentração de metabólitos secundários, o que pode explicar a preferência por insetos herbívoros especialistas. Já as folhas maduras, apesar de sua dureza, são consumidas especialmente por insetos mais generalistas por não apresentarem alta toxicidade (CORNELISSEN; FERNANDES, 2001).

Dessa forma, a nutrição das plantas é fundamental para seu crescimento, produtividade e respostas fisiológicas (REDOAN et al., 2010), além de apresentar um efeito secundário sobre a resistência de plantas ao ataque de pragas e doenças, pois, as plantas são mais suscetíveis aos ataques de insetos-pragas e patógenos quando estão mal nutridas ou em desequilíbrio nutricional do que outra em condições nutricionais adequadas, e para suprir tal exigência nutricional destacam-se as alternativas de adubações orgânicas e minerais (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012).

A aplicação de adubos orgânicos é capaz de fornecer todos os macros e micronutrientes que as plantas precisam e permitem que as raízes se desenvolvam mais, aumentando a capacidade de absorção de nutrientes e outros compostos minerais e orgânicos liberados no solo pela maior atividade microbiana (VILANOVA; SILVA JÚNIOR, 2010). Assim, culturas adubadas organicamente, estimulam a proteossíntese (síntese de proteína) e o húmus protege as plantas de pragas e doenças; e não ocorre acúmulo de substâncias solúveis (açúcares solúveis e aminoácidos livres), tornando-as mais resistentes à ação deletéria das plantas adventícias (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012), o que torna a adubação orgânica em uma opção viável para substituir total ou parcialmente os adubos químicos, principalmente os nitrogenados sintéticos (MOREIRA et al., 2000).

Chau e Heong (2005) verificaram que na cultura *Oryza sativa* Linnaeus, houve decréscimo nos surtos de pragas que acometem a cultura quando foi aplicado o adubo orgânico. Ventura et al. (2006), constataram que a espécie *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) quando submetida a teste de preferência alimentar com folhas de brócolis cultivados em sistema orgânico e convencional, apresentou preferência alimentar em 68% em sistema convencional. Entretanto, Mochiah et al. (2011) relatam que houve acréscimo de ataque dos insetos-pragas: *Brevicoryne brassicae* Linnaeus, 1758 (Hemiptera: Aphididae), *Plutella xylostella* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Plutellidae), *Hellula undalis* Fabricius, 1781 (Pyralidae: Glaphyriinae) e *Pieris rapae* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Pieridae) durante o

desenvolvimento do cultivo de repolho em sistema orgânico, atribuído a maior disponibilidade de N quando comparado com o cultivo sem fertilizantes orgânicos.

Plantas cultivadas organicamente suportam melhor o ataque de herbívoros, comparadas com as plantas adubadas com fertilizantes químicos, ou seja, sofrem menor incidência de pragas e, conseqüentemente, menores danos na produção (SOARES et al., 2013), em função da solubilização que ocorre de forma gradual, o que permite a formação de cadeias de proteínas, e dificulta a digestão por parte dos herbívoros (PINHEIRO; BARRETO, 1997). Já a menor resistência das plantas adubadas com fertilizantes convencionais, pode ocorrer devido a um maior teor de aminoácidos livres e açúcares solúveis que atraem um número maior de fitófagos (VILANOVA; SILVA JUNIOR, 2010).

Desse modo, o uso de fertilizante mineral na agricultura pode aumentar ou diminuir os problemas com as pragas, dependendo da composição do fertilizante e das espécies de insetos envolvidas (CHABOUSSOU, 1987). Os nutrientes contidos em fertilizantes NPK são utilizados em grande quantidade pelas plantas e são fundamentais em todas as etapas: crescimento, florescimento e frutificação, bem como Ca, Mg e S. Além desses seis elementos as plantas necessitam de nutrientes essenciais para completar seu ciclo de vida, como o carbono, hidrogênio e oxigênio; e de micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl e Mo) (MALAVOLTA, 2006).

De maneira geral, o nitrogênio (N) é o nutriente mineral mais exigido pelas plantas (JONES, 1998) e desempenha um papel importante para o crescimento e produção das culturas, participando de diversos processos fisiológicos vitais das plantas e em quantidades adequadas pode favorecer o crescimento da raiz, aumentar a área foliar e a fotossíntese (PRADO, 2008). Já o excesso de N aumenta a concentração de aminoácidos e das amidas no apoplasto e na superfície foliar, que possivelmente tem maior influência no desenvolvimento de pragas e doenças (ARAÚJO, 2009), sendo que o N é facilmente redistribuído nas plantas pelo floema, na forma de aminoácidos. Quando o suprimento de N é insuficiente, o N das folhas velhas é mobilizado para os órgãos e folhas mais novas (FAQUIN, 2005).

Assim, as plantas que se desenvolvem em ambientes mais equilibrados, sintetizam os aminoácidos em menos tempo e os ligam um ao outro, transformando-os em proteínas, que são substâncias mais complexas e não são atacadas por pragas, por não encontrarem alimentos que possam digerir (BURG; MAYER, 2001), todavia a fertilização das plantas possui efeitos positivos e negativos sobre incidência de pragas (PATRIQUIN et al., 1993).

Alta fertilização química favorece o aumento nas populações de mosca branca *Bemisia tabaci* Gennadius, 1889 Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) e outros hemípteros (SKINNER,

1994). Segundo Mor e Marani (1997), a fertilização química aumenta a oviposição de mosca branca e conseqüentemente a sobrevivência de ninfas, o que é provável, pela praga reconhecer as diferenças entre os tecidos e selecionar as plantas de acordo com o conteúdo de nitrogênio das folhas por meio da alimentação no floema (McCLURE, 1980).

Estudando o efeito da adubação fosfatada sobre população de insetos, Funderburk et al. (1991) verificaram aumento populacional de *Nezara viridula* Linnaeus, 1758 (Hemiptera: Pentatomidae) em altas concentrações de fósforo aplicados no solo em soja.

Tanzini (1993) em trabalhos conduzidos com população de tripses *Calliothrips brasiliensis* Morgan, 1929 (Thysanoptera: Thripidae) em feijoeiro e diferentes doses de K, observaram que o tratamento com dose dupla de K foram mais eficientes no controle de *C. brasiliensis*.

Segundo Meyer (2000), a disponibilidade adequada de nutrientes no solo não afeta apenas a intensidade do dano nas plantas causado pelos insetos-pragas, mas também reflete a capacidade das plantas de recuperar-se desses danos sofridos. Uma vez que o excesso ou a carência de um ou diversos elementos que rompem o equilíbrio fisiológico normal da planta alteram os processos metabólicos da planta (QUEIROZ, 1992).

Vale ressaltar a importância do silício (Si), que é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, não é considerado essencial para vegetais superiores, porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade, porém é benéfico e útil, apesar de não ser absolutamente necessário no sistema para que seja completado o ciclo vegetal (CURRIE; PERRY, 2007). Pode ser disponível às plantas na forma de fertilizante mineral simples (escória silicatada, silicato de cálcio, silicato de cálcio e magnésio, solução de silicato de potássio e termofosfato magnésiano potássico), fertilizante mineral misto, fertilizante mineral complexo, fertilizante organomineral ou como corretivo de acidez (MAPA, 2019).

O silício em forma sílica amorfa ($Si_2.nH_2O$) se acumula na parede celular dos órgãos de transpiração e gera uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulose (MA; YAMAJI, 2006), provoca o aumento da capacidade fotossintética das plantas, o que permite melhor arranjo das folhas, tornando-as mais eretas e resistentes a possíveis danos (AGARIE et al., 1998), além de funcionar como barreira de resistência mecânica das plantas, ao ataque de insetos-pragas (YE et al., 2013), devido a elevada dureza dos tecidos, provoca alterações na biologia dos insetos-pragas, como redução de fecundidade e elevação de taxa de mortalidade (DIAS et al., 2014; SANTOS et al., 2015), e ainda atua indiretamente sobre o terceiro nível trófico, os inimigos naturais, através da liberação dos voláteis pela planta induzida pela herbivoria, que agem como semioquímicos (BECKER et al., 2015), sendo a atividade do

herbívoro retardada pela adição do sílicio o que aumenta o tempo de exposição deste aos inimigos naturais (KVEDARAS; KEEPING, 2007).

Trabalhos conduzidos por Parrella et al. (2007) em crisântemo e por Dalastra et al. (2011) em amendoim observaram que a aplicação foliar do silicato de potássio proporcionou uma significativa redução no crescimento populacional de insetos-pragas. Pinto et al. (2014) observaram que aplicando silicato de potássio na cultura do cacau ocasionou a redução na incidência e nível de dano provocado pelos coleópteros *Colaspis* sp. *Taimbezinhia theobromae* (Bryant, 1924), *Percolaspis ornata* (Germar, 1824), *Lasiopus cilipes* (Sahlb., 1823), *Naupactus bondari* (Marshall, 1937), lepidópteros *Peosina mexicana* (Guenée, 1832) e hemípteros *Toxoptera aurantii* (Fonscolombe, 1841).

Há uma procura cada vez maior por meios alternativos e viáveis para o controle de populações de artrópodes herbívoros e patógenos frente aos mecanismos de controle propostos pela agricultura convencional (ÁVILA et al., 2016), pois a fertilização de plantas pode apresentar efeitos negativos na incidência de pragas, resultado obtido em função da aplicação inadequada dos minerais (BORTOLLI; MAIA, 1994).

Nesse sentido, Chaboussou em 1969 propôs a Teoria da Trofobiose, segundo a qual “todo o processo vital encontra-se sob a dependência da satisfação das necessidades do organismo vivo, seja vegetal ou animal”, ou seja, “a planta será atacada somente na medida que seu estado bioquímico determinado pela natureza e teor de substâncias solúveis nutricionais, corresponda às exigências tróficas do parasita em questão” (CHABOUSSOU, 1999).

Segundo essa teoria, o acúmulo de substâncias solúveis se dá por perturbações no processo de síntese proteica e no metabolismo dos hidratos de carbono, tais perturbações são provocadas por desequilíbrios minerais no solo, devido ao uso de adubos minerais de alta solubilidade, como os nitrogenados e, na planta, pelo uso de compostos orgânicos sintéticos, que ocasionam a interferência na fisiologia do vegetal, como a redução da proteossíntese e acúmulo de aminoácidos livres e açúcares redutores (VILANOVA; SILVA JUNIOR, 2010). Dessa forma, os aspectos de resistência fisiológica das plantas estão diretamente relacionados ao seu “status” nutricional (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012).

2.5. Ativação de defesa das plantas ao ataque de insetos

As características físicas ou morfológicas da planta atuam como estruturas de defesa e afetam negativamente os insetos herbívoros e patógenos, e previnem as plantas contra maiores danos (MÜLLER, 2008). As plantas em geral passam por mudanças bioquímicas significativas,

defendendo-se física e quimicamente em resposta ao ataque de estressores bióticos (NASCIMENTO; BARRIGOSI, 2014).

Segundo Karban e Baldwin (1997), os mecanismos de defesa das plantas podem ser constitutivos ou induzidos. A defesa constitutiva ocorre quando as características física ou química presentes na planta são expressas constantemente, sem depender da presença de algum agente elicitador. Por outro lado, a defesa induzida é manifestada na planta como uma resposta em função, por exemplo, da herbivoria (STOUT, 2013).

Desse modo, a resistência de plantas a insetos consiste basicamente em características genéticas herdadas que fazem com que uma planta seja menos danificada que outra suscetível, em igualdade de condições (GULLAN; CRANSTRON, 2007). Lara (1991) destaca que a resistência é relativa, uma vez que a expressão e efetividade podem ser variáveis conforme a situação, ou seja, uma planta pode manifestar sua resistência em determinadas condições e manter ou não esse caráter em outras condições. Assim, a expressão da resistência deve ser o resultado conjunto da complexa ação de enzimas oxidativas e dos compostos oriundos do metabolismo secundário das plantas (STOUT et al., 1994).

Ressalta-se ainda, que a resistência está diretamente relacionada com o inseto, uma vez que uma planta pode ser resistente a uma determinada espécie de inseto, mas suscetível a outra (LARA, 1991). Painter (1968) ao estudar o mecanismo de reação da planta frente ao ataque dos insetos verificou que a reação da planta ao ser atacada pelo inseto pode implicar em alterações no seu comportamento ou biologia ou pode ocorrer uma reação da planta que não afete o inseto em nenhum aspecto.

Quando a resistência não está diretamente relacionada com fatores genéticos, classifica como pseudo-resistência (CHRISPIM; RAMOS, 2007) que pode ser dividida em três tipos, de acordo com a condição que a provoca. O primeiro tipo é denominado assincronia fenológica ou evasão hospedeira e ocorre quando a planta apresenta a sua fase de maior suscetibilidade ao ataque da praga em uma época de baixo nível populacional da mesma. O segundo é denominado escape sendo constatado quando a planta não sofre ataque, ou é pouco danificada, ocorre ao acaso (LARA, 1991; CHRISPIM; RAMOS, 2007). O terceiro é denominado resistência induzida que trata-se de uma manifestação temporária de resistência, em que a planta se revela menos adequada ao inseto devido a uma condição especial, ocasionada por indutores ou elicitores, por exemplo, diferentes formas de cultivo, concentrações de nutrientes, condições ambientais que pode alterar a morfologia ou fisiologia da planta (WAR et al., 2012), afetando diretamente a suscetibilidade de um inseto preda a planta, ou indiretamente atuando, na atração

de inimigos naturais do predador (CHEN, 2008). Esse mecanismo pode mudar os valores dos parâmetros biológicos e reprodutivos dos herbívoros.

Estratégias alternativas para a proteção dos cultivos ao ataque de insetos-pragas tentam explorar os mecanismos de resistência exibidos pelos vegetais contra a maioria dos herbívoros, por meio de uma maior compreensão das defesas induzidas em plantas (FERRY et al., 2004). E uma grande variedade de enzimas está relacionada com a resistência induzida, tais como peroxidases, polifenoloxidasas, fenilalanina amônia-liases, lipoxigenases, β -1,3-glucanases e quitinases (BARROS et al., 2010). Assim, quando uma planta é levada ao estado de indução, a atividade dessas enzimas ou, pelo menos de algumas delas, tende a aumentar em relação às atividades em tecidos de plantas não expostas a elicitores (GLAZEBROOK, 2005; LEON-KLOOSTERZIEL et al., 2005; LOON et al., 2006).

A peroxidase é uma enzima amplamente distribuída no reino vegetal, descrita em um grande número de espécies e partes de plantas (CIVELLO et al., 1995). A enzima peroxidase está associada à formação de espécies reativas de oxigênio e radicais livres, que também apresentam propriedades antibióticas (ELSTNER, 1980) e participa na formação de lignina, que tem papel na reestruturação dos tecidos danificados (BOSTOCK; STERMER, 1989). Nesse processo, fenóis sofrem oxidação pela ação do peróxido de hidrogênio catalizada pela peroxidase e depois de oxidados, os fenóis sofrem polimerização para a formação de lignina (STRACK, 1997). Além de se envolver no processo de lignificação, a peroxidase também é responsável pela catálise de oxidação de fenóis em quinonas, que se tornam complexadas com proteínas, diminuindo a qualidade nutricional dos alimentos, dificultando a digestão de proteínas (MOHAMMADI; KAZEMI, 2002), sugerindo que são enzimas chave, que promove a defesa da planta contra insetos-pragas (GULSEN et al., 2010).

Vários outros papéis fisiológicos têm sido atribuídos às peroxidases de plantas, como por exemplo a biossíntese de etileno, degradação da clorofila, eliminação do peróxido de hidrogênio, proteção contra microrganismos fitopatogênicos e metabolismo do ácido indol-3-acético (CHAMARRO; MOLINA, 1989; KASPERA et al., 2001). Está associada ainda, ao balanceamento hormonal, integridade das membranas e controle dos processos de respiração celular, senescência e degradação fisiológica de vegetais (HAARD; TOBIN, 1971).

A polifenoloxidase é encontrada em grande parte nos tecidos vegetais e a atividade dessa enzima pode variar em decorrência dos diferentes estádios de maturidade da planta, condições de cultivo, dentre outros fatores (WHITAKER, 1985), e está envolvida frequentemente no processo de defesa da planta ao ataque de insetos-pragas (CONSTABEL et al., 2000) e patógenos (AGRIOS, 1997). Quando liberadas, as polifenolaxidasas iniciam o

processo de oxidação de compostos fenólicos, que também são liberados dos vacúolos, produzindo quinonas, que constituem o primeiro sinal de resposta fisiológica a medida em que ocorre a ruptura da célula, ocasionada por ferimentos, ação de insetos ou patógenos, ou ainda senescência (MACHEIX et al., 1986; CONSTABEL et al., 1995; MOHAMMADI; KAZEMI, 2002; THIPIYAPONG et al., 2004), estas se ligam covalentemente a aminoácidos alquilatáveis (lisina, histidina, cisteína e metionina) das proteínas, tornando-os indisponíveis para os insetos além de reduzir a qualidade nutricional dos tecidos vegetais (CHEN; BUNTIN, 2009).

A atividade das polifenoloxidasas aumenta em resposta ao estresse decorrente de injúria, toxicidade de nitrogênio, ataque de insetos-pragas e patógenos (SÁNCHEZ et al., 2001). Tem sido atribuído a essa enzima, processos celulares, que inclui o controle dos níveis de oxigênio no cloroplasto e cicatrização de danos (AGRIOS, 2005; SOARES et al., 2004), pois, permanecem no espaço celular, compartimentalizadas dentro de tilacóides nos cloroplastos, e em sua grande maioria em estado inativo (VAUGHN et al., 1988).

O aumento da atividade das enzimas oxidativas peroxidase e polifenoloxidase estão relacionadas com a resistência induzida de plantas a insetos que catalisam a oxidação de compostos fenólicos para quinonas, as quais são tóxicas para microorganismos e insetos-pragas e demonstram reduzir o crescimento destes em diversas espécies vegetais (FELTON et al., 1992; FELTON et al., 1994; STOUT et al., 1994). O tratamento de plantas com diferentes indutores bióticos e abióticos induzem resistência nas plantas que as protegem contra ataques subsequentes (WAR et al., 2011). Esta indução é mediada por meio de mecanismos fisiológicos, químicos e moleculares (HU et al., 2009; ZHAO et al., 2009).

Desse modo, a utilização de indutores de resistência no controle de insetos-pragas tem sido eficiente e caracteriza uma medida alternativa, buscando o desenvolvimento sustentável dentro dos princípios agroecológicos o que proporciona uma significativa redução dos impactos ambientais que os agroquímicos vêm causando ao longo dos anos (KORDORFER et al., 2011). Segundo Altieri e Nicholls (2003), qualquer fator que afeta a fisiologia da planta pode permitir mudanças na sua resistência aos insetos. Portanto, o uso de diferentes fontes de silício, composto sintético acibenzolar-S-metil (ASM), extratos vegetais entre outros, têm sido estudados como agentes indutores da resistência (GOMES et al., 2008; PEREIRA et al., 2010; VIGO-SCHULTZ et al., 2006), além de, diferentes tipos de adubações e formas de cultivo, que pode tornar a planta menos suscetível ao inseto-praga (WAR et al., 2012).

Nesse contexto, a fertilização do solo pode impactar a suscetibilidade fisiológica das plantas aos insetos, o que pode afetar a tolerância e aceitabilidade das plantas ao ataque de insetos-pragas (ALTIERI; NICHOLLS, 2003). Também vale ressaltar que a disponibilidade de

nutrientes no solo não somente afeta a quantidade de injúrias que a planta recebe dos insetos, mas a habilidade das plantas em recuperar das injúrias provocadas pela herbivoria (MEYER, 2000). Estudos tem revelado que há interação entre injúrias de insetos fitofagos e a disponibilidade de nutrientes no solo na capacidade de espécies vegetais tolerarem as injúrias provocadas por insetos-pragas (MEYER, 2000).

Segundo Mattson (1980), a adubação nitrogenada aumenta a atividade fotossintética da planta e estimula a divisão celular, determinando aumento no teor de proteínas e na biomassa total. Por outro lado, a adubação nitrogenada provoca alterações na quantidade e qualidade do nitrogênio presente na planta, pois aumenta os níveis de nitrogênio solúvel, principalmente aminoácidos livres, os quais podem ser assimilados por diversas espécies de insetos. Trabalhos conduzidos por Tertuliano et al. (1993) demonstraram relações diretas entre a resistência da *Manihot esculenta* Crantz à infestação de *Phenacoccus manihoti* Matt. Ferr. (Hemiptera: Pseudococcidae) e o conteúdo foliar de aminoácidos, devido a sensibilidade desta praga às mudanças no conteúdo de aminoácidos livres da planta.

Vale ressaltar, que a aplicação do silício como indutor, promove o aumento de resistência aos insetos (ASSIS et al., 2013), centralizada nos mecanismos mecânicos (físicos), bioquímicos ou moleculares (REYNOLDS et al., 2016). De modo que o acúmulo e a polimerização de silício na célula epidérmica aumentam a rigidez e abrasividade dos tecidos das plantas, conseqüentemente reduz a atividade alimentar dos insetos (KVEDARAS et al., 2007; YANG et al., 2017), aumenta a atividade enzimática das plantas, indicando síntese de compostos de defesa das plantas contra agentes externos (GOMES et al., 2005) e altera a atividades de metabólitos secundários, os quais também podem incluir metabólitos envolvidos em defesas indiretas (KVEDARAS et al., 2010).

Trabalhos desenvolvidos por Vieira et al. (2016) mostraram a maior expressão da atividade enzimática da polifenoloxidase em plantas fertilizadas com silicato de potássio, quando comparadas com controle (sem silicato de potássio) em *Citrus reticulata* e *A. woglumi*, pois o silício apresentou um efeito de proteção mecânica nas plantas contra os insetos, atribuída ao seu depósito na forma de sílica amorfa na parte externa da parede celular, portanto, a planta catalisa a oxidação de compostos fenólicos, diminuindo a qualidade do tecido foliar e reduzindo a digestibilidade das proteínas, prejudicando o inseto.

Apesar da importância do entendimento da interação inseto-planta, um consenso dos efeitos dos fertilizantes orgânicos e minerais no controle e resistência das plantas aos insetos ainda tem que ser alcançada (BUTLER et al., 2012).

REFERÊNCIAS

- AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P. T. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, v. 1, p. 89-95, 1998.
- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 4 ed. San Diego: Academic Press, 1997. 635 p.
- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5 ed. San Diego: Elsevier, 2005. 948 p.
- ALDEA, M.; HAMILTON, J. G.; RESTI, J. P.; ZANGERI, A. R.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, E. H. Indirect effects of insects herbivory on leaf gas Exchange in soybean. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, p. 402-411, 2005.
- ALMEIDA, H. O.; BARBOSA, M. O.; MARQUES, A. E.; PEREIRA, T. H. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, M. J.; TESSAROLLO, N. G.; GAMES, P. D.; BARROS, E. G.; STOLF-MOREIRA, R.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; ABDELNOOR, R. V.; PEREIRA, P. R. G.; BARACAT-PEREIRA, M. C. Enzimas marcadoras de indução de resistência diferencialmente reguladas em soja resistente e suscetível à ferrugem-asiática-da-soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 2, p.163-172, 2012.
- ALMEIDA, C. O.; PASSOS, A. O. **Citricultura brasileira: em busca de novos rumos desafios e oportunidades na região Nordeste**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2011. 9 p.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. **Soil and Tillage Research**, v. 72, n. 2, p. 203-211, 2003.
- AMARANTRE, C. V. T. do.; STEFFENS, C. A.; ZANARDI, O. Z.; ALVES, E. de O. Quantificação de clorofilas em folhas de macieiras 'royal gala' e 'fugi' com métodos ópticos não-destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 590-595, 2008.
- ANDRADE, D. J.; FERREIRA, M. C.; MARTINELLI, N. M. **Citrus Phytosanitary Aspects. Aspectos da fitossanidade em citros**. Jaboticabal: Cultura Acadêmica, 1 ed. p. 119-141, 2014.
- ARAÚJO, C. I. T. Atratividade e preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemíptera: Aleyrodidae) biótipo B em genótipos de tomateiro. **Neotropical Entomology**, v. 32, p. 319-328, 2009.
- ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; COELHO, M. The effects of foliar spray application of silicon on plant damage levels and components of larval biology of the pest butterfly *Chlosyne lacinia saundersii* (Nymphalidae). **International Journal of Pest Management**, London, v. 59, n. 2, p. 128-134, 2013.
- ÁVILA, S. R.; LOVATTO, P. B.; MAUCH, C. R.; SCHIEDECK, G.; KUHN, M. 2016. **A influência da adubação orgânica no equilíbrio trofobiótico solo-couve-pulgão**. In: VI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. Disponível em: <www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1067463/ainfluencia-da-adubacao-organica-no-equilibrio-trofobiotico-solo-couve-pulgao> Acesso em: 06 ago. 2020.

BARROS, C. B. **Óleos essenciais cítricos do Brasil**. 2 ed. Revisão Atualizada, Fundação Cargill, Campinas, 1986. 45p.

BARROS, F. C.; SAGATA, E.; FERREIRA, L. C. de C.; JULIATTI, F. C. Indução de resistência em plantas contra fitopatógenos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 231-239, 2010.

BECKER, C.; DESNEUX, N.; MONTICELLI, L.; FERNANDEZ, X.; MICHEL, T.; LAVOIR, A. V. Effects of abiotic factors on hippv-mediated interactions between plants and parasitoids. **Bio Med Research International**, v. 2015, p. 1-18, 2015.

BIANCHINI, R. A.; PISSINATO, T. R.; CAMPOS, A. P. DE.; MOREIRA, W. M. Q.; RAMOS, M. H. C. Efeitos da adubação de plantas no manejo de pragas. **Revista Fafibe On-Line**, v. 8, n. 1, p. 108-120, 2015.

BILGIN, D. D.; ZAVALA, J. A.; CLOUGH, S.J.; ORT, D. R.; DELUCIA, E. H. Biotic stress globally downregulates photosynthesis genes. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, n. 10, p. 1597-1613, 2010.

BORTOLLI, S. A.; MAIA, I. G. Influência da aplicação de fertilizantes na ocorrência de pragas. In: SÁ, M. E.; BUZZETI, S. (Eds.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Icone, p. 53-63, 1994.

BOSTOCK, R. M.; STERMER, B. A. Perspectives on wound healing in resistance to pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 27, p. 343-371, 1989.

BOUKERMA, L.; BENCHABANE, M.; CHARIF, A.; KHÉLIFI, L. Activity of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) in the biocontrol of tomato fusarium wilt. **Plant Protection Science**, v. 53, n. 2, p. 78-84, 2017.

BRANDÃO, A. D. S.; FARIAS, P. R. S.; LIMA, B. G. Levantamento populacional da mosca-negra-doscitros (*Aleurocanthus woglumi* Ashby) e avaliação de inseticidas para o seu controle químico. In: SEMINÁRIO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRA, 9., 2011, Belém. **Anais...** Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2011, p. 706.

BURG, I. C.; MAYER, P. H. **Alternativas ecológicas para prevenção e controle de pragas e doenças**. Francisco Beltrão: Grafit. 2001. 154 p.

BUTLER, J.; GARRATT, M.P.D.; LEATHER, S.R. Fertilisers and insect herbivores: a meta-analysis. **Annals of Applied Biology**, v. 161, p. 223-233, 2012.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose**. Porto Alegre: L&PM, 1987. 256 p.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: A teoria da trofobiose**. 2. ed. Porto Alegre: L&PM, 1999. 272 p.

CHAMARRO, J.; MOLINA, I. Oxidation of indoleacetic acid by an apparently homogeneous peroxidase from the flavedo of Washington Navel oranges (*Citrus sinensis*). **Journal of Food Biochemistry**, v. 13, p. 361-375, 1989.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v. 89, n. 4, p. 557- 562, 1997.

CHAU, L. M.; HEONG, K. L. Effects of organic fertilizers on insect pest and diseases of Rice. **Omonrice**, v. 13, 26-33, 2005.

CHAVES, V. V. **Trocas gasosas e fluorescência da clorofila “a” em genótipos de cana-deaçúcar infestados por cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata***. 2015. 33 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

CHEN, M. S. Inducible direct plant defense against insect herbivores: A review. **Insect Science**, Beijing, v. 15, n. 2, p. 101-114, 2008.

CHEN, Y.; NI, X.; BUNTIN, G. D. Physiological, nutritional and biochemical bases of corn resistance to foliage-feeding fall armyworm. **Journal of Chemical Ecology**, v. 35, p. 297-306, 2009.

CHOW, A.; CHAU, A.; HEINZ, K.M. Reducing fertilization for cut roses: effect on crop productivity and two spotted spider mite abundance, distribution, and management. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, p. 1896-1907, 2009.

CHRISPIM, T. P.; RAMOS, J. M. Resistência de plantas a insetos. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia**, Garça, v. 10, n. 2, 10 p, 2007.

CIVELLO, P. M.; MARTÍNEZ, G. A.; CHAVES, A. R.; AFIÓN, M. C. Peroxidase from strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.): partial purification and determination of some properties. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 43, p. 2596-2601, 1995.

CONSTABEL, C. P.; BERGEY, D. R.; RYAN, C. A. Systemin activates synthesis of woundinducible tomato leaf polyphenol oxidase via the octadecanoide defense signaling pathway. **Proceedings of the National Academy of Science USA**, Washington, v. 92, p. 407-411, 1995.

CONSTABEL, C.; YIP, L.; PATTON, J.; CHRISTOPHER, E. Polyphenol oxidase from hybrid poplar. Cloning and expression in response to wounding and herbivory. **Plant Physiology**, v. 124, p. 285-295, 2000.

CORNELISSEN, T. G.; FERNANDES, G. W. Defence, growth and nutrient allocation in the tropical shrub *Bauhinia brevipes* (Leguminosae). **Austral Ecology**, Australia, n.26, p. 246-253, 2001.

CURRIE, H. A.; PERRY, C. C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v. 100, n. 7, p. 1383-1389, 2007.

DALASTRA, C.; CAMPOS, A. R.; FERNANDES, F. M.; MARTINS, G. L. M., CAMPOS, Z. R. Silício como indutor de resistência no controle do tripses do prateamento *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoimzeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 531-538, 2011.

DEL-CLARO, K.; TOREZAN-SILINGARDI, H. M. **Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva**. 1. ed. Rio de Janeiro: Technical Books, 2012.

DIAS, P. A. S.; SAMPAIO, M. V.; RODRIGUES, M. P.; KORNDÖRFER, A. P.; OLIVEIRA, R. S.; FERREIRA, S. E.; KORNDÖRFER, G. H. Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, v. 43, n. 4, p. 949-956, 2014.

DOWELL, R.; CHERRY, V.; FITZPATRICK, C.; REINERT, J.; KNAPP, J. **Biology plant insect relations and control of the citrus blackfly**. Gainesville: Agricultural Experimental Station, 1981. 49 p.

ELSTNER, E. F. Metabolism of activated oxygen species. In: DAVIES, D. D. (Ed.). The biochemistry of plants. A comprehensive treatise. **Biochemistry and metabolism**. New York: Academic Press, v. 11, p. 253-315, 1980.

EMBRAPA. **Lima ácida Tahiti CNPMF 01**. 2012. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/666/lima-acida-tahiti-cnpmf-01>> Acesso em: 27 ago. 2020.

EMBRAPA. **Citros**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/citros>> Acesso em: 27 ago. 2020.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. 186 p.

FELIPPE, N.; RAGA, A. Population dynamics of citrus blackfly in Tahiti lime in the state of São Paulo. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CITRUS, 12. 2012, Valencia. **Anais...** Valencia: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, 2012, p. 296.

FELTON, G. W.; DONATO, K. K.; BROADWAY, R. M.; DUFFEY, S. S. Impact of oxidized plant phenolics on the nutritional quality of dietary protein to a noctuid herbivore. **Journal of Insect Physiology**, Oxford, v. 38, p. 277-285, 1992.

FELTON, G. W.; SUMMERS, C. B.; MUELLER, A. J. Oxidative responses in soybean foliage to herbivory by bean leaf beetle and three-cornered alfalfa hopper. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 20, p. 639-649, 1994.

FERRY, N.; EDWARDS, M. G.; GATEHOUSE, J. A.; GATEHOUSE, A. M. R. Plant–insect interactions: molecular approaches to insect resistance. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 15, n. 2, p. 155-161, 2004.

FLORENTINE, S. K.; RAMAN, A.; DHILEEPAN, K. Effects of gall induction by *Epiblema strenuana* on gas exchange, nutrients, and energetics in *Parthenium hysterophorus*. **BioControl**, v. 50, n. 5, p.787-801, 2005.

FRENCH, J. V.; MEAGHER, R. L. Citrus blackfly: chemical control on nursery trees. **Subtropical Plant Science**, v. 45, p. 7-10, 1992.

FUNDERBURK, J. E.; TEARE, I.D.; RHOADS, F. M. Population dynamics of soybean insect pest vs. soilnutrient levels. **Crop Science**, v. 31, p. 1629-1633, 1991.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Manual de entomologia agrícola. Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002, 920 p.

GARCIA, D. B.; RAVANELI, G. C.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Damages of spittlebug on sugarcane quality and fermentation process. **Scientia agrícola**, v. 67, n. 5, p. 555-561, 2010.

GLAZEBROOK, J. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 43, p. 205-227, 2005.

GODVINJE, J.; COLEMAN, W. J. How plants make oxygen. **Scientific American**, v. 262, p. 50- 58, 1990.

GOŁAWSKA, S.; KRZYANOWSKI, R.; ŁUKASIK, I. Relationship between aphid infestation and chlorophyll content in fabaceae species. **Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica**, v. 2, p. 76-80, 2010.

GOMES, A. M. S. V. **Parâmetros fisiológicos em plantas de Citrus spp. infestadas por mosca negra dos citros**. 2016, 111 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Agroecologia. Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

GOMES, A. M. S. V.; REIS, F. O.; LEMOS, R. N. S.; MONDEGO, J. M.; BRAUN, H.; ARAUJO, J. R. G. Physiological characteristics of citrus plants infested with citrus blackfly. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 63, p. 119-123, 2019.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; ANTUNES, C. S. Use of silicon as inductor of the resistance in potato to *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, p. 185-190, 2008.

GONDA-KING, L.; GÓMEZ, S.; MARTIN, J. L.; ORIAN, C. M.; PREISSER, E. L. Tree responses to an invasive sap-feeding insect. **Plant Ecology**, v. 215, n. 3, p. 297-304, 2014.

GUIDO, R. I. **Incidência de mosca-negra-dos-citros *Aleurocanthus woglumi*, Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) em duas espécies cítricas na região centro-leste do estado de São Paulo: dinâmica populacional, aleirodídeos associados, diversidade de parasitoides (Hymenoptera), influência de fatores abióticos e aspectos nutricionais**. 2014, 99 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Biológico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios -São Paulo, Universidade de São Paulo, 2014.

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

GULSEN, O.; EICKHOFF, T.; HENG-MOSS, T.; SHEARMAN, R.; BAXENDALE, F.; SARATH, G.; LEE, D. Characterization of peroxidase changes in resistant and susceptible warm-season turf grasses challenged by *Blissus occiduus*. **Arthropod Plant Interactions**. v. 4, p. 45–55, 2010.

HAARD, N. F.; TOBIN, L. Patterns of soluble peroxidase in ripening banana fruit. **Journal of Food Science**, v. 36, p. 854-857, 1971.

HERRERA, C. M.; PELLMYR, O. **Plant-animal interactions: an evolutionary approach**. Massachusetts: Blackwell Publishers, 2002. 313 p.

HU, X.; LI, W.; CHEN, Q.; YANG, Y. Early signal transduction linking the synthesis of jasmonic acid in plant. **Plant Signaling and Behavior**, v. 4, n. 8, p. 696-697, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2020. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas> > Acesso em: 10 abr. 2020.

JONES, J. B. **Plant nutrition manual**. Boca Raton: CRC Press. 1998. 147 p.

KARBAN, R.; BALWIN, I. T. **Induced responses to herbivory**. Chicago: University of Chicago, 1997.

KASPERA, R.; McCUE, P.; SHETTY, K. Partial purification of a basic guaiacol peroxidase from fava bean (*Vicia faba* L.): characterization of enzyme stability following elicitor treatment. **Food Biotechnology**, v. 15, n. 2, p. 99-111, 2001.

KORNDÖRFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIN, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 3, p. 387-392, 2011.

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

KVEDARAS, O. L.; AN, M.; CHOI, Y. S.; GURR, G. M. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of Entomological Research**, v. 100, n. 3, p. 367-371, jun., 2010.

LANDSBERG, J. J.; GOWER, S. T. **Applications of physiological ecology to forest management**. 1 ed. San Diego: Academic Press, 1997. 344 p.

LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1991. 336 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 2 ed. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

LAZZARI, S. M. N.; CARVALHO, R. C. Z. D. E. Sugadores de seiva (Aphidoidea). In: PANIZZII, A. R.; PARRA, J. R. P. (Eds.) **Bioecologia e nutrição de insetos para o manejo integrado**. Embrapa Informação Tecnológica, pp. 767-836, 2009.

LEITE, B.; PASCHOLATI, S. F. Hospedeiro: alterações fisiológicas induzidas por fitopatógenos. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Eds.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Agronômica Ceres, p. 393-416, 1995.

LEMOS, R. N. S.; SILVA, G. S.; ARAÚJO, J. R. G.; CHAGAS, E. F.; MOREIRA, A. A.; SOARES, A. T. M. Ocorrência de *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) no Maranhão. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 4, p. 558-559, 2006.

LEMOS FILHO, J. P.; CHRISTIANO, J. C. S.; ISAIAS, R. M. S. Efeitos da infestação de insetos galhadores na condutância e taxa relativa de transporte de elétrons em folhas de *Aspidosperma australe* Müell. Arg. e de *A. spruceanum* Benth. ex Müell. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 1152-1154, 2007.

LEON-KLOOSTERZIEL, K. M.; VERHAGEN, B. W. M.; KEURENTJES, J. J. B.; VANPELT, J. A.; REP, M.; VAN LOON, L. C.; PIETERSE, C. M. J. Colonization of the *Arabidopsis rhizosphere* by fluorescent *Pseudomonas* spp. activates a root-specific, thylene responsive PR-5 gene in the vascular bundle. **Plant Molecular Biology**, v. 57, p. 731-748, 2005.

LI, Q.; TAN, W.; XUE, M.; ZHAO, H.; WANG, C. Dynamic changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Nicotiana tabacum* infested by *Bemisia tabaci* (Middle East-Asia Minor 1) nymphs. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 7, n. 4, p. 431-443, 2013.

LOON, L. C. V.; REP, M.; PIETERSE, C. M. J. Significance of Inducible Defense-related Proteins in Infected Plants. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, n. 1, p. 135-162, 2006.

LOPES, C. M. **Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira** (*Vitis vinifera* L.). 1994. 205 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa, 1994.

LOPES, E. B.; ALBUQUERQUE, I. C.; COSTA, F. R.; BORGES, J. A. M. **Mosca-negra-dos-citros** (*Aleurocanthus woglumi* Ashby) (Hemiptera: Aleyrodidae) **chega à Paraíba**. Relatório Técnico-Fitossanitário, EMEPA-PB: Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A, Lagoa Seca, PB, 2009.

LOPES, J. M. S.; DÉO, T. F. G.; ANDRE, B. J. M.; GIROT, M.; FELIP, A. L. S.; JUNIOR, C. E. I.; BUENO, C. E. M. S.; SILVA, T. F.; LIMA, F. C. C. Importância econômica dos citros no Brasil. **Revista Científica de Agronomia**, v. 20, n. 1, 2011.

LORENZI, H.; SARTORI, S.; BACHER, L.B.; LACERDA, M. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora (Embrapa Florestas), Brasil, 2006, 581 p.

LUCAS, J. A. **Plant pathology and plant pathogens**. 2. ed. Oxford: Blackwell Science, 1998. 274 p.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 392-397, 2006.

MACHEIX, J. J.; FLEURIET, A.; QUESSADA, M. P. Involvement of phenols and peroxidases in wound healing and grafting. In: GREPPIN, H.; PENEL, C.; GASPAR, T. H. (Ed.). **Molecular and physiological aspects of plant peroxidases**. Geneva: University of Geneva, p.267-286, 1986.

MAIA, W. J. M. S.; SANTOS FILHO, B. G.; OLIVEIRA NETO, C. F. O.; ALVES, G. A. R.; MAURÍCIO, D.; MAIA, T. J. A. F.; SANTOS, R. S. E. Influência de fumagina provocada por *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera) sobre a fisiologia e a produtividade de plantas de *Citrus* sp. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 12., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, p. 183, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1 ed. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de *Eucalyptus* e seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor**. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MATTSON, W. J. Herbivory in relation to plant nitrogen content. **Annual Review Of Ecology, Evolution, And Systematics**, Palo Alto, v. 11, p. 119-161, 1980.

MAZZUZ, C. F. **Calidad de frutos cítricos: manual para su gestion desde la recoleccion hasta la expedición**. Ediciones de Horticultura: Barcelona, España, 1996. 317 p.

McCLURE, M. S. Foliar nitrogen: a basis for host suitability for elongate hemlock scale *Fiorinia externa* (Homoptera: Diaspididae). **Ecology**, v. 61, p. 72-79, 1980.

MENDONÇA, M. da C.; OLIVEIRA, D. M.; SANTOS, T. S.; SILVA, L. M. S.; TEODORO, A. V. **Manejo Fitossanitário da Mosca-negra-dos-citros *Aleurocanthus woglumi* em Sergipe**. Comunicado técnico 157. 2015. 8p.

MEYER, G. A. Interactive effects of soil fertility and herbivory on *Brassica nigra*. **Oikos**, v. 22, p. 433-441, 2000.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução Normativa MAPA 41/2008. Lista de pragas quarentenárias presentes/Instrução Normativa MAPA 42/2014/MAPA**. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/arquivos-quarentena/lista-de-pragas-quarentenarias-ausentes-e-presentes.pdf/view>>. Acesso em: 26 out. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Lista de pragas quarentenárias presentes - (A2)**. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/arquivos-quarentena/lista-de-pragas-quarentenarias-ausentes-e-presentes.pdf/view>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **AGROFIT: sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2019. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons>. Acesso em: 18 ago. 2019.

MOCHIAH, M. B.; BAIDOO, P. K.; OWUSU-AKYAW, M. Influence of different nutrient applications on insect populations and damage to cabbage. **Journal of Applied Biosciences**, v.38, 2564-2572, 2011.

MOHAMMADI, M.; KAZEMI, H. Changes in peroxidase and polyphenol oxidases activities in susceptible and resistance wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. **Plant Science**, Amsterdã, v. 162, p. 491-498, 2002.

MOORE, G. M.; WATTS, D. A.; GOOLSBY, J. A. Ecophysiological responses of giant reed (*Arundo donax*) to herbivory. **Invasive Plant Science and Management**, v. 3, n. 4, p. 521-529, 2010.

MOR, U.; MARANI, A. Relationships between physiology of the cotton plant and development of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. **Phytoparasitica**, p. 141-152, 1997.

MORAES, B. C. DE; SOUZA, E. B. DE; RIBEIRO, J. B. M.; FERREIRA, D. B. DA S.; MELLO, W. J. DE; MAIA, S. Impactos das mudanças climáticas na ecoclimatologia de *Aleurocanthus woglumi*, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae) no Estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 77-84, 2014.

MOREIRA, C. R.; SIQUEIRA, M. M.; TAVARES, M. H. F. Influência da adubação orgânica sobre algumas propriedades físicas do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, Ilhéus, BA, 2000. **Anais... Ilhéus, Bahia**, 2000.

MÜLLER, C. Resistance at the plant cuticle. In: SCHALLER, A. Induced Plant Resistance to Herbivory. **Germany: Springer**, 2008.

MURISIER, F. M. **Optimisation du rapport feuillefruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve**. 1996. 132 f. Thèse (doctorat) - École Pol. Fédérale de Zurich, Zurich, 1996.

NABITY, P. D.; ZAVALA, J. A.; DELUCIA, E. H. Indirect suppression of photosynthesis on individual leaves by arthropod herbivory. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 655-663, 2009.

NASCIMENTO, J. B.; BARIGOSSI, J. A. F. O papel das enzimas antioxidantes na defesa das plantas contra insetos herbívoros e fitopatógenos. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 234-250, 2014.

NEVES, A. D. **Estimativa do nível de dano e *Orthezia praelonga* Douglas, 1891 e de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) por variáveis fisiológicas vegetais**. 2004. 76 f. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

NGUYEN, R.; BRAZZEL J. R.; POUCHER C. Population density of the citrus blackfly, *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Homoptera: Aleyrodidae), and its parasites in urban Florida in 1979-81. **Environmental Entomology**, v. 12, n. 3, p. 878-884, 1983.

OLIVA, F. A.; AMIN, M. V.; FERNANDES, D.; POCAIA, A. P. V.; LIMA, B. C. DE; CARVALHO, L. O.; LIMA, M. A. R. DE. Cultura do limão no Brasil: custo de produção e lucratividade. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. Especial, p. 65-70, 2017.

OLIVEIRA, A. A. R.; FONSECA, N.; CORDEIRO, Z. J. M. **Diagnóstico da fruticultura no entorno de São Luís, MA**. 2003. Disponível em: <<http://www.paginarural.com.br/artigo/690/diagnostico-da-fruticultura-no-entorno-de-sao-luis-ma>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B.; SCHRODER, E. C.; ESSWEIN, F. J. **Produção de citros orgânico no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 296 p.

OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, G. A.; GOMES, R. S.; COSTA, I. J. N.; BARROS, C. L.; MOURA, M. C. C. L. Evolução da área cultivada, produção, produtividade e volume comercializado da laranja doce no maranhão. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 64., 2012, São Luís. **Anais...** São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2012. p. 13-16.

PAINTER, R. H. **Insect resistance in crop plants**. 2 ed. The University Press of Kansas: Lawrence, 1968. 520p.

PARRELLA, M. P.; COSTAMAGNA, T.; KASPI, R. The addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *Liriomyza leafminers* attacking chrysanthemums. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 747, p. 365-370, 2007.

PATRIQUIN, D. G.; BAINES, D.; ABOUD, A. Soil fertility effects on pests and diseases. In: COOK, H. F.; LEE, H. C. (Eds). **Proceedings of the Third International Conference on Sustainable Agriculture**. Londres: Wye College Press, p. 161-174, 1993.

PEARCY, R. W.; PFITSCH, W. A. Influence of sunflecks on the $\delta^{13}C$ of *Adenocaulon bicolor* plants occurring in contrasting forest understory microsites. **Oecologia**, v. 86, p. 457-462, 1991.

PEREIRA, R. R. C.; MORAES, J. C.; PRADO, E.; COSTA, R. R.; Resistência agentes indutores sobre a biologia e o comportamento do pulgão-verde sondagem no trigo. **Scientia agricola**. Piracicaba.v. 67, n. 4, 2010.

PINHEIRO, S.; BARRETO, S. B. **Agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes**. Editora Fundação Juqueira Candiru – MIBASA, p. 27, 1997.

PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R. Fotossíntese, crescimento e incidência de insetos-praga em genótipos de cacau pulverizados com silício. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 715-724, 2014.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 2 ed. São Paulo: UNESP, 2008. 407 p.

QUEIROZ, F. L. R. **Efeito de diferentes níveis de macro e micronutrientes na infestação dos ácaros *Aculops lycopersia* (Masse, 1987) *Tetranychus wansi* Baker e Prithard (1860) em tomateiro *Lycopersicon sculentum* Mill. 177 f.** Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1992.

RAGA, A.; COSTA, V. A. **Mosca negra dos citros**. São Paulo: Instituto Biológico. 2008. 9 p.

REDOAN, A. C.; CARVALHO G. A., CRUZ, I., FIGUEIREDO, M. L. C.; SILVA R. B. Efeito de inseticidas usados na cultura do milho (*Zea mays* L.) sobre ninfas e adultos de *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae) em semicampo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 3, p. 223-235, 2010.

RENNENBERG, H.; LORETO, F.; POLLE, A.; BRILLI, F.; FARES, S.; BENIWAL, R. S.; GESSLER, A. Physiological responses of forest trees to heat and drought. **Plant Biology**, v. 8, p. 556-571, 2006.

REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-13, 2016.

RODRIGUES, L. V.; ROGGIA, S.; CRUSIOL, L. G.; CAVALLARI, L. S.; PEREIRA, J. P. V.; FERRARI, F. Teor de clorofila e NDVI de soja em resposta ao ataque do percevejo-marrom, *Euschistus heros*. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 8., 2013, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, p. 129-132, 2013. (Embrapa Soja. Documentos, 339).

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 774 p.

SÁNCHEZ E, LÓPEZ-LEFEBRE LR, GARCIA PC, RIVERO RM, RUIZ JM, ROMERO L. Proline metabolism in response to highest nitrogen dosages in green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. *Strike*). **Journal of Plant Physiology**, v.158, p. 593-598, 2001.

SANTOS, M.; JUNQUEIRA, A. R.; DE SÁ, V. M.; ZANÚNCIO, J.; SERRÃO, J. Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae. **Invertebrate Survival Journal**, v. 12, p. 158-165, 2015.

SCHALLER, A. **Induced Plant Resistance to Herbivory**. Germany: Springer, 2008.

SCHOONHOVEN, L. M.; JERMY, T.; LOON, J. J. A. **Insect-plant biology: from physiology to evolution**. 1 ed. London: Chapman & Hall, 1998. 409 p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL - SENAR. **As potencialidades do Maranhão para fruticultura**. 2019. Disponível em: <<http://senar-ma.org.br/as-potencialidades-do-maranhao-para-fruticultura>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

SILVA, A. B. Mosca negra dos citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, praga potencial para a citricultura brasileira. In: POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R.; SANTOS, I. P. **Pragas e doenças de cultivos amazônicos**. Belém: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 147-156, 2005.

SILVA, A. G.; FARIAS, P. R. S.; JUNIOR, A. L. B.; SOUZA, B. H. S. Mosca-Negra-dos-Citros: Características Gerais, Bioecologia e Métodos de Controle dessa Importante Praga Quarentenária da Citricultura Brasileira. **EntomoBrasilis**, v. 4, n. 3, p. 85-91, 2011.

SILVA, J. G.; BATISTA, J. L.; SILVA, J. G.; BRITO, C. H. Use of vegetable oils in the control of the citrus black fly, *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Revista Colombiana de Entomologia**, v. 38, n. 2, p. 182-186, 2012.

SKINNER, R. Phosphorus nutrition and leaf age effects on sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) host selection. **Environmental Entomology**, v. 23, p. 693-698, 1994.

SOARES, R. M.; MARINGONI, A. C.; LIMA, G. P. P. Ineficiência de Acibenzolar-S Methyl na indução de resistência de feijoeiro comum à murcha-de-curtobacterium. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 4, 2004.

SOARES, C. G.; LEMOS, R. N. S.; ARAUJO, A. M. S.; MACHADO, K. G.; PEREIRA, C. F. M. Distribuição de mosca branca em tomateiro fertilizado com adubação mineral e orgânica em ambiente protegido. **Revista Caatinga**, v. 26, p. 43-48, 2013.

SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; MAGALHAES, P. C.; LINO, L. O.; ALVES, E. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrid with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 11, p. 3201-3211, 2013.

STIRBET, A.; GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 104, n. 1, p. 236-257, 2011.

STOUT, M. J. Reevaluating the conceptual framework for applied research on hostplant resistance. **Insect Science**, v. 20, p. 263-272, 2013.

STOUT, M. J.; WORKMAN, J.; DUFFEY, S. S. Differential induction of tomato foliar proteins by arthropod herbivores. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 20, n. 10, p. 2575-2594, 1994.

STRACK, D. Phenolic metabolism, p.387-416. In: DEY, P. M.; HARBORNE, J. B. (eds.) **Plant biochemistry**. 1 ed. London: Academic Press, 1997. 554 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 848 p.

TANZINI, P. E. **Problemas nutricionais e fisiológicos no cultivo de hortaliças em ambiente protegido; Nutrição e adubação de hortaliças**. Potafós, 1993. 487 p.

TERTULIANO M.; DOSSOU-GBETE, S.; LE RŪ, B. Interaction between la cochenille du mandioc *Phenacoccus manihoti* et ses différentes plantes-hôtes: Etude de la teneur de la sève en acide aminé et en sucre. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 14, n. 5-6, p. 657-665, 1993.

THIPYAPONG, P.; HUNT, M. D.; STEFFENS, J. C. Antisense downregulation of polyphenoloxidase results in enhanced disease susceptibility. **Planta**, Berlim, v. 220, p. 105-117, 2004.

TURRA, C.; GHISI, F. A. Laranja orgânica no Brasil: produção, mercado e tendências. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 42., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Templo Gráfica Editorial, p. 1-12, 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Foreign Agricultural Service. **Citrus: World Markets and Trade**. 2020. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

VAUGHN, K. C.; LAX, A. R.; DUKE, S. O. Polyphenol oxidase: the chloroplast oxidase with no established function. **Physiologia Plantarum**, v. 72, p. 659-665, 1988.

VELIKOVA, V.; SALERNO, G.; FRATI, F.; PERI, E.; CONTI, E.; COLAZZA, S.; LORETO, F. Influence of feeding and oviposition by phytophagous pentatomids on photosynthesis of herbaceous plants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 36, p. 629–641, 2010.

VENTURA, M. U.; OTOTUMI, A.; NEVES, P. M. O. J. Feeding preference of *Diabrotica speciosa* (Ger.) (Coleoptera: Chrysomelidae) by broccoli leaves from natural, organic and conventional farming systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 1, p. 43-46, 2006.

VIDAL, M. F. Citricultura na área de atuação do Bnb. **Caderno Setorial ETENE**, v. 3, n. 42, p. 1-13, 2018.

VIEIRA, D. L.; BARBOSA, V. O.; SOUZA, W. C. O.; SILVA, J. G.; MALAQUIAS, J. B.; BATISTA, J. L. Potassium silicate-induced resistance against blackfly in seedlings of *Citrus reticulata*. **Fruits**, v. 71, n. 1, p. 49-55, 2016.

VIGO-SCHULTZ, S. C.; STANGARLIN, J. R.; FRANZENER, G.; PORTZ, R. L.; KUHN, O. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Avaliação da eficácia da tintura etanólica de guaco (*Mikania glomerata*) no controle da podridão negra (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) em couve-flor. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, p. 515-524, 2006.

VILANOVA, C.; SILVA JUNIOR, C. D. Avaliação da trofobiose quanto às respostas ecofisiológicas e bioquímicas de couve e pimentão, sob cultivos orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, p. 127-137, 2010.

VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. **Introduced Pest in Brazil: insects and mites. Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros**. Fealq, Piracicaba, 2015. 908 p.

WAR, A. R.; PAULRAJ, M. G.; WAR, M. Y.; IGNACIMUTHU, S. Role of salicylic acid in induction of plant defense system in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1787-1792, 2011.

WAR, A. R.; PAULRAJ, M. G.; AHMAD, T.; BUHROO, A. A.; HUSSAIN, B.; IGNACIMUTHU, S.; SHARMA, H. C. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signaling & Behavior**, Austin, v.7, n. 10, p. 1306–1320, 2012.

WHITAKER, J. R. Mechanisms of Oxidoreductases important in food component modification. In: RICHARDSON, T.; FINLEY, J. W. **Chemical chances in food during processing**. Institute of Food Technologists: Basic Symposium Series. New York, 1985. 514 p.

YANG, L.; HAN, Y.; LI, P.; LI, F.; ALI, S.; HOU, M. Silicon amendment is involved in the induction of plant defense responses to a phloem feeder. **Scientific Reports**, v. 7, n. 4232, p. 1-9, 2017.

YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BAERSON, S. R.; PAN, Z.; ZHUSALZMAN, K.; XIE, J.; CAI, K.; LUO, S.; ZENG, R. Priming of jasmonate-mediated anti herbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 3, p. 3631–3639, 2013.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA J. Á. Efeito do nitrogênio na interação com doenças de plantas, 2012. In: ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. Á.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de Plantas**. Viçosa, MG, p. 47-80, 2012.

ZANUNCIO JUNIOR, J. S.; FORNAZIER, M. J.; SANTANA, J. V. D.; MARTINS, D. S.; GOMES, S. A.; QUEIROZ, R. B.; KOEHLER, J.; GUIMARÃES, M. A. P.; ALVES, F. L.; ESPOSTI, M. D. D. **Mosca-negra-dos-citros: biologia, danos e manejo**. Vitória: INCAPER, 2018. 6 p.

ZHAO, L. Y.; CHEN, J. L.; CHENG, D. F.; SUN, J. R.; LIU, Y.; TAIN, Z. Biochemical and molecular characterizations of *Sitobion avenae*-induced wheat defense responses. **Crop Protection**, v. 28, n. 5, p. 435-442. 2009.

ZVEREVA, E. L.; LANTA, V.; KOZLOV, M. V. Effects of sap-feeding insect herbivores on growth and reproduction of woody plants: a meta-analysis of experimental studies. **Oecologia**, v. 163, n. 4, p. 949–960, 2010.

CAPÍTULO 2

Dynamics of *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) in Tahiti acid lime orchards under different fertilizer applications

Artigo submetido ao International Journal of Agriculture and Biology

Running title: Potassium silicate in citrus reduces *Aleurocanthus woglumi*

Dynamics of *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) in Tahiti acid lime orchards under different fertilizer applications

Alirya Magda Santos do Vale Gomes¹, Raimunda Nonata Santos de Lemos², Gislane da Silva Lopes², Cristina Silva Carvalho³, Fabrício de Oliveira Reis², José Ribamar Gusmão Araujo², Janaina Marques Mondego³

¹*Agronomist, Doctoral student, Graduate Program in Agroecology, State University of Maranhão. São Luís, Maranhão, Brazil.*

²*Adjunct Professor at the State University of Maranhão. São Luís, Maranhão, Brazil.*

³*Postdoctoral researcher, Graduate Program in Agroecology, State University of Maranhão. São Luís, Maranhão, Brazil.*

Corresponding author: rlemos@cca.uema.br

Received _____; Accepted _____; Published _____

Novelty statement

The application of potassium silicate promotes anatomical and biochemical structural changes in plants, which tend to interfere with the feeding behavior and / or biology of insects. In this research, the treatments that received the addition of potassium silicate were less susceptible to *Aleurocanthus woglumi* and provided significant reductions in the number of eggs and nymphs of *A. woglumi* in the basal, median and apical strata of *Citrus latifolia*.

Abstract

Aleurocanthus woglumi Asbhy (citrus black fly) insects is a phytosanitary problem with economic importance due to the significant damages caused by this insect-pest, which result in losses at different developmental stages of citrus plants. The objective of this study was to evaluate the incidence and distribution of *A. woglumi* eggs and nymphs on *Citrus latifolia* (Tahiti acid lime) plants grown under different fertilizer applications. The experiment was conducted in a citrus orchard in the municipality of Paço do Lumiar, MA, Brazil. Sixty Tahiti acid lime plants naturally infested by *A. woglumi* were randomly selected for the study. The treatments consisted of different soil fertilizer applications: no fertilizer application (Control); organic fertilizer (bovine manure); organic fertilizer + potassium silicate (K_2O_3Si); NPK; and NPK + K_2O_3Si . The evaluations were carried out at three evaluation times (30, 60, and 90 days after the soil fertilizer applications) and on three plant parts (basal, mid, and apical). The number of eggs and nymphs decreased in the treatments with organic fertilizer application + K_2O_3Si , and NPK + K_2O_3Si . Higher incidences were found in the treatment NPK for the plant basal, mid, and apical parts. Tahiti acid lime plants treated with K_2O_3Si are less susceptible to attack of *A. woglumi* insects and plants fertilized with NPK present higher susceptibility to *A. woglumi*. Higher number of egg laying events, eggs, and 1st instar nymphs occurs in the plant apical part and incidences of 2nd instar, 3rd instar, and 4th instar nymphs occur in the basal and mid parts of *C. latifolia* plants.

Keywords: Citrus black fly; *Citrus latifolia*; Potassium silicate; NPK

Introduction

Citrus production in Brazil is highlighted in the international market; it is the greatest citrus producing country in the world, responsible for approximately 41% of world's production;

followed by China and the European Union (USDA 2020). Tahiti acid lime (*Citrus latifolia* Tanaka) is among the most produced citrus species and one of the most economically important citrus fruit in Brazil due to the its good acceptance by the national and international markets (Oliva *et al.* 2017).

Infestation of citrus orchards by *Aleurocanthus woglumi* Ashby 1915 (Hemiptera: Aleyrodidae), commonly known as citrus black fly, is among the main problems that affect citriculture in Brazil. It has become an important phytosanitary problem (Vilela and Zucchi 2015) for the production chain of *Citrus* spp., which are the most adequate hosts for the development of large populations of this pest (Nguyen *et al.* 2019).

A. woglumi present a versatile adaptation to different climatic conditions and hosts (Mendonça *et al.* 2015). Adult immature insects can be found in the abaxial surface of leaves (Raga *et al.* 2016) where they develop and damage citrus plants by sucking leaf nutrients, which weakens the plants, and by excreting a sugar substance (honeydew) that favors the emergence of sooty mold, which covers leaves and fruits and severely harms the leaf respiration and photosynthesis (Nguyen *et al.* 2019).

Control measure for this insect-pest include the use synthetic chemical products such as pesticides and soluble mineral fertilizers; however, excess rates of this products cause negative effects to protein synthesis, accumulation of free amino acids and reducing sugars, and changes in the plant development, which increase the incidence of pests and diseases (Huber *et al.* 2012). Therefore, citrus producers should prioritize the use of control strategies established by ecological pest managements, combined with monitoring practices of *A. woglumi* population (Mendonça *et al.* 2015) to avoid the use of pesticides and their impacts to the environment.

In this context, positive effects of using organic or mineral soil fertilizer applications to control different pests has been highlighted, since a balanced soil fertilizer application provides nutrients to plants making them more tolerant to pest attacks (Bianchini *et al.* 2015). Therefore,

considering the challenge of managing insect-pests that are well adapted to citrus crops and the lack of efficient control techniques that are not aggressive to the environment, the supplying of nutrients through soil fertilizer application is an easy measure for producers, which increases the plant defense against injuries caused by insects.

Information on nutritional management of plants is needed to use alternative techniques to control of pests in citrus orchards. Organic and mineral fertilizer applications can provide essential nutrients to plants, positive effects on soil physical, chemical, and microbiological characteristics, and on the dynamics of plants under abiotic stresses (Stirbet and Govindjee 2011). Therefore, objective of this study was to evaluate the incidence and distribution of *A. woglumi* eggs and nymphs on *Citrus latifolia* plants grown under different fertilizer applications.

Material and methods

The study was conducted from March 2016 to August 2019, at the São Judas Tadeu citrus orchard (2°30'4.9"S, 44°04'22.8"W, and altitude of 4 m), in the municipality of Paço do Lumiar, state of Maranhão (MA), Brazil, and at the Laboratory of Entomology of the Center for Agricultural Sciences of the State University of Maranhão (UEMA).

The Paço do Lumiar region presents an Aw, tropical climate, according to the Köppen classification, with mean annual temperature of 28 °C and mean annual rainfall depth of 2,361.75 mm (Labmet-Nugeo 2019). The predominant soil of the area was classified as a Typic Hapludult (Argissolo Vermelho Amarelo (Embrapa 2018) of sandy-loam texture; the results of soil analysis carried out in the Soil Chemistry Laboratory of the Center for Rural Technology of Engineering of the UEMA is presented in Table 1.

Table 1: Chemical analysis of the soil before of the application of the treatments. Paço do Lumiar, MA, Brazil, 2016.

OM	pH	P	K	Ca	Mg	SB	H+Al	CEC	BS	K/CEC	Mg/CEC
g dm ⁻³		mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³						%	%	%
13	6.0	20	2.6	18	15	35.6	12	47.6	75	5.5	31.5

OM = organic matter; SB = sum of bases; CEC = cation exchange capacity; BS = base saturation.

Sixty 6-year-old Tahiti acid lime (*Citrus latifolia* Tanaka) plants under field conditions, naturally infested with *A. woglumi*, were randomly selected for the study. A randomized block design was used, in a 3×5×3 factorial arrangement (three evaluation times, five treatments, and three plant parts), with 4 replications. The experimental unit consisted of three plants. The treatments consisted of different soil fertilizer applications: no fertilizer application (Control) (T1); organic fertilizer (bovine manure) (T2); organic fertilizer + potassium silicate (K₂O₃Si) (T3); NPK (T4); and NPK + K₂O₃Si (T5).

The treatments with organic and mineral fertilizer were applied at 30 days after lime (total neutralizing power of 70%) application to the soil of the experimental area (3.6 kg plant⁻¹) (Iac 1997). The organic fertilizer (manure bovine) rate was based on the literature (Iac 1997); a rate of 5 L plant⁻¹ were applied around the plants in May 2017.

The soil mineral fertilizer (NPK) was applied in on the canopy projection area, considering the soil analysis, using the formulation 16-5-10 (N-P₂O₅-K₂O) (Table 1). N was applied using 888.85 g plant⁻¹ of urea, split into three applications of 296.29 g plant⁻¹ (May, July, and October 2017). P was applied in a single application of triple superphosphate at the rate of 260.4 g plant⁻¹ (May, 2017). K was applied using 500 g plant⁻¹ of potassium chloride, split into three applications of 165.84 g plant⁻¹ (May, July, and October 2017). Three leaf applications with 30-day intervals were carried out with potassium silicate (Fertisílicio; Plant-Defender, Limeira, Brazil) at the concentration of 5 mL SiK₂O L⁻¹ of water. Usual cultural

practices for citrus orchards (weeding, pruning, and irrigation by micro sprinklers) were carried out during the experiment.

The evaluations were carried out at 30 (December 2017), 60 (January 2018), and 90 (February 2018) days after the last soil fertilizer application. The *A. woglumi* populational dynamics were evaluated by collecting six randomly chosen leaves of each plant (two from the basal, two from the mid, and two from the apical part of the plant), totaling 360 leaves per collection. The leaves were then stored in labeled plastic bags, placed in expanded polystyrene boxes, and taken to the Laboratory of Entomology of the Center for Agricultural Sciences of the UEMA for counting of number of egg laying events, eggs and nymphs of *A. woglumi*, using a stereomicroscope.

The variables evaluated were: number of eggs, egg laying events, and abundance of 1st, 2nd, 3rd, and 4th instar nymphs as a function of the treatments (T1, T2, T3, T4, and T5), evaluation times (30, 60 and 90 days), and plant parts (basal, mid, and apical).

The data obtained were subjected to exploratory analysis, normality tests, and analysis of variance (ANOVA). The means of the treatments were compared by the Tukey's test at 5% probability level, using the Sisvar[®] program (Ferreira 2000).

Results

The analysis of variance of the studied parameters showed no interaction ($p < 0.05$) between the treatments and collection times for the variables number of egg laying events, abundance of 1st instar and 2nd instar nymphs (Fig. 1A-C); the effect of the treatments were evaluated only for these developmental stages.

The treatments T3 and T5 negatively affected the number of egg laying events (Fig. 1A) and abundance of 1st instar (Fig. 1B) and 2nd instar (Fig. 1C) nymphs of *A. woglumi* on *C. latifolia* plants, resulting in the lowest means when compared to the other treatments.

The plants with the highest incidences of *A. woglumi* were those treated with NPK (T4), which presented mean number of egg laying events of 22.28 (Fig. 1A), number of 1st instar nymphs of 64.22 (Fig. 1B) and number of 2nd instar nymphs of 39.86 (Fig. 1C).

The analysis of variance showed significant interaction between treatments and evaluation times for number of eggs and abundance of 3rd and 4th instar nymphs ($p < 0.05$) (Fig. 2A-C).

The lowest number of eggs (Fig. 2A) and abundance of 3rd instar (Fig. 2B) and 4th instar (Fig. 2C) nymphs of *A. woglumi* were found in the treatments T3 and T5, which were not different from the Control in all evaluations. The highest number of eggs were found on plants in T4, which presented 295.06, 306.45, and 396.81 eggs at 30, 60, and 90 days after the application, respectively (Fig. 2A). This treatment also had the highest incidences of 3rd instar (Fig. 2B) and 4th instar (Fig. 2C) nymphs at the evaluation times evaluated.

The comparison of the evaluation times showed that T4 had the highest number of eggs (396.81 eggs) (Fig. 2A) and abundance of 3rd instar nymphs (33.06) (Fig. 2B) at 90 days, and abundance of 4th instar nymphs at 60 and 90 days (Fig. 2C), presenting 17.03 and 18.20 nymphs, respectively.

The interaction between treatments and plant parts (basal, mid, and apical) were significant for number of egg laying events and eggs, and abundance of 2nd instar, 3rd instar, and 4th instar nymphs. This interaction was not significant for abundance of 1st instar nymphs; the effect of plant parts was evaluated only for this developmental stage of the pest ($p < 0.05$) (Fig. 3A-F).

The lowest mean number of eggs of *A. woglumi* (Fig. 3A) was found in the treatments with K_2O_3Si (T3 and T5), which were not different from the Control in the plant parts studied. Similar results were found for number of egg laying events (Fig. 3B), which varied from 2.61 to 6.06; and for abundance of 2nd instar (Fig. 3D), 3rd instar (Fig. 3E), and 4th instar (Fig. 3F) nymphs of *A. woglumi* in all plant parts.

The highest number of eggs (Fig. 3A), number of egg laying events (Fig. 3B), 2nd instar (Fig. 3D), 3rd instar (Fig. 3E), and 4th instar (Fig. 3F) nymphs were found in the treatment NPK (T4) in the plant basal, mid, and apical parts, with significant difference from the other treatments.

Regarding the *C. latifolia* plant parts infested with *A. woglumi*, the plant apical part presented the highest numbers of eggs (435.46 eggs) (Fig. 3A) and egg laying events of *A. woglumi* (28.96) (Fig. 3B) in the treatments NPK (T4). Higher abundance of 1st instar nymphs was found for the apical part of *C. latifolia*, significantly differing from the plant mid and basal parts (Fig. 3C).

The highest mean abundance of 2nd instar (Fig. 3D), 3rd instar (Fig. 3E), and 4th instar (Fig. 3F) nymphs in the plant basal and mid parts were found in the treatment NPK (T4).

Discussion

The *C. latifolia* plants infested with *A. woglumi* and subjected to different fertilizer applications presented the best results for numbers of egg laying events (Fig. 1A) and 1st instar (Fig. 1B) and 2nd instar (Fig. 1C) nymphs in the treatments NPK + K_2O_3Si (T5) and organic fertilizer + K_2O_3Si (T3). In these treatments, the *A. woglumi* populational density decreased, probably due to structural changes in the plants caused by the addition of potassium silicate, and anatomical (thicker epidermal cells and higher lignification) and biochemical (increase in the synthesis of

toxins) changes (Camargo *et al.* 2011). These changes may affect the insects' feeding behavior and biology, since the females differentiate suitable, non-suitable, and non-host plants before the oviposition; this discrimination process is based on morphological, physical, and chemical characteristics of the plants (Raga *et al.* 2016).

Pinto *et al.* (2014) evaluated potassium silicate applications in cocoa orchards and found decreases in the incidence and damage level caused by *Toxoptera aurantii* (Fonscolombe 1841) (Hemiptera: Aphididae). Different results were found by Ferreira *et al.* (2011), who found no effect of silicon on the oviposition and mean number of nymphs of *Bemisia tabaci* Gennadius 1889 (Hemiptera: Aleyrodidae) in soybean crops.

Plants treated with NPK (T4) presented the highest incidences of egg laying events (Fig. 1A), and 1st instar (Fig. 1B) and 2nd instar (Fig. 1C) nymphs. This was probably due to the amino acid concentrations in leaves of plants treated with NPK, which makes the plant more vulnerable. This high amino acid concentrations caused by a fast nutrient assimilation due to N fertilizer application favors a the incidence of pests (Wackers *et al.* 2017). This was also found by Soares *et al.* (2013), who evaluated the dynamics of *B. tabaci* in tomato plants and found higher incidences of eggs and nymphs in the treatment with N fertilizer application.

The lowest numbers of eggs (Fig. 2A), and abundance of 3rd instar (Fig. 2B) and 4th instar (Fig. 2C) nymphs were found in the treatments organic fertilizer + K₂O₃Si (T3) and NPK + K₂O₃Si (T5). This may be due to the addition of potassium silicate, which increases the leaf tissue resistance, promoting a mechanical barrier against insect-pests. This decreases damages caused by these arthropods and their feeding activity (Ferreira *et al.* 2011) by increasing the resistance of plant tissues to penetration by their mouth apparatus. Therefore, adult *A. woglumi* found difficulties for egg laying and, consequently, for the maintenance of immature insects due to the protection generated by the application of potassium silicate. According to Camargo

et al. (2011), application of potassium silicate can change chemical responses of plants, generating increases in synthesis of toxins that are inhibitor and repellent of insects.

Correa *et al.* (2005) evaluated the incidence of white fly in cucumber plants and found decreases in the population of *B. tabaci* (biotype B) in plants treated with silicon during the whole crop cycle. In addition, Dalastra *et al.* (2011) found decreases in number of nymphs and adults of thrips *Enneothrips flavens* Moulton 1941 (Thysanoptera: Thripidae) in peanut crops treated with potassium silicate. This denotes that the production of compounds due to silicon applications induces the plant resistance to herbivory.

The highest incidences of eggs and *A. woglumi* insects found in the treatment NPK (T4) (Fig. 2A-C) was probably due to the faster nutrient assimilation, which favors soluble nitrogen accumulation (amino acids and soluble sugars) by the *C. latifolia* plants and results in a higher number of egg laying events, eggs, and nymphs of *A. woglumi*. Huber *et al.* (2012) reported that disturbances in the protein synthesis process and carbon hydrates metabolism are caused by soil mineral imbalances, mainly by using mineral fertilizers with high solubility (e.g., NPK, urea, KCl, superphosphate), especially nitrogen fertilizers, and use of synthetic organic compounds, which affect the plant physiology by decreasing protein synthesis and increase the accumulation of free amino acids and reducing sugars.

Silva *et al.* (2011) evaluated the dynamics of *A. woglumi* and found that the infestation level varies according to the crop system and management adopted, since the occurrence of many annual generations of *A. woglumi* is favored by its large reproductive potential and nutrient availability. Chaboussou (2006) reported that phytophagous insects (aphid, cochineal, sharpshooter leafhopper, and thrips species) depend on soluble substances, such as amino acids and reducing sugars for their survival; thus, many constituents of plants changed by N (e.g., amino acids, protein, acids nucleic) are correlated with resistance or susceptibility to insect-pests.

Considering the evaluation times, the number of *C. latifolia* plants with presence of eggs and 3rd and 4th instar nymphs (Fig. 2A-C) was higher in the treatments with application of NPK at 90 days after the last soil fertilizer application. This denotes that the NPK application favored the occurrence and establishment of the pest throughout the experiment. This is explained by the higher metabolic activity at 90 days after the last soil fertilizer application, with higher absorption of N due to the chemical fertilizer application, which results in higher availability of N in amino acid forms. According to Boaretto *et al.* (2007), during the growth period of citrus plants, N accumulation from fertilizers and its availability tend to increase.

According to Raga *et al.* (2012) the behavior of these Aleyrodidae species can be maintained or modified depending on management conditions. In the present study, female *A. woglumi* insects preferred to oviposit on plants in the treatment NPK; this treatment resulted in emergences of young and succulent leaves that enabled a better development of *A. woglumi* at different developmental stages.

Plants treated with potassium silicate (Fig. 3A-C) had lower infestations in all evaluated plant parts. This was probably due to the protection provided by the silicon, which can be expressed as lignification of the cell wall, formation of papillae or induction of defense proteins (Costa *et al.* 2011), since the result was the same for the plant basal, mid, and apical parts. This issue requires further studies, since the application of potassium silicate and its use by plants has been a potential strategy in integrated pest managements, and has determined the resistance or tolerance of plants species to insect-pests (Ferreira *et al.* 2011).

The *A. woglumi* dynamics in the plant parts showed higher number of eggs (Fig. 3A), number of egg laying events (Fig. 3B), 1st instar (Fig. 3C), 2nd instar (Fig. 3D), 3rd instar (Fig. 3E) and 4th instar (Fig. 3F) nymphs in the treatment NPK (T4) in all evaluation times. The *A. woglumi* insects presented a probably dependency on the plant for shelter, reproduction location, and feeding, and their consumption choice for plant parts is probably dependent on

the nutritional contents and palatability of the plant part (Del-Claro and Torezan-Silingardi 2012).

The treatment NPK (T4) showed the highest numbers of eggs (Fig. 3A) and egg laying events (Fig. 3B) in the plant apical part. This preference for younger plant parts was also found by Huber *et al.* (2012), who pointed out that young leaves have fine and soft cuticles, higher quantity of water, and present higher quantities of nutrients (amino acids), which can be readily available for these organisms. These characteristics favor the oviposition process and ensure a higher survival of immature insects.

First instar nymphs are mobile; after the hatching, they select an ideal place in the host plants to fix (Nguyen *et al.* 2019). In addition to the preference of oviposition of adult insects for younger leaves of the apical part of *C. latifolia* plants, there was higher survival of 1st instar nymphs (Fig. 3C) in this plant part, probably due to the leaf characteristics.

The results found in the present study confirm those of Soares *et al.* (2013), who state that adult insects of the Aleyrodidae family prefer to oviposit on the apical part of host plants, where they find more tender leaves for feeding, and that younger nymphs (1st and 2nd instar) remain mainly in the mid part of the plant. Lopes *et al.* (2013) evaluated the oviposition preference and life cycle of *A. woglumi* in fruit tree species and found feeding preference for more tender leaves, and high incidences in Rubi orange, Tahiti acid lime, and Ponkan tangerine trees. Moreover, Silva *et al.* (2009) evaluated 1st instar nymphs of *B. tabaci* and found higher infestations in the apical part of vegetable plants, such as okra, common bean, and sweet pepper. Thus, the preference of Aleyrodidae species for younger leaves for feeding and oviposition is found in different crops.

Higher infestations of 2nd instar (Fig. 3D), 3rd instar (Fig. 3E), and 4th instar (Fig. 3) nymphs in the plant basal and mid parts was also found in tomato crops by Soares *et al.* (2013), who reported higher abundance of white fly nymphs in the plant basal and mid parts. This

behavior was also found in melon plants by Azevedo and Bleicher (2003), who reported higher density of 2nd instar, 3rd instar, and 4th instar nymphs in leaves in the lower third of the plants. These authors explained that sessile stage of 2nd instar, 3rd instar, and 4th instar nymphs is correlated with the vertical growth of host plants, which explains the vertical distribution of these stages in the lower plant parts.

After the 2nd instar, *A. woglumi* nymphs are sessile; thus, the location of the infested leaf and the physiological development period of the host plant present a linear distribution, with a defined standard of distribution in the plant. According to Azevedo and Bleicher (2003), all apical part become mid and basal over time due to the plant development; therefore, the preference of adults and nymphs of *A. woglumi* for the plant apical part causes a higher occurrence of 2nd instar, 3rd instar, and 4th instar nymphs in the other plant parts. Thus, leaves in the plant mid and basal parts can provide higher exposure time of Aleyrodidae insects in these developmental stages and probably can be used to establish sampling plans.

Conclusion

Citrus latifolia plants fertilized with NPK + K₂O₃Si and soil organic fertilizer + K₂O₃Si are less susceptible to attack of *A. woglumi* by affecting the number of egg laying events and biological cycle of this insect-pest. The addition of potassium silicate to NPK and organic fertilizers decrease the incidence of *A. woglumi* insects on *C. latifolia* plants. *C. latifolia* plants fertilized with NPK present higher susceptibility to *A. woglumi* at 30, 60 and 90 days after application. Higher incidences of egg laying events, eggs, and 1st instar nymphs are found in the apical part of *C. latifolia* plants, and higher incidences of 2nd instar, 3rd instar and 4th instar nymphs are found in the plant basal and mid parts.

Acknowledgements

This work was supported by the Foundation for Research Support and Scientific and Technological Development of Maranhão (FAPEMA; Process 00603/14).

Author contributions

Lemos RNS, Gomes AMSV, Araujo JRG and Mondego JM conceived and designed the research. Gomes AMSV, conducted the experiment. Carvalho, CS and Lopes GS performed statistical analysis. Gomes AMSV, Reis FO, Lemos RNS and Lopes GS wrote the manuscript.

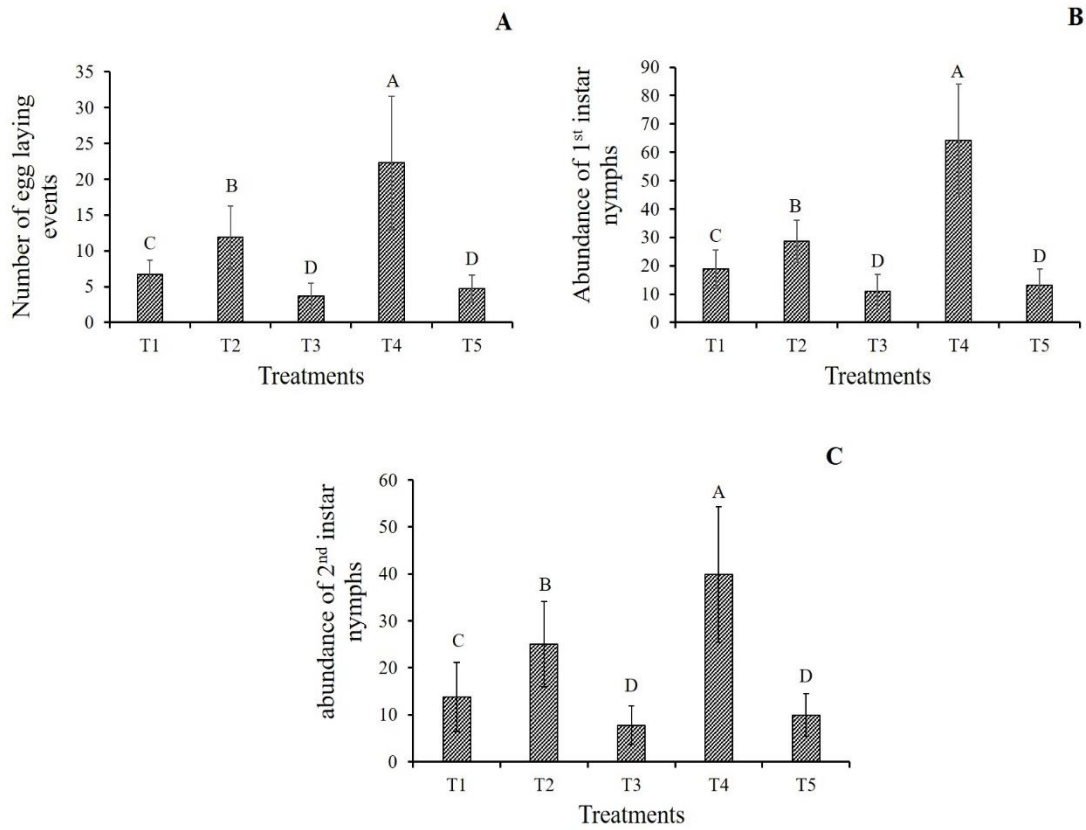
References

- Azevedo FR, E Bleicher (2003). Distribuição vertical e setorial das ninfas de mosca branca nas folhas do meloeiro. *Hort Bras* 21:464-467
- Bianchini RA, TR Pissinato, AP Campos, WMQ Moreira, MHC Ramos (2015). Efeitos da adubação de plantas no manejo de pragas. *Rev Fafibe On-Line* 8:108-120
- Boaretto RM, D Mattos Junior, PCO Trivelin, T Muraoka, AE Boaretto (2007). Acúmulo de nutrientes e destino do nitrogênio (15N) aplicado em pomar jovem de laranjeira. *Rev Bras Frutic* 29:600-605
- Camargo JMM, JC Moraes, KMR Zanol, DSL Queiroz (2011). Interação silício e insetos-praga: defesa mecânica ou química. *Rev Agricultura* 86:62-79
- Chaboussou F. (2006). *Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos*, 1ª edição, Expressão Popular, Bela Vista, SP

- Correa RSB, JC Moraes, GA Carvalho (2005). Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. *Neotrop Entomol* 34:429-433
- Costa RR, JC Moraes, RR Dacosta (2011). Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. *J Appl Entomol* 135:115-120
- Dalastra C, AR Campos, FM Fernandes, GL Martins, ZR Campos (2011). Silício como indutor de resistência no controle do tripses do prateamento *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoazeiro. *Ciênc Agrotec* 35:531-538
- Del-Claro, K, HM Torezan-Silingardi (2012). *Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva*. 1ª edição, Technical Books, Rio de Janeiro, RJ
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5ª edição, Embrapa Solos, Brasília, DF
- Ferreira DF (2000). *Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0*. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, pp: 255-258, 45. Anais [...] SIB, São Carlos, SP
- Ferreira RS, JC Moraes, CS Antunes (2011). Silicon influence on resistance induction on against *Bemisia tabaci* Biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) and on vegetative development in two soybean cultivars. *Neotrop Entomol* 40:495-500
- Huber DV, V Römheld, M Weinmann (2012). *Relationship between nutrition, plant diseases and pests*. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3ª edição. pp: 283-298. H Marschner, P Marschner, P. (Eds). Academic Press, London, Waltham

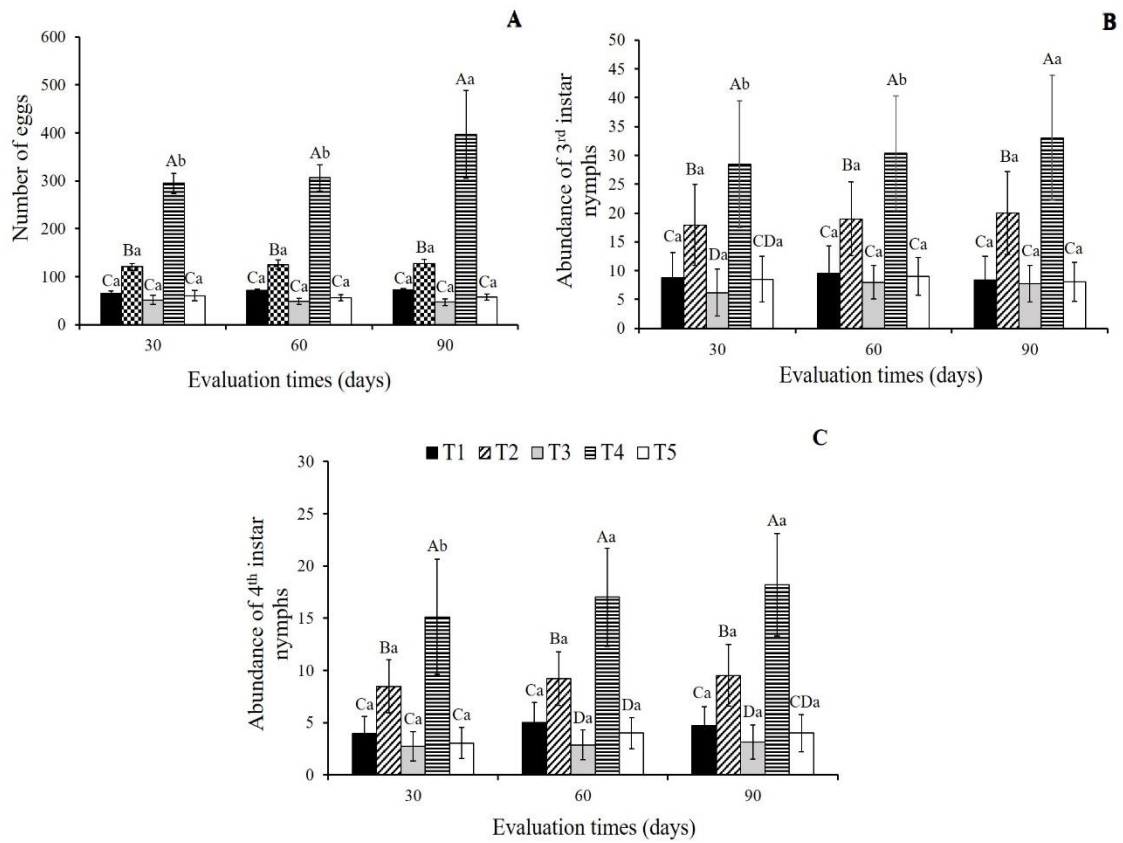
- Iac, Instituto Agronomico de Campinas (1997). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Instituto Agronomico/Fundação IAC, Furlani. Campinas, SP. 285p. (Boletim técnico 100)
- Labmet/Nugeo (2019). *Atlas do Maranhão*. UEMA, São Luís, MA
- Lopes GSL, RNS Lemos, JRG Araujo, LJP Marques, DL Vieira (2013). Preferência para oviposição e ciclo de vida de mosca-negra-dos-citros *Aleurocanthus woglumi* Ashby em espécies frutíferas. *Rev Bras Frutic* 35:738-745
- Mendonça MC, DM Oliveira, TS Santos, LMS Silva, AV Teodoro (2015). *Manejo Fitossanitário da Mosca-negra-dos-citros Aleurocanthus woglumi em Sergipe*. Embrapa, Aracaju, SE. 8 p. (Comunicado Técnico, 157)
- Nguyen R, AB Hamon, TR Fasulo (2019). *Citrus blackfly, Aleurocanthus woglumi Ashby (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae)*. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, US
- Oliva FA, MV Amin, D Fernandes, APV Pocaia, BC Lima, LO Carvalho, MAR Lima (2017). Cultura do limão no brasil: custo de produção e lucratividade. *Colloq Agrariae* 13:65-70
- Pinto DG, MAG Aguilar, CAS Souza, DM Silva, PR Siqueira, JR Cao (2014). Fotossíntese, crescimento e incidência de insetos-pragas em genótipos de cacau pulverizados com silício. *Biosci J* 30:715-724
- Raga A, JFM Basilli, DZ Soares (2012). Comportamento de oviposição da mosca- negra-dos-citros *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera: Aleyrodidae) em plantas cítricas. *Idesia* 30:111-114
- Raga A, N Felipe, R Imperato (2016). Population dynamic of citrus blackfly, *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera: Aleyrodidae), in tahiti lime in the eastern of the state of São Paulo, Brazil. *Annu Res Rev Biol* 11:1-7

- Silva MC, RNS Lemos, LHC Lima, LR Goullart Filho, SRF Pereira (2009). Variabilidade Genética de *Bemisia tabaci* (Gennadius) Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em Cultivos Olerícolas em São Luís, MA. *Neotrop Entomol [Online]* 38:762-768
- Silva, AG, AL Boiça Júnior, PRS Farias, JC Barbosa (2011). Infestação da mosca-negra-dos-citros em pomares de citros, em sistemas de plantio convencional e agroflorestal. *Rev Bras Frutic* 33:53-60
- Soares CG, RNS Lemos, AM Araujo, KKG Machado, CFM Pereira (2013). Distribuição de mosca branca em tomateiro fertilizado com adubação mineral e orgânica em ambiente protegido. *Rev Caatinga* 26:43-48
- Stirbet, A, Govindjee (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *J Photochem Photobiol B: Biol* 104:236-257
- Usda - United States Department of Agriculture (2020). *Foreign Agricultural Service. Citrus: World Markets and Trade*. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf> (Acesso em: 14 de abril de 2020)
- Vilela EF, RA Zucchi (2015). *Introduced Pest in Brazil: insects and mites. Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros*. FEALQ, Piracicaba, SP
- Wackers FL, JS Alberola, F Garcia-Marí, A Pekas (2017). Attract and distract: Manipulation of a food-mediated protective mutualism enhances natural pest control. *Agric Ecosyst Environ* 246:168-174



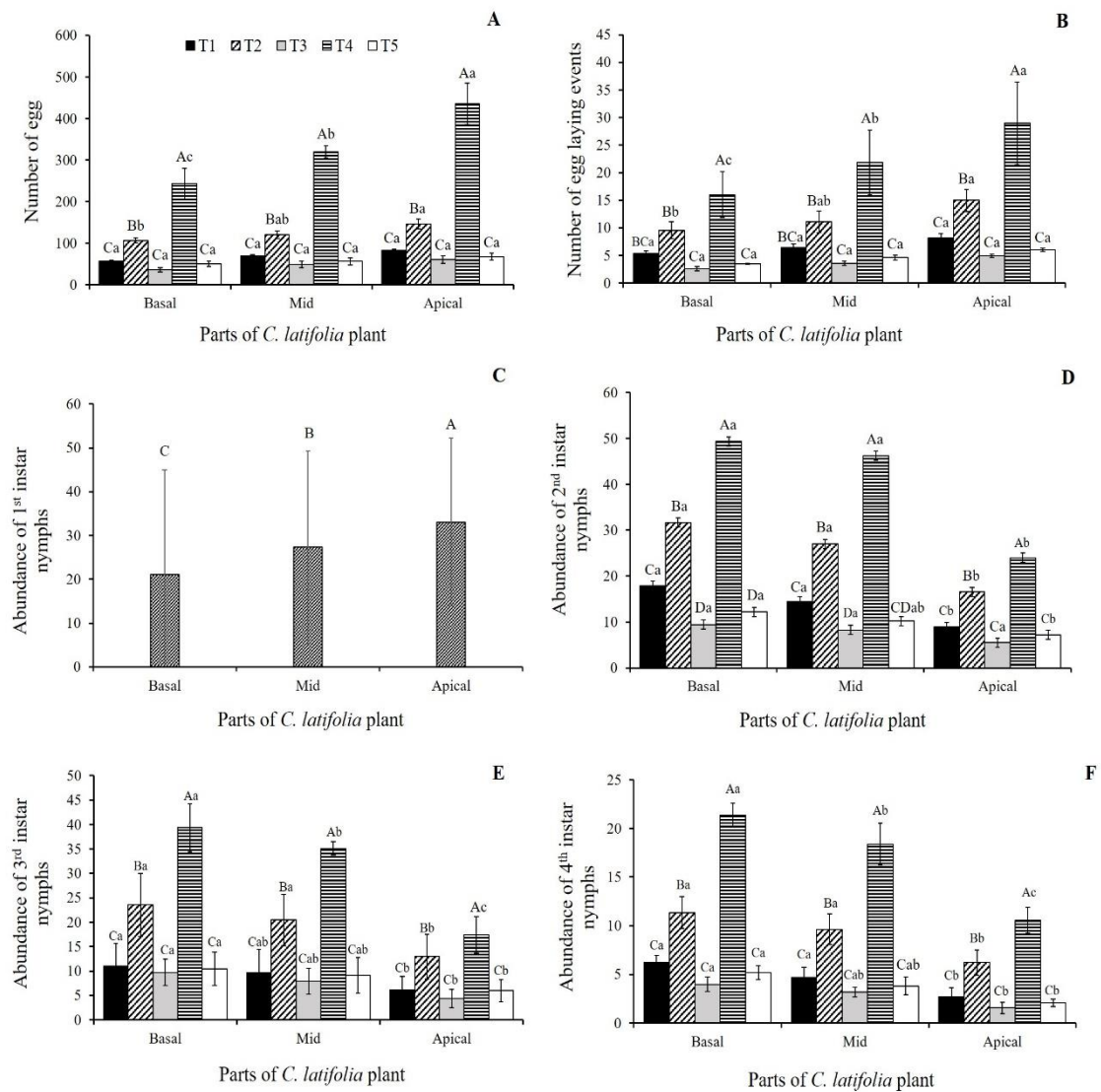
Means followed by the same letter in the treatments are not different by the Tukey's test at 5% probability level. Vertical lines indicate the standard deviation. (T1 = Control; T2 = organic fertilizer; T3 = organic fertilizer + K_2O_3Si ; T4 = NPK; T5 = NPK + K_2O_3Si).

Fig. 1 A-C: Mean number of egg laying events per plot (A), abundance of 1st instar nymphs per plot (B), and abundance of 2nd instar nymphs per plot (C) in *Citrus latifolia* plants infested with *Aleurocanthus woglumi* under soil organic and mineral fertilizer applications. Paço do Lumiar, MA, Brazil, 2019.



Means followed by the same uppercase letter in the treatments, or lowercase letter in the evaluation times, are not different by the Tukey's test at 5% probability level. Vertical lines indicate the standard deviation. (T1 = Control; T2 = organic fertilizer; T3 = organic fertilizer + K₂O₃Si; T4 = NPK; T5 = NPK + K₂O₃Si).

Fig. 2 A-C: Mean number of eggs per plot (A), abundance of 3rd instar nymphs per plot (B), and abundance of 4th instar nymphs per plot (C) in *Citrus latifolia* plants infested with *Aleurocanthus woglumi* under soil organic and mineral fertilizer applications. Paço do Lumiar, MA, Brazil, 2019.



Means followed by the same uppercase letter in the treatments, or lowercase letter in the leaf parts, are not different by the Tukey's test at 5% probability level. Vertical lines indicate the standard deviation. (T1 = Control; T2 = organic fertilizer; T3 = organic fertilizer + K_2O_3Si ; T4 = NPK; T5 = NPK + K_2O_3Si).

Fig. 3 A-F: Mean number of eggs per plot (A), number of egg laying events per plot (B), abundance of 1st instar nymphs per plot (C), abundance of 2nd instar nymphs per plot (D), abundance of 3rd instar nymphs per plot (E), and abundance of 4th instar nymphs per plot (F) on *Citrus latifolia* infested with *Aleurocanthus woglumi* under soil organic and mineral fertilizer applications. Paço do Lumiar, MA, Brazil, 2019.

CAPÍTULO 3

Ecophysiological changes in *Citrus latifolia* Tanaka infested with *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) and under organic and mineral fertilization

Artigo submetido à Revista Arthropod-Plant Interactions

Ecophysiological changes in *Citrus latifolia* Tanaka infested with *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) and under organic and mineral fertilization

Alirya Magda Santos do Vale Gomes¹, Raimunda Nonata Santos de Lemos², Fabrício de Oliveira Reis², Cristina Silva Carvalho³, Janaina Marques Mondego³, José Ribamar Gusmão Araujo², Ana Maria Silva de Araujo²

¹Agronomic Engineer, Doctoral student (Postgraduate Program in Agroecology), Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, Maranhão, Brazil. e-mail: alirya_magda@hotmail.com

²Adjunct Professor at the Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, Maranhão, Brazil. e-mail: rlemos@cca.uema.br (corresponding author), fareoli@gmail.com, gusmaoaraujo50@gmail.com, ana3araujo@yahoo.com.br

³Post Doctoral student (Graduate Program in Agroecology), Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, Maranhão. São Luís, Maranhão, Brazil. e-mail: carvalhoscristina@gmail.com, janainamondego@yahoo.com.br

Abstract

Aleurocanthus woglumi decreases the physiological performance of citric plants due to direct and indirect damages, causing expressive losses in fruit yield. The objective of the present work was to evaluate ecophysiological changes in *Citrus latifolia* plants infested with *A. woglumi* and subjected to organic and mineral fertilization. The experiment was conducted in a citrus orchard in the municipality of Paço do Lumiar, state of Maranhão, Brazil. Sixty Persian lime (*Citrus latifolia*) plants were randomly chosen and infested by citrus blackfly (*Aleurocanthus woglumi*). The treatments were composed by: soil without fertilization (Control); soil with organic fertilization (bovine manure); soil organic fertilization + potassium silicate (K₂O₃Si); NPK; and NPK + K₂O₃Si. The *A. woglumi* population density and the *Citrus latifolia* chlorophyll content and gas exchanges were evaluated. The plant treated with K₂O₃Si increased their production of photoassimilates due to increases in photosynthetic CO₂ assimilation and SPAD index, and are less susceptible to citrus blackfly attacks. Persian lime plants under NPK and organic fertilization have higher susceptibility to *A. woglumi* and physiological changes regarding the SPAD index, photosynthetic CO₂ assimilation, stomatal conductance, instantaneous transpiration, and leaf-to-air vapor pressure deficit (VPD), during the dry and rainy seasons.

Keywords: Citrus blackfly. Persian lime. Gas exchanges. Chlorophyll content. Potassium silicate

Introduction

Citrus is a large group of plants that encompasses species of the genera *Citrus*, *Fortunella*, and *Poncirus*, and hybrids of the Rutaceae family. It is represented mainly by oranges, tangerines, lemons, acid limes, and grapefruit (Lopes et al. 2011). *Citrus latifolia* Tanaka is among citrus species; it is known as Persian lime and its fruits are important in the citrus market due its good national and international acceptance (Oliva et al. 2017).

Despite the importance and use of technology for citrus production, some aspects require attention, such as plant protection factors (Oliveira et al. 2010), including the control citrus blackfly *Aleurocanthus woglumi* Ashby 1915 (Hemiptera: Aleyrodidae) (Vilela and Zucchi 2015). Although this insect is found in different plants, their main hosts are from the genus *Citrus* (Andrade et al. 2014). These insects are responsible for production losses of 20% to 80% (Mapa 2014).

The infestation of nymphs and adults of *A. woglumi* cause direct damages by sap suction in leaves and consequent depletion of plants; and indirect damages by excretion of a sugary solution termed honeydew, which cause the emergence of a fungus known as sooty mold (Moraes et al. 2014). This fungus can totally cover the leaf surface, reduce the photosynthesis process, hinder gas exchanges (Mapa 2014), and reduce respiration, nitrogen contents, and transpiration (Raga and Costa 2008; Lopes et al. 2009). High infestations of sooty mold can affect fruit formation and market value, and reduce fruit production (Zanuncio Junior et al. 2018).

Plants provide food, shelter, and reproduction sites for herbivorous insects (Silva et al. 2012). The choice for consumption of different plant parts by insects depend on the nutritional content and palatability of the plant (Del-claro and Torezan-Silingardi 2012). Thus, the essential minerals should be available in the soil and at adequate conditions for the development and reproduction of the plants for a normal production (Taiz and Zeiger 2013).

Excess or deficit of a nutrient can cause an unbalance that results in production losses by causing a physiological unbalance in the plant and altering metabolic process, leaving the plant susceptible to insect attacks (Silva et al. 2014). Therefore, the objective of the present work was to evaluate ecophysiological changes in *Citrus latifolia* plants infested with *A. woglumi* under organic and mineral fertilization.

Material and methods

Location and characterization of the experiment area

The experiment was conducted in the São Judas Tadeu citric crop orchard (2°30'4.9"S, 44°04'22.8"W, and altitude of approximately 4 m), in the municipality of Paço of Lumiar, state of Maranhão, Brazil, and in the Laboratory of Entomology of the Center for Agricultural Sciences of the State University of Maranhão (UEMA), from March 2017 to August 2019.

The commercial orchard was composed of citric plants of the varieties Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka), tangerine Tanjaroa (*Citrus reticulata* Blanco), tangerine Nissey (*Citrus reticulata* Blanco var. Nissey) and tangerine Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco var. Ponkan). Paço of Lumiar presents an Aw, tropical climate, according to the Köppen classification, with mean temperature of 28 °C and mean annual rainfall depth of 2,361.75 mm (Labmet-Nugeo 2019). The predominant soil class in this region is the Typic Hapludult (Argissolo Vermelho Amarelo; Embrapa 2006) of sandy-loam texture, according to the soil analysis of the Laboratory of Soil Chemistry of Technology Center of Rural Engineering of the UEMA (Tab. 1).

Tab. 1 Soil chemical characterization before the application of the treatments. São Luís, MA, Brazil

OM	pH	P	K	Ca	Mg	SB	H + Al	CEC	BS	K/CEC	Mg/CEC
g dm ⁻³		mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³						%		
13	6.0	20	2.6	18	15	35.6	12	47.6	75	5.5	31.5

OM = organic matter; SB = sum of bases; CEC = cation exchange capacity; BS = base saturation

Experimental design

The experiment was conducted using citrus plants of the variety Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) with six years of age, infested with *A. woglumi*. A randomized block design was used, in a 2 × 5 factorial arrangement (two times and five treatments), with four replications. The experimental unity consisted of three

plants. The treatments evaluated were: soil without fertilization (Control); soil with organic fertilization (bovine manure); soil organic fertilization + potassium silicate (K_2O_3Si); NPK; and NPK + K_2O_3Si .

Implementation and conduction of the experiment

The soil of the experimental area was prepared with application of lime (total neutralizing power of 70%) at $3.6 \text{ kg plant}^{-1}$ (Iac 1997), and 30 days later, the treatments with organic and mineral fertilizers were applied. The soil organic fertilizer (bovine manure) was applied in May 2017; the rate used was based on the literature (20 Mg ha^{-1} ; 5 L plant^{-1}).

The NPK fertilizer was applied to the canopy projection of the plants, based on the soil analysis (Tab. 1), using the formulation 16-5-10 (N- P_2O_5 - K_2O); $888.85 \text{ g plant}^{-1}$ of urea was split into three applications of $296.29 \text{ g plant}^{-1}$, and 500 g plant^{-1} of potassium chloride was split into three applications of $165.84 \text{ g plant}^{-1}$ in May, July, and October 2017; triple superphosphate was applied at the rate of $260.4 \text{ g plant}^{-1}$ in May 2017. Potassium silicate was applied in three applications with 30-day intervals at rate of $5 \text{ mL of } K_2O_3Si$ per liter of water per plant, using leaf application (Plant defender 2019). These fertilizer rates were applied in the subsequent year (2018) to all treatments, since the citrus crops are permanent and require annual soil fertilization.

Cultural practices recommended for citrus such as hoeing, pruning, and irrigation (micro sprinkler) were carried out during the experiment. Three evaluations in the rainy season (March, April, and May 2018) and three in the dry season (September, October, and November 2018) were carried out to determine the citrus blackfly population density, and estimate chlorophyll content and gas exchanges.

The population density of *A. woglumi* was evaluated in two leaves of the middle third of each plant, which were also used for infrared gas analyzer (IRGA) and SPAD readings. The leaves were collected and stored in identified plastic bags, placed in expanded polystyrene boxes, and sent to the Laboratory of Entomology of the UEMA for counting of number of oviposition events, eggs, and nymphs of *A. woglumi*, with the aid of a stereomicroscopic.

Chlorophyll contents was estimated using a portable chlorophyll meter (SPAD-502®; Konica Minolta Optics, Inc., Tokyo, Japan). Five readings per leaf infested with *A. woglumi* were done to obtain a mean, using two leaves of the middle third of the plants.

Gas exchanges were determined by evaluating photosynthetic CO_2 assimilation, stomatal conductance, instantaneous transpiration, internal CO_2 concentration in the leaf mesophyll (C_i), ratio between internal CO_2 concentration in the leaf mesophyll and external CO_2 concentration (C_i/C_a), and leaf-to-air vapor pressure deficit (VPD) of leaves of citrus plants infested with eggs, nymphs, pupae, and adults of *A. woglumi*. These parameters were evaluated using an IRGA portable gas exchange measurer system (LI-6400®, LI-COR, Lincoln, USA), and an artificial light (coupled to the IRGA system, with blue and red LEDs) with intensity of $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. The methodology was the same described for the SPAD, except for the number of readings, which were done with one reading in the mornings (7:00h to 10:00h) per leaf, using two fully expanded leaves of the middle third of the plants grown at full sun.

Statistical analysis

The data obtained were subjected to exploratory analysis by normality tests, and to analysis of variance (ANOVA). The means of the treatments were compared by the Tukey's test at 5% probability, using the Sisvar® program (Ferreira 2000).

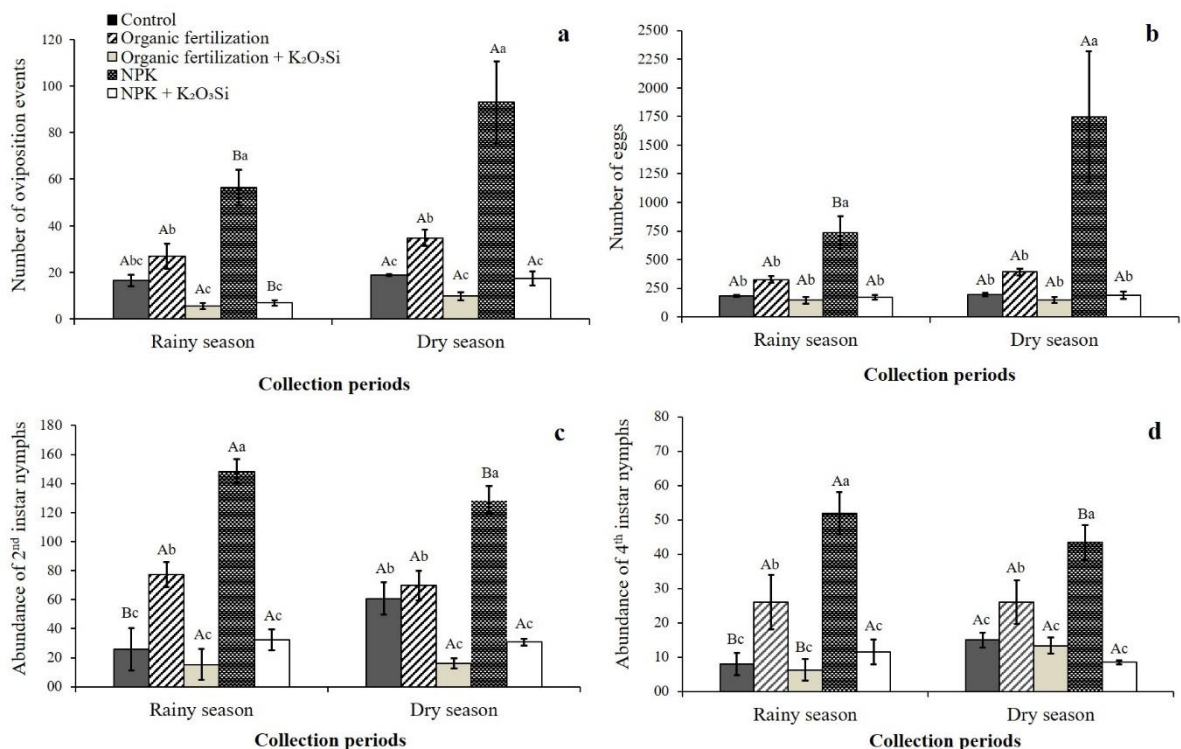
Results

A. woglumi population density

The results of number of oviposition events of *A. woglumi* ($F_{4,27} = 11.671$; $p < 0.05$) showed that the treatments organic fertilization + K_2O_3Si and NPK + K_2O_3Si presented the lowest mean numbers of oviposition events in the rainy and dry seasons, differing significantly from the other treatments (Fig. 1a). The treatment NPK presented the highest number of oviposition events during the rainy (56.3) and dry (93.0) seasons, differing from the other treatments (Fig. 1a). A higher number of oviposition events was found in the dry season for the treatments NPK and NPK + K_2O_3Si , with significant difference from the rainy season (Fig. 1a).

The treatment NPK increased the number of eggs of *A. woglumi* differing significantly from the other treatments in the rainy and dry seasons, with means of 736.3 and 1745.5 eggs ($F_{4,27} = 11.432$; $p < 0.05$), respectively (Fig. 1b). The results of abundance of 2nd instar nymphs ($F_{4,27} = 8.202$; $p < 0.05$) showed that the treatment NPK had higher number of insects in the dry (128.5) and rainy (148.3) seasons, differing significantly from the other treatments. The treatments with K_2O_3Si resulted in lower number of nymphs of *A. woglumi* in the dry season, differing significantly from the other treatments (Fig. 1c).

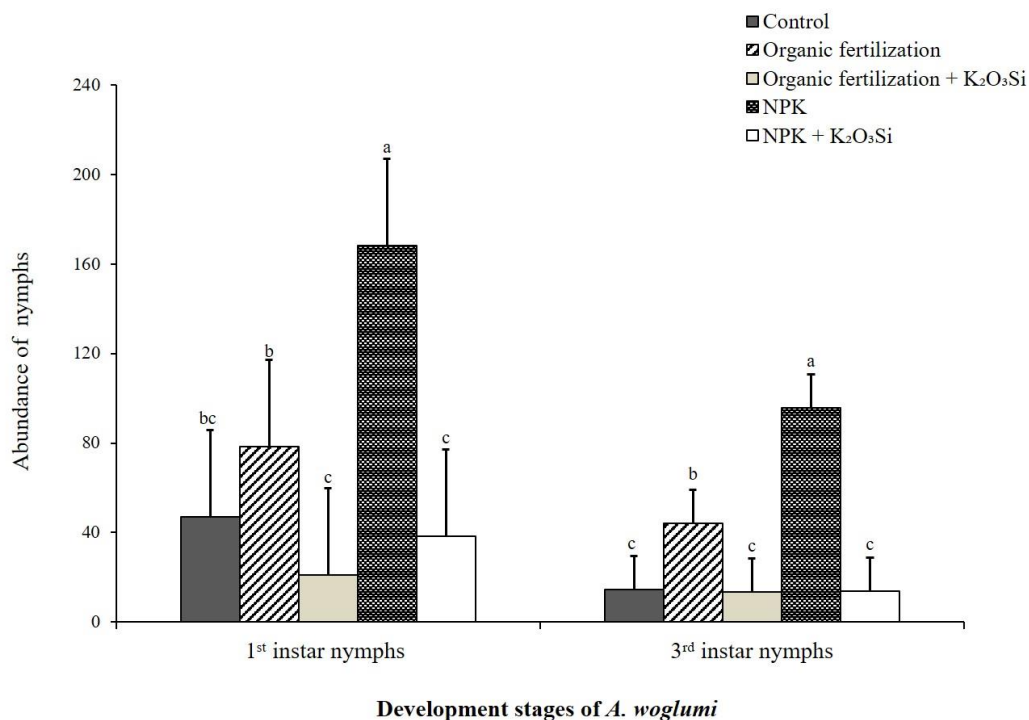
The treatments with K_2O_3Si decreased the incidence of 4th instar nymphs in the rainy and dry seasons, not differing from the Control ($F_{4,27} = 4.074$; $p < 0.05$). The incidence of insects in the treatments organic fertilization + K_2O_3Si and Control was higher in the dry season; however, the abundance of nymphs in the treatment NPK was higher in the rainy season, with mean of 52.0 of 4th instar nymphs of *A. woglumi*. (Fig. 1d).



Means followed by the same uppercase letter comparing seasons and lowercase letters comparing treatments are not different by the Tukey's test at 5% of probability. Vertical bars indicate the standard deviation

Fig. 1 Mean number of oviposition events (a), number of eggs (b), abundance of 2nd instar nymphs (c) and abundance of 4th instar nymphs (d) in a *Citrus latifolia* orchard infested with *Aleurocanthus woglumi* under organic and mineral fertilization in the rainy and dry seasons. São Luís, MA, Brazil

The interaction between treatments and seasons was not significant for abundance of 1st and 3rd instar nymphs; therefore, only the effect of the treatments was evaluated for these development stages of *A. woglumi* (Fig. 2). The treatments Control, organic fertilization + K₂O₃Si, and NPK + K₂O₃Si presented the lowest means for incidence of 1st instar ($F_{3,27} = 38.432$; $p < 0.05$) and 3rd instar ($F_{4,27} = 97.548$; $p < 0.05$) nymphs of *A. woglumi*. The treatment NPK resulted in higher incidence of 1st instar (168.1) and 3rd instar (95.9) nymphs of *A. woglumi*, differing significantly from the other treatments (Fig. 2).

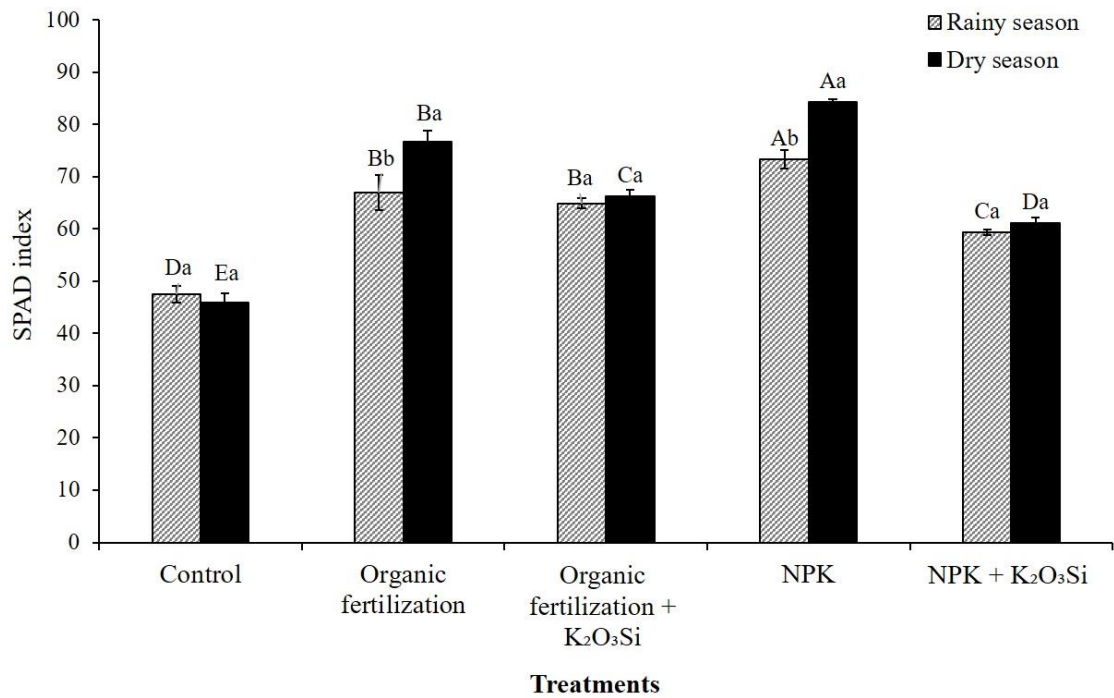


Means followed by the same letter within the same development stage are not different by the Tukey's test at 5% of probability. Vertical bars indicate the standard deviation

Fig. 2 Mean number of 1st and 3rd instar nymphs in a *Citrus latifolia* orchard infested with *Aleurocanthus woglumi* under organic and mineral fertilization in the rainy and dry seasons. São Luís, MA, Brazil

Chlorophyll content estimates

The mean SPAD index of the Persian lime plants ($F_{4,27} = 24.962$; $p < 0.05$) showed that the treatments presented differences in chlorophyll content in the dry season, with mean SPAD index of 46.0 to 84.3 for the Control and the treatment NPK, respectively (Fig. 3). The treatment NPK presented SPAD index of 73.3 in the rainy season, differing from the other treatments; and the means of the treatments organic fertilization and organic fertilization + K₂O₃Si were similar (Fig. 3).



Means followed by the same uppercase letter comparing treatments and lowercase letters comparing seasons are not different by the Tukey's test at 5% of probability. Vertical bars indicate the standard deviation

Fig. 3 Mean SPAD index in a *Citrus latifolia* orchard infested with *Aleurocanthus woglumi* under organic and mineral fertilization in the rainy and dry seasons. São Luís, MA, Brazil

Gas exchanges

The analysis of variance for gas exchange parameters showed a significant effect of the treatments for photosynthetic CO₂ assimilation ($F_{4,27} = 29.941$; $p < 0.05$), stomatal conductance (g_s) ($F_{4,27} = 10.402$; $p < 0.05$), instantaneous transpiration ($F_{4,27} = 11.696$; $p < 0.05$) and leaf-to-air vapor pressure deficit (VPD) ($F_{4,27} = 7.919$; $p < 0.05$). No significant effect of treatments was found for internal CO₂ concentration in the leaf mesophyll (C_i) ($F_{4,27} = 2.743$; $p = 0.0491$), and ratio between internal CO₂ concentration in the leaf mesophyll and external CO₂ concentration (C_i/C_a) ($F_{4,27} = 2.065$; $p = 0.1134$). The seasons (dry and rainy) had significant effect only on C_i/C_a ($F_{4,27} = 5.438$; $p < 0.05$).

The higher photosynthetic CO₂ assimilation (A) were found for Persian lime plants in the treatments organic fertilization + K₂O₃Si, NPK + K₂O₃Si, and Control, with 12.13, 11.09, and 10.05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively, which were significantly different from the other treatments (Tab. 2). The treatments without K₂O₃Si had 49.9% (NPK), and 58.1% (organic fertilization) lower A , and the treatments organic fertilization + K₂O₃Si, and NPK + K₂O₃Si had 20.7% and 10.3% higher A than the Control, respectively.

The highest g_s were found in the treatments organic fertilization + K₂O₃Si (0.19 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and NPK + K₂O₃Si (0.17 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), which were not different from the Control (0.15 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tab. 2). Significantly lower g_s was found in the treatments without K₂O₃Si, which was 53.3% lower for the treatment NPK and organic fertilization; the treatments organic fertilization + K₂O₃Si, and NPK + K₂O₃Si had 26.7% and 13.3% higher g_s , respectively, when compared to the Control.

The treatments NPK + K₂O₃Si (5.01 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and soil organic fertilization + K₂O₃Si (5.37 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) presented the highest instantaneous transpiration (E), differing significantly from the other treatments (Tab.

2). The treatments and seasons had no effect on Ci and Ci/Ca, which presented means of 225.57 mg dm⁻³ to 270.64 mg dm⁻³ for Ci, and 0.59 to 0.71 for Ci/Ca (Tab. 2). The VPD was higher in the treatments organic fertilization (3.56 kPa) and NPK (3.54 kPa), differing significantly from the others (Tab. 2).

The evaluation of the seasons showed that, in general, there were no significant effect on A, gS, E, Ci, and VPD (kPa). Difference was found only for Ci/Ca, which was higher in the dry season when compared to the rainy season (Tab. 2).

Tab. 2 Mean and standard deviations of photosynthetic CO₂ assimilation (A), stomatal conductance (gS), instantaneous transpiration (E), internal CO₂ concentration in the leaf mesophyll (Ci), ratio between internal CO₂ concentration in the leaf mesophyll and external CO₂ concentration (Ci/Ca) and leaf-to-air vapor pressure deficit (VPD) in a *Citrus latifolia* orchard infested with *Aleurocanthus woglumi* under organic and mineral fertilization in the rainy and dry seasons. São Luís, MA, Brazil

Factors	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	gS ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ci (mm dm^{-3})	Ci/Ca	VPD kPa
Fertilization						
Control	10.05±1.86 a	0.15±0.06 ab	4.12±0.86 ab	227.88±32.38 a	0.62±0.09 a	3.02±0.53 b
Organic	4.21±2.31 b	0.07±0.03 bc	2.63±0.78 bc	270.64±33.12 a	0.71±0.08 a	3.56±0.47 a
Organic + K ₂ O ₃ Si	12.13±2.57 a	0.19±0.07 a	5.37±1.61 a	235.02±29.87 a	0.64±0.09 a	3.01± 0.45 b
NPK	5.03±1.22 b	0.07±0.03 c	2.49±1.07 c	225.57±34.12 a	0.59±0.09 a	3.54±0.25 a
NPK + K ₂ O ₃ Si	11.09±1.83 a	0.17±0.04 a	5.01±1.01 a	240.71±15.88 a	0.65±0.04 a	3.03±0.27 b
Season						
Rainy	8.73±2.67 a	0.12±0.05 a	3.77±1.35 a	230.45±38.52 a	0.61±0.10 b	3.18±0.48 a
Dry	8.28±1.25 a	0.14±0.04 a	4.08±0.78 a	249.47±19.64 a	0.68±0.05 a	3.02±0.30 a

Means followed of same lowercase letter within the treatments and seasons are not different by the Tukey's test at 5% probability

Discussion

The effect of soil fertilization on Persian lime plants under infestation of *A. woglumi* in the dry and rainy seasons showed that the treatments with potassium silicate (K₂O₃Si) result in lower number of oviposition events, eggs, and nymphs of this insect (Fig. 1, Fig. 2). This result can be related to the formation of a physical barrier on the plant tissue because of the accumulation of amorphous silicon in the cell wall, which increases the toughness of plant tissues, causing damages to the mouths of chewing and sucking insects (Massey and Hartley 2009). Moreover, adult insects that do not die from starving, due to the silicon accumulation in the leaves, have decreases in their fertility (eggs per female) (Alvarenga et al. 2017) because of the lack of nutrients needed for their proper development. These results confirm those of Gomes et al. (2008), who found that silicon applications contribute to decrease damages of *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae) and *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) in English potato crops under organic system.

The number of Persian lime plants with symptoms caused by *A. woglumi* was more pronounced in treatments with NPK (Fig. 1, Fig. 2), probably due to the fast nutrient assimilation in these treatments, which causes a higher soluble nitrogen accumulation in the plants. According to Mattson (1980), the quantity of free amino acids increases depending on of the nitrogen source used; these amino acids are important for phytophagous insects, which is supported by the trophobiosis theory (Chaboussou 1987), since plants or plant parts will be susceptible to the insect when its sap have the exactly food that the insect needs. Vilanova and Silva Junior (2010)

and Zambolim and Ventura (2012) reported that the application of highly soluble chemical fertilizers (NPK, urea, KCl, and superphosphates) increases the proteolysis rate, and make possible the insect growth and development.

The results of the present work is supported by studies of Rodrigues et al. (2003) with populations of *Aleurothrixus floccosus* (Maskell) (Hemiptera: Aleyrodidae) in a Ponkan tangerine orchard, in which plants treated with NPK had better development; and Soares et al. (2013), who found higher incidence of nymphs of *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) Biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato plants treated with NPK.

The SPAD index were high in treatments with K_2O_3Si (Fig. 3) possibly due to the silicon accumulation in epidermal cells in the plant shoots, which improved the opening angle of leaves making them more erect, decreased auto-shading, and favored a better use of light for photosynthesis, as shown by Korndorfer et al. (1999). According to Lima Filho and Tsai (2007), the presence of silicon increases the production of photoassimilates of plants, by increasing the photosynthetic rate. Thus, the application of high levels of silicon tend to increase nitrogen absorption, which favors the incidence of insects, as found in the treatment NPK, which resulted in a higher incidence of *A. woglumi* in citrus plants.

According to Torres Netto et al. (2005), SPAD indexes lower than 40 indicate the beginning of chlorophyll deficiency, which affects the photosynthetic process. However, Netto et al. (2002) reported that high SPAD indexes are related to high leaf nitrogen contents. Nitrogen constitutes 15% to 20% of total of the leaf N, and when the plants present barriers that impede the light to reach the leaves, this index can increase in up to 60%, due to the activity of N compounds in these organs (Evans and Porter 2001).

The higher SPAD index found in the treatment NPK (Fig. 3) may be related to the plant's capacity in stimulate chlorophyll synthesis due to low light intensity, which is responsible for the degradation of chlorophyll (Taiz and Zeiger 2013). Therefore, the metabolism of plants under NPK fertilization (Fig. 3) may have underwent biochemical and physiological changes due to nutritional unbalance, since they presented higher infestation of *A. woglumi* (Fig. 1, Fig. 2), which demands higher energy investment in production of pigments that capture photons of light, which can absorb and use practically all light that reaches the leaf (Aoyama and Mazzoni 2006).

Different SPAD indexes due to attack by sucking insects were also found by Goławska et al. (2010) for four legume species attacked by aphids (Hemiptera: Aphididae); alfalfa presented 96% correlation between insect density and SPAD index. This stimulation of chlorophyll synthesis is similar to that developed by shaded plants and leaves (Siebeneichler et al. 2008), which present high chlorophyll-b content (Blankenship 2009). This was also found by Martinazzo et al. (2007) for *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) when evaluating the effect of shading levels; they attributed this result to the considerable plasticity of leaf structures according to variations in light regime.

The SPAD indexes in citric plants in the dry seasons was higher in the treatments NPK, organic fertilization, and NPK + K_2O_3Si (Fig. 3), denoting that leaves invested more energy in the production of pigments that capture photons of light, allowing the absorption and use of practically all the light that reaches the leaf during the dry season; different results were found by Siebeneichler et al. (2008).

The highest photosynthesis (*A*) were found for the treatments with K_2O_3Si (Tab. 2). According to Machado et al. (2010), *A* varies from 4.0 to 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and an *A* lower than 4.0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ denotes stress conditions for plants. Thus, the results found show that K_2O_3Si may have resulted in resistance of plants by its deposition, forming a physical barrier to penetration and feed of insects (Camargo et al. 2008). First works on silicon application presented satisfactory results to some crops, with positive effect on increasing resistance to

sucking and chewing insect-pests (Pinto et al. 2012; Souza et al. 2012). According to Song et al. (2014), Si application can protect photosynthetic pigments and decrease damages to the ultrastructure of chloroplasts caused, for example, by excess light radiation and free radical accumulation.

Contrastingly, the lower A found in the treatments NPK and soil organic fertilization (Tab. 2) indicate that chemical and organic fertilizers favored the oviposition preference of citrus blackfly females by providing the emergence of new and soft leaves that make possible a better development of nymphs, according to Soares et al. (2013). Such results confirm those of Gomes et al. (2019), who found 70% lower photosynthetic CO_2 assimilation in Persian lime, Tanjaroa, Nissey, and Ponkan plants infested with *A. woglumi*. In addition, Golan et al. (2015) found that high infestation levels of *Coccus hesperidum* L. 1758 (Hemiptera: Coccidae) decrease concentrations of chlorophyll, carotenes, and photosynthetic activity of lemon and fern plants.

The results found for gS were within the ideal range, which according to Medina et al. (2005) is 0.1 to 0.3 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The treatments with $\text{K}_2\text{O}_3\text{Si}$ (Tab. 2) had higher gS ; Pinto et al. (2012) found similar results for physiological changes after silicon application in cacao plants, with lower feed preference of aphids in plants treated with Si. This denotes that Si triggers a series of events that compose biochemical defense mechanisms of the plant. The treatments NPK and soil organic fertilization (Tab. 2) presented the lowest gS , increasing their susceptibility to *A. woglumi* (Fig. 1, Fig. 2). Plants presented a parallel decrease in photosynthesis and stomatal conductance (Tab. 2), since, when stomatal opening is not limited, the CO_2 in the substomatal chamber is lower, meaning less CO_2 for the photosynthesis, probably due to damages cause by insects in citric plants subjected to mineral and organic fertilization.

The sucking insect activity can affect physiological parameters, since plants with less damages caused by insects perform photosynthesis, grow, and reproduce more efficiently than those with damages (Zvereva et al. 2010). This effect was reported by Gomes et al. (2019), who found decreases in photosynthetic rate, transpiration, and stomatal conductance in citrus plants under stress caused by citrus blackfly infestation in field conditions. The results found also confirm those of Soares et al. (2017), who found effects on photosynthetic parameters and the stomatal component of sugarcane plants infested with *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae). In addition, Costa et al. (2017) reported that some physiological parameters of leaf of melon plants were affected by increasing the infestation level of larvae of *Liriomyza sativae* Blanchard 1938 (Diptera: Agromyzidae); and Neves et al. (2006) found a negative correlation between photosynthesis and infestation level of *Orthezia praelonga* Douglas, 1891 (Hemiptera: Ortheziidae) and *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville and Perrottet 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) in citric and coffee plants.

Despite the low transpiration (Tab. 2) found, the results were within the ideal range for citrus (1.0 to 12 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) according to Medina et al. (2005). The transpiration dynamics is related to stomatal conductance, plants with high transpiration also present high stomatal conductance, i.e., higher gas exchanges are related to higher gS , as found by Magalhães Filho et al. (2008) and Brito et al. (2012). Thus, transpiration and photosynthesis usually present the same trend, since CO_2 assimilation is associated to plant water loss to the environment (Andrade Júnior et al. 2011; Fernandes et al. 2011).

The Persian lime plants under treatment with $\text{K}_2\text{O}_3\text{Si}$ presented higher transpiration means (Tab. 2), denoting that plants under this Si rate have higher transpiration and higher photosynthetic CO_2 assimilation gain due the greater stomatal opening. This increase in photosynthesis due to Si application was found for tomato plants by Romero-Aranda et al. (2006). The increases in carboxylation may have increased photosynthetic CO_2

assimilation, since the Si rates used had no effect on the internal CO₂ concentration in the leaf mesophyll, as found in the present work (Tab. 2).

According to Soares et al. (2017), the combination of mechanical and saliva stimuli of the insects favors the physiological changes at the feeding site, and transport of photoassimilates in the phloem and nutrients in the xylem may decrease, as well as photosynthetic CO₂ assimilation, stomatal conductance, and transpiration. This was confirmed in the present work by the treatments NPK and soil organic fertilization (Tab. 2), and by Panizzi and Parra (2009), who found that nutrient availability to plants can favor the insects-pest performance by the rates and combinations between several components.

The results of internal CO₂ concentration in the leaf mesophyll (C_i) (Tab. 2) showed that the treatments applied and the incidence of insects in the leaves did not hinder the CO₂ accumulation in the substomatal chamber of Persian lime plants, since there was no differences between treatments, and they remained within the ideal range for citrus plants (200 and 250 mg dm⁻³) (Medina et al. 2005). Thus, besides the decreases in photosynthetic CO₂ assimilation, increases in C_i in the treatments are due to the environmental carbon intake not used by the photosynthetic apparatus, as found also by Soares et al. (2017).

The increases in C_i were not correspondent to the increases in photosynthetic CO₂ assimilation, i.e., the photosynthetic apparatus of plants in treatments were at efficient levels. The decreases in stomatal opening in plants under stress caused by citrus blackfly decreased transpiration and net photosynthesis. However, despite the decreases in stomatal opening, C_i increased possibly due to the photorespiration activity of plants in all treatments. These results of C_i with low gS was also found by Rouhi et al. (2007) and Singh and Reddy (2011). In a work conducted by Gomes et al. (2019), higher C_i/C_a were found in the citric plants when the photosynthetic apparatus remained at efficient levels under stress caused by *A. woglumi*.

Although the treatments presented no differences in leaf-to-air vapor pressure deficit (VPD) (Tab. 2), the means were high, since a VPD between 1.0 and 0.2 kPa have little effect on physiological process of plants, such as photosynthesis. The high VPD found may be related to the low atmospheric water, air temperature, and leaf temperature (Machado Filho et al. 2006), which can obstruct the xylem and increase root resistance. This action can potentialize effects of VPD, since it did not affect the stomatal opening. Another explanation for the high VPD is the xylem sap flux and environmental variables, although these relations can vary between plants (Reis et al. 2009). Santos et al. (2013) also found high VPD and negative correlation between VPD and stomata opening of leaves of citric plants.

Conclusions

Persian lime plants grown in soils fertilized with NPK + potassium silicate (K₂O₃Si) and with organic fertilizer + K₂O₃Si are less susceptible to *A. woglumi* and are efficient in photosynthetic CO₂ assimilation, stomatal conductance, instantaneous transpiration, internal CO₂ concentration in the leaf mesophyll (C_i), ratio between internal CO₂ concentration in the leaf mesophyll and external CO₂ concentration (C_i/C_a), and leaf-to-air vapor pressure deficit (VPD), in the dry and rainy seasons;

The application of K₂O₃Si increases the production of photoassimilates in Persian lime with increases in the photosynthetic rate and SPAD index;

Persian lime plants in soils fertilized with NPK and organic fertilizer present higher susceptibility to *A. woglumi*, and their SPAD index, photosynthetic CO₂ assimilation, stomatal conductance, instantaneous transpiration, and VPD are altered in dry and rainy seasons.

References

- Alvarenga R, Moraes J, Auad A, Coelho M, Nascimento A (2017) Induction of resistance of corn plants to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) by application of silicon and gibberellic acid. *Bull Entomol Res* 107: 527-533. <https://doi.org/10.1017/S0007485316001176>
- Andrade Júnior WP de, Pereira FHF, Fernandes OB, Queiroga RCF, Queiroga FM (2011) Efeito do nitrato de potássio na redução do estresse salino no meloeiro. *Rev Caatinga* 24: 110-119
- Andrade DJ, Ferreira MC, Martinelli NM (2014) Citrus Phytosanitary Aspects. Aspectos da fitossanidade em citros. Jaboticabal: Cultura Acadêmica, p. 119-141
- Aoyama EM, Mazzoni SC (2006) Adaptações estruturais das plantas ao ambiente. Instituto de Botânica-IBt, São Paulo
- Blankenship RE (2009) Fotossíntese: As Reações Luminosas. In: Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia Vegetal*. Artmed, Porto Alegre, p.147-181
- Brito MEB, Soares LA dos A, Fernandes PD, Lima GS, Sá FV da S, Melo AS (2012) Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. *Rev Bras Ciênc Agrár* 7: 857-865. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7isa1941>
- Camargo JMM, Moraes JC, Oliveira EB de, Iede ET (2008) Resistência induzida ao pulgão-gigante-do-pinus (Hemiptera: Aphididae) em plantas de *Pinus taeda* adubadas com silício. *Bragantia* 67: 927-932. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400015>
- Chaboussou F (1987) Plantas Doentes pelo uso de Agrotóxicos: A Teoria da trofobiose. L&PM. Porto Alegre.
- Costa E, Freitas R, Silva P, Araujo E (2017) Determination of damaged leaf area and physiological responses of melon plants submitted to different levels of infestation by *Liriomyza sativae*. *Hortic Bras* 35: 571-575. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170415>
- Del-Claro K, Torezan-Silingardi HM (2012) Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva. Technical Books, Rio de Janeiro
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro
- Evans JR, Poorter H (2001) Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ* 24: 755-767. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00724.x>
- Fernandes PD, Brito MEB, Gheyi HR, Soares Filho W dos S, Melo AS de, Carneiro PT (2011) Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. *Acta Sci Agron* 33: 259-267. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.5582>
- Ferreira DF (2000) Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In... Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45. São Carlos, SP: SIB

- Golan K, Rubinowska K, Kmiec K, Kot I, Górska-Drabik E, Lagowska B, Michalek (2015) Impact of scale insect infestation on the content of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in two host plant species. *Arth Plant Int* 9: 55-65. <https://doi.org/10.1007/s11829-014-9339-7>
- Goławska S, Krzyzanowski R, Łukasik I (2010) Relationship between aphid infestation and chlorophyll content in fabaceae species. *Acta Biol Cracov, Series Bot* 2: 76-80. <https://doi.org/10.2478/v10182-010-0026-4>
- Gomes AMS do V, Reis F de O, Lemos RNS de, Mondego JM, Braun H, Araujo JRG (2019) Physiological characteristics of citrus plants infested with citrus blackfly. *Rev Bras Entomol* 63: 119-123. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2019.02.002>
- Gomes FB, Moraes JC, Assis GA (2008) Silício e imidacloprid na colonização de plantas por *Myzus persicae* e no desenvolvimento vegetativo de batata inglesa. *Ciênc Rural* 38: 1209-1213. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000500001>
- Iac, Instituto Agronomico de Campinas (1997) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Furlani. Campinas, Instituto Agronomico/Fundação IAC, 285p. (Boletim técnico 100)
- Korndörfer GH, Arantes VA, Correa GF, Snyder GH (1999) Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *Rev Bras Ciênc Solo* 23: 635-41. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300017>
- Labmet/ Nugeo (2019) Atlas do Maranhão. UEMA, São Luís-MA
- Lima Filho OF, Tsai SM (2007) Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Agropecuária Oeste*
- Lopes EB, Albuquerque IC, Costa FR, Borges JAM (2009) Mosca-negra-dos-citros (*Aleurocanthus woglumi* Ashby) (Hemiptera: Aleyrodidae) chega à Paraíba. Relatório Técnico-Fitossanitário, EMEPA-PB: Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A, Lagoa Seca, PB
- Lopes JMS, Déo TFG, Andre BJM, Girot M, Felip ALS, Junior CEI, Bueno CEMS, Silva TF, Lima FCC (2011) Importância econômica dos citros no Brasil. *Rev Cient Agronomia. FAEF, Garça, SP*
- Machado DFSP, Machado EC, Machado RS, Ribeiro RV (2010) Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranjeira “valência”. *Rev Bras Frutic* 32: 351-359. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000064>
- Machado Filho JA, Campostrini E, Yamanishi OK, Fagundes GR (2006) Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. *Bragantia* 65: 185-196. <https://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000200001>
- Magalhães Filho JR, Amaral LR, Machado DFSP, Medina CL, Machado EC (2008) Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. *Bragantia* 67: 693-699. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100009>
- Mapa - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2014) Lista de pragas quarentenárias presentes (A2). <http://extra-net.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/servlet/VisualizarAnexo?id=14644>. Acessado em 06 de setembro de 2019
- Martinazzo EG, Anese S, Wandscheer ACD, Pastorini LH (2007) Efeito do Sombreamento sobre o Crescimento Inicial e Teor de Clorofila Foliar de *Eugenia uniflora* Linn (Pitanga) – Família Myrtaceae. *Rev Bras Bioc* 5: 162-164

- Massey FP, Hartley SE (2009) Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. *J Anim Ecol* 78: 281-291. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01472.x>
- Mattson, SM (1980) Importância do nitrogênio e seus adubos amoniacais para os insetos filófagos. *Hort Bras* 10:23-27
- Medina CL, Rena AB, Siqueira DL, Machado EC (2005) Fisiologia dos citros. In: Mattos Junior D, Negri JR, Pio RM, Pompeu Junior J (Ed) (2005) Citros. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, p. 149-195
- Moraes BC de, Souza EB de, Ribeiro JBM, Ferreira DB da S, Mello WJ de, Maia S (2014) Impactos das mudanças climáticas na ecoclimatologia de *Aleurocanthus woglumi*, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae) no Estado do Pará. *Rev Bras Meteorol* 29: 77-84. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000100008>
- Netto AT, Campostrini E, Oliveira JG, Yamanishi OK (2002) Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian J Plant Physiol* 14: 203-210. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202002000300004>
- Neves A, Oliveira R, Parra JÁ (2006) A new concept for insect damage evaluation based on plant physiological variables. *An Acad Bras Ciênc* 78: 821– 835. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400015>
- Oliva FA, Amin MV, Fernandes D, Pocaia APV, Lima BC de, Carvalho LO, Lima MAR de (2017) Cultura do limão no brasil: custo de produção e lucratividade. *Colloq Agrariae* 13: 65-70. <https://doi.org/10.5747/ca.2017>
- Oliveira RP, Scivittaro WB, Schroder EC, Esswein FJ (2010) Produção de citros orgânico no Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado
- Panizzi AR, Parra JRP (2009) Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF
- Plant defender (2019) Fertilisilicio/ Recomendação. <http://plantdefender.com.br/produtos/fertilisilicio/>. Acessado em 10 de dezembro de 2019
- Pinto DG, Aguilar MAG, Souza CAS, Silva DM, Siqueira PR, Cao JR, Zanetti LV (2012) Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. *Rev Ceres* 59: 360-367. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300010>
- Raga A, Costa VA (2008) Mosca-negra-dos-citros. São Paulo: Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, p. 1-9 (Documento Técnico, 001)
- Reis FO, Campostrini E, Sousa EF (2009) Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro ‘golden’ cultivado por microaspersão sobre copa: relações com as variáveis ambientais. *Bragantia* 68: 285-294. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000200001>
- Rodrigues WC, Cassino PCR (2003) Efeitos da adubação nitrogenada e potássica sobre a população de *Aleurothrixus floccosus* (homoptera, aleyrodidae), em laranja doce (*Citrus sinensis*) cv. folha murcha. *Rev Univers Rural* 22: 55-59
- Romero-Aranda MR, Jurado O, Cuartero J (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *J Plant Physiol* 163: 847–855. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.05.010>

- Rouhi V, Samson R, Lemeur R, Damme PV (2007) Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environ Exp Bot* 59: 117-29. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.10.001>
- Santos CM, Verissimo V, Wanderley Filho HC, Ferreira VM, Cavalcante PG, Rolim EV, Endres L (2013) Seasonal variations of photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi-arid areas subject to water stress. *Ind Crops Prod* 41: 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.003>
- Siebeneichler SC, Freitas GA de, Silva RR da, Adorian GC, Capellari D (2008) Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (vell.) tol. em condições de luminosidade. *Acta Amaz* 38: 467-472. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000300011>
- Silva JG, Batista JL, Silva JG, Brito CH (2012) Use of vegetable oils in the control of the citrus black fly, *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Rev Colomb Entomol* 38: 182-186
- Silva MA, Santos CM, Vitorino HS, Rhein AF (2014) Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Biosci J* 30: 173-181
- Singh SK, Reddy KR (2011) Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] walp.) under drought. *J Photochem Photobiol B: Biol* 105: 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.07.001>
- Soares CG, Lemos RNS, Araujo AMS, Machado KKG, Pereira CFM (2013) Distribuição de mosca branca em tomateiro fertilizado com adubação mineral e orgânica em ambiente protegido. *Rev Caatinga* 26: 43-48
- Soares BO, Chaves V de V, Tomaz AC, Kuki KN, Peternelli LA, Barbosa MHP (2017) Efeito do ataque de *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae) aos parâmetros fotossintéticos de genótipos de cana-de-açúcar de suscetibilidade contrastante. *J Econ Entomol* 10: 2686-2691. <https://doi.org/10.1093/jee/tox239>
- Song A, Li P, Fan F, Li Z, Liang Y (2014) The effect of silicon on photosynthesis and expression of its relevant genes in rice (*Oryza sativa* L.) under high-zinc stress. *Plos One* 9: 1-21 doi: 10.1371/journal.pone.0113782
- Souza CAS, Pinto DG, Aguilar MAG, Coelho RL, Gasparini Junior AJ, Cao JR, Braga TZ, Siqueira PR (2012) Influência do silício sobre o crescimento, a fluorescência da clorofila a e na incidência de insetos-pragas em genótipos de cacau. *Agrotropica* 1: 31-40. <https://doi.org/10.21757/0103-3816.2012v24n1p31-40>
- Taiz L, Zeiger E (2013) Fisiologia vegetal. Artmed, Porto Alegre
- Torres Netto A, Campostrini E, Oliveira JG, Bressan-Smith RE (2005) Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Sci Hortic* 104: 199-209. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.013>
- Vilanova C, Silva Junior CD (2010) Avaliação da trofobiose quanto às respostas ecofisiológicas e bioquímicas de couve e pimentão, sob cultivos orgânico e convencional. *Rev Bras Agroecol* 5: 127-137
- Vilela EF, Zucchi RA (2015) Introduced Pest in Brazil: insects and mites. *Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros*. Fealq, Piracicaba
- Zambolim L, Ventura JÁ (2012) Efeito do nitrogênio na interação com doenças de plantas. In: Zambolim L, Ventura JÁ, Zanão Júnior LA. Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de Plantas, Viçosa, MG

- Zanuncio Junior JS, Fornazier MJ, Santana JVD, Martins DS, Gomes AS, Queiroz RB, Koehler J, Guimarães MAP, Alves FL, Esposti MDD (2018) Mosca-negra-dos-citros: Biologia, danos e manejo. Vitória: INCAPER, 6p.
- Zvereva EL, Lanta V, Kozlov MV (2010) Effects of sap-feeding insect herbivores on growth and reproduction of woody plants: a meta-analysis of experimental studies. *Oecologia* 163: 949–960. [https://doi: 10.1007/s00442-010-1633-1](https://doi.org/10.1007/s00442-010-1633-1)

CAPÍTULO 4

Diferentes manejos de adubação em lima-ácida Tahiti e respostas bioquímicas à infestação de *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae)

Artigo redigido para submissão na Revista Australian Journal of Crop Science

Diferentes manejos de adubação em lima-ácida Tahiti e respostas bioquímicas à infestação de *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae)

Alirya Magda Santos do Vale Gomes¹, Raimunda Nonata Santos de Lemos*²

¹Agronomic Engineer, Doctoral student (Postgraduate Program in Agroecology), Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, Maranhão, Brazil.

²Adjunct Professor at the Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, Maranhão, Brazil.

*Corresponding author: rlemos@cca.uema.br

Resumo

Aleurocanthus woglumi é uma importante praga dos citros que ocasiona danos diretos e indiretos levando a perdas significativas na produção e sérios prejuízos a agricultura. O presente estudo objetivou estudar as respostas bioquímicas de *Citrus latifolia* com diferentes adubações sob a infestação de *Aleurocanthus woglumi*. O experimento foi conduzido em pomar de citros localizado no município de Paço do Lumiar - MA. Foram utilizadas 60 plantas de lima-ácida Tahiti selecionadas ao acaso e infestadas naturalmente por *A. woglumi*. Os tratamentos foram constituídos por: T1- Solo sem adubação (Testemunha); T2- adubação orgânica (Esterco bovino); T3- adubação orgânica + K₂O₃Si; T4- NPK e T5- NPK + K₂O₃Si. Foram avaliadas em folhas de *C. latifolia*, a densidade populacional de *A. woglumi*, o teor de proteínas totais, atividade da peroxidase e polifenoloxidase. Observou-se reduções no número de ovos e ninfas nos tratamentos adubação orgânica + K₂O₃Si e NPK + K₂O₃Si; e maiores incidências no tratamento NPK durante o período chuvoso e seco. Plantas de *Citrus latifolia* adubadas com NPK + K₂O₃Si e adubação orgânica + K₂O₃Si são menos suscetíveis aos estádios de desenvolvimento de *A. woglumi* e as plantas adubadas com NPK apresentam maior suscetibilidade. Maior conteúdo de proteínas totais são expressos durante o período seco em plantas com adubação orgânica + K₂O₃Si, NPK e NPK + K₂O₃Si. A adição de adubo mineral e orgânico diminui a atividade de peroxidase e aumenta a atividade de polifenoloxidase promovendo alterações em *C. latifolia* infestadas por *A. woglumi*.

Palavras-chaves: *Citrus latifolia*; mosca negra dos citros; proteínas totais; peroxidase; polifenoloxidase.

Introdução

A citricultura é um importante segmento da agricultura brasileira que engloba o cultivo das laranjas, tangerinas, limões, limas-ácidas, limas doces, pomelos, cidras, laranjas azedas e toranjas (FAO, 2017). O Brasil é um dos mais importantes produtores mundiais de citros (IBGE, 2020), especialmente do limão Tahiti que destaca-se no país devido ao seu grande potencial econômico, considerado referência nacional na comercialização, pela qualidade do fruto e aproveitamento ao máximo da capacidade produtiva, bem como no cenário internacional (Oliva et al., 2017).

O avanço da fruticultura nacional no agronegócio é notório, no entanto, a produção de citros é afetada por pragas e doenças que causam diversos problemas fitossanitários (EMBRAPA, 2019). Neste cenário, destaca-se a mosca negra dos citros *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) que causa danos nas diferentes fases de formação e desenvolvimento das plantas cítricas (Vilela e Zucchi, 2015).

A. woglumi é um inseto picador-sugador pequeno que se instala na face inferior da folha, onde a fêmea põe os ovos em formato de espiral, o que a diferencia de outras pragas (Zanuncio Junior et al., 2018). Tanto os adultos, quanto as ninfas de *A. woglumi* se alimentam no floema, e causam danos diretos pela sucção contínua de seiva das folhas e conseqüente declínio no vigor das plantas (Raga et al., 2013). Além de acarretar danos indiretos oriundos do aparecimento da fumagina sobre as folhas, ramos e frutos que se forma pelo crescimento de fungos sobre a excreção açucarada liberada pela *A. woglumi*, que afeta os parâmetros ecofisiológicos da planta (Gomes et al., 2019).

Em regiões tropicais, a ocorrência de inúmeras gerações anuais de *A. woglumi* e grande número desses indivíduos dificulta o seu controle (Zanuncio Junior et al., 2018), impactando negativamente o manejo dessa praga. Nesse sentido, a exposição da planta às condições de estresses abióticos como por exemplo, concentrações de nutrientes minerais, e bióticos como pragas ou patógenos, se reflete no enfraquecimento das defesas vegetais (Taiz et al., 2017) e a resistência induzida pode ser uma alternativa viável de controle, que resulta da ativação do sistema de defesa da planta e pode ser promovida por elicitores bióticos e/ou abióticos (Boukerma et al., 2017).

A ativação do mecanismo de defesa da planta ocorre por meio de uma cascata de eventos e sinais que se inicia no reconhecimento pela planta do agente agressor e culmina com a ativação das barreiras físicas e químicas envolvidas no processo (Fernandes et al., 2009). A ativação desses mecanismos também pode ser incitada por indutores de resistência, alternativa

promissora no processo de defesa vegetal (Dalastra et al., 2011). Uma grande variedade de enzimas está relacionada com a resistência induzida, tais como peroxidases, polifenoloxidasas, fenilalanina amônia-liases, lipoxigenases, β -1,3-glucanases e quitinases (Barros et al., 2010). Assim, quando uma planta é levada ao estado de indução, a atividade dessas enzimas ou, pelo menos de algumas delas, tende a aumentar em relação às atividades nos tecidos das plantas (Van Loon et al., 2006).

Dessa forma, as plantas podem responder ao ataque de insetos-pragas ativando múltiplos mecanismos de defesa para proteger-se da infestação. Informações desta natureza são relevantes, uma vez que poucos são os estudos que avaliam a influência de insetos-pragas sobre os processos bioquímicos das plantas (Nascimento e Barrigossi, 2014). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo estudar as respostas bioquímicas de *Citrus latifolia* submetido a diferentes adubações e à infestação de *Aleurocanthus woglumi* em condições de campo.

Resultados e Discussão

Densidade populacional de *A. woglumi*

Ao avaliar o número de ovos de *A. woglumi* (Fig 1) observou-se que houve interação entre os tratamentos e os períodos de coleta, e o tratamento NPK apresentou os maiores índices para o número de ovos durante o período seco (1745,50) diferindo do chuvoso (736,25) e dos demais tratamentos. Por outro lado, o tratamento contendo adubação orgânica + K_2O_3Si não diferiram do controle nos períodos avaliados (Fig 1).

De acordo com Polito (2006), há uma estreita relação entre a nutrição mineral e a resistência da planta a pragas, verificando-se que alguns nutrientes aumentam a incidência de pragas, enquanto outros a reduzem, devendo-se buscar uma nutrição equilibrada. Desse modo, os insetos sugadores dependem de substâncias solúveis, como os aminoácidos e os açúcares presentes na seiva da planta como fonte de alimento (Gallo et al., 2002; Koeduka et al., 2006). Na referida pesquisa a adubação nitrogenada possibilitou maior preferência para oviposição das fêmeas de *A. woglumi* (Fig 1), resultados que corroboram com Soares et al. (2013) avaliando a dinâmica da *Bemisia tabaci* Gennadius, 1889 (Hemiptera: Aleyrodidae) em tomateiro, em que observaram maiores incidências de ovos e ninfas em plantas tratadas com NPK.

Os resultados obtidos nos tratamentos com K_2O_3Si para o número de ovos (Fig 1), embora não diferindo dos tratamentos controle e adubação orgânica, podem sugerirem a necessidade de novas aplicações ou até mesmo aumento da dose de K_2O_3Si com o objetivo de prolongar a ação e incrementar os mecanismos de defesa e reduzir o ataque da praga, uma vez que de acordo com Ferreira et al. (2011) esse elemento tem contribuído significativamente na redução dos danos ocasionados e na atividade alimentar de insetos-pragas devido a sua atuação na planta como barreira mecânica, contudo, Vieira et al. (2016) reforçam que esse efeito pode variar em função da concentração do elicitador nas plantas e tempo de alimentação de *A. woglumi*.

Para abundância de ninfas de *A. woglumi* não houve interação entre os tratamentos estudados e os períodos de coleta, avaliando-se apenas o efeito da adubação (Fig 2). Observou-se o menor número médio de ninfas de *A. woglumi* no tratamento adubação orgânica + K_2O_3Si , diferindo significativamente do controle. Plantas tratadas apenas com NPK apresentaram a maior abundância de ninfas desta praga (450,13) (Fig 2).

A preferência de oviposição (Fig 1) e desenvolvimento das ninfas no tratamento NPK (Fig 2), provavelmente é devido à concentração de aminoácidos livres nas folhas, que tornam a planta mais vulnerável, e favorece a maior incidência de pragas pela rápida assimilação de nutrientes (Wackers et al., 2017; Vilanova e Silva Junior, 2010). Miranda et al. (2008) observaram que a atividade alimentar de *Bucephalagonia xanthophis* Berg, 1879 (Hemiptera: Cicadellidae) foi maior em mudas de laranja-doce *Citrus sinensis* L. Osbeck com maior acúmulo de aminoácidos.

Os resultados obtidos para o número de ninfas no tratamento Adubação orgânica + K_2O_3Si (Fig 2), pode estar relacionado a adição do K_2O_3Si , de modo que os valores médios obtidos foram os menores, bem como observado no tratamento e NPK + K_2O_3Si , embora não diferindo do controle. Tal resultado possivelmente é decorrente da proteção conferida pela aplicação foliar de K_2O_3Si , o que pode tornar esse nutriente como uma estratégia viável no manejo integrado de pragas. Santos et al. (2012) afirmam que a proteção conferida pela aplicação foliar de silício pode estar relacionada a alterações provocadas na biologia e na preferência de oviposição dos insetos. Dias et al. (2014) estudando a dinâmica de *Sitobion avenae* Fabricius, 1775 (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo, observaram que as plantas que receberam fertilização com silício apresentaram menor incidência de pulgões.

Atividade enzimática

De acordo com a análise de variância dos parâmetros proteínas totais (Fig 3), atividade de peroxidase (Fig 4) e atividade de polifenoxidase (Fig 5) observou-se que houve efeito significativo da interação entre os tratamentos e as épocas de avaliação ($p < 0,05$).

Proteínas totais

Os teores de proteínas totais foram significativos nos tratamentos adubação orgânica (0,66 mg de proteína g^{-1}) e NPK (0,62 mg de proteína g^{-1}) no período chuvoso, enquanto no período seco houve maior conteúdo de proteínas totais no tratamento NPK (0,90 mg de proteína g^{-1}), que diferiu dos demais tratamentos (Fig 3). Esse resultado revela a influência do efeito da adubação sobre o metabolismo primário da planta, por ativar a síntese de proteínas, o que pode ter funcionado como um atrativo para *A. woglumi* que preferiu ovipositar e se desenvolver nos tratamentos com adubação NPK e orgânica (Fig 1, Fig 2). Do mesmo modo Caixeta et al. (2004) observaram aumento nos teores de proteínas em plantas de café cultivadas com adubação nitrogenada, que apresentaram ataque intenso de *Leucoptera coffeella* Guérin-Mèneville e Perrottet, 1842 (Lepidoptera: Lyonetiidae), bicho-mineiro do café.

A concentração elevada de proteína solúvel presente nas folhas das plantas cultivadas de forma convencional pode estar associada ao excesso de adubos nitrogenados, conforme, Marschner (2012). Pois, embora a aplicação de adubos minerais e orgânico estimulem as defesas antioxidantes da planta (Gulsen et al., 2010), o seu excesso é capaz de atrair maiores populações de insetos-pragas, reafirmando a teoria da trofobiose (Vilanova e Silva Júnior, 2010), e para Nascimento e Barrigossi (2014) a incidência de pragas, pode provocar respostas metabólicas nas plantas, interferindo no teor de proteínas totais.

De acordo com Gulsen et al. (2010) quando exposta ao estresse provocado pela ação de insetos-pragas, a planta desvia os recursos produzidos no seu metabolismo a fim de reparar ou manter os processos fisiológicos vitais, restando menos energia disponível para as defesas químicas contra a herbivoria.

Comparando-se os períodos de avaliação, destacou-se o período seco com os maiores valores de proteínas totais para os tratamentos controle (0,37 mg de proteína g^{-1}), adubação orgânica + K_2O_3Si (0,63 mg de proteína g^{-1}), NPK (0,90 mg de proteína g^{-1}) e NPK + K_2O_3Si (0,75 mg de proteína g^{-1}) (Fig 3). O período seco proporciona maiores incidências de *A. woglumi* no campo (Medeiros et al., 2009), o que resulta em maior estresse a planta, portanto, a atividade do inseto na folha na época seca na referida pesquisa pode ter favorecido o aumento de

proteínas totais, por relacionar-se ao aumento da atividade de proteínas proteolíticas, que quebram as proteínas de reservas das plantas e pela diminuição da síntese de proteínas, haja vista, que as condições fornecidas pelo período seco de temperaturas elevadas, pode afetar todo o processo bioquímico da planta, conforme De Paula et al. (2013).

Atividade de Peroxidase

Os valores da atividade de peroxidase não diferiram nos tratamentos com adubação mineral e orgânica durante o período chuvoso e seco, valores elevados da atividade de peroxidase foram observados no tratamento controle nos períodos avaliados (Fig 4).

A peroxidase participa de vários processos fisiológicos de grande importância como a síntese de lignina e suberina, que aumenta a dureza dos tecidos, e a produção de quinonas e oxigênio ativo, que possuem propriedades antibióticas (Strack, 1997). Além de ser responsável pela diminuição da qualidade nutricional dos alimentos, dificultando a digestão de proteínas (Mohammadi e Kazemi, 2002), o que promove a defesa da planta contra insetos-pragas (Gulsen et al., 2010). No presente estudo, a resposta expressiva da enzima peroxidase nas plantas do tratamento controle, demonstra a defesa natural das plantas quando sob ataque de *A. woglumi* (Fig 4), que apresentou maior teor de peroxidase e menor incidência de ovos e ninfas de *A. woglumi* (Fig 1 e Fig 2). De modo que, plantas sob infestação de insetos-pragas podem responder por meio de mudanças na composição e propriedades físicas da parede celular e através de biossíntese de metabólitos secundários (Gulsen et al., 2010).

Golan et al. (2013) estudaram o efeito da alimentação da cochonilha *Coccus hesperidum* Linnaeus, 1758 (Hemiptera: Coccidae) em relação à atividade de enzimas antioxidantes selecionadas em samambaias *Nephrolepis biserrata* (Sw.) Schott e observaram que a presença desta cochonilha nas folhas alterou a atividade das enzimas peroxidase e catalase, refletida pelo estado das membranas celulares danificadas pela alimentação dos insetos, determinado pelo vazamento de eletrólitos e conteúdo de malondialdeído.

Trabalhos conduzidos por Singh et al. (2013) analisaram nas culturas agrícolas *Gosypium hirsutum* Linnaeus, *Solanum lycopersicum* Linnaeus e *Vigna unguiculata* Linnaeus, em resposta à ação de *Aphis craccivora* Koch, 1854 (Hemiptera: Aphididae) e *B. tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), que a atividade da peroxidase aumentou significativamente após a alimentação dos insetos nas três culturas. Zhang et al. (2008) estudando a cultura do pepino sob infestação de *B. tabaci*, observaram a indução de resistência pela alimentação de ninfas de

B. tabaci resultando no aumento da peroxidase, os autores sugerem que esse aumento seja desencadeado pelo dano celular causado pela sucção contínua da mosca-branca.

Considera-se ainda que como a adubação orgânica geralmente induz o aumento nos níveis de compostos antioxidantes, que podem proteger a planta contra muitas espécies reativas de oxigênio geradas durante o metabolismo, a atividade da peroxidase esperada no cultivo orgânico seria diferente do cultivo mineral, contudo as plantas que receberam adubação mineral e orgânica não externaram diferenças em relação a essa enzima (Fig 4), embora a aplicação da adubação nitrogenada tenha aumentado o teor de proteínas (Fig 3). Borges et al. (2015) encontraram resultados semelhantes, em que o uso de adubação orgânica e mineral em cultivo de *Acmella oleracea* (Linnaeus) RK Jansen, não proporcionaram diferença na atividade enzimática de peroxidase. Lata (2014) avaliando duas cultivares de repolho, reportou que a fertilização com adubação nitrogenada não afetou a atividade da peroxidase. Silva et al. (2013) avaliando as características fitotécnicas e a atividade enzimática de cultivares de *Saccharum officinarum* Linnaeus sob influência de diferentes tipos de adubações, observaram que as adubações não influenciaram a intensidade da atividade da peroxidase. Contudo, vale ressaltar que a fertilização de espécies vegetais com adubação nitrogenada tem sido favoráveis e pode ser atribuída principalmente aos efeitos do nitrogênio, que promove significativo aumento nas taxas das reações enzimáticas (Vitor et al., 2009). Esse fato tem sido relacionado ao aumento do nitrogênio, visto que de acordo com Malavolta et al. (2006) é o macronutriente de maior absorção que participa de todos os processos bioquímicos das plantas como constituintes de enzimas e proteínas, portanto, age aumentando as taxas de reações enzimáticas no metabolismo da planta (Vitor et al., 2009). Estes achados sugerem maiores investigações sobre a influência da adubação nitrogenada em estimular as defesas antioxidantes de *C. latifolia* infestadas por *A. woglumi*, pois, um adequado fornecimento desse nutriente é fundamental para o pleno funcionamento dos processos metabólicos da planta.

Comparando-se os períodos avaliados, destacou-se os maiores valores da atividade da peroxidase nos tratamentos controle ($9,75 \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$) e adubação orgânica ($5,25 \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$) no período seco (Fig 4). Esses resultados, sugerem que pode estar envolvido no comportamento da atividade de peroxidase, a redução da qualidade nutricional na alimentação dos insetos e conseqüentemente diminuição do número de oviposição, conforme a Fig 1. A infestação por insetos-pragas aumenta significativamente as atividades da peroxidase em plantas (He et al., 2011), desse modo, as anormalidades na defesa antioxidante podem estar relacionadas à resistência da planta e, além disso, a atividade da peroxidase pode

umentar a tenacidade de folhas e em alguns fenólicos pode produzir fenoxi e outros radicais oxidativos que podem impedir diretamente a alimentação de insetos herbívoros e/ou produzir toxinas que reduzem a digestibilidade das plantas (Felton et al., 1994).

Na referida pesquisa, adicionado ao comportamento da atividade de peroxidase, tem-se a caracterização das variáveis climáticas, como temperatura média do ar elevada e baixa precipitação pluviométrica fornecidas durante o período seco (Fig 6), condições consideradas favoráveis a maiores incidências e desenvolvimento de *A. woglumi* de acordo com Silva (2005), o que resulta em maiores danos ocasionado pela praga às plantas. Portanto, as atividades enzimáticas podem ser ativadas pela infestação de *A. woglumi* nas plantas de *C. latifolia*, porém o ritmo de expressão das atividades varia entre os tratamentos aplicados e épocas de avaliação. Desse modo, a indução da atividade da peroxidase tem sido implicada como uma resposta imediata das plantas em resposta a estresses bióticos, incluindo o ataque de insetos (Moloi e Westhuizen, 2006).

Atividade da Polifenoloxidase

Avaliando a atividade da polifenoloxidase (Fig 5), constatou-se que durante o período chuvoso os teores dessa enzima foram elevados nos tratamentos NPK ($27,25 \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$) e NPK + $\text{K}_2\text{O}_3\text{Si}$ ($30,50 \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$), que diferiram dos demais tratamentos. Para o período seco, observou-se que não houve diferença significativa na expressão da enzima polifenoloxidase entre os tratamentos avaliados (Fig 5).

A polifenoloxidase tem sido relacionada a reações de defesa das plantas contra herbivoria em diversas espécies (Constabel et al., 2000). Portanto, os diferentes padrões de comportamento dessa enzima nos tratamentos aplicados na presente pesquisa, podem ser devido a diferenças nos níveis de defesa das plantas contra a incidência da praga. De modo que a polifenoloxidase pode apresentar importante ação anti-nutritiva a insetos por alquilar proteínas reduzindo assim, a disponibilidade de aminoácidos (Felton et al., 1992), conseqüentemente a qualidade nutricional dos tecidos vegetais (Chen e Buntin, 2009).

Nesse sentido, os níveis da atividade desta enzima observados na referida pesquisa, tiveram ação no desenvolvimento dos instares de *A. woglumi* sob influência dos tratamentos aplicados. O que pode indicar que a atividade de polifenoloxidase teve ação sobre a praga, possivelmente em função da qualidade nutritiva das plantas que podem ser diretamente afetadas pelas enzimas.

He et al. (2011) avaliaram a atividade antioxidante e enzimática de defesa de *Chrysanthemum morifolium* Ramat. em resposta à infestação de *Macrosiphoniella sanborni* Gillette, 1908 (Hemiptera: Aphididae), e constataram que os níveis da atividade da enzima polifenoloxidase permaneceram elevados e constantes sob a infestação da praga, resultado das mudanças na morfologia da superfície epidérmica da folha do crisântemo, que produziu os tricomas mais longos, mais altos e mais densos, células glandulares maiores e mais completas e a maior quantidade de cera na epiderme da folha inferior, sugerindo o envolvimento dessa enzima na resistência a praga.

Alterações nos níveis destas enzimas oxidativas nas plantas têm sido relatadas entre a primeira resposta da planta ao ataque de insetos herbívoros (Han et al., 2009; Rani e Pratyusha, 2013). Nesse contexto, a alimentação da praga pela planta pode promover a indução sistêmica coordenada de diversas proteínas de defesa, incluindo polifenoloxidase e inibidores de protease, conhecida por envolver intermediários de sinalização de jasmonato (Bergey et al., 1996).

A aplicação de diferentes adubações minerais e orgânica pode proporcionar um aumento na produção de compostos da planta pela ativação de enzimas de defesa como peroxidase e polifenoloxidase promovendo alterações nas plantas sob infestação de pragas. Trabalhos conduzidos por Tertuliano et al. (1999) com plantas de *Manihot esculenta* Crantz sob infestação de *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero, 1997 (Hemiptera: Pseudococcidae) conduzidas com adubação orgânica e mineral (NPK, KCl) tem mostrado uma maior resposta defensiva das plantas, elevando o nível de rutina sob infestação de pragas.

Do mesmo modo, Gomes et al. (2005) verificaram que a adubação silicatada sob infestação de *Schizaphis graminum* Rondani, 1852 (Hemiptera: Aphididae), induzem resistência em plantas de *Triticum aestivum* Linnaeus, onde a aplicação de silício ativou e aumentou a síntese de compostos de defesa da planta de trigo, como peroxidase e polifenoloxidase, reduzindo a taxa de crescimento e também a preferência desse inseto-praga por plantas tratadas com esse mineral.

Comparando-se os períodos de avaliação (Fig 5), a atividade da enzima polifenoloxidase comportou-se de forma semelhante a atividade da enzima peroxidase, destacando-se o período seco com os maiores índices dessa atividade em relação ao chuvoso para os tratamentos controle e adubação orgânica. Possivelmente, além da presença de *A. woglumi*, as condições de temperaturas (27°C - 31°C) e precipitações (2 - 88 mm) obtidas no período seco (Fig 6), foram fatores que possivelmente influenciaram a atividade de polifenoloxidase nas plantas de citros, uma vez que, os efeitos ambientais de acordo com Silva et al. (2015), podem resultar

em diminuição da capacidade fotossintética da planta, estimula eventos antagônicos como a foto inibição e a fotorespiração, além da desnaturação do aparato fotossintético com aumento da produção de espécies reativas de oxigênio, portanto, a planta como alternativa de minimizar esses impactos, lança mão de enzimas para controlar essa explosão oxidativa. Dessa maneira, o incremento da atividade de polifenoloxidase constatada nas plantas de citros nos tratamentos supracitados acima (Fig 5), provavelmente ocasionou uma redução na qualidade da proteína total presente no tecido foliar, devido a toxicidade das quinonas para os insetos, o que afeta a digestibilidade e conseqüentemente menores danos ocasionados por *A. woglumi* nos tratamentos controle e adubação orgânica durante o período seco. Vale destacar ainda, que os tratamentos com adição de K_2O_3Si , obtiveram comportamento semelhante ao NPK (Fig 5), portanto, a sugestão de aumento da dose de K_2O_3Si com o objetivo de prolongar a ação podem tornar os tratamentos com adição de K_2O_3Si como potencializadores da atividade da polifenoloxidase em plantas de citros sob condições de estresse provocado pela *A. woglumi*, nessas plantas a redução do ataque da praga pode estar associada com aumento na atividade dessa enzima. Trabalhos desenvolvidos por Vieira et al. (2016) mostraram que a maior atividade enzimática da polifenoloxidase em plantas adubadas com K_2O_3Si , quando comparadas com controle (sem K_2O_3Si) o que sugeriu que o aumento da atividade dessa enzima é um evento associado à indução de resistência em *Citrus reticulata* Blanco à *A. woglumi*, pois a planta catalisa a oxidação de compostos fenólicos, diminuindo a qualidade do tecido foliar e reduzindo a digestibilidade das proteínas, prejudicando o inseto. De modo geral, a não ativação destas enzimas pode caracterizar que o meio em que as plantas se encontravam não causou de forma significativa estresse para as mesmas, já que a atividade de enzimas oxidativas como peroxidase e polifenoloxidase em plantas podem ser atreladas a parte dos mecanismos de defesas induzidas, ou a condições de estresse abióticos e bióticos (Nojosa, 2003).

Estes achados sugerem que a síntese ou o aumento da expressão de enzimas específicas na planta podem servir para elevar a resistência de plantas a insetos. Uma vez identificado, estas mudanças podem também ser úteis como marcadores para a resistência de pragas. Portanto, o comportamento ou expressão da atividade enzimática de peroxidase e polifenoloxidase, pode responder às condições nutricionais da planta, e pode estar envolvido na resposta das plantas ao estresse provocado pela infestação de *A. woglumi*, bem como à fatores ambientais.

Materiais e métodos

A pesquisa foi conduzida no pomar de culturas cítricas “São Judas Tadeu” (coordenadas geográficas: 2° 30' 4,9" S, 44° 04' 22,8" W) localizado no município de Paço do Lumiar – MA e nos Laboratórios de Entomologia e Fitopatologia do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA no período de março de 2016 a agosto de 2019.

O município de Paço do Lumiar está inserido na classe Aw, caracterizada pelo clima tropical conforme a classificação climática de Kooppen. Apresenta uma altitude de aproximadamente 4 m em relação ao nível do mar, temperatura média do ar de 28°C e precipitação pluvial total (PPT) de 2361,75 mm e umidade relativa do ar (média anual) de 82,2% (Labmet-Nugeo, 2019) (Fig 6).

O solo predominante nessa região é o Argissolo vermelho amarelo (Embrapa, 2018), e textura franco-arenosa de acordo com os resultados da análise de solo realizada pelo Laboratório de Química de Solos do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural/UEMA (Tabela 1).

Foram utilizadas 60 plantas de citros da variedade lima-ácida Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka) com seis anos de idade e infestadas naturalmente com mosca negra dos citros. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 5 (duas épocas e cinco tratamentos), com 4 repetições. A unidade experimental foi constituída por três plantas. Os tratamentos avaliados foram: T1- Solo sem adubação (Testemunha); T2- adubação orgânica (Esterco bovino); T3- adubação orgânica (Esterco bovino) + Silicato de potássio (K_2O_3Si); T4- NPK e T5- NPK + K_2O_3Si .

Foi realizada a calagem (PRNT – 70%) em toda a área experimental (3,6 kg/ha/planta) (IAC, 1997) e após 30 dias foram aplicados os tratamentos com adição da adubação orgânica e mineral. A recomendação para a adubação orgânica (esterco bovino) foi realizada com base na literatura (IAC, 1997), na dose de 5 Lplanta⁻¹ em coroamento (maio de 2017).

A adubação de NPK foi aplicada na projeção da copa em função da análise de solo, na proporção 16-5-10 (N-P₂O₅-K₂O) (Tab. 1), equivalente a 888,85 g/planta de ureia, fracionada em três parcelas de 296,29 g/planta (maio, julho e outubro de 2017); aplicação única de Super fosfato triplo na dose de 260,4 g/planta (maio/2017); e a aplicação de 500 g/planta de cloreto de potássio, fracionado em três parcelas de 165,84 g/planta, seguindo a mesma época de aplicação da ureia. Foram realizadas três pulverizações (via foliar) com intervalos de 30 dias do K_2O_3Si (Fertisílicio) na proporção de 5 mL SiK_2O/L de água/planta (Plant-Defender, 2019). Todos os tratamentos foram reaplicados no ano seguinte (2018), uma vez que a cultura dos citros é permanente e requer adubação anual.

Densidade populacional de *A. woglumi*

Para a determinação da densidade populacional de *A. woglumi* foram realizadas três avaliações na estação chuvosa (março, abril e maio/2018) e três avaliações na estação seca (setembro, outubro e novembro/2018) para a obtenção da média, realizadas aos 90 dias após a última parcela da adubação para cada período avaliado. A avaliação da densidade populacional de *A. woglumi* foi realizada em duas folhas no terço médio de cada planta, totalizando 180 folhas/coleta. As folhas foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos previamente identificados, acondicionadas no interior de caixas de isopor e encaminhadas ao Laboratório de Entomologia do Centro de Ciências Agrárias da UEMA para contagem do número de ovos e ninfas totais de *A. woglumi*, com auxílio de um estereomicroscópio.

Atividade enzimática

Para a determinação das respostas bioquímicas de *Citrus latifolia* à infestação de *A. woglumi*, foram realizadas duas avaliações, uma no período chuvoso (junho/2018) 30 dias após a parcela da adubação referente ao período chuvoso e uma no período seco (novembro/2018), 30 dias após a parcela da adubação referente ao período seco. Foram coletadas duas folhas de cada planta de citros/parcela, totalizando 40 folhas/coleta. Após coletadas as folhas foram armazenadas individualmente em papel alumínio, previamente identificadas, congeladas em nitrogênio (N₂) líquido e acondicionadas no interior de caixas de isopor e, em seguida, encaminhadas ao Laboratório de Fitopatologia do Centro de Ciências Agrárias da UEMA, onde foram armazenadas em ultra freezer a -80°C para análise experimental. Os ensaios enzimáticos foram realizados em triplicata para cada extrato foliar.

Obtenção do extrato protéico

Amostras de 1 g das folhas de *Citrus latifolia* infestadas por *Aleurocanthus woglumi* foram maceradas na presença de nitrogênio líquido, sendo em seguida adicionado 5 mL do tampão acetato de sódio 0,1 M (pH 5,0), 0,05 g PVP e 1 mL de EDTA (1 mM). Este preparado foi centrifugado a 10.000 g por 10 min, a 4°C. Os sobrenadantes obtidos considerado como extrato enzimático, foram transferidos para microtubos com capacidade de 2 mL e armazenados a -80°C. Os extratos enzimáticos foram utilizados para a determinação de proteínas totais, peroxidase (POX) e polifenoloxidase (PFO).

Proteínas totais

O conteúdo de proteínas totais das folhas de citros, foram quantificados de acordo com Bradford (1976). Para isso, foram pipetados para cubeta de vidro separadamente 20 μL de extrato protéico, 780 μL do tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 6,0) e 200 μL do reagente de Bradford. Após 10 min, a absorbância foi determinada em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 595 nm. A concentração de proteínas foi determinada com base na curva padrão de ASB e expressa em equivalentes de mg de albumina de soro bovino (ASB) g^{-1} de amostra.

Atividade de peroxidase

A atividade da peroxidase foi determinada, através do método espectrofotométrico direto, pela medida da conversão do guaiacol em tetraguaiacol (Lusso e Pascholati, 1999 e alterações). A mistura da reação conteve 50 μL do extrato protéico, 50 μL de guaiacol (0,02 M), 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (0,38 M) e 2,0 mL de tampão acetato de sódio 0,2 M (pH 5,0). A reação foi monitorada em espectrofotometria direta a 470 nm por 3 min, sendo as medidas das absorbâncias registradas a cada 30 s. Os resultados foram expressos em $\Delta \text{ abs } 470 \text{ nm min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$.

Atividade de polifenoloxidase

A atividade das polifenoloxidasas foi determinada usando-se a metodologia de Duangmal e Aparenten (1999 e alterações). Usou-se a conversão de pirocatecol em quinona, onde: 900 μL de pirocatecol (20 mM) em tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 6,0), mantido a 30°C recebeu 100 μL do extrato proteico. A reação foi monitorada em espectrofotometria direta a 420 nm por 3 min, sendo as medidas das absorbâncias registradas a cada 90 s. Os resultados foram expressos em $\Delta \text{ abs } 420 \text{ nm min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise exploratória para os testes de normalidade e à análise de variância (ANOVA). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de

Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar® (Ferreira, 2000).

Conclusões

Plantas de *Citrus latifolia* adubadas com NPK + K₂O₃Si e Adubação orgânica + K₂O₃Si são menos suscetíveis aos estádios de desenvolvimento de *A. woglumi*.

O número de ovos e ninfas de *A. woglumi* são favorecidos em plantas de lima-ácida Tahiti adubadas com NPK tanto na época chuvosa como na seca.

Maior conteúdo de proteínas totais são expressos durante o período seco em plantas de citros com adubação orgânica + K₂O₃Si, NPK e NPK + K₂O₃Si.

A adição de adubo mineral e orgânico diminui a atividade de peroxidase e aumenta a atividade de polifenoloxidase promovendo alterações em *C. latifolia* infestadas por *A. woglumi*.

Referências

- Barros FC, Sagata E, Ferreira LC de C, Juliatti FC (2010) Indução de resistência em plantas contra fitopatógenos. *Biosci J.* 26(2): 231–239.
- Bergey D, Howe G, Ryan CA (1996) Polypeptide signaling for plant defensive genes exhibits analogies to defense signaling in animals. *Proc Natl Acad Sci. USA* 93: 12053–12058.
- Boukerma L, Benchabane M, Charif A, Khélifi L (2017) Activity of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) in the biocontrol of tomato fusarium wilt. *Plant Protect Sci.* 53(2): 78–84.
- Borges L da S, Vieira MC de S, Vianello F, Goto R, Lima GPP (2015) Antioxidant compounds of organically and conventionally fertilized jambu (*Acmella oleracea*). *Biol Agric Hortic.* 31: 1-10.
- Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem.* 72: 248–257.
- Caixeta SL, Martinez HEP, Picanço MC, Cecon PR, Esposti MDD, Amaral JFT (2004) Nutrição e vigor de mudas de cafeeiro e infestação por bicho mineiro. *Ciênc Rural.* 34(5): 1429–1435.

- Chen Y, Ni X, Buntin GD (2009) Physiological, nutritional and biochemical bases of corn resistance to foliage-feeding fall armyworm. *J Chem Ecol.* 35: 297–306.
- Constabel CP, Yip L, Patton, JJ, Christopher ME (2000) Polyphenol oxidase from hybrid poplar. Cloning and expression in response to wounding and herbivory. *Plant Physiol.* 124: 285–295.
- Dalastra C, Campos AR, Fernandes FM, Martins GLM, Campos ZR (2011) Silício como indutor de resistência no controle do trips do prateamento *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoimzeiro. *Ciênc Agrotec.* 35(3): 531–538.
- De Paula MT, Santos Filho BG, Cordeiro YEM, Conde RA, Neves PAPG das (2013) Ecofisiologia do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) em sistemas agroflorestais no Município de Santa Bárbara-PA. *Encicl Biosf (Centro Científico Conhecer).* 9(16): 8–13.
- Dias PAS, Sampaio MV, Rodrigues MP, Korndörfer AP, Oliveira RS, Ferreira SE, Korndörfer GH (2014) Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). *Environ Entomol.* 43(4): 949–956.
- Duangmal K, Apenten RKO (1999) A comparative study of polyphenol oxidases from taro gene family in *Arabdopsis thaliana*. *Journal of Integrative Plant Biol.* 50: 1318–1326.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA Solos, Brasília, DF.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2019) Citros. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/citros> (Acesso em 27 Agosto 2019).
- FAO (Food and agriculture organization of the united nation) (2017) Crops. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil> (Acesso em 20 Setembro 2020).
- Felton GW, Bi J, Summers CB, Mueller AJ, Duffey SS (1994) Potential role of lipoxygenases in defense against insect herbivory. *J Chem Ecol.* 20: 651–66.
- Felton GW, Donato KK, Broadway RM, Duffey SS (1992) Impacto f oxidized plant phenolics on the nutritional quality of dietary protein to a noctuid herbivore, *Spodoptera exígua*. *J insect physiol.* 38: 277–285.
- Fernandes C de F, Vieira Junior JR, Silva DSG, Reis ND, Antunes Júnior H (2009) Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 18p. (Documentos133).
- Ferreira RS, JC Moraes, CS Antunes (2011). Silicon influence on resistance induction on against *Bemisia tabaci* Biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) and on vegetative development in two soybean cultivars. *Neotrop Entomol.* 40: 495–500.

- Ferreira DF (2000) Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45. São Carlos, SP: SIB.
- Gallo D, Nakano O, Silveira Neto S, Carvalho RPL, Batista GC, Bert Filho E, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB, Vendramim JD, Marchini LC, Lopes JRS, Omoto C (2002) Entomologia agrícola, Piracicaba, FEALQ, 920p.
- Golan K, Rubinowska K, Górska-Drabik E (2013) Physiological and biochemical responses of fern *Nephrolepis biserrata* (SW.) Schott. to *Coccus hesperidum* L. infestation. Acta Biol Cracov. 55: 93–98.
- Gomes, AMSV, Reis, FO, Lemos, RNS, Mondego, JM, Braun, H, Araujo, JRG (2019) Physiological characteristics of citrus plants infested with citrus blackfly. Rev Bras Entomol. 63: 119–123.
- Gomes FB, Moraes JC, Santos CD, Goussain MM (2005) Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. Sci Agric. 62: 547–551.
- Gulsen O, Eickhoff T, Heng-Moss T, Shearman R, Baxendale F, Sarath G, Lee D (2010) Characterization of peroxidase changes in resistant and susceptible warm-season turf grasses challenged by *Blissus occiduus*. Arthropod Plant Interact. 4: 45–55.
- Han Y, Wang Y, Bi JL, Yang XQ, Huang Y, Zhao X, Hu Y, Cai QN (2009) Atividades constitutivas e induzidas de enzimas relacionadas à defesa em cultivares de trigo resistentes e suscetíveis a afídeos. J Chemical Ecology. 35(2): 176–182.
- He J, Chen F, Chen S, Lv G, Deng Y, Fang W, Liu Z, Guan Z, He C (2011) Chrysanthemum leaf epidermal surface morphology and antioxidant and defense enzyme activity in response to aphid infestation. J Plant Physiol. 168: 687–93.
- IAC (Instituto Agronomico de Campinas) (1997) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Furlani. Campinas, Instituto Agronomico/Fundação IAC, 285p. (Boletim técnico 100).
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2020) Levantamento sistemático da produção agrícola 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas> (Acesso em 10 Abril 2020).
- Koeduka T, Fridman E, Gang DR, Vassão DG, Jackson BL, Kish CM, Pichersky E (2006) Eugenol and isoeugenol, characteristic aromatic constituents of spices, are biosynthesized via reduction of a coniferyl alcohol ester. Proc Natl Acad Sci USA. 103(26): 10128–10133.
- Lata B (2014) Variability in enzymatic and non-enzymatic antioxidants in red and green-leafy kale in relation to soil type and N-level. Sci Hortic. 168: 38–45.

- Labmet-Nugeo (2019) Atlas do Maranhão. UEMA, São Luís-MA.
- Van Loon LC, Rep M, Pieterse CMJ (2006) Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. *Ann Rev Phytopathol.* 44(1): 135–162.
- Lusso MFG, Pascholatti SF (1999) Activity and isoenzymatic pattern of soluble peroxidases in maize tissues after mechanical injury or fungal inoculation. *Summa Phytopatol.* 25: 244–249.
- Malavolta E (2006) Manual de nutrição mineral de plantas. 1ª ed. São Paulo: Ceres. 638 p.
- Marschner P (2012) Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3ª ed. New York, Academic Press. 651p.
- Medeiros FR, Lemos RNS, Ottati ALT, Araujo JRG, Machado KKG, Rodrigues AAC (2009) Dinâmica populacional da mosca-negra-dos-citros *Aleurocanthus woglumi* ASHBY (Hemiptera: Aleyrodidae) em *Citrus* spp. no município de São Luís-MA. *Rev Bras Frutic.* 31: 1016-1021.
- Miranda MP, Viola DN, Marques RN, Bonani JP, Lopes JRS (2008) Locais e período de alimentação da cigarrinha vetora de *Xylella fastidiosa*, *Bucephalagonia xanthophis* (Berg) (Hemiptera: Cicadellidae), em mudas cítricas. *Rev Bras Frutic.* 30: 913-918.
- Mohammadi M, Kazemi H (2002) Changes in peroxidase and polyphenol oxidases activities in susceptible and resistance wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. *Plant Sci.* 162: 491–498.
- Moloi MJ, Westhuizen AJ van der (2006) The reactive oxygen species are involved in resistance responses of wheat to the Russian wheat aphid. *J Plant Physiol.* 163:1118–25.
- Nascimento JB, Barigossi JAF (2014) O papel das enzimas antioxidantes na defesa das plantas contra insetos herbívoros e fitopatógenos. *Agrar Acad.* 1(1): 234–250.
- Nojosa GBA, Resende MLV, Aguilar MAG, Bezerra KMT, Anherdt DE (2003) Componentes fenólicos e enzimas oxidativas em clones de *Theobroma cacao* resistentes e suscetíveis a *Crinipellis pernicioso*. *Fitopatol Bras.* 28(2): 148–154.
- Plant-defender (2019) Fertilisilício/ Recomendação citros. Disponível em: <http://plantdefender.com.br/produtos/fertilisilicio/> (Acesso em 10 Junho 2020).
- Oliva FA, Amin MV, Fernandes D, Pocaia APV, Lima BC de, Carvalho LO, Lima MAR de (2017) Cultura do limão no brasil: custo de produção e lucratividade. *Colloq Agrariae.* 13: 65-70.
- Polito W. (2006). The Trofobiose Theory and organic agriculture: the active mobilization of nutrients and the use of rock powder as a tool for sustainability. *An Acad Bras Ciênc.* 78 (4): 765–779.

- Raga, A, Imperato, R, Mello, WJ, Maia, S (2013) Mosca Negra dos Citros. Review. *Citrus Res Technol.* 34: 57-63.
- Rani PU, Pratyusha S (2013) Defensive role of *Gossypium hirsutum* L. anti-oxidative enzymes and phenolic acids in response to *Spodoptera litura* F. feeding. *J Asia Pac Entomol.* 16: 131–136.
- Santos MC dos, Junqueira AMR, Sá VGM de, Zanúncio JC, Bauch MA, Serrão JE (2012) Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Rev Bras Agropec Sustent.* 2: 76–88.
- Silva FG, Dutra WF, Dutra AF, Oliveira IM, Filgueiras LMB, Melo AS (2015) Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Rev Bras Eng Agríc Ambient.* 19(10): 946–952.
- Silva DM da, Azania CAM, Azania AAPM, Beluci LR, Vitorino R, Garcia JC (2013) Seletividade de herbicidas influenciada pelo estado nutricional da cana-de-açúcar. *Rev Bras Herb.* 12(1): 56–67.
- Silva AB (2005) Mosca negra dos citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, praga potencial para a citricultura brasileira. In: Poltronieri LS, Trindade DR, Santos IP (Ed.) (2005) Pragas e doenças de cultivos amazônicos. Belém: Embrapa Amazônia Ocidental. p.147–156.
- Soares CG, Lemos RNS, Araujo AMS, Machado KG, Pereira CFM (2013) Distribuição de Mosca Branca em Tomateiro Fertilizado com Adubação Mineral e Orgânica em Ambiente Protegido. *Rev Caatinga.* 26: 43–48, 2013.
- Singh H, Dixit S, Verma PC, Singh PK (2013) Differential peroxidase activities in three different crops upon insect feeding. *Plant Signal Behav.* 8(10): e25615-1–e25615-7.
- Strack D (1997) Phenolic metabolism, p.387-416. In Dey PM, Harborne JB (eds.) *Plant biochemistry.* 1ª ed. London: Academic Press. 554 p.
- Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal.* 6ª ed. Porto Alegre: Artmed. 858 p.
- Tertuliano M, Calatayud PA, Le Rü BP (1999) Mudanças sazonais de compostos secundários na seiva do floema da mandioca em relação à fertilização e à infestação pela mandioca Mealybug. *Int J Trop Insect Sci.* 19: 91–98.
- Vilanova C, Silva Junior CD (2010) Avaliação da trofobiose quanto às respostas ecofisiológicas e bioquímicas de couve e pimentão, sob cultivos orgânico e convencional. *Rev Bras Agroecologia.* 5: 127–137.

- Vieira DL, Barbosa VO, Souza WCO, Silva JG, Malaquias JB, Batista JL (2016) Potassium silicate-induced resistance against blackfly in seedlings of *Citrus reticulata*. *Fruits*. 71(1): 49-55.
- Vilela EF, Zucchi RA (2015) Introduced Pest in Brazil: insects and mites. *Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros*. Fealq, Piracicaba. 908 p.
- Vitor CMT, Fonseca DM, Cosér AC, Martins CE, Nascimento Júnior D, Ribeiro Júnior JI (2009) Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Rev Bras Zootec*. 38: 435–442.
- Wackers FL, Alberola JS, Garcia-Marí F, Pekas A (2017) Attract and distract: Manipulation of a food-mediated protective mutualism enhances natural pest control. *Agric Ecosyst Environ*. 246: 168–174.
- Zanuncio Junior JS, Fornazier MJ, Santana JVD, Martins DS, Gomes AS, Queiroz RB, Koehler J, Guimarães MAP, Alves FL, Esposti MDD (2018). *Mosca-negra-dos-citros: biologia, danos e manejo*. Vitória: INCAPER. 6 p.
- Zhang SZ, Hau BZ, Zhang F (2008) Induction of the activities of antioxidative enzymes and the levels of malondialdehyde in cucumber seedlings as a consequence of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation. *Arthropod-Plant Interact*. 2: 209–213.

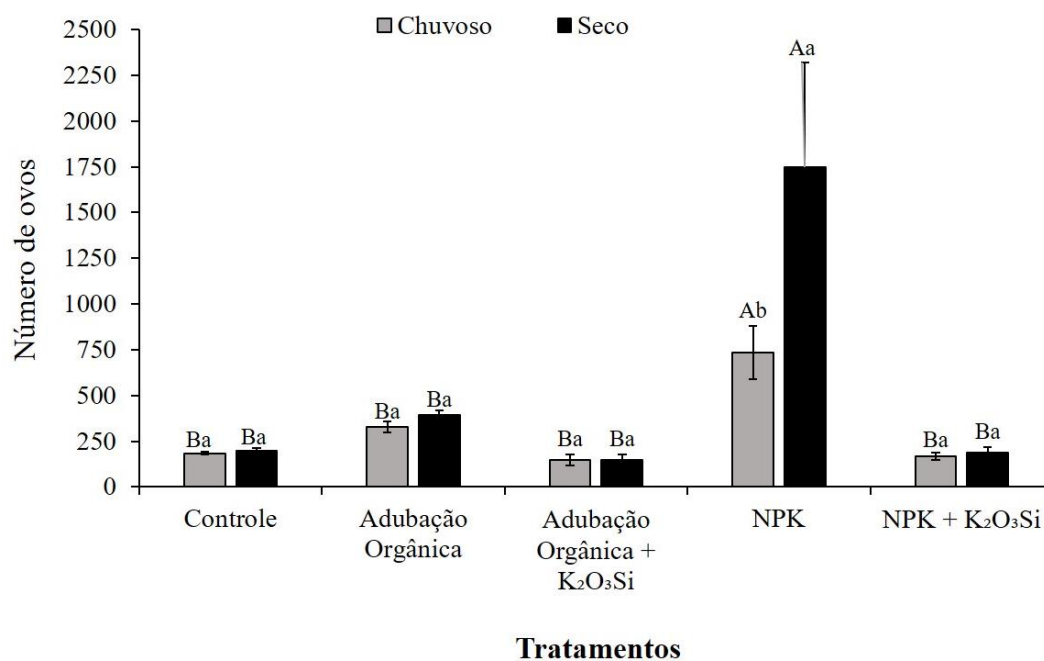


Fig 1. Valores médios do número de ovos em *Citrus latifolia* infestados com *Aleurocanthus woglumi* e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nos tratamentos e minúscula nos períodos de coleta, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.

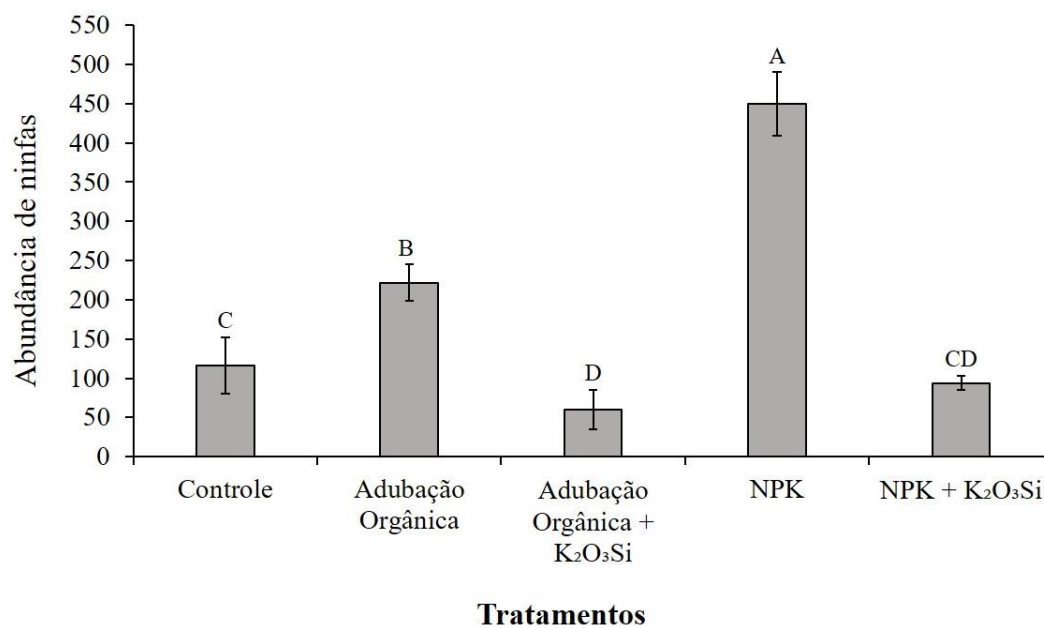


Fig 2. Abundância de ninfas em *Citrus latifolia* infestados com *Aleurocanthus woglumi* e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nos tratamentos, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.

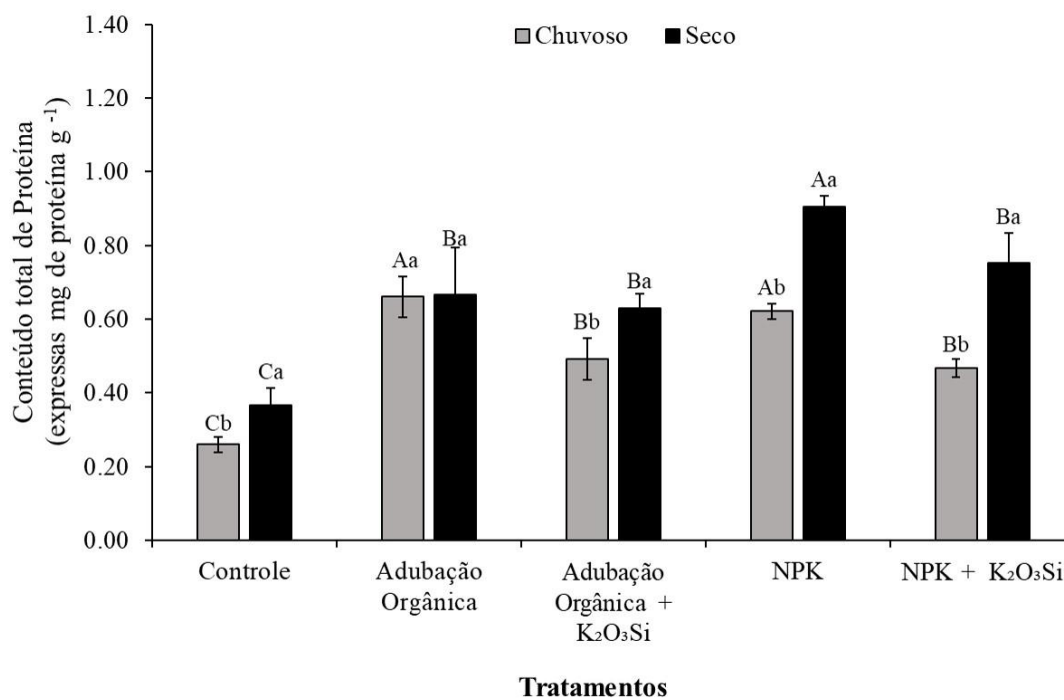


Fig 3. Valores médios do conteúdo total de proteínas expressas mg de proteína g⁻¹ de tecido fresco extraído da folha de *Citrus latifolia* infestada com *Aleurocanthus woglumi* e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nos tratamentos e minúscula nos períodos de coleta, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.

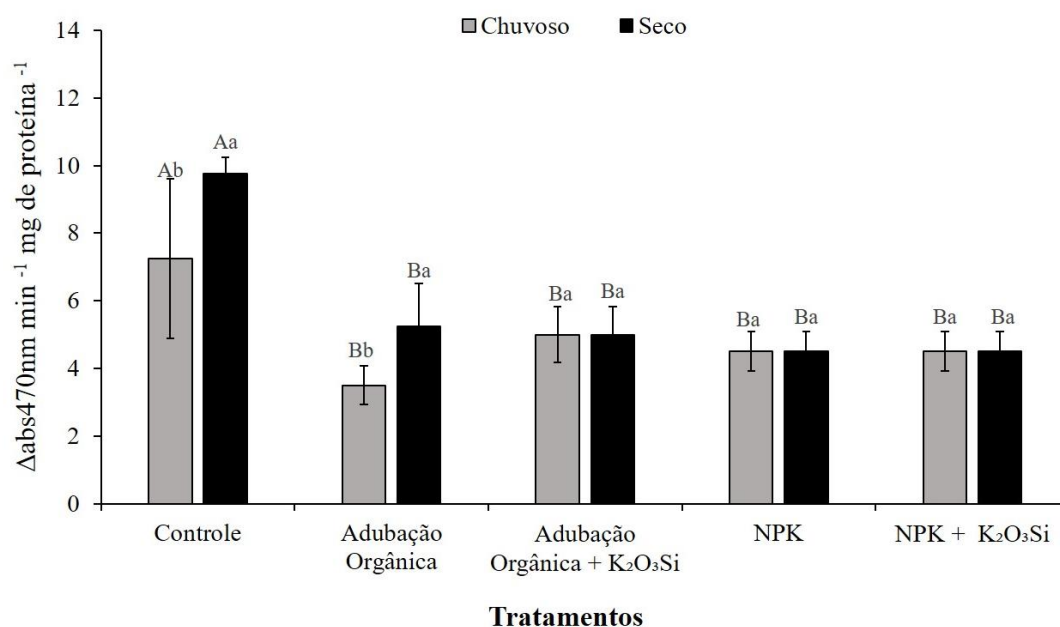


Fig 4. Valores médios da atividade enzimática da peroxidase expressas em $\Delta\text{abs}470\text{nm min}^{-1}$ mg de proteína⁻¹, extraída da folha de *Citrus latifolia* infestada com *Aleurocanthus woglumi* e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nos tratamentos e minúscula nos períodos de coleta, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.

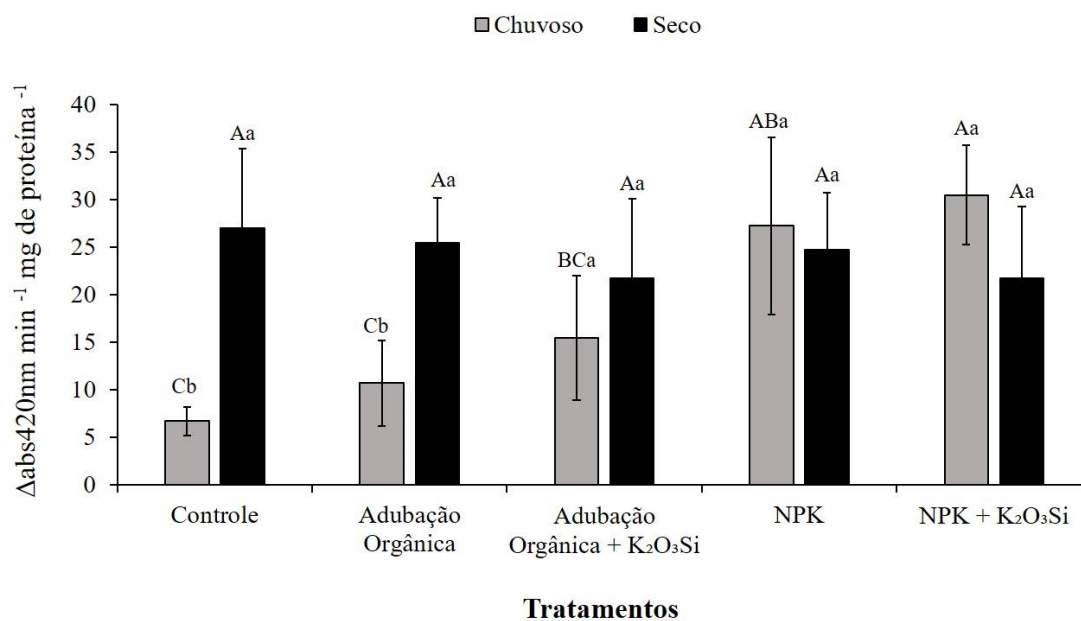


Fig 5. Valores médios da atividade enzimática da polifenoloxidase expressas em $\Delta\text{abs}470\text{nm min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$, extraída da folha de *Citrus latifolia* infestada com *Aleurocanthus woglumi* e fertilizados com adubação orgânica e mineral. Paço do Lumiar, MA. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nos tratamentos e minúscula nos períodos de coleta, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.

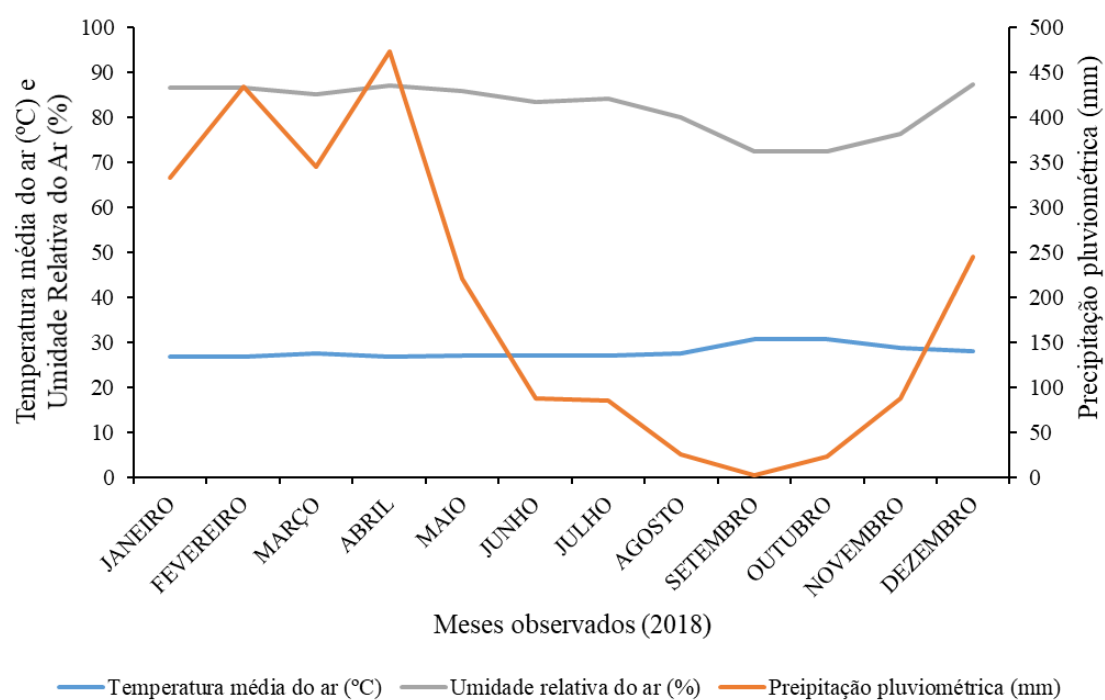


Fig 6. Temperatura média do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. Paço do Lumiar, MA, 2018.

Tabela 1. Caracterização química do solo antes da aplicação dos tratamentos. Paço do Lumiar, MA.

Análise de solo											
M.O	pH	P	K	Ca	Mg	S.B.	H+Al	CTC	V	K/CTC	Mg/CTC
(g/dm ³)		(mg/dm ³)mmolc/dm ³						(%)	(%)	(%)
13	6,0	20	2,6	18	15	35,6	12	47,6	75	5,5	31,5

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES GERAIS

CONCLUSÕES GERAIS

- *C. latifolia* fertilizadas com NPK + K₂O₃Si e adubação orgânica + K₂O₃Si são menos suscetíveis à *A. woglumi*;
- *C. latifolia* fertilizadas com NPK apresentam maior suscetibilidade à *A. woglumi*;
- Maior incidência de posturas, ovos e ninfas de 1º instar ocorre no estrato apical e ninfas de 2º, 3º e 4º instar preferem os estratos basal e mediano em *C. latifolia*;
- Plantas de lima-ácida Tahiti fertilizadas com NPK + K₂O₃Si e adubação orgânica + K₂O₃Si são menos suscetíveis à *A. woglumi* e são eficientes na assimilação fotossintética de CO₂, condutância estomática, transpiração instantânea, concentração interna de Ci, relação Ci/Ca e DPV_{folha-ar} no período seco e chuvoso; O silicato de potássio aumenta a produção de fotoassimilados em *C. latifolia* com incremento na taxa fotossintética e elevado Índice SPAD;
- Plantas de *C. latifolia* adubadas com NPK e adubação orgânica apresentam maior suscetibilidade à *A. woglumi* e alteram o Índice SPAD, a assimilação fotossintética de CO₂, a condutância estomática, a transpiração instantânea e o DPV_{folha-ar} no período seco e chuvoso;
- Maior conteúdo de proteínas totais são expressos durante o período seco em plantas de citros com adubação orgânica + K₂O₃Si, NPK e NPK + K₂O₃Si; A adição de adubo mineral e orgânico diminui a atividade de peroxidase e aumenta a atividade de polifenoloxidase promovendo alterações em *C. latifolia* infestadas por *A. woglumi*.

ANEXO 1. Normas de formatação: International Journal of Agriculture and Biology

Guia para o autor: O International Journal of Agriculture and Biology (IJAB) publica artigos revisados por pares em todos os aspectos da agricultura e da biologia, como revisões (solicitadas ou submetidas), artigos de pesquisa (comprimento total e comunicações curtas). As contribuições são consideradas para avaliação no entendimento de que são originais e não estão sendo consideradas para publicação em outro lugar. Após avaliação preliminar e verificação de plágio e formatação pela Redação, os trabalhos são encaminhados a pareceristas (especialistas na área) para avaliação. A decisão do Editor-Chefe de publicar um artigo em concordância com a opinião do (s) revisor (es) é considerada final.

Escopo do Jornal: Embora o IJAB considere um amplo espectro de artigos submetidos para publicação, é um pré-requisito que as contribuições tenham grande relevância para o trabalho experimental nas disciplinas agrícolas e biológicas. Para comodidade dos autores, as áreas prioritárias incluem: Ciências da Vida, Química Agrícola, Engenharia Genética, Biotecnologia e Bioinformática, Ciências Ambientais (artigos relacionados apenas com ciências da vida), Medicina e Ciências da Saúde, Agricultura de Precisão.

Envio de Manuscritos: As contribuições em inglês podem ser enviadas por meio de envio online usando: www.fspublishers.org. Após o recebimento, os manuscritos recebem um número de identificação e são revisados inicialmente pelo Conselho Editorial e, se considerados adequados, são enviados para revisão. Os manuscritos que não estiverem no formato são devolvidos aos autores. Os autores são desencorajados a citar referências do IJAB / JASS para evitar autocitações. A revisão de um artigo normalmente leva cerca de dois meses, e a decisão, qualquer que seja, é comunicada ao autor correspondente. Após aceitação, correção das provas e transferência dos direitos autorais para as editoras do FS, é publicado um artigo por sua vez. Resenhas: O IJAB incentiva a submissão de resenhas por autores que tenham um desempenho considerável em suas áreas de especialização. Antes de submeter as revisões, os autores são encorajados a entrar em contato com o Editor-Chefe.

Formato: Exceto no caso de resenhas, as contribuições não devem ultrapassar o equivalente a seis páginas impressas de periódicos, incluindo tabelas, ilustrações e referências. Comunicações curtas devem seguir os requisitos para artigos de pesquisa originais, mas o texto não deve exceder 1000 palavras. Uma página típica de texto no jornal contém cerca

de 520 palavras. Os manuscritos devem ser digitados em um lado da folha de papel A4, em espaço duplo, com margem de 3 cm de cada lado e paginado. Todas as contribuições estão sujeitas a revisão editorial. Para seguir estritamente o estilo, os autores devem baixar o artigo de amostra e organizar seus artigos estritamente de acordo com ele. Um artigo completo deve ser organizado como:

Página de título contendo os seguintes campos:

- a. **Tipo de manuscrito:** Artigo de pesquisa original / artigo de revisão / comunicação de imagem.
- b. **Título:** título completo do seu manuscrito (nomes das espécies sem o nome da autoridade).
- c. **Título corrente:** não deve ter mais de 60 caracteres com espaços).
- d. **Autores:** nomes completos dos colaboradores, juntamente com sua afiliação (por favor, não use abreviações).
- e. **Para correspondência:** endereço de e-mail dos autores correspondentes DEVE ser fornecido.
- f. **Declaração de novidade (4-5 pontos)** destacando o mérito científico do trabalho relatado no manuscrito.

Resumo (não mais do que 200–250 palavras enfatizando objetivos, resultados importantes, conclusões e implicações práticas).

Palavras-chave (quatro a seis).

Introdução (deve destacar o histórico do problema à luz da literatura recente, hipótese a ser testada e objetivos específicos).

Materiais e Métodos (deve ser direto ao ponto e explícito).

Resultados (deve incluir significância estatística do efeito do tratamento, etc.).

Discussão (deve ser lógico e refletir a originalidade da contribuição e descobertas discutidas à luz da literatura mais recente).

Conclusão (deve ser breve e refletir a essência do trabalho).

Agradecimento (deve ser o mais breve possível)

Referências

O estilo de referências para citação de texto é: a) com a data entre parênteses, por exemplo, como demonstrado por Chirnside (1992); ou (b) com nomes e datas entre parênteses, por exemplo, de acordo com descobertas recentes (Chirnside, 1992); (c) Basra e Iqbal (1999); (d)

conforme descrito anteriormente (Basra e Iqbal, 1999); (e) Rikihisa et al. (1999) ou (I) conforme descrito anteriormente (Rikihisa et al., 1999). Se houver mais de dois autores, o primeiro autor deve ser fornecido seguido de et al., Onde listas de referências são citadas. No texto, duas ou mais referências devem ser colocadas em ordem cronológica, por exemplo, (Jones, 1967; Chirnside, 1992). Se forem citadas mais de uma referência do (s) mesmo (s) autor (es) publicado (s) no mesmo ano, elas devem ser diferenciadas colocando-se a, b, etc. após o ano. As referências no final do artigo devem ser organizadas em ordem alfabética. Os nomes de todos os autores devem ser incluídos. As referências devem ser definidas da seguinte forma:

Referência de jornal

Iqbal, Z., 1992. Prevalence of helminths in sheep and goats. Pak. Veterinario. J., 5: 1-8
 Khan, AS e A. Rizwan, 2000. Combining capacity analysis of wheat. Int. J. Agric. Biol., 2: 77–79

Akhtar, J., MA Qureshi, A. Naseem, MS Iqbal e MA Masood, 2000. Resposta diferencial de cultivares de arroz contra salinidade. Int. J. Agric. Biol., 2: 10–13
 Kene, DR, 1976. A queda da produção de trigo precisa de micronutrientes para corrigir esta situação. Nagpur Agric. Coll. Mag., 48: 1-7

Referência de livro

Taiz, L. e E. Zeiger, 2006. Plant Physiology, 4ª edição, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, EUA

Referência de livro editado com vários autores

Gorham J. e RG Wyn Jones, 1993. Utilização de Triticeae para melhorar a tolerância ao sal em trigo. In: Rumo ao: Uso racional de plantas tolerantes à alta salinidade. pp: 27–33. H. Leith e AA Massoum (eds.). Publicações Acadêmicas Kluwer, Holanda.

Página da web

Pandey, RK, D. Kumar e KM Jadhav, 2011. Avaliação dos determinantes para a redução do conteúdo de HCN em Sorgo usado para ruminantes em Gujarat, Índia. Disponível em: <http://www.lrrd.org/lrrd23/3/pand23066.htm> (Acesso: 23 de março de 2012)

Para conveniência dos autores, listas de nomes de países abreviados, unidades de medida e abreviações de palavras usadas em nomes de periódicos são fornecido no papel de amostra Tabelas e ilustrações (a serem dispostas ao final): As tabelas devem ser dactilografadas em folhas separadas e numeradas em algarismos romanos. Letras minúsculas sobrescritas devem indicar notas de rodapé nas tabelas. Todas as tabelas e figuras devem ser citadas no texto. As ilustrações (referidas como fotografias, gráficos de linhas ou gráficos de barras) devem ser em preto e branco ou padronizadas (o uso de gráficos de linhas coloridos ou gráficos de barras é

altamente desencorajado). A digitalização das fotografias pode ser fornecida em arquivo Tiff ou JPG separadamente ou inserida no texto. As legendas das ilustrações devem ser numeradas consecutivamente para corresponder às figuras.

Provas: Após revisão satisfatória, aceitação e recebimento das taxas de publicação, os manuscritos são formatados. As provas são preparadas e enviadas aos autores para correção, as quais devem ser devolvidas imediatamente. Apenas pequenas correções (não mais que 5% dos dados ou texto) são permitidas nesta fase. Caso as provas corrigidas não sejam recebidas na data de vencimento, a Redação fará as correções e enviará os trabalhos para impressão final. O tratamento das provas é feito eletronicamente.

Taxas de Publicação: Estrangeiro: US \$ 400 para cada artigo aceito. Todas essas despesas podem ser pagas: Estrangeiro: (a) Por meio do Western Union Bank dirigido ao Dr. Zafar Iqbal. Envie o recibo do banco por e-mail ou apenas envie por e-mail o número de controle de transferência de dinheiro (10 dígitos) e o nome e endereço completos do remetente OU (b) Friends Science Publishers através do número de conta bancária internacional (IBAN) PK47HABB0001427901881203 Habib Bank of Pakistan, Bankers Street, Near Estate Care Department, University of Agriculture Faisalabad, Paquistão. Código Swift HABBPKKA. (enviar comprovante de todas as transações); Interior: Pak. Rs. 25.000 como saque bancário em favor do “International Journal of Agriculture and Biology” dirigido ao Dr. Zafar Iqbal, Departamento de Parasitologia, Universidade de Agricultura, Faisalabad-38040, Paquistão; Reimpressões: Após a publicação final, um fascículo estará disponível online em: www.fspublishers.org cerca de 15-20 dias antes da data de publicação original. O autor para correspondência receberá apenas PDF; **nenhuma cópia impressa das reimpressões ou cópia do jornal será fornecida.**

ANEXO 2. Normas de formatação: Revista Arthropod-Plant Interactions

Instruções para Autores

Língua: A revista Arthropod-Plant Interactions é publicada apenas em inglês. Portanto, os manuscritos submetidos devem estar no idioma inglês aceitável para serem considerados para revisão para publicação. Aqueles enviados não nesse formulário não serão revisados.

Os manuscritos aceitos para publicação serão verificados pelos nossos editores quanto à ortografia e estilo formal. Isso pode não ser suficiente se o inglês não for seu idioma nativo e for necessária uma edição substancial. Nesse caso, convém ter seu manuscrito editado por um falante nativo antes do envio. Uma linguagem clara e concisa ajudará editores e revisores a se concentrarem no conteúdo científico do seu trabalho e, assim, facilitar o processo de revisão por pares. O serviço de edição a seguir fornece edição de idiomas para artigos científicos em: Medicina, ciências biomédicas e da vida, química, física, engenharia, negócios / economia e ciências humanas

• **Edanz Editing Global:** O uso de um serviço de edição não é um requisito nem uma garantia de aceitação para publicação. Entre em contato diretamente com o serviço de edição para fazer arranjos para edição e pagamento. <http://edanzediting.com/springer>

Edanz Editing Global

Submissão de manuscrito

A submissão de um manuscrito implica: que o trabalho descrito não tenha sido publicado anteriormente; que não está sendo considerado para publicação em nenhum outro lugar; que sua publicação foi aprovada por todos os co-autores, se houver, e pelas autoridades responsáveis - tácita ou explicitamente - no instituto em que o trabalho foi realizado. O editor não se responsabilizará legalmente se houver pedidos de indenização.

Permissões: Os autores que desejam incluir figuras, tabelas ou passagens de texto que já foram publicadas em outros locais devem obter permissão do (s) proprietário (s) dos direitos autorais para o formato impresso e online e incluir evidências de que essa permissão foi concedida ao enviar seus trabalhos. Qualquer material recebido sem tais evidências será assumido como originário dos autores.

Submissão Online: Por favor, siga o hiperlink “Enviar online” à direita e carregue todos os seus arquivos de manuscrito seguindo as instruções fornecidas na tela.

Certifique-se de fornecer todos os arquivos de origem editáveis relevantes. Não enviar esses arquivos de origem pode causar atrasos desnecessários no processo de revisão e produção.

Pedido adicional: Após o envio, os endereços de e-mail de todos os autores serão solicitados. Ao final do processo de envio, o autor correspondente receberá um e-mail de confirmação e todos os co-autores serão contatados automaticamente para confirmar sua afiliação ao trabalho enviado.

Folha de rosto

A página de título deve incluir:

- O (s) nome (s) do (s) autor (es)
- Um título conciso e informativo
- A afiliação do (s) autor (es), ou seja, instituição, (departamento), cidade, (estado), país
- Uma indicação clara e um endereço de e-mail ativo do autor correspondente
- Se disponível, o ORCID de 16 dígitos do (s) autor (es)

Se as informações de endereço forem fornecidas com a (s) afiliação (ões), elas também serão publicadas.

Para autores que não são afiliados (temporariamente), apenas capturaremos sua cidade e país de residência, e não seu endereço de e-mail, a menos que seja especificamente solicitado.

Resumo

Forneça um resumo de 150 a 250 palavras. O resumo não deve conter abreviações indefinidas ou referências não especificadas.

Palavras-chave

Forneça de 4 a 6 palavras-chave que podem ser usadas para fins de indexação.

Texto: Formatação de texto

Os manuscritos devem ser enviados no Word.

- Use uma fonte normal e simples (por exemplo, Times Roman de 10 pontos) para o texto.
- Use itálico para enfatizar.
- Use a função de numeração automática de páginas para numerar as páginas.
- Não use funções de campo.
- Use paradas de tabulação ou outros comandos para recuos, não a barra de espaço.
- Use a função de tabela, não planilhas, para criar tabelas.
- Use o editor de equações ou MathType para equações.
- Salve seu arquivo no formato docx (Word 2007 ou superior) ou no formato doc (versões anteriores do Word).

Manuscritos com conteúdo matemático também podem ser enviados no LaTeX.

- Pacote macro LaTeX (zip, 183 kB)

Cabeçalhos

Por favor, use não mais que três níveis de títulos exibidos.

Abreviações: As abreviaturas devem ser definidas à primeira menção e usadas de forma consistente a partir de então.

Notas de rodapé: As notas de rodapé podem ser usadas para fornecer informações adicionais, que podem incluir a citação de uma referência incluída na lista de referências. Eles não devem consistir apenas em uma citação de referência e nunca devem incluir os detalhes bibliográficos de uma referência. Eles também não devem conter figuras ou tabelas. As notas de rodapé do texto são numeradas consecutivamente; aqueles nas tabelas devem ser indicados por letras minúsculas sobrescritas (ou asteriscos para valores de significância e outros dados estatísticos). As notas de rodapé do título ou dos autores do artigo não recebem símbolos de referência. Sempre use notas de rodapé em vez de notas de fim.

Agradecimentos

Agradecimentos de pessoas, subsídios, fundos etc. devem ser colocados em uma seção separada na página de rosto. Os nomes das organizações financiadoras devem ser escritos na íntegra.

Referências

Citação

Cite referências no texto por nome e ano entre parênteses. Alguns exemplos:

- A pesquisa de negociação abrange muitas disciplinas (Thompson 1990).
- Este resultado foi posteriormente contradito por Becker e Seligman (1996).
- Este efeito tem sido amplamente estudado (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso e Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

Lista de referência

A lista de referências deve incluir apenas trabalhos citados no texto e publicados ou aceitos para publicação. Comunicações pessoais e trabalhos não publicados devem ser mencionados apenas no texto. Não use notas de rodapé ou notas finais como um substituto para uma lista de referência.

As entradas da lista de referências devem ser alfabetizadas pelos sobrenomes do primeiro autor de cada trabalho. Solicite publicações com vários autores do mesmo primeiro autor em ordem alfabética em relação ao segundo, terceiro etc. autor. Publicações exatamente do mesmo autor (s) devem ser ordenadas cronologicamente.

- Artigo de jornal

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Efeito do treinamento intermitente de alta intensidade na variabilidade da frequência cardíaca em

crianças pré-púberes. *Eur J Appl Physiol* 105: 731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>

Idealmente, os nomes de todos os autores devem ser fornecidos, mas o uso de "et al" em longas listas de autores também será aceito:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Futuro do seguro de saúde. *N Engl J Med* 965: 325–329

- Artigo por DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Implicações clínicas da produção desregulada de citocinas. *J Mol Med*. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>

- Livro

J sul, Blass B (2001) O futuro da genômica moderna. Blackwell, Londres

- Capítulo de livro

Brown B, Aaron M (2001) A política da natureza. In: Smith J (ed) O surgimento da genômica moderna, 3ª edn. Wiley, Nova York, pp 230-257

- Documento online

Cartwright J (2007) Grandes estrelas também têm clima. *PIO Publicando PhysicsWeb*. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Acessado em 26 de junho de 2007

- Dissertação

Trent JW (1975) Insuficiência renal aguda experimental. Dissertação, Universidade da Califórnia

Sempre use a abreviação padrão do nome de um periódico de acordo com a Lista ISSN de abreviações de palavras do título, consulte

- ISSN LTWA

Se não tiver certeza, use o título completo da revista.

Para autores que usam o EndNote, o Springer fornece um estilo de saída que suporta a formatação de citações no texto e lista de referências.

- Estilo EndNote (zip, 2 kB)

Tabelas

- Todas as tabelas devem ser numeradas usando algarismos arábicos.
- As tabelas devem sempre ser citadas no texto em ordem numérica consecutiva.
- Para cada tabela, forneça uma legenda (título) explicando os componentes da tabela.
- Identifique qualquer material publicado anteriormente, fornecendo a fonte original na forma de uma referência no final da legenda da tabela.

- As notas de rodapé das tabelas devem ser indicadas por letras minúsculas sobrescritas (ou asteriscos para valores de significância e outros dados estatísticos) e incluídas abaixo do corpo da tabela.

Diretrizes de ilustrações e ilustrações: Submissão Eletrônica de Figuras

- Forneça todas as figuras eletronicamente.
- Indique qual programa gráfico foi usado para criar a arte.
- Para gráficos vetoriais, o formato preferido é EPS; para meios-tons, use o formato TIFF. Os arquivos do MSOffice também são aceitáveis.
- Os gráficos vetoriais que contêm fontes devem ter as fontes incorporadas nos arquivos.
- Nomeie seus arquivos de figuras com “Fig” e o número da figura, por exemplo, Fig1.eps.

Linha artística:

- Definição: Gráfico em preto e branco sem sombreado.
- Não use linhas e / ou letras esbatidas e verifique se todas as linhas e letras nas figuras são legíveis no tamanho final.
- Todas as linhas devem ter pelo menos 0,1 mm (0,3 pt) de largura.
- Desenhos de linha digitalizados e desenhos de linha no formato bitmap devem ter uma resolução mínima de 1200 dpi.
- Os gráficos vetoriais que contêm fontes devem ter as fontes incorporadas nos arquivos.

Arte De Meio-tom:

- Definição: Fotografias, desenhos ou pinturas com sombreado fino, etc.; Se alguma ampliação for usada nas fotografias, indique isso usando barras de escala nas próprias figuras; Os meios-tons devem ter uma resolução mínima de 300 dpi.

Arte Combinada: Definição: uma combinação de meio-tom e arte de linha, por exemplo, meios-tons contendo desenho de linha, letras extensas, diagramas de cores etc.; O trabalho artístico combinado deve ter uma resolução mínima de 600 dpi.

Arte colorida: A arte em cores é gratuita para publicação on-line; Se preto e branco for mostrado na versão impressa, verifique se as informações principais ainda estarão visíveis. Muitas cores não são distinguíveis uma da outra quando convertidas em preto e branco. Uma maneira simples de verificar isso é fazer uma cópia xerográfica para ver se as distinções necessárias entre as diferentes cores ainda são aparentes; Se as figuras forem impressas em preto e branco, não faça referência às cores nas legendas; As ilustrações coloridas devem ser enviadas como RGB (8 bits por canal).

Figura Lettering:

- Para adicionar letras, é melhor usar Helvetica ou Arial (fontes sem serifa).
- Mantenha as letras de tamanho consistente em todo o trabalho artístico final, geralmente cerca de 2 a 3 mm (8 a 12 pt).
- A variação do tamanho do tipo em uma ilustração deve ser mínima, por exemplo, não use o tipo de 8 pontos em um eixo e o tipo de 20 pontos no rótulo do eixo.
- Evite efeitos como sombreamento, letras de contorno etc.
- Não inclua títulos ou legendas nas suas ilustrações.

Numeração de figuras:

- Todas as figuras devem ser numeradas usando algarismos arábicos.
- As figuras devem sempre ser citadas no texto em ordem numérica consecutiva.
- As partes da figura devem ser indicadas por letras minúsculas (a, b, c, etc.).
- Se um apêndice aparecer no seu artigo e ele contiver uma ou mais figuras, continue a numeração consecutiva do texto principal. Não numere as figuras do apêndice, “A1, A2, A3, etc.” Os números nos apêndices on-line (material suplementar eletrônico) devem, no entanto, ser numerados separadamente.

Legendas das Figuras:

- Cada figura deve ter uma legenda concisa descrevendo com precisão o que a figura representa. Inclua as legendas no arquivo de texto do manuscrito, não no arquivo de figuras.
- As legendas das figuras começam com o termo Fig. Em negrito, seguido pelo número da figura, também em negrito.
- Nenhuma pontuação deve ser incluída após o número, e nenhuma pontuação deve ser colocada no final da legenda.
- Identifique todos os elementos encontrados na figura na legenda da figura; e use caixas, círculos, etc., como pontos de coordenadas nos gráficos.
- Identifique o material publicado anteriormente, fornecendo a fonte original na forma de uma citação de referência no final da legenda da figura.

Posicionamento e tamanho da figura: As figuras devem ser enviadas separadamente do texto, se possível; Ao preparar suas figuras, dimensione as figuras para caber na largura da coluna; Para jornais de tamanho grande, as figuras devem ter 84 mm (para áreas de texto com coluna dupla) ou 174 mm (para áreas de texto com coluna única) de largura e não mais que 234 mm; Para periódicos de pequeno porte, os números devem ter 119 mm de largura e não exceder 195 mm.

Permissões: Se você incluir figuras que já foram publicadas em outros lugares, deverá obter permissão do (s) proprietário (s) dos direitos autorais para os formatos impresso e online. Esteja

ciente de que alguns editores não concedem direitos eletrônicos de graça e que a Springer não poderá reembolsar quaisquer custos que possam ter ocorrido para receber essas permissões. Nesses casos, deve ser utilizado material de outras fontes.

Acessibilidade: Para dar às pessoas de todas as habilidades e deficiências acesso ao conteúdo de suas figuras, verifique se: Todas as figuras têm legendas descritivas (usuários cegos podem usar um software de conversão de texto em fala ou um hardware de texto em braille); Os padrões são usados em vez de ou além das cores para transmitir informações (os usuários daltônicos poderão distinguir os elementos visuais); Qualquer letra de figura tem uma relação de contraste de pelo menos 4,5: 1.

Material suplementar eletrônico: O Springer aceita arquivos eletrônicos de multimídia (animações, filmes, áudio etc.) e outros arquivos suplementares a serem publicados on-line junto com um artigo ou um capítulo de livro. Esse recurso pode adicionar dimensão ao artigo do autor, pois determinadas informações não podem ser impressas ou são mais convenientes em formato eletrônico; Antes de enviar os conjuntos de dados de pesquisa como material eletrônico complementar, os autores devem ler a política de dados de pesquisa da revista. Incentivamos os dados da pesquisa a serem arquivados nos repositórios de dados sempre que possível.

Submissão: Forneça todo o material suplementar em formatos de arquivo padrão; Inclua em cada arquivo as seguintes informações: título do artigo, nome da revista, nome do autor; afiliação e endereço de e-mail do autor correspondente; Para acomodar downloads de usuários, lembre-se de que arquivos de tamanho maior podem exigir tempos de download muito longos e que alguns usuários podem ter outros problemas durante o download.

Áudio, Vídeo e Animações: Proporção da imagem: 16: 9 ou 4: 3; Tamanho máximo do arquivo: 25 GB; Duração mínima do vídeo: 1 seg; Formatos de arquivo suportados: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp.

Texto e Apresentações: Envie seu material em formato PDF; Os arquivos doc ou ppt não são adequados para viabilidade a longo prazo. Uma coleção de figuras também pode ser combinada em um arquivo PDF.

Planilhas: As planilhas devem ser enviadas como arquivos csv ou xlsx (MS Excel).

Formatos especializados: Também podem ser fornecidos formatos especializados como pdb (produto químico), wrl (VRML), nb (notebook Mathematica) e tex.

Coletando vários arquivos: É possível coletar vários arquivos em um arquivo zip ou gz.

Numeração: Ao fornecer qualquer material suplementar, o texto deve fazer menção específica ao material como citação, semelhante ao das figuras e tabelas. Consulte os arquivos

suplementares como “Recurso Online”, por exemplo, “... conforme mostrado na animação (Recurso Online 3)”, “... dados adicionais são fornecidos no Recurso Online 4”. Nomeie os arquivos consecutivamente, por exemplo, “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Legendas: Para cada material suplementar, forneça uma legenda concisa descrevendo o conteúdo do arquivo.

Processamento de arquivos suplementares: O material suplementar eletrônico será publicado conforme recebido do autor, sem qualquer conversão, edição ou reformatação.

Acessibilidade: Para dar às pessoas de todas as habilidades e deficiências acesso ao conteúdo de seus arquivos suplementares, verifique se: O manuscrito contém uma legenda descritiva para cada material suplementar; Os arquivos de vídeo não contêm nada que pisque mais de três vezes por segundo (para que os usuários propensos a convulsões causadas por esses efeitos não sejam colocados em risco).

Responsabilidades éticas dos autores: Esta revista está comprometida em manter a integridade do registro científico. Como membro do Comitê de Ética em Publicações (COPE), a revista seguirá as diretrizes do COPE sobre como lidar com possíveis atos de má conduta.

Os autores devem abster-se de deturpar os resultados da pesquisa que possam prejudicar a confiança na revista, o profissionalismo da autoria científica e, finalmente, todo o esforço científico. A manutenção da integridade da pesquisa e sua apresentação é ajudada pelo cumprimento das regras de boas práticas científicas, que incluem *:

- O manuscrito não deve ser submetido a mais de um periódico para consideração simultânea.
- O trabalho enviado deve ser original e não deve ter sido publicado em nenhum outro lugar, em nenhuma forma ou idioma (parcial ou totalmente), a menos que o novo trabalho envolva uma expansão do trabalho anterior. (Por favor, forneça transparência sobre a reutilização do material para evitar preocupações com a reciclagem de texto ('auto-plágio').
- Um único estudo não deve ser dividido em várias partes para aumentar a quantidade de envios e submetidos a vários periódicos ou a um periódico ao longo do tempo (ou seja, 'fatias de salame/publicação').
- A publicação simultânea ou secundária às vezes é justificável, desde que determinadas condições sejam atendidas. Os exemplos incluem: traduções ou um manuscrito destinado a um grupo diferente de leitores.
- Os resultados devem ser apresentados de forma clara, honesta e sem fabricação, falsificação ou manipulação inadequada de dados (incluindo manipulação baseada em

imagem). Os autores devem aderir às regras específicas da disciplina para aquisição, seleção e processamento de dados.

- Nenhum dado, texto ou teoria de terceiros é apresentado como se fosse do próprio autor ('plágio'). Devem ser dados os devidos agradecimentos a outras obras (isso inclui material que é copiado de perto (quase literalmente), resumido e / ou parafraseado), aspas (para indicar palavras extraídas de outra fonte) são usadas para cópia literal do material e permissões garantidas para material com direitos autorais.

Nota importante: a revista pode usar o software para rastrear plágio.

- Os autores devem se certificar de que têm permissões para o uso de software, questionários / pesquisas na web e escalas em seus estudos (se apropriado).
- Os autores devem evitar declarações falsas sobre uma entidade (que pode ser uma pessoa ou empresa individual) ou descrições de seu comportamento ou ações que possam ser vistas como ataques ou alegações pessoais sobre essa pessoa.
- A pesquisa que pode ser mal aplicada para representar uma ameaça à saúde pública ou à segurança nacional deve ser claramente identificada no manuscrito (por exemplo, uso duplo de pesquisa). Exemplos incluem a criação de consequências nocivas de agentes ou toxinas biológicas, interrupção da imunidade de vacinas, riscos incomuns no uso de produtos químicos, armamento de pesquisa / tecnologia (entre outros).
- Os autores são fortemente aconselhados a garantir que o grupo de autores, o autor correspondente e a ordem dos autores estejam corretos no envio. A adição e / ou exclusão de autores durante os estágios de revisão geralmente não é permitida, mas em alguns casos pode ser justificada. Os motivos para alterações na autoria devem ser explicados em detalhes. Observe que as alterações de autoria não podem ser feitas após a aceitação de um manuscrito.

* Todas as orientações acima são diretrizes e os autores precisam respeitar os direitos de terceiros, como direitos autorais e / ou direitos morais.

Mediante solicitação, os autores devem estar preparados para enviar documentação ou dados relevantes, a fim de verificar a validade dos resultados apresentados. Isso pode ser na forma de dados brutos, amostras, registros etc. Informações confidenciais na forma de dados confidenciais ou proprietários são excluídas.

Se houver suspeita de mau comportamento ou suposta fraude, a Revista e / ou o Editor realizarão uma investigação seguindo as diretrizes da COPE. Se, após a investigação, houver preocupações válidas, o (s) autor (es) em questão será contatado sob o endereço de e-mail fornecido e terá a oportunidade de resolver o problema. Dependendo da situação, isso pode

resultar na implementação da Revista e / ou Editor das seguintes medidas, incluindo, entre outras:

- Se o manuscrito ainda estiver em consideração, poderá ser rejeitado e devolvido ao autor.
- Se o artigo já foi publicado on-line, dependendo da natureza e gravidade da infração:
 - uma errata / correção pode ser inserida no artigo
 - uma expressão de preocupação pode ser colocada no artigo
 - ou em casos graves, pode ocorrer retração do artigo.

O motivo será apresentado na errata / correção publicada, expressão de preocupação ou nota de retratação. Observe que a retração significa que o artigo é mantido na plataforma, com a marca d'água "retraída" e a explicação para a retração é fornecida em uma nota vinculada ao artigo com marca d'água.

- A instituição do autor pode ser informada
- Um aviso de suspeita de transgressão de padrões éticos no sistema de revisão por pares pode ser incluído como parte do registro bibliográfico do autor e do artigo.

Erros fundamentais: Os autores têm a obrigação de corrigir erros quando descobrem um erro ou imprecisão significativa em seu artigo publicado. Solicita-se aos autores que entrem em contato com a revista e expliquem em que sentido o erro está afetando o artigo. Uma decisão sobre como corrigir a literatura dependerá da natureza do erro. Isso pode ser uma correção ou retração. A nota de retratação deve fornecer transparência sobre quais partes do artigo são afetadas pelo erro.

Sugestões/exclusão de revisores: Os autores podem sugerir revisores adequados e/ou solicitar a exclusão de determinados indivíduos quando enviarem seus manuscritos. Ao sugerir revisores, os autores devem se certificar de que são totalmente independentes e não estão conectados ao trabalho de forma alguma. É altamente recomendável sugerir uma mistura de revisores de diferentes países e instituições. Ao sugerir revisores, o Autor Correspondente deve fornecer um endereço de e-mail institucional para cada revisor sugerido ou, se isso não for possível, incluir outros meios de verificar a identidade, como um link para uma página pessoal, um link para o registro da publicação ou um ID do pesquisador ou autor na carta de envio. Observe que a Revista pode não usar as sugestões, mas as sugestões são apreciadas e podem ajudar a facilitar o processo de revisão por pares.

ANEXO 3. Normas de formatação: Australian Journal of Crop Science

Artigos de pesquisa completos

1) O idioma do diário é o inglês. Ortografia e terminologia em inglês britânico ou inglês americano podem ser usadas no artigo. Forneça seu manuscrito em espaçamento duplo (ou 1,5), fonte Times e New Roman (tamanho 12), alinhamento esquerdo, formato Word. Os colaboradores que não são falantes nativos de inglês são fortemente encorajados a garantir que um colega fluente no idioma inglês, se nenhum dos autores for assim, revise seu manuscrito. A revista tem uma opção para facilitar a correção de idiomas dos manuscritos, se os autores não tiverem certeza sobre a correção da gramática e ortografia dos manuscritos.

2) Estilo dos trabalhos: Os trabalhos de pesquisa originais geralmente não devem exceder 12 páginas de texto impresso, excluindo referências, tabelas e legendas de figuras (uma página de texto impresso = aproximadamente 600 palavras). Um manuscrito para um trabalho de pesquisa deve ser montado na seguinte ordem: Título, Autor (es), Afiliação (ões) (se o autor sênior não for o autor correspondente, isso é indicado) Palavras-chave, Abreviações, Resumo, Introdução, Resultados, Discussão (resultados e discussão podem ser combinados), Materiais e métodos, Conclusão, Agradecimentos, Referências. Tabelas e figuras (JPEG / 75 DPI ou mais) devem ser colocadas no final do manuscrito, após a seção de referência, e numeradas consecutivamente (por exemplo, para figuras, Fig 1., Fig 2 e para tabelas 1., Tabela 2. etc.). Coloque tabelas e figuras no final do manuscrito consecutivamente.

Resumo: forneça um resumo breve entre 150 e 250 palavras. O resumo não deve conter abreviações indefinidas ou referências não especificadas. Geralmente, o resumo resume o trabalho relatado e não contém informações básicas ou declarações especulativas.

Introdução: Esta seção deve discutir o caso do seu estudo, descrevendo apenas os antecedentes essenciais, mas não deve incluir os resultados nem as conclusões. Não deve ser uma revisão da área de assunto, mas deve terminar com uma declaração clara da questão que está sendo abordada. Forneça um contexto para o relatório com relação ao trabalho anterior realizado em campo. A literatura deve ser citada.

Resultados: isso deve destacar os resultados e a significância dos resultados e colocá-los no contexto de outro trabalho. O parágrafo final deve fornecer um resumo das principais conclusões.

Discussão: É necessária uma seção de discussão abrangente para justificar os resultados. Normalmente, uma comparação entre seus resultados e os resultados de trabalhos anteriores deve ser apresentada na Discussão.

Materiais e métodos: Forneça detalhes metodológicos suficientes para permitir que uma pessoa competente repita o trabalho.

Tabelas, gráficos e figuras: As tabelas, gráficos e figuras devem ser colocadas ao final do manuscrito, após a seção de referência, com as legendas e numeradas consecutivamente. Para figuras e gráficos ou ilustrações, basta usar a Fig 1., Fig 2. etc. Para tabelas basta usar a Tabela 1., Tabela 2.

Agradecimentos: Apenas mencione um rápido agradecimento aos provedores de fundos, apoiadores etc.

Referência cruzada: No texto, uma referência identificada por meio do nome de um autor deve ser seguida pela data da referência entre parênteses como Xue et al. (2011). No texto quando houver mais de dois autores, apenas o nome do primeiro autor deve ser mencionado, seguido por 'et al.' Por exemplo. Xu et al., (2016). Caso um autor citado tenha publicado dois ou mais trabalhos no mesmo ano, a referência, tanto no texto quanto na lista de referências, deve ser identificada por letra minúscula.

Todos os exemplos abaixo podem ser usados no texto: De acordo Mark (1986); (Smith, 1987a, b), (Jones, 1986; Elders et al., 1988), (Bullen e Bennett, 1990).

Referências:

- A) Artigo de periódico: Smith J, Jones MJ, Houghton LD (1999) Future of health insurance. N Engl J Med. 965: 325–329.
- B) Edição da revista com o editor da edição: Smith J (ed) (1998) Rodent genes. Mod Genomics J. 14 (6): 126-233.
- C) Capítulo do livro: Brown B, Aaron M (2001) A política da natureza. In: Smith J (ed) O surgimento da genômica moderna, 3ª edn. Wiley, Nova Iorque. 4)
- D) Trabalho apresentado em uma conferência: Chung ST, Morris RL (1978) Isolamento e caracterização do ácido desoxirribonucleico plasmídeo de *Streptomyces fradiae*. Trabalho apresentado no III Simpósio Internacional sobre Genética de Microrganismos Industriais, Universidade de Wisconsin, Madison, de 4 a 9 de junho de 1978.
- E) Procedimentos como livro (em uma série e sub-série): Zowghi D et al (1996) Uma estrutura para raciocinar sobre requisitos em evolução. In: Foo N, Goebel R (eds) PRICAI'96: tópicos em inteligência artificial. 4ª Conferência da Orla do Pacífico sobre inteligência artificial, Cairns, agosto de 1996.
- F) Notas de aula em ciência da computação (notas de aula em inteligência artificial), vol 1114. Springer, Berlin Heidelberg New York, p 157. 6. Processo com um editor (sem editor): Aaron M (1999) O futuro da genômica. In: Williams H (ed) Proceedings dos pesquisadores

genômicos, Boston, 1999.

Encargos de publicação: existe uma taxa de 530 AUD (dólares australianos) por artigo para publicação on-line. A partir de 1º de julho de 2018, um GST de 10% será aplicado. Uma pequena taxa de transação bancária pode ser cobrada dos autores / pagamentos de outros países. A publicação dos manuscritos não se restringirá à capacidade dos autores de fazer a taxa de publicação. Os manuscritos de autores australianos podem ser publicados gratuitamente, se o projeto tiver sido realizado ou financiado por universidades / institutos australianos. Para solicitar a cópia impressa do periódico e as reimpressões ou fazer perguntas sobre a taxa de publicação, entre em contato com o editor-gerente da revista: tony.elders@gmail.com