



RESISTÊNCIA A ABAMECTIN EM POPULAÇÕES DE *TETRANYCHUS URTICAE* KOCH (ACARI: TETRANYCHIDAE) DE ALGODÃO E MINI ROSA: SELEÇÃO, ESTABILIDADE, RESISTÊNCIA CRUZADA E MECANISMOS BIOQUÍMICOS ASSOCIADOS

Alexsine Millyane Vanzela

**SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE
SÃO PAULO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO BIOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANIDADE, SEGURANÇA
ALIMENTAR E AMBIENTAL NO AGRONEGÓCIO**

**RESISTÊNCIA A ABAMECTIN EM POPULAÇÕES DE *TETRANYCHUS
URTICAE* KOCH (ACARI: TETRANYCHIDAE) DE ALGODÃO E MINI ROSA:
SELEÇÃO, ESTABILIDADE, RESISTÊNCIA CRUZADA E MECANISMOS
BIOQUÍMICOS ASSOCIADOS**

ALEXSINE MILLYANE VANZELA

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio. Área de concentração: Segurança Alimentar e Sanidade no Agroecossistema.

SÃO PAULO
2022

ALEXSINE MILLYANE VANZELA

**RESISTÊNCIA A ABAMECTIN EM POPULAÇÕES DE *TETRANYCHUS*
URTICAE KOCH (ACARI: TETRANYCHIDAE) DE ALGODÃO E MINI ROSA:
SELEÇÃO, ESTABILIDADE, RESISTÊNCIA CRUZADA E MECANISMOS
BIOQUÍMICOS ASSOCIADOS**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de
Mestre em Sanidade, Segurança Alimentar e
Ambiental no Agronegócio.

Área de concentração: Segurança Alimentar e
Sanidade no Agroecossistema.

Orientador: Prof. Dr. Mário Edi Sato

SÃO PAULO
2022

Eu **Alexsine Millyane Vanzela**, autorizo o Instituto Biológico (IB-APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, a disponibilizar gratuitamente e sem ressarcimento dos direitos autorais, o presente trabalho acadêmico de minha autoria, no portal, biblioteca digital, catálogo eletrônico ou qualquer outra plataforma eletrônica do IB para fins de leitura, estudo, pesquisa e/ou impressão pela Internet desde que citada a fonte.

Assinatura: _____ Data ____ / ____ / ____



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo
Núcleo de Informação e Documentação – IB

Vanzela, Alexsine Millyane.

Resistência a abamectin em populações de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) de algodão e mini rosa: seleção, estabilidade, resistência cruzada e mecanismos bioquímicos associados. / Alexsine Millyane Vanzela.
- São Paulo, 2022.

44 p.

doi: 10.31368/PGSSAAA.2022D.AV012

Dissertação (Mestrado). Instituto Biológico (São Paulo). Programa de Pós-Graduação.

Área de concentração: Segurança Alimentar e Sanidade no Agroecossistema.

Linha de pesquisa: Manejo integrado de pragas e doenças em ambientes rurais e urbanos.

Orientador: Mário Eidi Sato

Versão do título para o inglês: Resistance to abamectin in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) populations from cotton and mini rose: selection, stability, cross-resistance and associated biochemical mechanisms.

1. Ácaro-rajado 2. Controle químico 3. Acaricida 4. Chlorfenapyr
5. Spiromesifen I. Vanzela, Alexsine Millyane II. Sato, Mário Eidi III. Instituto Biológico (São Paulo) IV. Título.

IB/Bibl./2022/012

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Alessine Millyane Vanzela

Título: Resistência a abamectin em populações de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) de algodão e mini rosa: seleção, estabilidade, resistência cruzada e mecanismos bioquímicos associados.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio do Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo para a obtenção de título de Mestre em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio.

Aprovado em: 20 / 09 / 2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Mário Eidi Sato

Instituição: Instituto Biológico

Julgamento: Aprovado

Assinatura: 

Dra. Mariana Regina Durigan

Instituição: FMC Química do Brasil

Julgamento: Aprovado

Assinatura: 

Prof. Dr. Luís Garrigós Leite

Instituição: Instituto Biológico

Julgamento: Aprovado

Assinatura: 

A minha mãe Tereza Torres Vanzela, meu
pai José Aparecido Vanzela e minha irmã
Alexsandra Millye Vanzela,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me ajudado até aqui.

Ao meu Orientador Mario Eidi Sato pela ajuda e por estar sempre presente em todas as fases do trabalho.

À Pós Graduação do Instituto biológico.

A Ronaldo Chiavegato e Fabio Maximiano Andrade Silva pelas excelentes ideias sobre escolha do tema.

Ao laboratório de acarologia e as colegas: Ester Marques, Sirlei Marques, Rafaelly Chagas e Cristina Queiroz por toda a ajuda.

Ao laboratório de entomologia da FMC em especial a Eduardo Picelli, Mariana Durigan e Lisoneia Smaniotto pela liberação para assistir as aulas das disciplinas.

A Junior Somavilla, Jackeline Borba e Juliana Borelli pela ajuda na interpretação dos dados.

A minha família em especial a meus pais e irmã: Tereza Torres Vanzela, José Aparecido Vanzela e Aleksandra Millye Vanzela por tudo que fizeram e fazem por mim.

Aos amigos Luisa Ricci, Heloyza Helena, Elisangela Silva, Mariana Andrade, Juliana Silva, Maria Juliana, Mariane Borges e Thiago Ferreira de Carvalho por sempre compartilhar boas energias no dia a dia no trabalho.

Aos meus amigos de vida: Silmara Gonçalves, Thiago Miranda, Fernanda Penão (*in memoria*), Alexandre Barbosa, Jaqueline Bueno e Karina Aguiar por sempre estarem ao meu lado.

A minha cachorra Sofia.

RESUMO

VANZELA, Alexsine Millyane. **Resistência a abamectin em populações de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) de algodão e mini rosa: seleção, estabilidade, resistência cruzada e mecanismos bioquímicos associados.** 2022. 44 f. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) – Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, 2022.

O ácaro-rajado, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), é considerado praga-chave em várias culturas. O controle do ácaro tem sido realizado principalmente com uso de acaricidas, porém, têm sido registrados vários casos de falhas de controle, devido à seleção de populações resistentes a esses produtos. Os objetivos da pesquisa foram: 1) Avaliar o padrão de evolução da resistência a abamectin em duas populações de *T. urticae*, coletadas em cultivos de algodão e mini rosa, realizando-se aplicações periódicas do acaricida sobre as populações do ácaro-praga; 2) Avaliar a estabilidade da resistência a abamectin nas duas populações de *T. urticae*; 3) Avaliar a influência de aplicações dos acaricidas chlorfenapyr e spiromesifen, sobre as frequências de resistência de *T. urticae* a abamectin (durante o período de restabelecimento da suscetibilidade a abamectin), nas duas populações de ácaro-rajado; 4) Realizar estudos de monitoramento da resistência a abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen, em populações de ácaro-rajado coletadas de diferentes culturas e regiões brasileiras, para avaliar possíveis relações de resistência cruzada entre os três acaricidas; 5) Avaliar os mecanismos bioquímicos associados à resistência de *T. urticae* a abamectin, nas duas populações de ácaro-rajado, com uso de sinergistas. Os experimentos de pressão de seleção para resistência a abamectin e estabilidade da resistência foram conduzidos utilizando-se duas populações de ácaro-rajado, coletadas de algodão (Primavera do Leste-MT) e mini rosa (Holambra-SP). As populações foram mantidas em plantas de feijão-de-porco cultivadas em vasos, em condições de laboratório. Foram observadas diferenças na estabilidade da resistência a abamectin entre as populações de *T. urticae* procedentes dos cultivos de algodão e mini rosa, com maior velocidade de reversão da resistência na população de mini rosa. Houve influência das aplicações de chlorfenapyr sobre a frequência de resistência de *T. urticae* a abamectin, havendo tendência de aumento na porcentagem de ácaros resistentes ao acaricida, após as pulverizações de chlorfenapyr sobre a população do ácaro-rajado. As aplicações de spiromesifen não contribuíram para o aumento nas frequências de resistência de *T. urticae* a abamectin. Foram observadas diferenças no padrão de evolução da resistência a abamectin entre as populações de *T. urticae* procedentes de cultivos de algodão e mini rosa, com maior velocidade de evolução da resistência na população de mini rosa. Houve correlação positiva e significativa entre as frequências de resistência a abamectin e chlorfenapyr para as populações de *T. urticae* coletadas de diferentes culturas (algodão, mamão, tomate, jiló, berinjela, morango, mini rosa) e regiões brasileiras, indicando resistência cruzada entre os referidos acaricidas. Os estudos com sinergistas indicam o envolvimento de monooxigenases dependentes do citocromo P450 na resistência a abamectin para as populações procedentes de mini rosa e algodão, e de esterases e monooxigenases para a população de mini rosa.

Palavras-chave: ácaro-rajado, controle químico, acaricida, chlorfenapyr, spiromesifen

ABSTRACT

VANZELA, Alessine Millyane. **Resistance to abamectin in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) populations from cotton and mini rose: selection, stability, cross-resistance and associated biochemical mechanisms.** 2022. 44 f. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) – Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, 2022.

The two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), is considered a key pest in many crops. The mite control has been carried out mainly with the use of acaricides; however, several cases of control failures have been registered, due to the selection of populations resistant to these products. The objectives of the research were: 1) To evaluate the evolution pattern of resistance to abamectin in two populations of *T. urticae*, collected from cotton and mini rose crops, with periodic applications of the acaricide on the pest mite populations; 2) Evaluate the stability of resistance to abamectin in the two populations of *T. urticae*; 3) Evaluate the influence of chlorfenapyr and spiromesifen acaricides on abamectin resistance frequencies (during the period of reestablishment of susceptibility to abamectin) in the two spider mite populations; 4) Carry out monitoring studies of resistance to abamectin, chlorfenapyr and spiromesifen, in spider mite populations collected from different crops and regions in Brazil, to assess possible cross-resistance relationships between the three acaricides; 5) Evaluate the biochemical mechanisms associated with abamectin resistance in the two spider mite populations, using synergists. The selection pressure experiments for resistance to abamectin and resistance stability were carried out using two populations of spider mites, collected from cotton (Primavera do Leste-MT) and mini rose (Holambra-SP). Populations were maintained on bean plants grown in pots, under laboratory conditions. Differences in stability of resistance to abamectin were observed between *T. urticae* populations from cotton and mini rose, with greater speed of resistance reversal in the mini rose population. There was influence of chlorfenapyr applications on the frequency of abamectin resistance in *T. urticae*, with a tendency towards an increase in the percentage of mites resistant to the acaricide, after chlorfenapyr spraying on the spider mite population. The applications of spiromesifen did not contribute to the increase of abamectin resistance frequencies in *T. urticae*. Differences in the pattern of abamectin resistance evolution were observed between *T. urticae* populations from cotton and mini rose, with greater speed of resistance evolution in the mini rose population. There was a positive and significant correlation between the frequencies of resistance to abamectin and chlorfenapyr for *T. urticae* populations collected from different crops (cotton, papaya, tomato, scarlet eggplant, eggplant, strawberry, mini rose) and Brazilian regions, indicating cross-resistance between the referred to acaricides. Studies with synergists indicate the involvement of cytochrome P450-dependent monooxygenases in abamectin resistance for populations originating from mini rose and cotton; and esterases and monooxygenases for the mini rose population.

Keywords: spider mite, chemical control, acaricide, chlorfenapyr, spiromesifen

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Figura 1. Ciclo de vida do ácaro-rajado (Fonte: PROMIP)	11
Figura 2. Vasos com feijão-de-porco (<i>Canavalia ensiformis</i>) utilizados para a manutenção das populações de ácaro-rajado.	15
Figura 3. Arenas de folha de feijão-de-porco utilizadas nos testes de toxicidade com acaricidas, para as diferentes populações de ácaro-rajado.	16
Figura 4. Arena de folha de feijão-de-porco no momento da aplicação de acaricida em torre de Potter.....	17
Figura 5. Estabilidade da resistência a abamectin em duas populações de <i>Tetranychus urticae</i> , mantidas em plantas de feijão-de-porco, cultivadas em vasos: população 1, coletada de cultivo de algodão em Primavera do Leste, MT, em 2020; população 2, coletada de cultivo de mini rosa em Holambra, SP, em 2020. Médias de sobrevivência (\pm EP) de fêmeas adultas de <i>T. urticae</i> quando expostas à concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L) de abamectin.	23
Figura 6. Variações na frequência de resistência a abamectin, em duas populações de <i>Tetranychus urticae</i> , mantidas em plantas de feijão-de-porco, cultivadas em vasos: população 1, coletada de cultivo de algodão em Primavera do Leste, MT; população 2, coletada de cultivo de mini rosa em Holambra, SP. Médias de sobrevivência (\pm EP) de fêmeas adultas de <i>T. urticae</i> quando expostas à concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L) de abamectin. A partir de 02/03/2021, foram iniciadas as aplicações de chlorfenapyr (setas azuis) e spiromesifen (setas amarelas), para avaliar a influência desses produtos sobre a frequência de resistência a abamectin.	25
Figura 7. Variações na frequência de resistência a abamectin, em duas populações de <i>Tetranychus urticae</i> , mantidas em plantas de feijão-de-porco, cultivadas em vasos: população 1, coletada de cultivo de algodão em Primavera do Leste, MT; população 2, coletada de cultivo de mini rosa em Holambra, SP. Médias de sobrevivência (\pm EP) de fêmeas adultas de <i>T. urticae</i> quando expostas à concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L) de abamectin. As setas verdes correspondem às aplicações com abamectin, que foram realizadas utilizando-se a sua concentração discriminatória, com o auxílio de um borrifador, sobre as plantas de feijão-de-porco.....	28

Figura 8. Frequências de resistência de *Tetranychus urticae* a abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen. Média de sobrevivência de fêmeas adultas (para abamectin e chlorfenapyr) e ovos (para spiromesifen) de *T. urticae* quando expostos à concentração discriminatória de cada produto [abamectin (4,79 mg de i.a./L), chlorfenapyr (37,4 mg de i.a./L), spiromesifen (6,96 mg de i.a./L)]. As populações foram coletadas de cultivos de framboesa, algodão, mamão, morango, tomate, jiló, berinjela e mini rosa, em diferentes localidades: Campos do Jordão-SP (CJ), Trindade-GO (Tri), Luís Eduardo Magalhães-BA (LEM), Primavera do Leste-MT (PL), Rio Verde-GO (RV), Tangará da Serra-MT (TS), Pereiras-SP (Pe), Pouso Alegre-MG (PA), Monte Mor-SP (MM), Sumaré-SP (Su), Mogi Guaçu-SP (MoG), Holambra-SP (Hol), Trindade-GO (Tri). Colunas com a mesma letra, para cada acaricida, não são significativamente diferentes pelo teste t (LSD) a 5% de significância. 30

Figura 9. Regressões lineares entre as frequências de resistência a abamectin e aos acaricidas chlorfenapyr e a spiromesifen em *Tetranychus urticae*, para populações do ácaro-praga coletadas de diferentes plantas hospedeiras e regiões brasileiras: equações da reta e coeficientes de correlação (r). 32

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Populações de *Tetranychus urticae* utilizadas nos estudos de monitoramento da resistência a abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen: planta hospedeira/cultura de origem, local de coleta (município - estado), coordenadas geográficas, período da coleta dos ácaros no campo..... 13
- Tabela 2. Efeito de abamectin, com ou sem sinergista, em diferentes populações/linhagens de *Tetranychus urticae*. Número total de ácaros utilizados para a obtenção das curvas de concentração-mortalidade; estimativa da CL₅₀ (ppm) e intervalo de confiança (I.C.) a 95%; coeficiente angular e erro padrão da média (EP); Qui-quadrado (X²); grau de liberdade (G.L.); razão de sinergismo (RS); razão de resistência (RR)..... 29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	8
2.1. Geral:.....	8
2.2. Específicos:	8
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	9
3.1. Ácaro-rajado.....	9
3.2. Importância econômica das culturas de algodão e roseira	10
3.3. Aspectos biológicos do ácaro-rajado.....	10
3.4. Controle químico e resistência a acaricidas	11
3.5. Acaricidas: abamectina, chlorfenapir e spiromesifen.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Estabilidade da resistência a abamectin e influência de chlorfenapir e spiromesifen sobre a frequência de resistência a abamectin	14
3.1.1. Populações de ácaro-rajado.....	14
3.1.2. Estabilidade da resistência a abamectin	14
3.1.3. Testes de toxicidade	16
3.2. Estudos de pressão de seleção com abamectin.....	18
3.3. Estudos de monitoramento da resistência a abamectin, chlorfenapir e spiromesifen, em diferentes populações de ácaro-rajado	18
3.4. Caracterização bioquímica da resistência a abamectin	20
3.4.1 Estudos com sinergistas	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Estabilidade da resistência a abamectin e influência de chlorfenapir e spiromesifen na reversão da resistência	22
4.1.1. Estabilidade da resistência a abamectin	22
4.1.2. Influência de aplicações de chlorfenapir e spiromesifen sobre a frequência de resistência de <i>T. urticaea</i> abamectin	24
4.2. Estudos de pressão de seleção com abamectin.....	26
4.3. Estudos de monitoramento da resistência a abamectin, chlorfenapir e spiromesifen, em diferentes populações de ácaro-rajado	29
4.4 Estudos com sinergistas nas populações de <i>T. urticae</i> de Mini rosa e Algodão.	34
5. CONCLUSÕES.....	37
6. REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

O ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) é considerado um dos ácaros de maior importância em todo o mundo, por se alimentar de várias culturas, podendo-se citar as culturas de algodão, morango, rosa, tomate, feijão, soja, pêssego, etc. (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Em altas infestações pode causar descoloração de folhas, perda da capacidade fotossintética e, eventualmente, a morte das plantas (FLECHTMANN, 1979; CHIAVEGATO; MISCHAN, 1981).

Os danos causados pelo ácaro-rajado, na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) no Brasil, é de grande importância econômica, gerando aumento no custo de produção, devido à necessidade de frequentes aplicações de acaricidas. O ácaro-rajado habita se na página inferior das folhas, em colônias com grande número de indivíduos. Para a proteção da colônia, os ácaros tecem finos fios de teia, que servem para a sua proteção contra inimigos naturais e favorecem a sua dispersão (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Os ácaros alimentam-se do conteúdo celular extravasado de células foliares rompidas por seus estiletes. Como consequência, as folhas ficam com diversas pontuações claras (perfurações que causam aumento na taxa de transpiração) e caem prematuramente, o que resulta em uma desfolha precoce das plantas (JANSSEN et al., 1998). Reis (1972) relatou que o ácaro-rajado causa sérios prejuízos à cultura do algodão principalmente no caroço, ocasionando uma perda de peso de 30%, redução de 14,8% no micronaire e 19,2% na altura das plantas. O algodão é uma cultura de grande importância socioeconômica, é uma fonte natural de fibras, sendo o Brasil um dos países que mais produz a fibra no mundo (SEVERINO et al., 2019).

Tetranychus urticae em rosas é uma praga muito severa desde a produção de flores, mudas até a colheita. Os danos nas folhas ocasionam redução na capacidade da planta realizar a fotossíntese. Em altas infestações são facilmente encontrados nos botões, depreciando de forma direta. A sua multiplicação é muito rápida na cultura de roseira, sendo favorecido pelo tempo seco e quente (MOREIRA, 2016).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral:

- Ampliar o conhecimento sobre a resistência de *T. urticae* a abamectin e gerar informações básicas para o estabelecimento de programas de manejo da resistência do ácaro-rajado a acaricidas no Brasil.

2.2. Específicos:

- Avaliar a estabilidade da resistência a abamectin em duas populações de *T. urticae*, coletadas em cultivos de algodão (Primavera do Leste-MT) e mini rosa (Holambra-SP), e mantidas em plantas de feijão-de-porco [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C. (Fabaceae)], em condições de ausência de pressão de seleção de abamectin;

- Avaliar a influência de aplicações dos acaricidas chlorfenapyr e spiromesifen, sobre a frequência de resistência de *T. urticae* a abamectin (durante o período de restabelecimento da suscetibilidade a abamectin), nas duas populações de ácaro-rajado, mantidas em plantas de feijão-de-porco;

- Avaliar o padrão de evolução da resistência a abamectin em ácaros procedentes das duas populações de ácaro-rajado (algodão e mini rosa), realizando-se aplicações periódicas do acaricida sobre o ácaro-praga, em plantas de feijão-de-porco;

- Realizar estudos de monitoramento da resistência a abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen, em populações de ácaro-rajado coletadas de diferentes culturas e regiões brasileiras, para avaliar possíveis relações de resistência cruzada entre os três acaricidas.

- Avaliar os mecanismos bioquímicos associados à resistência de *T. urticae* a abamectin, nas duas populações de ácaro-rajado, com uso de sinergistas;

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1. Ácaro-rajado

O ácaro-rajado é uma praga agressiva para muitas culturas de importância para a agricultura brasileira, podendo citar a cultura do morangueiro, em que o ácaro causa elevados prejuízos econômicos. O ácaro-rajado, quando não controlado de forma correta, pode reduzir a produção de frutos em até 80%, e quando em altas densidades populacionais, pode reduzir o ciclo de cultivo do morangueiro (eliminação precoce das plantas). As plantas atacadas por esta praga apresentam folhas com teias e manchas branco-prateadas na sua face inferior e áreas cloróticas e difusas na face superior, que progredem para manchas de coloração avermelhada, bronzeamento, necrose e queda da folha. As injúrias ocasionadas ao morangueiro resultam da alimentação do ácaro, que danifica diretamente as células do mesófilo foliar, reduzindo a taxa fotossintética das plantas, o número, o peso e a qualidade dos frutos de morango (CHIAVEGATO; MISCHAN, 1981).

O ácaro-rajado também causa danos em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Cultivado por pequenos e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção e em todas as regiões brasileiras, o feijoeiro comum reveste-se de grande importância econômica e social (DEL PELOSO; FERREIRA; FARIA, 2002). Os ácaros nessa cultura afetam o tecido vegetal e alimentam-se da seiva que é extravasada, ocorrendo o aparecimento de pontos brancos na parte superior das folhas e posteriormente a necrose, afetando a produção de grãos (FLECHTMANN, 1979).

O ácaro-rajado tem se tornado uma das principais pragas em tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.), que é uma das hortaliças de maior importância no Brasil, com um mercado anual de 1,5 milhão de toneladas. O tomateiro tem sua origem nas regiões andinas do Peru, Bolívia e Equador. A cultura do tomateiro é afetada por várias pragas, entre as quais, destaca-se o ácaro-rajado. Este ataca as folhas situadas na parte mediana da planta, causando amarelecimento e secamento (FLECHTMANN, 1972), com diminuição do número e tamanho dos frutos, indução da maturação precoce e baixo teor de sólidos solúveis (MINAMI, 1980).

Outra cultura atacada pelo ácaro-praga é a soja (*Glycine max*), que é de grande importância econômica para o Brasil, sendo atualmente a principal cultura do agronegócio brasileiro (GOMES, 2018). Ela é uma planta originária da região denominada Manchúria, que fica no nordeste da China. Foi trazida para a Europa no século XVII. O Brasil é o segundo maior produtor mundial (MANDARINO, 2017). O ácaro-rajado é a segunda espécie de ácaros

mais frequente em soja no Brasil. Vive em colônias abrigadas sob teia que é produzida em grande quantidade na face inferior das folhas. Os sintomas do ataque na face inferior da folha são pontuações claras (células mortas) que evoluem rapidamente para manchas contínuas acinzentadas, correspondentes às regiões de abrangência da colônia, delimitadas pela sua teia, enquanto na face superior surgem manchas amareladas (FLECHTMANN, 1972).

3.2. Importância econômica das culturas de algodão e roseira

O algodão é uma planta herbácea da família Malvaceae. O gênero botânico *Gossypium* apresenta aproximadamente 39 espécies. A espécie mais utilizada no Brasil é *Gossypium hirsutum* L. (YARA BRASIL, 2022). O algodão está entre as mais importantes culturas de fibras do mundo. Todos os anos, uma média de 35 milhões de hectares de algodão é plantada em todo o planeta. O Brasil é o quinto maior produtor de algodão do mundo, segundo maior exportador e o nono maior consumidor. O Valor Bruto da Produção (VBP) em 2018 foi de R\$ 34,95 bilhões, sendo a quarta cultura mais importante da agricultura brasileira, depois da soja, cana-de-açúcar e milho (SEVERINO et al., 2019).

Já a floricultura no Brasil teve seu início nos anos 1960, logo após a chegada ao país de imigrantes holandeses. Eles trouxeram tecnologias modernas de cultivo. Dessa forma, um setor quase inexistente, teve um grande crescimento (ALVES, 2019).

O cultivo de flores tem como objetivo a comercialização para o mercado ornamental, e entende-se como um meio bem promissor, dinâmico e com potencial de crescimento. Dando início comercial na década de 1960 e passando a crescer ano a ano; o que ajudou muito nesse crescimento foi a evolução econômica e a melhoria no sistema como um todo (SEBRAE, 2016). O comércio de flores no Brasil cresceu no período de 2008 a 2011, e no ano de 2013, o mercado movimentou 5,22 bilhões de reais, com potencial de crescimento. O Instituto Brasileiro de Floricultura divulgou que em 2019 esse segmento movimentou 8,5 bilhões, com um crescimento de 8% em relação ao ano anterior. Dentre as flores produzidas no Brasil, destacam-se as rosas, os crisântemos e os cravos (DOMANI, 2020). O ácaro-rajado nessas culturas pode depreciar as flores e as plantas como um todo (MOREIRA, 2016).

3.3. Aspectos biológicos do ácaro-rajado

O ciclo biológico de *T. urticae* varia de 5 a 21 dias, dependendo da temperatura. Possui cinco fases de desenvolvimento, sendo: ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto.

Seus ovos são amarelados e esféricos, sendo postos entre fios de teias. Após a eclosão os ovos são incolores e translúcidas e de tamanho igual do ovo, caracterizando por três pares de pernas (ninfã recém-eclodida). As fêmeas são maiores e possuem o abdome com formato ovalado, enquanto que nos machos, a extremidade posterior do abdome é mais estreita. Vivem na parte inferior das folhas em grande número e tecem teias para a sua proteção. Assim como a maioria dos ácaros, o ácaro-rajado apresenta 4 pares de pernas na maior parte da sua vida pós-embrionária, característica que o distingue dos insetos. Na fase ativa, tem cor geral verde amarelada, com um par de manchas escuras nas regiões laterais do corpo. É pequeno, com no máximo 0,50 mm de comprimento (FLECHTMANN, 1979).

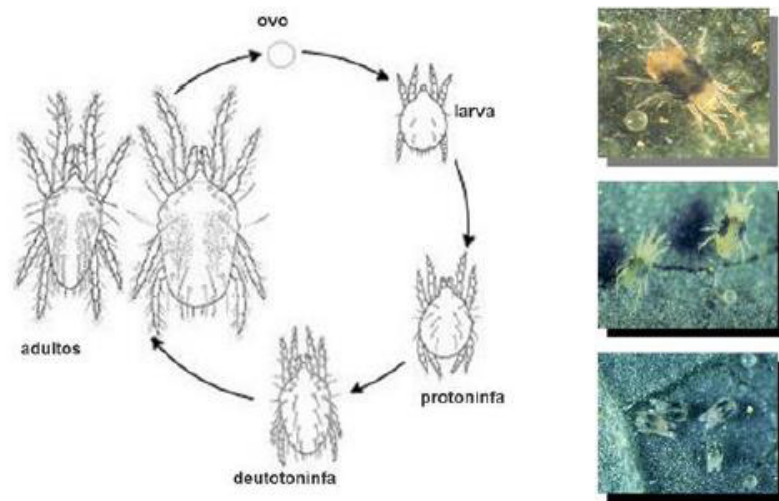


Figura 1- Figura 1. Ciclo de vida do ácaro-rajado (Fonte: PROMIP)

3.4. Controle químico e resistência a acaricidas

A forma mais comum de controle do ácaro-rajado é através do uso de acaricidas, mas estes não são 100% efetivos; os descendentes dos sobreviventes herdam essa resistência, e as gerações subsequentes apresentam cada vez menos indivíduos suscetíveis (MEYER, 2003).

A evolução da resistência em insetos e ácaros tem sido um dos maiores problemas no controle de pragas, dificultando bastante a recomendação de defensivos agrícolas aos agricultores. De acordo com o IRAC, há atualmente registro de 479 casos de resistência de *T. urticae* a acaricidas (94 ingredientes ativos) em 36 países (IRAC, 2018). O controle de ácaros multirresistentes tem se tornado cada vez mais difícil e as bases genéticas de tal resistência permanecem pouco entendidas (KHAJEHALI et al., 2011; GRBIĆ et al., 2011). A resistência de *T. urticae* a acaricidas tem sido documentada em diversos países, inclusive no Brasil, para

diferentes compostos tais como organofosforados (SATO et al., 1994), clorfenapir (VAN LEEUWEN et al., 2006; SATO et al., 2007a; NICASTRO et al., 2013), fenpyroximate (STUMPF; NAUEN, 2001; SATO et al., 2004; Van POTTELBERGE et al., 2009b), abamectin (BEERS et al., 1998; SATO et al., 2005; SATO et al., 2009; DERMAUW et al., 2012; MONTEIRO et al., 2015), milbemectin (NICASTRO et al., 2010), spirodiclofen (RAUCH; NAUEN, 2003; Van POTTELBERGE et al., 2009a), etoxazole (ASAHARA et al., 2008) e cyflumetofen (KHAJEHALI et al., 2011; KHALIGHI et al., 2014). Entre os principais mecanismos pelos quais os artrópodes podem desenvolver resistência a pesticidas estão: redução da penetração cuticular (NOPPUN et al., 1989; FERGUSSON-KOLMES et al., 1991), alteração no alvo de ação (GUEDES; DOVER, 1997) e aumento da desintoxicação (OPPENORTH, 1985), podendo-se citar o envolvimento de algumas enzimas, tais como esterases, monooxigenases dependentes do citocromo P-450 (KASAI, 2004, SATO et al., 2001, 2006), e transferases. Entre as do último grupo, as glutationa S-transferases são as únicas envolvidas na resistência, entre várias outras transferases que podem estar relacionadas ao metabolismo de compostos estranhos, como os inseticidas (FOURNIER et al., 1987; FRAGOSO et al., 2007).

Em relação à evolução da resistência, são observadas consequências indesejáveis, tais como a aplicação mais frequente de pesticidas, aumento na dosagem do produto, uso de misturas indevidas de produtos e substituição por outro produto, muitas vezes de maior toxicidade (GEORGHIOU; TAYLOR, 1986). Esses fatores comprometem os programas de manejo integrado de pragas (MIP) em vista da maior contaminação do meio ambiente com pesticidas, eliminação de organismos benéficos e elevação nos custos de controle da praga (OMOTO, 2003). Sabe-se também que a descoberta e o desenvolvimento de novas moléculas químicas estão se tornando cada vez mais difíceis e caros (ex.: 189 milhões de euros) (ECPA, 2010).

3.5. Acaricidas: abamectina, chlorfenapir e spiromesifen

As avermectinas e milbemecinas são classificadas segundo o IRAC (2014), como ativadores de canais de cloro (Grupo 6). Abamectin é uma mistura de avermectinas contendo mais de 80% de avermectin B1a e menos que 20% de avermectin B1b. Estes dois compostos B1a e B1b têm propriedades biológicas e toxicológicas muito semelhantes. As avermectinas são compostos, com propriedades inseticidas, acaricidas e nematicidas, derivados da bactéria de solo *Streptomyces avermitilis* (CLARK et al., 1994).

Chlorfenapyr é um pró-inseticida/acaricida que após entrar nas células dos artrópodes, é convertido em um potente inseticida/acaricida por ação de enzimas monooxigenases dependentes de citocromo P450 (HUNT; TREACY, 1998). Chlorfenapyr em sua forma ativa se deposita entre as membranas interna e externa da mitocôndria, promovendo a extrusão de H^+ da mesma (BLACK et al., 1994). Esse processo não permite que se acumulem prótons suficientes na mitocôndria, o que leva a uma paralisação da fosforilização oxidativa e à morte dos insetos e ácaros. O produto pertence ao grupo 13, na classificação pelo seu modo de ação (IRAC, 2014). Chlorfenapyr possui ação ovicida limitada (DEKEYSER, 2005).

Spiromesifen é um inseticida/acaricida de contato e ingestão do grupo cetoenol, indicado para o controle de moscas-brancas e ácaros. Pertence ao grupo (23) dos inibidores de acetil CoA carboxilase (IRAC, 2014).

O maior problema associado ao controle químico do ácaro-rajado é seu elevado potencial reprodutivo e seu curto ciclo de vida, que favorecem o rápido desenvolvimento de resistência a acaricidas (STUMPF; NAUEN, 2001).

Alteração no sítio de ação (GUEDES; DOVER, 1997) e aumento da desintoxicação (OPPENORTH, 1985), podendo-se citar o envolvimento de algumas enzimas, tais como esterases, monooxigenases dependentes do citocromo P-450 (KASAI, 2004, SATO et al., 2001, 2006), e transferases. Entre as do último grupo, as glutatona S-transferases são as únicas envolvidas na resistência, entre várias outras transferases que podem estar relacionadas ao metabolismo de compostos estranhos, como os inseticidas (FOURNIER et al., 1987; FRAGOSO et al., 2007).

Estudos preliminares sobre a resistência de ácaro-rajado a abamectin e milbemectin indicam que a resistência é instável em condições de laboratório, na ausência de pressão de seleção (SATO et al., 2005; NICASTRO et al., 2010). Há resistência cruzada para esses dois acaricidas do mesmo grupo químico. Observou-se custo adaptativo associado à resistência de *T. urticae* a milbemectin, em uma população selecionada para resistência em laboratório, com menor taxa de oviposição nas fêmeas resistentes. Esse fato foi associado à instabilidade da resistência ao acaricida, com restabelecimento da suscetibilidade em pouco mais de seis meses (NICASTRO et al., 2011). No entanto, há relatos de casos de estabilidade da resistência de ácaro-rajado a abamectin, levando a crer que há diferenças nos padrões associados à estabilidade da resistência da praga ao acaricida, em diferentes populações de campo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Estabilidade da resistência a abamectin e influência de chlorfenapyr e spiromesifen sobre a frequência de resistência a abamectin

3.1.1. Populações de ácaro-rajado

Foram coletadas diversas populações de *T. urticae*, em diferentes regiões brasileira e culturas (ex.: algodão, mamão, tomate, jiló, berinjela, morango, mini rosa), com auxílio do IRAC-BR (Comitê Brasileiro de Ação à Resistência a Inseticidas), e selecionadas duas populações de *T. urticae*, procedentes de diferentes culturas (algodão e mini rosa) com pelo menos 80% de ácaros resistentes a abamectin. A estimativa da porcentagem de ácaros resistentes foi baseada nos procedimentos descritos por Sato et al. (2009), contando-se o número de ácaros sobreviventes após a aplicação do acaricida abamectin em sua concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L), em torre de Potter (SATO et al., 2005; NICASTRO et al., 2009). Esta concentração era um pouco acima da CL₉₉ de abamectin estimada para uma linhagem suscetível de *T. urticae*, selecionada para suscetibilidade ao acaricida (SATO et al., 2005). A concentração discriminatória era capaz de matar 100% dos ácaros suscetíveis sem afetar os ácaros resistentes.

A primeira população escolhida foi coletada de algodão, em Primavera do Leste, MT, em maio de 2020. A segunda população foi coletada em uma propriedade particular (Sítio Florosa), em cultivo comercial de mini rosa, em Holambra, SP, em agosto de 2020.

Estas populações foram mantidas em laboratório, a $26 \pm 2^\circ\text{C}$, em plantas de feijão-de-porco, *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. (Fabaceae), cultivadas em vasos (Figura 1).

3.1.2. Estabilidade da resistência a abamectin

Os experimentos foram conduzidos, em condições de laboratório, utilizando-se as duas populações de ácaro-rajado, coletadas de algodão e mini rosa, descritas anteriormente.

As populações foram mantidas em plantas de feijão-de-porco cultivadas em vasos, procurando-se manter uma densidade populacional acima de 1000 ácaros ao longo de todo o experimento.

As avaliações da suscetibilidade de *T. urticae* a abamectin foram conduzidas mensalmente no período de julho de 2020 a outubro de 2021, para a população de algodão e de outubro de 2020 a outubro de 2021, para a população coletada de mini rosa.

3.1.2.1. Influência de aplicações de chlorfenapyr e spiromesifen sobre a frequência da resistência a abamectin

A partir de 03/12/2020, foram iniciadas as aplicações periódicas de chlorfenapyr e spiromesifen, para avaliar a influência destes acaricidas sobre o processo de reversão da resistência de *T. urticae* a abamectin.

As aplicações desses produtos foram realizadas com auxílio de um borrifador, com pulverizações alternadas de chlorfenapyr e spiromesifen, a cada duas semanas, no período de 03/12/2020 a 21/06/2021, e a partir dessa data foram conduzidas pulverizações periódicas apenas de spiromesifen, deixando-se de realizar as aplicações de chlorfenapyr. Em alguns períodos, com baixas infestações de *T. urticae* nas plantas de feijão-de-porco, não foram realizadas as aplicações desses produtos.



Figura 2- Vasos com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) utilizados para a manutenção das populações de ácaro-rajado.

As concentrações de chlorfenapyr e spiromesifen utilizadas nas aplicações periódicas (com borrifador) sobre as populações de ácaro-rajado foram, respectivamente, de 74,9 mg de i.a./L e 6 mg de i.a./L. Estas concentrações causavam mortalidades iguais ou inferiores a 40%

em fêmeas adultas (chlorfenapyr) ou ovos (spiromesifen) de *T. urticae*, de acordo com os testes prévios realizados com as duas populações (mini rosa e algodão) de ácaro-rajado.

No caso de chlorfenapyr, a concentração (74,9 mg de i.a./L) definida para as aplicações periódicas (com borrifador) era muito próxima à menor concentração recomendada (72,0 mg de i.a./L) do acaricida para o controle de ácaro-rajado em roseira no Brasil (MAPA, 2021), e aproximadamente duas vezes a concentração discriminatória (37,4 mg de i.a./L) do acaricida, utilizada para o monitoramento da resistência de *T. urticae* a chlorfenapyr (NICASTRO et al., 2013).

No caso de spiromesifen, a concentração (6 mg de i.a./L) definida para as aplicações periódicas (com borrifador) era consideravelmente inferior à concentração recomendada (50mg de i.a./L) do acaricida para o controle de ácaro-rajado em plantas ornamentais no Brasil (MAPA, 2021), porém, muito próxima da concentração discriminatória (6,96 mg de i.a./L) do acaricida, utilizada para o monitoramento da resistência de *T. urticae* a spiromesifen (SATO et al., 2016).

3.1.3. Testes de toxicidade

Os testes de toxicidade foram realizados baseando-se no método descrito por Knight et al. (1990). Para o preparo das arenas de teste, foram colocadas 40 fêmeas adultas de *T. urticae* sobre um disco de folha de feijão com aproximadamente 4 cm de diâmetro (Figura 3), sobre uma camada de algodão hidrófilo saturada com água destilada em placa de Petri (9 cm de diâmetro). A borda da folha foi coberta por uma tira de algodão hidrófilo umedecido, para evitar a fuga dos ácaros.



Figura 3- Arenas de folha de feijão-de-porco utilizadas nos testes de toxicidade com acaricidas, para as diferentes populações de ácaro-rajado.

Os bioensaios para o monitoramento mensal da porcentagem de ácaros resistentes a abamectin nas duas populações de *T. urticae* foram realizados seguindo-se a metodologia descrita por Sato et al, (2005). Em cada avaliação, foram transferidas de cada população, 40 fêmeas adultas de ácaro-rajado para cada arena de folha de feijão-de-porco, em cinco arenas, totalizando-se 200 ácaros por avaliação.

As aplicações de acaricidas foram realizadas sobre os ácaros, mantidos nas arenas de folha de feijão, em torre de Potter (Burkard Manufacturing, Uxbridge, UK) (Figura 4), utilizando-se um volume de calda de 2 ml e pressão de 0,703 kg/cm². Testes preliminares indicaram um depósito 1,6 ± 0,1 mg de calda por cm² de arena, para este volume e pressão.

Para o monitoramento da resistência de *T. urticae* a abamectin, ao longo do experimento, as aplicações do acaricida foram realizadas em torre de Potter, utilizando-se a sua concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L) (SATO et al., 2005; NICASTRO et al., 2009). No caso da testemunha, aplicou-se apenas água destilada sobre os ácaros.

Os dados de frequência de resistência (porcentagem de sobrevivência) (x) para cada tratamento foram transformados em arco seno $\sqrt{x/100}$ e analisados por ANOVA de dois fatores (acaricida e tempo) com interações ($\alpha = 0,05$).

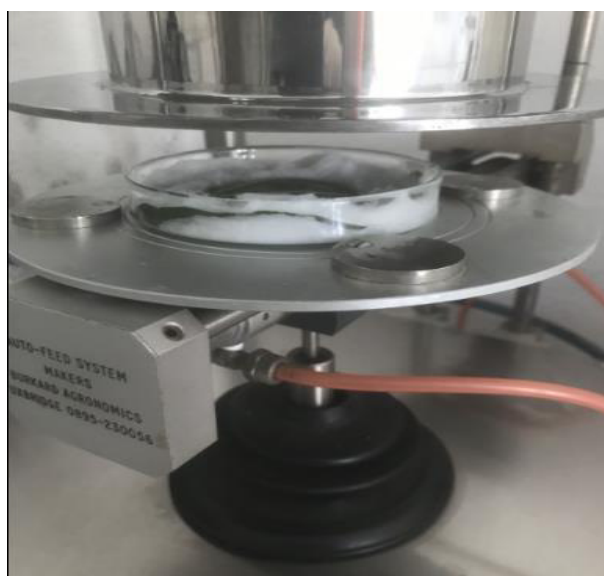


Figura 4- Arena de folha de feijão-de-porco no momento da aplicação de acaricida em torre de Potter.

3.2. Estudos de pressão de seleção com abamectin

Experimentos de pressão de seleção com abamectin também foram conduzidos utilizando-se duas subpopulações de *T. urticae* originárias das coletadas de algodão e mini rosa em 2020, descritas anteriormente. Estas subpopulações foram separadas das populações originárias no final de novembro de 2020.

A pressão de seleção foi realizada através de aplicações periódicas do acaricida abamectin em sua concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L). As aplicações de abamectin foram realizadas com auxílio de borrifador em intervalos de aproximadamente 30 dias, no período de 09/12/2020 a 28/09/2021, para as duas subpopulações de *T. urticae* (algodão e mini rosa) estudadas.

Para o monitoramento da resistência de *T. urticae* a abamectin, ao longo do processo de seleção, as aplicações do acaricida foram realizadas em torre de Potter, utilizando-se a sua concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L) (SATO et al., 2005; NICASTRO et al., 2009), conforme descrito no item 3.2.1.

3.3. Estudos de monitoramento da resistência a abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen, em diferentes populações de ácaro-rajado

Foram conduzidos estudos de monitoramento da resistência de *T. urticae* aos acaricidas abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen, em diversas populações de ácaro-rajado, visando avaliar as possíveis relações de resistência cruzada entre abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen. Foram avaliadas 17 populações de ácaro-rajado, coletadas de framboesa, algodão, mamão, morango, tomate, jiló, berinjela e mini rosa, em diferentes localidades: Campos do Jordão-SP, Trindade-GO, Luís Eduardo Magalhães-BA, Primavera do Leste-MT, Rio Verde-GO, Tangará da Serra-MT, Pereiras-SP, Pouso Alegre-MG, Monte Mor-SP, Sumaré-SP, Mogi Guaçu-SP, Holambra-SP, Trindade-GO (Tabela 1).

Com exceção das populações coletadas em Holambra e Campos do Jordão, as demais populações foram coletadas com auxílio do Comitê Brasileiro de Ação à Resistência a Inseticidas (IRAC-BR), no período de 2017 a 2020. As populações foram iniciadas com pelo menos 300 ácaros *T. urticae* (formas ativas) coletados em campo.

Tabela 1. Populações de *Tetranychus urticae* utilizadas nos estudos de monitoramento da resistência a abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen: planta hospedeira/cultura de origem, local de coleta (município - estado), coordenadas geográficas, período da coleta dos ácaros no campo.

Cultura	Local de coleta (Município - Estado)	Coordenadas Geográficas	Período da coleta
Framboesa	Campos do Jordão - SP	22°44'S 45°29'W	Dezembro de 2015
Algodão	Trindade - GO	16°40'S 49°31'W	Abril de 2017
Algodão	Luís Eduardo Magalhães - BA	12°03'S 45°54'W	Maior de 2020
Algodão	Primavera do Leste - MT	15°33'S 54°20'W	Maior de 2018
Algodão	Primavera do Leste - MT	15°33'S 54°20'W	Abril de 2019
Algodão	Primavera do Leste - MT	15°33'S 54°20'W	Maior de 2020
Algodão	Rio Verde - GO	17°48'S 50°58'W	Julho de 2017
Algodão	Rio Verde - GO	17°48'S 50°58'W	Junho de 2020
Algodão	Tangará da Serra 1 - MT	14°42'S 58°00'W	Maior de 2019
Algodão	Tangará da Serra 2 - MT	14°42'S 58°00'W	Maior de 2019
Mamão	Pereiras-SP	23°04'S 47°58'W	Agosto de 2018
Morango	Pouso Alegre - MG	22°14'S 45°56'W	Abril de 2017
Tomate	Monte Mor-SP	22°57'S 47°16'W	Dezembro de 2019
Tomate	Sumaré - SP	22°52'S 47°18'W	Outubro de 2019
Jiló	Mogi Guaçu - SP	22°15'S 47°05'W	Outubro de 2017
Berinjela	Mogi Guaçu - SP	22°15'S 47°05'W	Novembro de 2017
Mini rosa	Holambra - SP	22°38'S 47°03'W	Maior de 2019

Após a coleta, os ácaros foram transferidos para plantas de feijão-de-porco (*C. ensiformis*), onde foram mantidos por um período de 18 a 25 dias, a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ UR e fotofase de 14 h, antes da realização dos testes de toxicidade. Esses testes foram realizados seguindo o método descrito no item 3.1.3. (Testes de toxicidade), com aplicação de acaricidas sobre os ácaros em torre de Potter, utilizando-se a concentração discriminatória de cada acaricida [abamectina (4,79 mg de i.a./L); chlorfenapyr (37,4 mg de i.a./L), spiromesifen (6,96 mg de i.a./L)]. Apenas água destilada foi aplicada para o controle (testemunha).

Nos casos de abamectin e chlorfenapyr, os testes foram realizados com fêmeas adultas de *T. urticae* com idades de 1 a 3 três dias (após a emergência). As avaliações de mortalidade foram realizadas 48 e 72 horas após o tratamento, para abamectin e chlorfenapyr, respectivamente.

No caso de spiromesifen, os testes foram realizados com ovos (idade de 24 a 48 h, no momento da aplicação) e as avaliações de mortalidade foram realizadas diariamente por um período de até oito dias. Ovos que não produziram larvas durante este período foram considerados mortos.

Os testes foram repetidos cinco vezes. Pelo menos 200 fêmeas adultas (5 repetições de 40 ácaros) de *T. urticae* foram utilizadas para cada população avaliada, nos testes com abamectin e chlorfenapyr. Nos testes com spiromesifen, foram utilizados pelo menos 500 ovos (5 repetições de 100 ovos) para cada população de ácaro-rajado.

3.4. Caracterização bioquímica da resistência a abamectin

Foram realizados estudos bioquímicos para avaliar as possíveis diferenças nos mecanismos de resistência a abamectin entre as populações de *T. urticae* coletadas de cultivos de algodão e mini rosa.

3.4.1 Estudos com sinergistas

Os testes com sinergistas foram realizados no período de 27/05/2022 a 12/06/2022. Os sinergistas testados foram: 1) butóxido de piperonila (PBO), que é um conhecido inibidor de oxidases de função múltipla (monooxigenases dependentes do citocromo P450); 2) DEM (dietil maleato), inibidor de glutathione S-transferases; 3) DEF (S,S,S-tributilfosforotritioato), inibidor de esterases.

Os experimentos foram conduzidos baseando-se na metodologia descrita por Sato et al. (2001). Os ácaros foram expostos aos sinergistas, via contato residual no interior de tubos de vidro (10 cm de comprimento x 1,2 cm de diâmetro).

Foram colocados 200 µl de solução acetônica de um dos sinergistas (PBO, DEF ou DEM) em cada tubo (na sua máxima concentração que não causava mortalidade significativa aos ácaros), distribuindo a solução por toda superfície interna do tubo e deixando secar.

Vinte fêmeas adultas de *T. urticae* foram colocadas no interior de cada tubo, fechando-o em seguida com parafilme, para evitar a fuga dos mesmos. Os ácaros foram mantidos no interior do tubo, em contato com o sinergista, por um período de 4 h. Após esse período, os ácaros foram transferidos para uma arena de folha de feijão, onde receberam o tratamento com o acaricida abamectin, em torre de Potter. No caso da testemunha, os ácaros foram

expostos ao sinergista e, em seguida, transferidos para as arenas de folha onde receberam a aplicação de água destilada.

As avaliações foram realizadas 72 horas após a aplicação do acaricida, para a obtenção das curvas de concentração-resposta e as CL_{50} do acaricida, para as populações de *T. urticae* procedentes de algodão e mini rosa.

Os valores de CL_{50} das populações originárias de algodão e mini rosa, com ou sem exposição aos sinergistas, foram comparados com a CL_{50} de uma população suscetível de referência selecionada para suscetibilidade a abamectin, conforme descrito por Sato et al. (2005).

Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit (FINNEY, 1971), utilizando-se o programa StatPlus 6.2.2.0 (ORTEGA, 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estabilidade da resistência a abamectin e influência de chlorfenapyr e spiromesifen na reversão da resistência

4.1.1. Estabilidade da resistência a abamectin

Os resultados indicam diferenças significativas no padrão de reversão da resistência a abamectin nas duas populações de *T. urticae* avaliadas, sendo que, o menor tempo para o restabelecimento da suscetibilidade, na ausência de pressão de seleção, foi observado para a população coletada de mini rosa em Holambra, SP (Figura 5).

No caso da população originária de algodão de Primavera do Leste, MT, o tempo necessário para a redução na porcentagem de ácaros resistentes a abamectin de 75,0% para 26,6% foi de 213 dias ou 7,1 meses. Para a população de mini rosa, o tempo necessário para a redução na porcentagem de ácaros resistentes ao acaricida de 87,5% para 21,8% foi de 100 dias ou 3,3 meses.

Esse contraste no tempo de reversão da resistência pode estar associado a diversos fatores, incluindo diferenças no tipo de herança da resistência e nos custos adaptativos associados à resistência (ROUSH; McKENZIE, 1987; SATO et al., 2005; NICASTRO et al., 2011). Nesse aspecto, as resistências poligênicas e recessivas tendem a ser mais instáveis que as resistências monogênicas e dominantes. Outro fator de grande importância está associado ao mecanismo de resistência, sendo que, quando há envolvimento de enzimas metabólicas, normalmente há maior custo adaptativo associado à resistência, em relação à resistência por insensibilidade do sítio alvo de ação, favorecendo a reversão da resistência (ROUSH; McKENZIE, 1987; RAYMOND et al. 2001; NICASTRO et al. 2011).

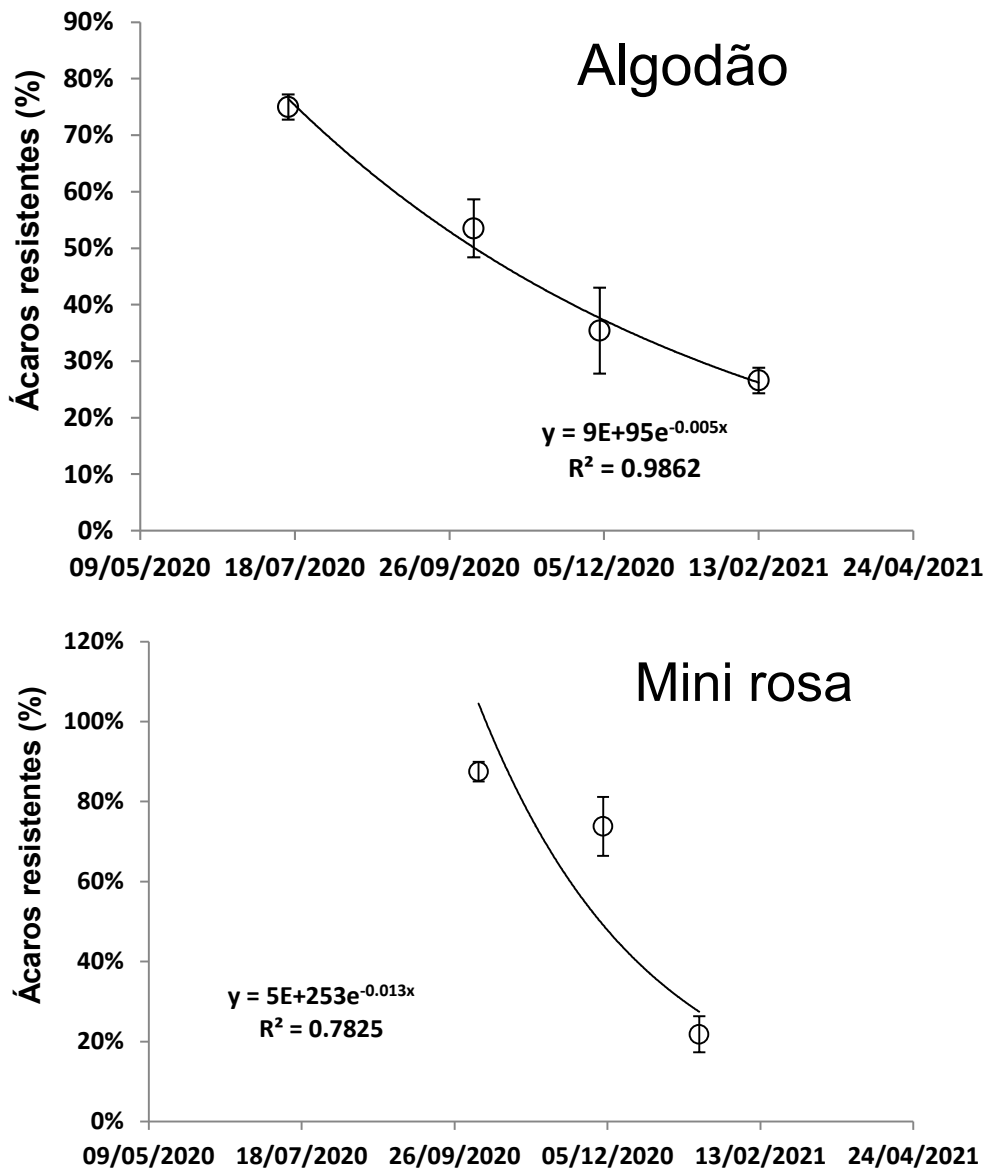


Figura 5. Estabilidade da resistência a abamectin em duas populações de *Tetranychus urticae*, mantidas em plantas de feijão-de-porco, cultivadas em vasos: população 1, coletada de cultivo de algodão em Primavera do Leste, MT, em 2020; população 2, coletada de cultivo de mini rosa em Holambra, SP, em 2020. Médias de sobrevivência (\pm EP) de fêmeas adultas de *T. urticae* quando expostas à concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L) de abamectin.

A instabilidade da resistência de *T. urticae* a abamectin já havia sido reportada por outros autores (STUMPF; NAUEN, 2001; SATO et al., 2005; NICASTRO et al., 2011). Sato et al. (2005) avaliaram a estabilidade da resistência a abamectin em três populações de *T. urticae*, originárias de cultivo comercial de morangueiro de Atibaia, SP, com diferentes (75, 50 e 25%) frequências iniciais de ácaros resistentes, e observaram que a porcentagem de ácaros resistentes diminuiu para níveis iguais ou inferiores a 15% em 6 meses, em todas as

populações, na ausência de pressão de seleção. Esse resultado foi bastante semelhante ao observado para a população de *T. urticae* coletada de algodão em Primavera do Leste, MT, em que o tempo necessário para a redução na frequência de resistência de 75% para 26,6% foi de sete meses.

Estudos realizados com uma linhagem (BR3-00) de *T. urticae*, originária de cultivo de crisântemo do Brasil, indicaram provável resistência poligênica, com envolvimento de monooxigenases dependentes do citocromo P450 e glutathione-S transferases na resistência do ácaro-praga a abamectin. O envolvimento dessas enzimas metabólicas foi associado à instabilidade da resistência do ácaro-rajado a abamectin (STUMPF; NAUEN, 2002).

Segundo Nicastro et al. (2011), em uma linhagem de ácaro-rajado procedente de crisântemo de Holambra, SP, e selecionada para resistência a milbemectin e abamectin em condições de laboratório (NICASTRO et al., 2010), a instabilidade da resistência aos dois acaricidas estava relacionada principalmente à menor taxa líquida de reprodução (R_0), que se mostrou 36,3% menor na linhagem resistente, em relação à suscetível.

4.1.2. Influência de aplicações de chlorfenapyr e spiromesifen sobre a frequência de resistência de *T. urticae* a abamectin

A partir de 02/03/2021 foram iniciadas as aplicações alternadas de chlorfenapyr e spiromesifen sobre os ácaros *T. urticae* das populações coletadas de algodão (Primavera do Leste, MT) e mini rosa (Holambra, SP). As aplicações foram realizadas com borrifador sobre as plantas de feijão-de-porco infestadas com ácaro-rajado. Observou-se influência significativa das aplicações de chlorfenapyr sobre a frequência de resistência de *T. urticae* a abamectin, com tendência de aumento nas porcentagens de ácaros resistentes a abamectin após as pulverizações com chlorfenapyr, nas duas populações de ácaro-rajado (Figura 6).

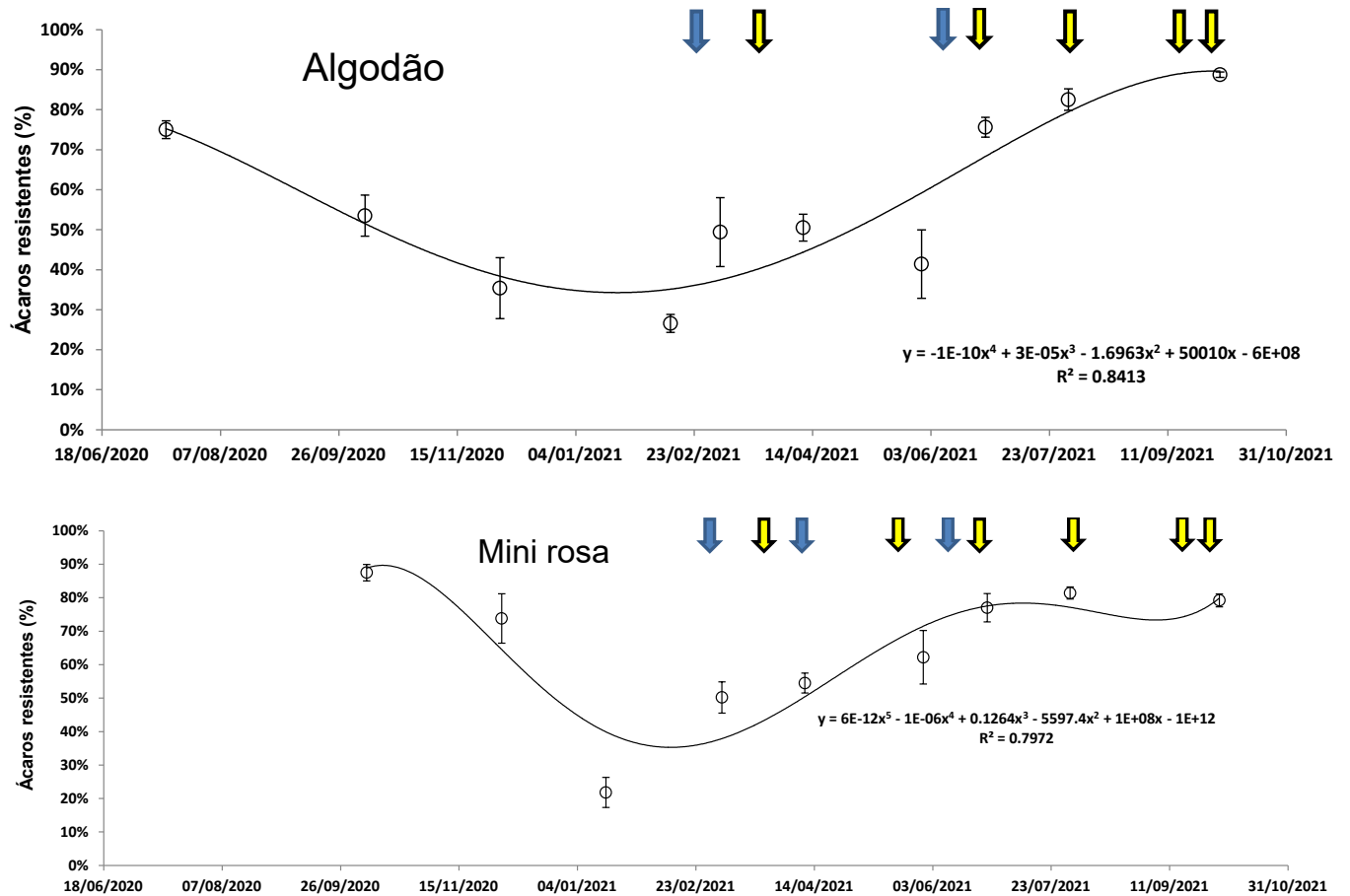


Figura 6. Variações na frequência de resistência a abamectin, em duas populações de *Tetranychus urticae*, mantidas em plantas de feijão-de-porco, cultivadas em vasos: população 1, coletada de cultivo de algodão em Primavera do Leste, MT; população 2, coletada de cultivo de mini rosa em Holambra, SP. Médias de sobrevivência (\pm EP) de fêmeas adultas de *T. urticae* quando expostas à concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L) de abamectin. A partir de 02/03/2021, foram iniciadas as aplicações de chlorfenapyr (setas azuis) e spiromesifen (setas amarelas), para avaliar a influência desses produtos sobre a frequência de resistência a abamectin.

No caso da população originária de algodoeiro, foram observadas variações significativas ($F = 16,97$; g.l. = 9, 40; $p < 0,0001$) nas frequências de resistência a abamectin ao longo do experimento, verificando-se aumento significativo ($t \geq 3,122$; g.l. = 8; $p \leq 0,0033$) na frequência de resistência a abamectin, nas avaliações realizadas aos 06/03/2021 e 26/06/2021, após as duas aplicações de chlorfenapyr, que ocorreram nos dias 02/03/2021 e 09/06/2021. Verificou-se um aumento médio de aproximadamente 28,5% na frequência de resistência a abamectin (em relação à avaliação anterior), após cada aplicação de chlorfenapyr. Ao contrário do observado para chlorfenapyr, não houve influência significativa das aplicações de spiromesifen sobre o aumento na frequência de resistência de *T. urticae* a

abamectin, não tendo sido detectada nenhuma alteração significativa nas porcentagens de resistência ao acaricida, após as pulverizações com spiromesifen sobre as plantas de feijão-deporco infestadas com ácaro-rajado (Figura 6).

No caso da população originária de mini rosa, também foram observadas variações significativas ($F = 19,08$; g.l. = 8, 36; $p < 0,0001$) nas frequências de resistência a abamectin ao longo do experimento, com aumento significativo ($t \geq 2,216$; g.l. = 8; $P \leq 0,033$) na frequência de resistência a abamectin nas avaliações realizadas, aos 06/03/2021 e 26/06/2021, após duas aplicações de chlorfenapyr (02/03/2021 e 09/06/2021), das três realizadas com o produto. Da mesma forma que para a população de algodoeiro, não foi observada alteração significativa nas frequências de resistência a abamectin, após as aplicações com spiromesifen. Apesar de o acaricida spiromesifen não ter induzido um aumento na porcentagem de ácaros resistentes a abamectin, não foi observado nenhuma redução significativa na frequência de resistência de ácaro-rajado a abamectin, durante o período em que foram realizadas as pulverizações somente com spiromesifen (Figura 6), indicando possível efeito negativo do acaricida no processo de reversão da resistência a abamectin em *T. urticae*.

O aumento nas porcentagens de ácaros *T. urticae* resistentes a abamectin, após as pulverizações com chlorfenapyr pode estar associado à resistência cruzada positiva entre abamectin e chlorfenapyr, conforme reportada por Sato et al. (2005) e Nicastro et al. (2013), que estudaram as relações de resistência cruzada em linhagens de *T. urticae* selecionadas para resistência (e suscetibilidade) a abamectin (SATO et al., 2005) e chlorfenapyr (NICASTRO et al., 2013), em condições de laboratório.

4.2. Estudos de pressão de seleção com abamectin

Os experimentos envolvendo pressão de seleção com abamectin nas duas populações de *T. urticae*, coletadas em cultivos de algodão e mini rosa, indicaram diferenças entre as duas populações estudadas, com maiores oscilações nas porcentagens de ácaros resistentes a abamectin, ao longo do experimento, na população procedente de mini rosa (Figura 7).

No caso da população originária de algodoeiro, foram observadas variações significativas ($F = 8,585$; g.l. = 6, 28; $p < 0,0001$) nas frequências de resistência a abamectin após o início das aplicações, porém, com pequenos contrastes nas porcentagens de ácaros resistentes a abamectin, principalmente após a segunda aplicação do produto, entre 06/03/2021 a 31/07/2021, oscilando entre 60,6% (22/05/2021) e 76,4% (31/07/2021) ($t =$

2,6064; g.l. = 8; $p = 0,0144$), correspondendo a uma variação máxima de 15,8%, no referido período (Figura 7).

No caso da população originária de mini rosa, também foram observadas variações significativas ($F = 4,9401$; g.l. = 7, 32; $p = 0,001$) nas frequências de resistência a abamectin ao longo do experimento, no entanto, os contrastes nas porcentagens de ácaros resistentes a abamectin foram maiores que os observados para a população de algodoeiro, sendo que, entre 06/03/2021 a 31/07/2021, as frequências de resistência oscilaram entre 50,8% (22/05/2021) e 83,4% (31/07/2021) ($t = 4,2193$; g.l. = 8; $p < 0,001$), correspondendo a uma variação máxima de 32,6%, sendo mais que o dobro da variação observada para a população de algodoeiro, para o mesmo período e o mesmo número de aplicações de abamectin (Figura 7).

Essas variações mais pronunciadas nas frequências de resistência registradas para a população de mini rosa estão relacionadas, provavelmente, a uma velocidade maior de evolução da resistência (com maior resposta à pressão de seleção com abamectin) associada a uma taxa mais elevada de reversão da resistência, na ausência de pressão de seleção (com maior tendência de restabelecimento da suscetibilidade entre as aplicações de abamectin). Essa característica de maior instabilidade da resistência da população de mini rosa a abamectin (em relação à população de algodoeiro) já havia sido observada no experimento sobre estabilidade da resistência a abamectin (item 4.1.1.), corroborando os resultados do experimento anterior.

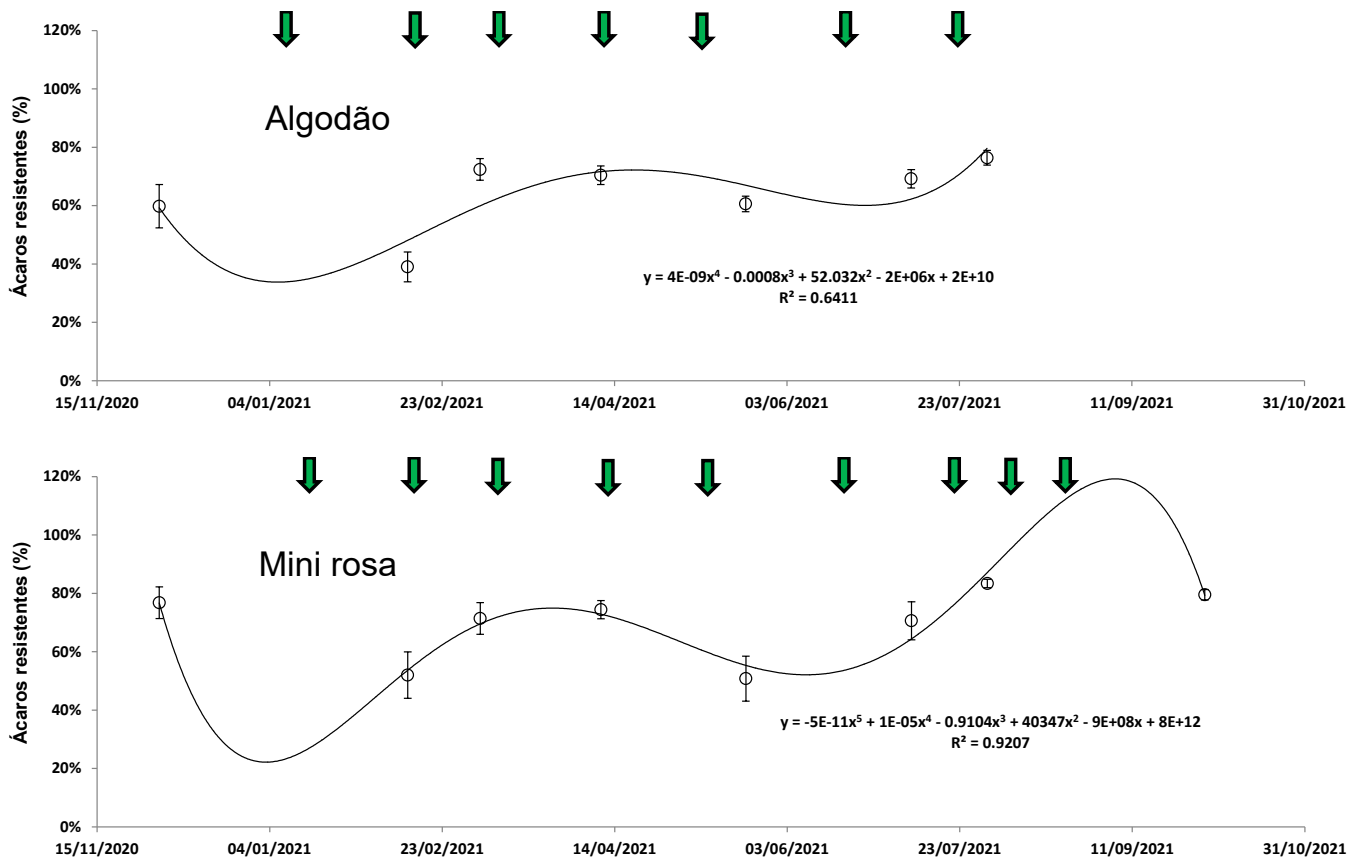


Figura 7. Variações na frequência de resistência a abamectin, em duas populações de *Tetranychus urticae*, mantidas em plantas de feijão-de-porco, cultivadas em vasos: população 1, coletada de cultivo de algodão em Primavera do Leste, MT; população 2, coletada de cultivo de mini rosa em Holambra, SP. Médias de sobrevivência (\pm EP) de fêmeas adultas de *T. urticae* quando expostas à concentração discriminatória (4,79 mg de i.a./L) de abamectin. As setas verdes correspondem às aplicações com abamectin, que foram realizadas utilizando-se a sua concentração discriminatória, com o auxílio de um borrifador, sobre as plantas de feijão-de-porco.

Possíveis diferenças na herança da resistência e nos mecanismos de resistência (ROUSH; DALY; 1990; McKENZIE, 2000; SATO et al., 2001; OSAKABE et al., 2009; NICASTRO et al., 2011; ADESANYA et al., 2021) a abamectin, entre as populações de *T. urticae* originárias de cultivos de algodão e mini rosa, podem explicar as diferenças nas variações das frequências de resistência ao acaricida, observadas ao longo do experimento. Nesse aspecto, diferenças no grau de dominância da resistência (STONE, 1968; SATO et al., 2004) e/ou nos custos adaptativos (SATO et al., 2005; NICASTRO et al., 2010, 2011) associados à resistência a abamectin podem estar entre os principais fatores relacionados aos contrastes observados entre essas duas populações de *T. urticae*.

4.3. Estudos de monitoramento da resistência a abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen, em diferentes populações de ácaro-rajado

O estudo de monitoramento da resistência de *T. urticae* a acaricidas indica elevada variabilidade na suscetibilidade do ácaro-praga aos acaricidas abamectin ($F = 10,814$; g.l. = 16, 68; $p < 0,0001$), chlorfenapyr ($F = 27,844$; g.l. = 16, 68; $p < 0,0001$) e spiromesifen ($F = 25,412$; g.l. = 16, 68; $p < 0,0001$), com frequências de resistência variando de 31,5 a 87,6% para abamectin; de 67,3 a 94,6% para chlorfenapyr e de 0,0 a 46,2% para spiromesifen, sem considerar a população suscetível de referência, coletada em cultivo orgânico de framboesa em Campos do Jordão, SP (Figura 8).

Em termos globais, o maior número de populações com elevadas frequências de resistência foram observadas para chlorfenapyr, sendo que, quase a totalidade das populações avaliadas apresentou frequências de resistência acima de 60%. As menores frequências de resistência foram observadas para spiromesifen, para o qual, nenhuma população avaliada apresentou frequências de resistência acima de 50%.

As altas frequências de resistência a chlorfenapyr podem estar associadas à elevada estabilidade de resistência ao acaricida em *T. urticae*, reportada por Nicastro et al. (2013). De acordo com esses autores, não houve reversão da resistência a chlorfenapyr, em uma população de *T. urticae*, originária de cultivo de crisântemo de Campinas, SP, com 75% de ácaros resistentes, não havendo redução na frequência de resistência a chlorfenapyr, mesmo após 14 meses sem pressão de seleção com acaricidas, em condições de laboratório.

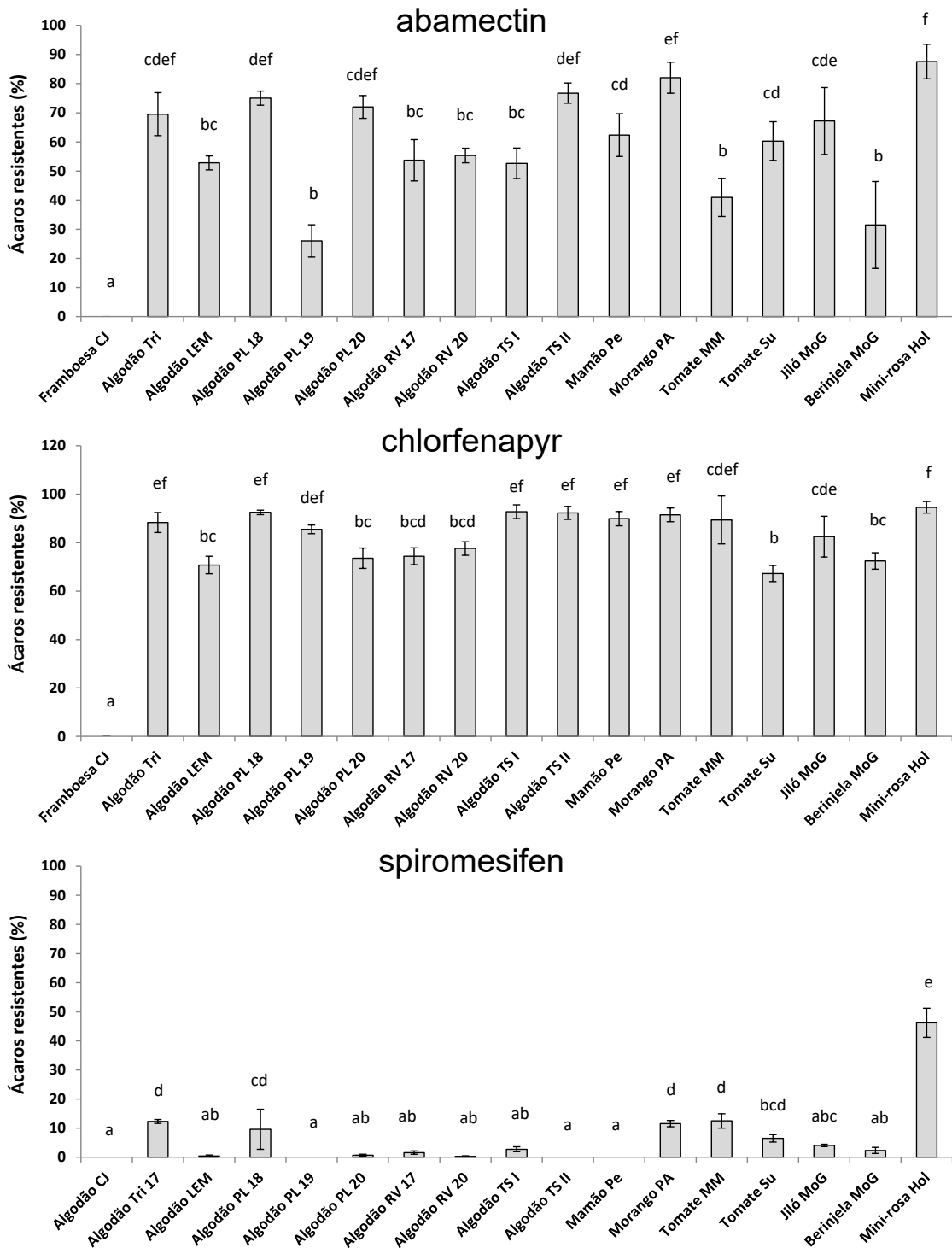


Figura 8. Frequências de resistência de *Tetranychus urticae* a abamectin, chlorfenapyr e spiromesifen. Média de sobrevivência de fêmeas adultas (para abamectin e chlorfenapyr) e ovos (para spiromesifen) de *T. urticae* quando expostos à concentração discriminatória de cada produto [abamectin (4,79 mg de i.a./L), chlorfenapyr (37,4 mg de i.a./L), spiromesifen (6,96 mg de i.a./L)]. As populações foram coletadas de cultivos de framboesa, algodão, mamão, morango, tomate, jiló, berinjela e mini rosa, em diferentes localidades: Campos do Jordão-SP (CJ), Trindade-GO (Tri), Luís Eduardo Magalhães-BA (LEM), Primavera do Leste-MT (PL), Rio Verde-GO (RV), Tangará da Serra-MT (TS), Pereiras-SP (Pe), Pouso Alegre-MG (PA), Monte Mor-SP (MM), Sumaré-SP (Su), Mogi Guaçu-SP (MoG), Holambra-SP (Hol), Trindade-GO (Tri). Colunas com a mesma letra, para cada acaricida, não são significativamente diferentes pelo teste *t* (LSD) a 5% de significância.

Realizando-se uma análise de regressão linear entre as frequências de resistência a abamectin e chlorfenapyr, para as diferentes populações de *T. urticae* coletadas em diferentes regiões brasileiras, observou-se correlação ($t = 4.1332$, $r = 0,7308$, g.l. = 15; $p = 0,0009$) indicando possível resistência cruzada positiva entre abamectin e chlorfenapyr (Figura 8). Esses resultados corroboram a hipótese de resistência cruzada entre os dois acaricidas, levantada para explicar os resultados obtidos no experimento sobre influência da aplicação de chlorfenapyr sobre a frequência de resistência de *T. urticae* a abamectin.

Sato et al. (2005) e Nicastro et al. (2013) já haviam reportado a resistência cruzada entre abamectin e chlorfenapyr, estudando linhagens de *T. urticae* selecionadas para resistência a abamectin e chlorfenapyr, respectivamente, em condições de laboratório.

No caso de spiromesifen, não foi observada resistência cruzada positiva significativa ($p = 0,055$), corroborando os resultados obtidos no experimento sobre influência da aplicação de spiromesifen sobre a frequência de resistência de *T. urticae* a abamectin, no qual não foi observada influência significativa da pulverização com spiromesifen sobre a alteração na frequência de resistência de *T. urticae* a abamectin.

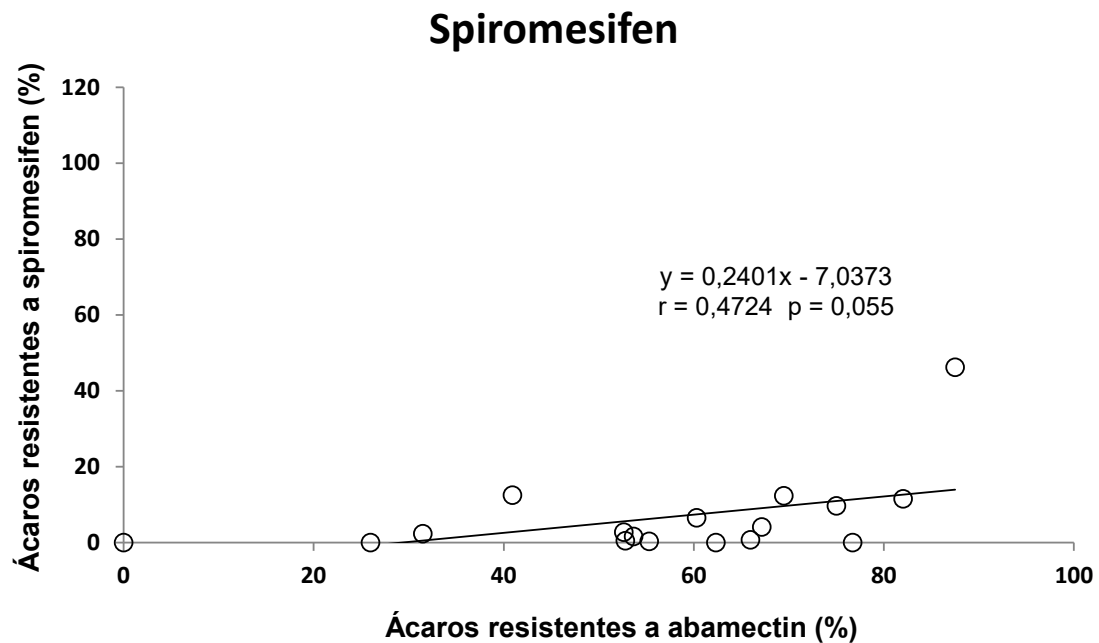
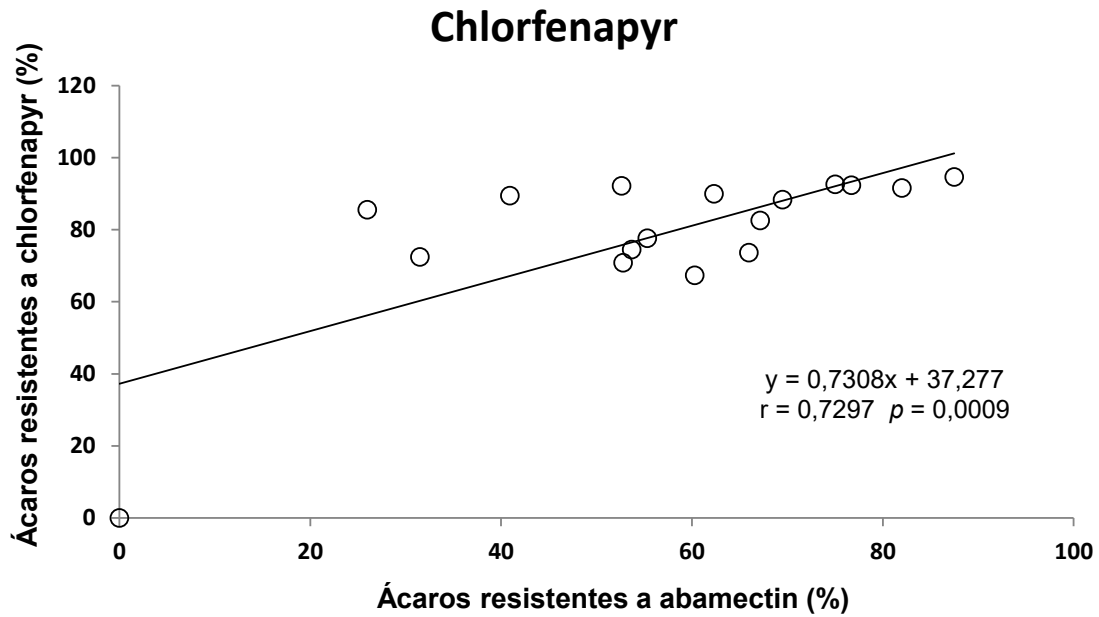


Figura 9. Regressões lineares entre as frequências de resistência a abamectin e aos acaricidas chlorfenapyr e a spiromesifen em *Tetranychus urticae*, para populações do ácaro-praga coletadas de diferentes plantas hospedeiras e regiões brasileiras: equações da reta e coeficientes de correlação (r).

Em muitos casos, os problemas de resistência a acaricidas estão associados ao desenvolvimento de resistência cruzada e/ou múltipla a acaricidas em diferentes espécies de ácaros, principalmente da família Tetranychidae. Os efeitos pleiotrópicos podem explicar a multirresistência na medida em que um único fator chave pode conferir resistência a vários pesticidas, por meio de um aumento simultâneo na ação de vários mecanismos metabólicos envolvidos na resistência (HOLLINGWORTH; DONG, 2008; OSAKABE et al., 2009). Nesse aspecto, a seleção com um acaricida frequentemente confere resistência cruzada a vários outros acaricidas, em diferentes espécies de ácaros, tais como, *T. urticae* (LEE et al., 2003, Van LEEUWEN, 2005) e *P. ulmi* (PREE et al., 2005), no entanto, os mecanismos moleculares associados a essas resistências cruzadas ainda são pouco conhecidos (OSAKABE et al., 2009; Van POTTELBERGE et al., 2009a; ADESANYA et al., 2021).

A complexidade da resistência a acaricidas encontrada atualmente não pode ser explicada por um único mecanismo. *Tetranychus urticae* é uma espécie de ampla distribuição mundial que ataca um grande número de espécies de plantas. A resistência cruzada e a herança da resistência não são necessariamente comuns para cada localidade ou planta hospedeira, em uma determinada espécie de ácaro. Descobertas recentes sugerem que cada processo de seleção possivelmente leva a um tipo diferente de mecanismo de resistência, dependendo da cultura, região e do histórico de seleção anterior, e que pode produzir diferentes padrões de resistência, afetando a estabilidade da resistência (custos adaptativos) e as relações de resistência cruzada (OSAKABE et al., 2009; Van LEEUWEN et al., 2020; ADESANYA et al., 2021).

4.4 Estudos com sinergistas nas populações de *T. urticae* de Mini rosa e Algodão.

Os testes com sinergistas foram realizados no período de 27/05/2022 a 12/06/2022, quando os ácaros das populações originárias de algodão de Primavera do Leste, MT (coletada em maio de 2020) e de mini rosa de Holambra, SP (coletada em agosto de 2020) já se mostravam significativamente mais suscetíveis a abamectin que as populações de campo, apesar do processo de seleção para resistência a abamectin, realizado no período de 09/12/2020 a 28/09/2021 (Tabela 2).

Os estudos com os sinergistas PBO, DEM e DEF indicaram o envolvimento de resistência metabólica tanto na população originária de algodão quanto na população de mini rosa (Tabela 2).

No caso da linhagem Algodão R de *T. urticae*, observou-se redução significativa (baseada na não sobreposição dos intervalos de confiança a 95%) na CL_{50} de abamectin para os ácaros expostos ao PBO, indicando envolvimento das monooxigenases dependentes do citocromo P450 na resistência dos ácaros coletados em algodoeiro. A razão de sinergismo observada para o tratamento com PBO em Algodão R foi de 6,68 vezes. Para os demais sinergistas (DEF e DEM) não foram observadas diferenças significativas na CL_{50} de abamectin após a exposição dos ácaros aos referidos acaricidas em relação à linhagem Algodão R sem sinergista, indicando pouco ou nenhum envolvimento de esterases ou glutational-S-transferases na resistência a abamectin (Tabela 2).

No caso da linhagem Mini rosa R, observou-se redução significativa da CL_{50} de quando os ácaros foram expostos aos três sinergistas (PBO, DEF, DEM), com razões de sinergismo entre 3,9 e 11,6 vezes. Os maiores aumentos na toxicidade de abamectin foram observados para DEF e PBO, com razões de sinergismo acima de 5,1 vezes, indicando envolvimento de esterases assim como de monooxigenases na resistência da população de ácaro-rajado procedente de mini rosa de Holambra, SP. Nesse aspecto, os resultados indicam o envolvimento de resistência poligênica a abamectin, para a população procedente de mini rosa.

A maior pressão de seleção com o acaricida em condições de campo pode ter favorecido a ocorrência da resistência poligênica. Stumpf e Nauen (2002) também se referem à resistência de uma linhagem procedente de roseira da Holanda a abamectin como sendo poligênica e associada ao aumento da atividade de enzimas metabólicas, com destaque para monooxigenases.

Tabela 2. Efeito de abamectin, com ou sem sinergista, em diferentes populações/linhagens de *Tetranychus urticae*. Número total de ácaros utilizados para a obtenção das curvas de concentração-mortalidade; estimativa da CL₅₀ (ppm) e intervalo de confiança (I.C.) a 95%; coeficiente angular e erro padrão da média (EP); Qui-quadrado (χ^2); grau de liberdade (G.L.); razão de sinergismo (RS); razão de resistência (RR).

População / linhagem (+ Sinergista)	Número Ácaros	CL ₅₀ (95% I.C.)	Coeficiente Angular ± EP	χ^2	G.L.	¹ RS	² RR
Mini rosa Holambra (População de campo)	217	283,13 (1,79 – 44892,93)	0,54 ± 0,31	1,10	2	-	1665,47
Mini rosa R	171	19,60 (11,63 – 64,38)	1,21 ± 0,29	0,14	3	-	115,29
Mini rosa R + PBO	172	3,83 (2,84 – 5,05)	1,84 ± 0,29	1,01	3	5,12	22,52
Mini rosa R + DEF	170	1,69 (0,083 – 3,57)	0,67 ± 0,25	0,71	3	11,60	9,94
Mini rosa R + DEM	180	5,01 (3,72 – 6,87)	1,72 ± 0,26	1,54	3	3,91	56,51
Algodão Primavera do Leste (População de campo)	248	54,95 (16,71 – 17922,90)	0,55 ± 0,19	0,29	2	-	323,24
Algodão R	169	12,09 (7,80 – 28,31)	1,31 ± 0,29	3,28	3	-	71,12
Algodão R + PBO	162	1,81 (1,13 – 2,49)	1,86 ± 0,31	0,17	3	6,68	10,64
Algodão R + DEF	179	5,48 (3,63 – 9,33)	1,21 ± 0,26	1,86	3	2,21	32,23
Algodão R + DEM	192	3,95 (1,45 – 10,79)	1,25 ± 0,45	2,75	3	3,06	23,24
Abamectin S*	360	0,17 (0,15 – 0,21)	2,10 ± 0,21	6,77	4		1

*População selecionada para suscetibilidade a abamectin (Sato et al., 2005)

¹RS = Razão de sinergismo = CL₅₀ sem sinergista / CL₅₀ com sinergista

²RR = Razão de resistência = CL₅₀ R / CL₅₀S

Os resultados obtidos nos testes com sinergistas explicam parcialmente a maior instabilidade da resistência a abamectin na população procedente de mini rosa de Holambra, em relação à população coletada de algodão em Primavera do Leste. O envolvimento de esterases, além das monooxineases, implica em maior gasto de energia para a produção dessas enzimas metabólicas, com provável aumento no custo adaptativo associado à resistência a abamectin.

Nicastro et al. (2011) reportaram uma redução nas taxas de oviposição como um dos principais custos adaptativos associados a uma linhagem de *T. urticae* selecionada para resistência a abamectin e milbemectin em condições de laboratório.

O envolvimento de enzimas metabólicas normalmente implica na presença de custo adaptativo (RAYMOND et al., 2001; NICASTRO et al., 2010, 2011; STOCCO et al., 2016; QUEIROZ; SATO, 2016; MARÇAL, 2020) associado à resistência de pragas a pesticidas, podendo explicar a rápida reversão da resistência de *T. urticae* a abamectin, nas duas populações de *T. urticae*, principalmente na população de mini rosa.

A resistência a abamectin também se mostrou instável em uma linhagem brasileira (BR3-00) de ácaro-rajado, que apresentou uma redução de 3,9 vezes na atividade de monooxigenases após seis meses sem pressão de seleção com acaricidas (STUMPF; NAUEN 2002; MARÇAL, 2020).

Algumas enzimas, como as monooxigenases associadas à resistência a abamectin nas duas populações estudadas (mini rosa e algodão) podem metabolizar diferentes grupos de produtos químicos, podendo conferir resistência cruzada a outros acaricidas, como chlorfenapyr e spiromesifen.

A pesquisa realizada com as duas populações de *T. urticae* indicam que a origem das populações (planta hospedeira, região de origem), assim como o histórico de pressão de seleção com pesticidas, pode influenciar nos mecanismos associados à resistência a acaricidas, assim como na estabilidade da resistência a esses pesticidas. Essas diferenças entre populações implicam na necessidade de adoção de diferentes estratégias de manejo para as diferentes populações de ácaros nas diferentes culturas e regiões.

A rotação de produtos químicos apenas com base no grupo químico nem sempre se mostra efetiva para a reversão da resistência a um determinado acaricida, havendo a necessidade de estudos resistência cruzada para os diferentes acaricidas utilizados para o controle de *T. urticae*, para a definição de estratégias mais bem fundamentadas para o manejo da resistência a acaricidas.

5. CONCLUSÕES

- Há diferenças na estabilidade da resistência a abamectin entre as populações de *Tetranychus urticae* procedentes de cultivos de algodão e mini rosa, com maior velocidade de reversão da resistência na população de mini rosa.
- Há influência das aplicações de chlofenapyr sobre a frequência de resistência de *T. urticae* a abamectin, havendo tendência de aumento na porcentagem de ácaros resistentes a abamectin, após as pulverizações de chlorfenapyr sobre a população de ácaro-rajado.
- As aplicações de spiromesifen não contribuem para o aumento nas frequências de resistência de *T. urticae* a abamectin, sobre plantas de feijão-de-porco.
- Há diferenças no padrão de evolução da resistência a abamectin entre as populações de *Tetranychus urticae* procedentes de cultivos de algodão e mini rosa, com maior velocidade de evolução da resistência na população de mini rosa.
- Há correlação positiva e significativa entre as frequências de resistência a abamectin e chlorfenapyr para as populações de *T. urticae* coletadas de diferentes culturas e regiões brasileiras, indicando resistência cruzada entre os referidos acaricidas.
- Há envolvimento de enzimas monooxigenases dependentes do citocromo P450 na resistência das populações de *T. urticae* procedentes de algodão e de mini rosa.
- Há envolvimento de enzimas esterases na resistência da população de *T. urticae* procedente de mini rosa de Holambra, SP.

6. REFERÊNCIAS

ADESANYA, A.W.; LAVINE, M.D.; MOURAL, T.W.; LAVINE, L.C.; ZHU, F.; WALSH, D.B. Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems. **Journal of Pest Science**, v.94, p.639-663, 2021.

ALVES, M. Floricultura é o cultivo de flores com objetivo ornamental ou paisagístico. Data da publicação: 21/09/2019. Disponível em: <https://agro20.com.br/floricultura/>. Acesso em: 07 jan. 2021.

ASAHARA, M.; UESUGI, R.; OSAKABE, M.H. Linkage between one of the polygenic hexythiazox resistance genes and an etoxazole resistance gene in the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology**, v.101, p.1704-1710, 2008.

BEERS, E.H.; RIEDL, H.; DUNLEY, J.E. Resistance to abamectin and reversion to susceptibility to fenbutatin oxide in spider mite (Acari: Tetranychidae) populations in the Pacific Northwest. **Journal of Economic Entomology**, v.91, n.2. p.352-360, 1998.

BLACK, B.C. et al. Insecticidal action and mitochondrial uncoupling activity of AC 303630 and related halogenated pyrroles. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.50, p.115-128, 1994.

CHIAVEGATO, L.G.; MISCHAN, M.M. Efeito do *Tetranychus (T.) urticae* (Koch, 1836) Boudreaux & Dosse, 1963 (Acari, Tetranychidae) na produção do morangueiro (*Fragaria* sp.) cv. 'Campinas'. **Científica**, v.9, p.257-266. 1981.

CLARK, J.M. et al. Resistance to avermectin: extent mechanisms, and management implications. **Annual Review of Entomology**, v.40, p.1-30, 1994.

DEKEYSER, M.A. Acaricide mode of action. **Pest Management Science**, v.61, p.103-110, 2005.

DEL PELOSO, M.J. et al. **Feijão preto BRS Valente**: Extensão de indicação para São Paulo, Paraná e Santa Catarina. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002 (Comunicado Técnico 44).

DERMAUW, W. et al. The cys-loop ligand-gated ion channel gene family of *Tetranychus urticae*: implications for acaricide toxicology and a novel mutation associated with abamectin resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v.42, p.455-465, 2012.

DOMANI. Mercado Internacional de Flores. Atualizado em: 08/07/2020. Disponível em: <https://www.domaniconsultoria.com/post/mercado-internacional-de-flores>. Acesso em: 07 jan. 2021.

EUROPEAN CROP PROTECTION ASSOCIATION – ECPA. The development of pesticide products. Published on 03-10-2010. Disponível em: <http://www.ecpa.eu/article/regulatory-affairs/development-pesticide-products>. Acesso em: 15 set. 2021

FERGUSON-KOLMES, L.A.; SCOTT, J.G.; DENNEHY, T.J. Dicofol resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): Cross-resistance and pharmacokinetics. **Journal of Economic Entomology**, v.84, p.41-48, 1991.

FINNEY, D.J. **Probit Analysis**, 3rd ed. London: Cambridge University Press, 1971. 315 p.

FLECHTMANN, C.H.W. **Ácaros de importância agrícola**. 2^a Ed. São Paulo: Nobel, 1979. 187p.

FLECHTMANN, C.H.W. **Ácaros de importância agrícola**. 1^a Ed. São Paulo: Nobel, 1972. 150p.

FOURNIER, D. et al. Analysis of methidathion resistance mechanism in *Phytoseiulus persimilis* A.H. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.28, n.2, p.271-278, 1987.

FRAGOSO, D.B.; GUEDES, R.N.C.; OLIVEIRA, M.G.A. Partial characterization of glutathione S-transferases in pyrethroid-resistant and -susceptible populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v.43, p.167-170, 2007.

GEORGHIOU, G.P.; TAYLOR, C.E. Factors influencing the evolution of resistance. In: National Research Council. **Pesticide resistance: strategies and tactics for management**, p.157-169, 1986.

GOMES, J.R. Brasil deve ter produção e exportação recordes de soja em 2018, prevê Abiove. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2018/04/10/brasil-deve-ter-producao-e-exportacao-de-soja-recordes-em-2018-preve-abiove.htm>. Acesso em: 03 Ago. 2021.

GRBIĆ, M. et al. The genome of *Tetranychus urticae* reveals herbivorous pest adaptations. **Nature**, v.479, p.487-492, 2011.

GUEDES, R.N.C.; DOVER, B.A. Acetylcholinesterase inhibition in organophosphate-resistant *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.26, n.3, p.561-564, 1997.

HOLLINGWORTH, R.M.; DONG, K. The biochemical and molecular genetic basis of resistance to pesticides in arthropods. In WHALON, M.E.; MOTA-SANCHEZ, D.; HOLLINGWORTH, R.M. (Eds). **Global Pesticide Resistance in Arthropods**, p.40-89, CABI, Oxfordshire, UK, 2008.

HUNT, D. A.; TREACY, M. F. Pyrrole insecticides: A new class of agriculturally important insecticides functioning as uncouplers of oxidative phosphorylation. In: ISHAAYA, I.; DEGHEELE, D. (Ed.). **Insecticides with novel modes of action: mechanism and application**. Berlin: Springer-Verlag, 1998. p.138-151.

INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE - IRAC. Arthropod Pesticide Resistance Database. Disponível em: <http://www.pesticideresistance.com/search.php>. Acesso em: 02 set. 2021b.

INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE - IRAC. The IRAC eClassification: mode of action (MoA). Disponível em: <http://www.illac-online.org/eclassification>. Acesso em: 10 set. 2021a.

JANSSEN, A., PALLINI, A., VENSON, M & SABELIS, M.W. Behavior and indirect interactions in food webs of plantinhabiting arthropods. **Experimental and Applied Acarology**, v.22, p.497-521, 1998.

KASAI, S. Role of cytochrome P450 in mechanism of pyrethroid resistance. **Journal of Pesticide Science**, v.29, p.234-239, 2004.

KHAJEHALI, J. et al. Acaricide resistance and resistance mechanisms in *Tetranychus urticae* populations from rose greenhouses in the Netherlands. **Pest Management Science**, Sussex, v.67, p.1424-1433, 2011.

KHALIGHI, M., TIRRY, L., Van LEEUWEN, T. Cross-resistance risk of the novel complex II inhibitors cyenopyrafen and cyflumetofen in resistant strains of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. **Pest Management Science**, v. 70, p. 365-368, 2014.

LEE, Y.S.; SONG, M.H.; AHN, K.S.; LEE, K.Y.; KIM, J.W.; KIM, G.H. Monitoring of acaricide resistance in two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) populations from rose greenhouses in Korea. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v.6, n.1, p.91-96, 2003.

MANDARINO, J.M.G. Origem e história da soja no Brasil (Publicado: 05/04/2017). Disponível em: <https://blogs.canalrural.uol.com.br/embrapasoja/2017/04/05/origem-e-historia-da-soja-no-brasil/>. Acesso em: 03 Set. 2021.

MARÇAL, J.F. **Toxicidade diferencial e resistência do ácaro-rajado *Tetranychus urticae* e do predador *Neoseiulus californicus* aos acaricidas ciflumetofem e diafentiurom.** Dissertação (mestrado). Instituto Biológico, São Paulo. 2020.

McKENZIE, J.A. The character or the variation: the genetic analysis of the insecticide-resistance phenotype. **Bulletin of Entomological Research**, v.90, p.3-7, 2000.

MEYER, J.R. Resistance to pesticides. 2003. Disponível em: http://www.cals.ncsu.edu/course/ent425/library/tutorials/applied_entomology/resistance.html. Acesso em: 07 jan. 2021.

MEYER, J.S. et al. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknives vs. bootstrap techniques. **Ecology**, v. 67, n. 5, p. 1156-1166, 1986.

MINAMI, K. **O tomateiro**. 2. ed., Campinas, Fundação Cargill, 1980, 310p.

MONTEIRO, V.B. et al. Monitoring *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) resistance to abamectin in vineyards in the Lower Middle São Francisco Valley. **Crop Protection**, v. 69, p. 90-96, 2015.

MORAES, G.J.; FLECHTMANN, C.H.W. **Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2008.

NICASTRO, R.L. et al. Biologia do ácaro predador *Typhlodromalus limonicus* (Garman & McGregor) (Acari: Phytoseiidae) em folhas de morangueiro infestadas com o ácaro fitófago *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). In: Simpósio de Controle Biológico, 12. São Paulo. **Resumos**. 2011.

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

NICASTRO, R.L.; SATO, M.E.; ARTHUR, V.; SILVA, M.Z. Chlorfenapyr resistance in the spider mite *Tetranychus urticae*: stability, cross-resistance and monitoring of resistance. **Phytoparasitica**, v.41, p.503-513, 2013.

NICASTRO, R.L.; SATO, M.E.; SILVA, M.Z. Fitness cost associated with milbemectin resistance in the twospotted spider mite *Tetranychus urticae*. **International Journal of Pest Management**, v.57, p.223-228, 2011.

NOPPUN, V.; SAITO, T.; MIYATA, T. Cuticular penetration of S-fenvalerate in fenvalerate-resistant and susceptible strains of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 33, p. 83-87, 1989.

OMOTO, C. Avanço na implementação de programas de manejo da resistência de pragas a pesticidas no Brasil. 2003. Disponível em: <http://www.irac-br.org.br/arquivos/avancosimplprog.doc>. Acesso em: 20 ago. 2021.

OPPENORTH, F.J. Biochemistry and genetics of insecticide resistance. In: KERKUT, G.A.; GILBERT, L.I. (Ed.) **Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology**. Oxford, Pergamon, v. 12, p. 731-773, 1985.

ORTEGA, F. Statistical analysis program and spreadsheet. Easy to use. A review of StatPlus. StatPlus 6.2.2.0. Disponível em: <https://statplus-2008.en.lo4d.com/windows>. Acesso em: 28 Set. 2019.

OSAKABE, Mh.; UESUGI, R.; GOKA, K. Evolutionary aspects of acaricide-resistance development in spider mites. **Psyche**, v.2009, 2010. Article ID 947439. <https://doi.org/10.1155/2009/947439>.

QUEIROZ, M.C.V.; SATO, M.E. Pyrethroid resistance in *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae): cross-resistance, stability and effect of synergists. **Experimental and Applied Acarology**, v.68, p.71-82, 2016.

RAUCH, N.; NAUEN, R. Spirodiclofen resistance risk assessment in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): a biochemical approach. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 74, p. 91-101, 2003.

RAYMOND, M.; BERTICAT, C.; WEILL, M.; PASTEUR, N.; CHEVILLON, C. Insecticide resistance in the mosquito *Culex pipiens*: what have we learned about adaptation? **Genetica**, v.112-113, p.287-296, 2001.

REIS, P.R. **Efeito do ácaro *Tetranychus urticae* Koch, 1836, na produção e qualidade da fibra do algodoeiro Var. IAC-RM3**. 1972. 72p. (Dissertação de Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, SP, 1972.

ROUSH, R.T.; DALY, J.C. The role of population genetics in resistance research and management, p.97-152. In: ROUSH, R.T.; TABASHNIK, B.E. (eds.). **Pesticide resistance in arthropods**. New York: Chapman and Hall, 1990, 303p.

ROUSH, R.T.; McKENZIE, J.A. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. **Annual Review of Entomology**, v.32, p.361-380, 1987.

SATO, M.E. et al. Resistência do ácaro rajado *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) a diversos acaricidas em morangueiro (*Fragaria* sp.) nos municípios de Atibaia-SP e Piedade-SP. **Ecosistema**, v.19, p.40-46, 1994.

SATO, M.E.; MIYATA, T.; KAWAI, A.; NAKANO, O. Methidathion resistance mechanisms in *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acari: Phytoseiidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.69, p.1-12, 2001.

SATO, M.E.; MIYATA, T.; SILVA, M.; RAGA, A.; SOUZA FILHO, M.F. Selections for fenpyroximate resistance and susceptibility, and inheritance, cross-resistance and stability of fenpyroximate resistance in *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae). **Applied Entomology and Zoology**, v.39, p.293-302, 2004.

SATO, M.E.; SILVA, M.Z.; CANGANI, K.G.; RAGA, A. Seleções para resistência e suscetibilidade, detecção e monitoramento da resistência de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) ao acaricida clorfenapir. **Bragantia**, v.66, n.1, p.89- 95, 2007.

SATO, M.E.; SILVA, M.Z.; RAGA, A.; SOUZA FILHO, M.F. Abamectin resistance in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae): selection, cross-resistance and stability of resistance. **Neotropical Entomology**, v.34, n.6, p.1-8, 2005.

SATO, M.E.; SILVA, M.Z.; SILVA, R.B.; SOUZA FILHO, M.F.; RAGA, A. Monitoramento da resistência de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) a abamectin e fenpyroximate em diversas culturas no estado de São Paulo. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.76, p.217-223, 2009.

SATO, M.E.; VERONEZ, B.; STOCCO, R.S.M.; QUEIROZ, M.C.V.; GALLEGO, R. Spiromesifen resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): Selection, stability, and monitoring. **Crop Protection**, v.89, p.278-283, 2016.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE) – Empreendedorismo no Brasil, 2016. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/GEM%20Nacional%20-%20web.pdf>.

SEVERINO, L.S.; RODRIGUES, S.M.M.; CHITARRA, L.G.; LIMA FILHO, J.; CONTINI, E.; . MOTA, M.; MARRA, R.; ARAÚJO, A. Produto: Algodão - Parte 01: Caracterização e Desafios Tecnológicos. Embrapa: Série Desafios do Agronegócio Brasileiro (NT3). Disponível em: [https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1109655/1/Serie DesafiosAgronegocioBrasileiroNT3Algodao.pdf](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1109655/1/Serie%20DesafiosAgronegocioBrasileiroNT3Algodao.pdf). Acesso em: 07 Set. 2022.

STOCCO, R.S.M.; SATO, M.E.; SANTOS, T.L. Stability and fitness costs associated with etoxazole resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Experimental & Applied Acarology**, v.69, n.4, p.413-425, 2016.

STONE, B.F. A formula for determining the degree of dominance in cases of monofactorial inheritance of resistance to chemicals. **Bulletin of the World Health Organization**, v.38, p.325-326, 1968.

STUMPF, N.; NAUEN, R. Biochemical markers linked to abamectin resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.72, p.111-121, 2002.

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

Van LEEUWEN, T.; DERMAUW, W.; MAVRIDIS, K.; VONTAS, J. Significance and interpretation of molecular diagnostics for insecticide resistance management of agricultural pests. **Current Opinion in Insect Science**, v.39 p.69-76, 2020.

Van LEEUWEN, T.; VAN POTTELBERGE, S.; TIRRY, L. Biochemical analysis of a chlorfenapir-selected resistant strain of *Tetranychus urticae* Koch. **Pest Management Science**, v. 62, p. 425-433, 2006.

Van LEEUWEN, T.; Van POTTELBERGE, S.; TIRRY, L. Comparative acaricide susceptibility and detoxifying enzyme activities in field-collected resistant and susceptible strains of *Tetranychus urticae*. **Pest Management Science**, v.61, n.5, p.499-507, 2005.

Van POTTELBERGE, S. et al. Resistance mechanisms to mitochondrial electron transport inhibitors in a field-collected strain of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 99, p. 23-31, 2009b.

Van POTTELBERGE, S.; Van LEEUWEN, T.; KHAJEHALI, J.; TIRRY, L. Genetic and biochemical analysis of a laboratory-selected spiroadiclofen-resistant strain of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Pest Management Science**, v. 65, p. 358-366, 2009a.

YARA BRASIL. Principais informações sobre o algodão. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas-ccl/algodao/informacoes-algodao/>. Acesso em: 07 jan. 2021.