

TAMÍRIS ALVES DE ARAÚJO

**SISTEMAS DE TOMADA DE DECISÃO E EFEITO DO VAZIO SANITÁRIO NA  
DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE *Frankliniella schultzei* EM CULTIVOS  
DE TOMATE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A663s  
2019  
Araújo, Tamíris Alves de, 1989-  
Sistema de tomada de decisão e efeito do vazio sanitário na  
dinâmica espaço-temporal *Frankliniella schultzei* em cultivos de  
tomate / Tamíris Alves de Araújo. – Viçosa, MG, 2019.  
viii, 74 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Marcelo Coutinho Picanço.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Pragas agrícolas - Controle integrado. 2. Tomate -  
Doenças e pragas - Variações sazonais. 3. Tomate - Doenças e  
pragas - Amostragem. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em  
Entomologia. II. Título.

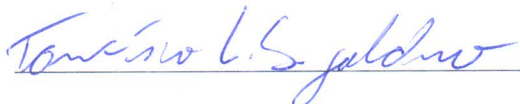
CDD 22. ed. 632.758

**TAMÍRIS ALVES DE ARAÚJO**

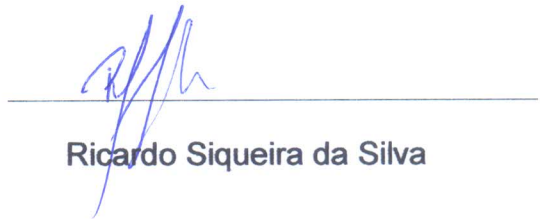
**SISTEMAS DE TOMADA DE DECISÃO E EFEITO DO VAZIO SANITÁRIO NA  
DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE *Frankliniella schultzei* EM CULTIVOS  
DE TOMATE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2019.



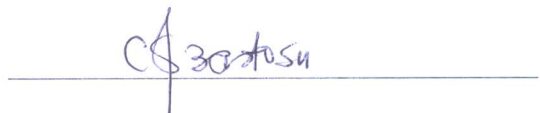
Tarcísio Visintin da Silva Galdino




Ricardo Siqueira da Silva



Rodrigo Soares Ramos



Cristina Schetino Bastos  
(Coorientador)



Marcelo Coutinho Picanço  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela constante graça concedida, por me permitir crescer como pessoa e profissional durante esta trajetória da minha vida.

Aos meus pais, Francisco e Elineide, pelo amor e carinho, por acreditarem que a educação seria a melhor herança que poderiam me dar.

Aos meus irmãos, Tiago e Ana Caroline, pelo amor, carinho e apoio incondicional para a realização deste objetivo profissional.

Ao meu esposo, Dalton, pelo amor, carinho, paciência e companheirismo demonstrado ao longo desses anos de convivência.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Entomologia da mesma instituição, pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de bolsas e recursos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos no exterior em período sanduiche (PDSE 88881.133530/2016-01).

Ao orientador e amigo, professor Marcelo Coutinho Picanço, pela orientação, disponibilidade e atenção dispensada a minha formação profissional. À sua esposa Kátia e aos seus filhos Mayara, Luíza e Marcelo Filho, pelo agradável convívio.

Aos componentes da banca, Doutor Rodrigo Soares Ramos, Doutor Ricardo Siqueira da Silva, Doutor Tarcisio da Silva Visintin Galdino e a Professora Cristina Schetino Bastos pela cordialidade em aceitar o convite, assim como, pelas sugestões e dedicação na melhoria do trabalho.

Aos estagiários do laboratório de Manejo Integrado de Pragas, Vitor, João, Rafael, Jhersyka, Lucas, Júlia, Daniel, Patrícia Fernandes, Eliete, Daiane, Jhulyana, Renata e Alana pela ótima convivência.

Aos amigos da pós-graduação do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas, Paulo, Thiago, Mayara, Elizeu, Arthur e Abraão pelo convívio e companheirismo ao longo deste doutorado.

Aos estagiários, mestres e doutores que passaram pelo Laboratório de Manejo Integrado de Pragas, Tarcisio, Nilson, Renata, Izailda, Mirian, Júlia Nogueira, Obiratanea, Elenir, Thadeu, Aelton, Jorgiane, Gerson, Mateus Chediak, Vânia e Antônio.

As minhas queridas amigas Larissa, Talita, Sara e Lilian pela amizade sincera, apoio e incentivo de sempre mesmo com a distância entre nós.

A minha grande amiga Elenir pelos conselhos e companheirismo ao longo dos anos de amizade.

A todos os colegas dos cursos de Fitotecnia e Entomologia pelo agradável convívio durante as disciplinas cursadas principalmente aos meus queridos amigos Sebastian, Maria Helena e Célia pela amizade, conselhos e paciência nos estudos em grupo.

A secretária do Programa de Pós-graduação em Entomologia, Eliane pela competência e dedicação ao trabalho.

À Universidade de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos, principalmente ao Doutor Thomas Elliot Hunt pelo acolhimento no exterior durante o período sanduiche.

À minha amiga e coorientadora Professora Cristina Schetino Bastos da Universidade de Brasília, por ter acreditado em meu potencial e ter me inspirado na minha carreira científica.

Aos produtores de tomate da região de Viçosa-MG, Adão, Aldair, Aloisio, Benedito, César, Miguel, Ivanilson, Marcelo e Sidnei, da região de Tocantins-MG Alex, Murilo, Zacarias, José Luís, Reginaldo e Rogério por permitir a coleta dos dados em suas lavouras.

Por fim, aos familiares e todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

## BIOGRAFIA

TAMÍRIS ALVES DE ARAÚJO, filha de Francisco de Assis Alves de Araújo e Elineide Alves de Araújo, nasceu em Taguatinga, Distrito Federal, no dia 07 de outubro de 1989. Em março de 2008, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade de Brasília, graduando-se em maio de 2013. Durante a graduação, de março de 2009 a julho de 2010 foi estagiária na Embrapa Hortaliças, desenvolvendo trabalhos na área de manejo da irrigação no controle de pragas e doenças do tomateiro. Em fevereiro de 2010 ingressou como estagiária no Laboratório de Proteção de Plantas, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, da Universidade de Brasília, sob orientação da Professora Cristina Schetino Bastos. Desenvolveu vários trabalhos na área de Manejo Integrado de Pragas tanto em laboratório quanto em campo. Foi monitora das disciplinas de graduação: Hidráulica Aplicada, Manejo Integrado de Pragas, Agrotóxicos e MIP e Entomologia Econômica. Em abril de 2013 ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do Professor Marcelo Coutinho Picanço, defendendo a dissertação em fevereiro de 2015. Nesse mesmo ano ingressou no doutorado no Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, também sob orientação do Professor Marcelo Coutinho Picanço. Durante o doutorado, de maio de 2017 a janeiro de 2018, realizou doutorado sanduíche na University of Nebraska-Lincoln nos Estados Unidos sob orientação do Doutor Thomas Elliot Hunt. Em fevereiro de 2019, defendeu a tese se tornando então doutora em Entomologia.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	4
<b>CAPÍTULO 1: DEVELOPMENT AND VALIDATION OF SAMPLING PLANS FOR <i>Frankliniella schultzei</i> ON TOMATO</b> .....	8
<b>ABSTRACT</b> .....	8
<b>1 INTRODUCTION</b> .....	9
<b>2 MATERIALS AND METHODS</b> .....	11
2.1 Experimental conditions.....	11
2.2 Sampling system .....	12
2.3 Sampling distribution of <i>F. schultzei</i> .....	13
2.4 Development and validation of the binomial sampling plans using resampling software (RVSP) .....	15
2.5 Validation of the binomial sampling plans using the pest monitoring method.....	18
<b>3 RESULTS</b> .....	19
3.1 Sampling system .....	19
3.2 Sampling distribution of <i>F. schultzei</i> .....	19
3.3 Development and validation of the binomial sampling plans using resampling software (RVSP) .....	20
3.3.1 Mean density and proportion of infested plants .....	20
3.3.2 Binomial sequential sampling plans.....	20
3.3.3 Validation of the binomial sampling plans.....	21
3.4 Validation of the binomial sampling plans using the pest monitoring method.....	22
<b>4 DISCUSSION</b> .....	22
<b>5 REFERENCES</b> .....	26
<b>CAPÍTULO 2: EFEITO DO VAZIO SANITÁRIO SOBRE A DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO TRIPES <i>Frankliniella schultzei</i> (Thysanoptera: Thripidae) EM LAVOURAS DE TOMATE</b> .....	45
<b>RESUMO</b> .....	45

<b>ABSTRACT</b> .....	46
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	47
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	49
2.1 Condições experimentais .....	49
2.2 Coleta de dados.....	49
2.3. Análises estatísticas .....	50
2.3.1. Variação das densidades de <i>F. schultzei</i> durante os cultivos de tomate .....	50
2.3.2. Distribuição espacial de <i>F. schultzei</i> nas lavouras de tomate .....	50
2.3.3 Efeito de fatores sobre a distribuição espaço-temporal de <i>F. schultzei</i> nas lavouras de tomate .....	52
<b>3 RESULTADOS</b> .....	53
3.1. Variação das densidades de <i>F. schultzei</i> durante os cultivos de tomate	53
3.2. Distribuição espacial de <i>F. schultzei</i> nas lavouras de tomate.....	53
3.3. Efeito de fatores sobre a distribuição espaço-temporal de <i>F. schultzei</i> nas lavouras de tomate .....	54
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	55
<b>5 REFERÊNCIAS</b> .....	60
<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	74

## RESUMO

ARAÚJO, Tamíris Alves de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Sistemas de tomada de decisão e efeito do vazio sanitário na dinâmica espaço-temporal de *Frankliniella schultzei* em cultivos de tomate.** Orientador: Marcelo Coutinho Picanço. Coorientadora: Cristina Schetino Bastos.

O vazio sanitário consiste em deixar a área agrícola em pousio afetando assim a dinâmica espaço-temporal das pragas. Os sistemas de tomada de decisão são componentes essenciais dos programas de manejo integrado de pragas. O trips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) é uma importante praga em cultivos de tomate e que ocorre em todos os continentes do planeta. Os objetivos desta tese foram determinar o efeito do vazio sanitário na dinâmica espaço-temporal de *F. schultzei* em lavouras de tomate e propor um sistema de tomada de decisão para esta praga nesta cultura. Para tanto, durante dois anos foram monitorados em lavouras comerciais de tomate em Tocantins-MG (local com adoção de vazio sanitário) e Coimbra-MG (local sem adoção de vazio sanitário) as densidades de *F. schultzei* e inimigos naturais, elementos climáticos, estágio fenológico das plantas e vegetação das circunvizinhanças dos cultivos. Verificou-se que ocorrem menores densidades de *F. schultzei* nas lavouras na região com adoção de vazio sanitário. A distribuição espacial da praga nas lavouras de tomate foi agregada e seus focos se distribuíam na direção predominante dos ventos. O melhor sistema de amostragem para avaliar as populações de *F. schultzei* foi a batida da parte apical das plantas sob a bandeja plástica branca e a posterior contagem dos trips no fundo da bandeja. Os planos sequencial e convencional tiveram tomadas de decisão similares. O limiar de 5% de plantas atacadas foi o melhor para a tomada de decisão de controle e os planos de amostragem sequenciais economizaram de 30 a 80% do tempo e custo de amostragem.

## ABSTRACT

ARAÚJO, Tamiris Alves de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Decision-making systems and fallow period effect on the spatiotemporal dynamics of *Frankliniella schultzei* in tomato crops.** Advisor: Marcelo Coutinho Picanço. Co-advisor: Cristina Schetino Bastos.

The fallow period consists in leaving the area unplanted with commercial crops to affect the spatiotemporal dynamics of the pests. Decision-making systems are essential components of integrated pest management programs. The thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) is an important pest in tomato crops and occurs in all continents of the planet. The objectives of this thesis were to determine the effect of the fallow period on the spatiotemporal dynamics of *F. schultzei* on tomato crops and propose a decision-making system for this pest in this crop. For this purpose, the densities of *F. schultzei* and natural enemies, climatic elements, phenological stage of plants and vegetation around crops were monitored for two years in commercial tomato fields in Tocantins-MG (location with fallow period) and Coimbra-MG (locality without fallow period). It was verified that lower densities of *F. schultzei* occur in the crops in the region with the adoption of fallow period. The spatial distribution of the pest in tomato crops was aggregated and its foci distributed in the predominant direction of the winds. The best sampling system to evaluate *F. schultzei* populations was the beating of the apical part of the plants under the white plastic tray and the subsequent counting of the thrips in the bottom of the tray. Sequential and conventional plans had similar decision-making. The 5% threshold of attacked plants was the best for control decision making, and sequential sampling plans saved 30-80% of the time and cost of sampling.

## INTRODUÇÃO GERAL

A dinâmica das pragas nos agroecossistemas pode apresentar sazonalidade dentro do contexto de espaço e tempo (Rosado et al., 2015a; Galdino et al., 2017). No contexto do espaço, por exemplo, a praga pode apresentar diferentes padrões de distribuição dentro de uma lavoura podendo ser do tipo agregado, aleatório e uniforme (Elliott, 1983; Krebs, 1989). No contexto do tempo, por sua vez, a praga em uma lavoura pode apresentar uma dinâmica em equilíbrio, com oscilações ou caótica (Hassell et al., 1976). A partir do conhecimento da dinâmica espaço-temporal das pragas é possível identificar os padrões de colonização de uma dada espécie (Galdino et al., 2017). Neste sentido, diante deste conhecimento, é possível estabelecer estratégias de monitoramento e controle direcionado para os locais e/ou épocas de maior ocorrência deste organismo (Barrigossi et al., 2001; Martins et al., 2018).

Entre os fatores que afetam a dinâmica espaço-temporal das pragas nos agroecossistemas os elementos climáticos possuem grande contribuição nesta dinâmica (Rosado et al., 2015b). Neste contexto, a temperatura apresenta vital importância para os insetos-pragas (Cao et al., 2018; Rebaudo and Rabhi 2018). A temperatura regula as taxas de desenvolvimento e crescimento, bem como, tem influência na atividade de voo destes organismos (Rebaudo and Rabhi 2018). O vento também tem influência na atividade de voo, sendo o principal mediador dos insetos-pragas na movimentação direcional à procura de plantas hospedeiras (Kogel and Koschier, 2002; Berry et al., 2006).

Nos agroecossistemas, as práticas agrícolas adotadas também podem afetar a dinâmica-espaco-temporal dos organismos praga (Daily, 1997). Práticas agrícolas voltadas no sentido de interferir no contexto de sucessão hospedeira, por exemplo, tem sido reportadas como eficientes métodos de controle de pragas (Burgers et al., 2005; Girma et al., 2006 Kamara et al., 2016). Partindo deste princípio, a adoção da prática de vazío sanitário é capaz de suprimir a população de pragas de uma área agrícola por não permitir a sucessão de plantas hospedeiras cultivadas na área (Rossi et al., 2010; Delang et al., 2016).

No âmbito do manejo de pragas, além de ter o conhecimento da dinâmica espaco-temporal das pragas é importante estabelecer sistemas de tomada de decisão para estes organismos. O sistema de tomada de decisão é um dos componentes fundamentais dos programas de manejo integrado de pragas (MIP) (Higley and Pedigo, 1996). Este sistema é composto pelos planos de amostragem e o limiar de controle (Pedigo and Rice, 2015). No processo de tomada de decisão, a densidade da praga na lavoura é comparada com o limiar. Quando esta densidade é igual ou maior que o limiar uma medida de controle deve ser adotada (Higley and Pedigo, 1996; Pedigo and Rice, 2015). Ao se tratar de controle químico, por exemplo, a aplicação de pesticidas só será realizada quando a população da praga atingir o limiar. Neste sentido, a adoção dos sistemas de tomada de decisão promove a redução do uso de pesticidas nos agroecossistemas (Castle and Naranjo, 2009; Picanço et al., 2004).

Os planos de amostragem podem ser convencionais ou sequenciais. Nos planos de amostragem convencionais o número de amostras é fixo. Já nos planos de amostragem sequenciais o número de amostras é variável. Isto se deve ao

fato de que na amostragem sequencial diferentemente da convencional, a tomada de decisão é realizada após cada amostra ser avaliada (Moura et al., 2018). Assim, os planos de amostragem sequencial geralmente possibilitam uma tomada de decisão de controle das pragas mais rápida do que os planos convencionais (Pereira et al., 2017; Moura et al., 2018).

Nos sistemas de tomada de decisão, o nível de dano econômico é o limiar de controle das pragas mais adotado. Isto é devido ao fato de que o nível de dano econômico é estimado a partir de todos os componentes do controle das pragas como o custo de controle, o valor da produção da lavoura e a eficiência do método de controle (Higley and Pedigo, 1996). Entretanto, muitas vezes a determinação do nível de dano econômico é empiricamente difícil, pois nem sempre é possível isolar e estabelecer a relação econômica envolvida entre o dano causado pela praga e sua densidade na lavoura (Pereira et al., 2017; Moura et al., 2018). Esta determinação se torna ainda mais difícil ao se tratar de insetos vetores, na qual previamente deve ser estabelecida uma relação econômica entre vetor e doença (Higley and Pedigo, 1996; Nault and Shelton, 2010). Assim, o uso dos limiares de controle nominais baseados na experiência de pesquisadores e produtores podem ser também eficazes quando associados aos planos de amostragem nos programas de MIP (Higley and Pedigo, 1996).

Entre os insetos vetores de importância mundial, temos o tripses *Frankliniella schultzei*, Trybom (Thysanoptera: Thripidae). Esta praga ocorre em vários países da Ásia, África, Europa, Américas e Austrália (GBIF, 2018). Os danos diretos desta espécie estão associados a sucção do conteúdo celular e injeção de toxinas nas plantas (Cavalleri and Mound, 2012). No entanto, seu

papel como inseto-vetor (dano indireto) de várias tospoviroses é o que fez esta praga alcançar o status internacional de praga quarentenária (Riley et al., 2011; Rotenberg et al., 2015). O tomate, *Solanum lycopersicum* L., é conhecido por estar entre as culturas mais afetadas por várias tospoviroses transmitidas por *F. schultzei* (Rotenberg et al., 2015). No Brasil, este complexo de tospoviroses transmite o “vira cabeça do tomateiro” doença responsável por perdas de US \$ 5 milhões por ano (Monteiro et al., 2001; Ferraz et al., 2003).

Apesar da importância mundial do tripses *F. schultzei*, ainda não se tem o conhecimento sobre o efeito do vazio sanitário sobre sua dinâmica espaço-temporal em lavouras de tomate, bem como, o estabelecimento de sistemas de tomada de decisão para esta praga nesta cultura. Estes estudos são fundamentais para o desenvolvimento de eficientes programas de MIP em tomate. Com isso, esta tese foi dividida em dois capítulos. O primeiro capítulo se investigou pela primeira vez o impacto da adoção de vazio sanitário na dinâmica espaço-temporal de *F. schultzei* em cultivos de tomate. E, no segundo capítulo foi determinado um sistema de tomada de decisão para *F. schultzei* em cultivos de tomate.

## REFERÊNCIAS

- Barrigossi JAF, Young LJ, Crawford CAG, Hein GL and Higley LG, Spatial and probability distribution of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) egg mass populations in dry bean. *Environ Entomol* **30**: 244–253 (2001).
- Berry N, Butler RC and Teulon DAJ, Responses of New Zealand flower thrips (*Thrips obscuratus*) to synthetic and natural stimuli (odour and colour) in a wind tunnel. *New Zeal J Crop Hort* **34**: 121-129 (2006).

- Burgers P, Ketterings QM and Garrity DP, Fallow management strategies and issues in Southeast Asia. *Agric Ecosyst Environ* **110**:1-13 (2005).
- Cao Y, Li C, Yang WJ, Meng YL, Wang LJ, Shang BZ and Gao YL, Effects of Temperature on the Development and Reproduction of *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *J Econ Entomol* **111**: 755-760 (2018).
- Castle S and Naranjo SE, Sampling plans, selective insecticides and sustainability: the case for IPM as 'informed pest management'. *Pest Manag Sci* **65**: 1321–1328 (2009).
- Cavalleri A and Mound LA, Toward the identification of *Frankliniella* species in Brazil (Thysanoptera, Thripidae). *Zootaxa* **3270**: 1–30 (2012).
- Daily GC, *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Island Press, Washington DC, 412 pp. (1997).
- Delang CO, Weiyi X, Brooke B and Chun KP, The effect of fallow period length on the abundance and diversity of usable plant assemblages in shifting cultivation system (swidden agriculture) in northern Laos. *Pol J Ecol* **64**: 350-356 (2016).
- Elliott JM, *Some Methods for the Statistical Analysis of Samples of Benthic Invertebrates*. Freshwater Biological Association, London, 157 pp. (1983).
- Ferraz E, Resende LV, Lima GS, Silva MC, França JGE and Silva DJ, Redenção: nova cultivar de tomate para a indústria resistente a geminivírus e tospovírus. *Hort Bras* **21**: 578–580 (2003).
- Galdino TVDS, Ferreira DO, Santana Júnior PA, Arcanjo LDP, Queiroz EA, Sarmento RA and Picanço MC, The Role of the Beetle *Hypocryphalus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae) in the Spatiotemporal Dynamics of Mango Wilt. *J Econ Entomol*, **110**: 865-874 (2017).
- GBIF, Global Biodiversity Information Facility. <http://www.gbif.org/species/1420680> [accessed 10 January 2018].
- Girma H, Rao MR, Day R and Ogol CKPO, Abundance of insect pests and their effects on biomass yields of single vs. multi-species planted fallows. *Agroforestry Syst* **68**: 93-102 (2006).
- Hassell MP, Lawton JH and May RM, Patterns of dynamical behaviour in single-species populations. *J Anim Ecol* **45**: 471-486 (1976).
- Higley LG and Pedigo LP, *Economic Thresholds for Integrated Pest Management*. University of Nebraska Press, Lincoln, 328 pp. (1996).

- Kamara A, Vonu OS, Lansana J, Lansana J and Sesay FS, Extent of Reduction of the Fallow Period and Its Impact on Upland Rice Production in the Nongowa Chiefdom of Kenema District in Eastern Sierra Leone. *Agric Sci* **7**: 805 (2016).
- Kogel WJ and Koschier EH, Thrips responses to plant odours, in Thrips and Tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera, ed. By Marullo R and Mound L, Australian National Insect Collection, Canberra, pp. 189-190 (2002).
- Krebs, CJ, Ecological Methodology. Harper and Hall, New York, 654pp. (1989).
- Martins JC, Picanço MC, Silva RS, Gonring AH, Galdino TVS and Guedes RN, Assessing the spatial distribution of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs in open-field tomato cultivation through geostatistical analysis. *Pest Manag Sci* **74**: 30-36 (2018).
- Monteiro RC, Mound LA and Zucchi RA, Espécies de *Frankliniella* (Thysanoptera: Thripidae) de importância agrícola no Brasil. *Neotrop Entomol* **30**: 65–72 (2001).
- Moura MF, Lopes MC, Pereira RR, Parish JB, Chediak M, Arcanjo LP, Carmo DG and Picanço MC, Sequential sampling plans and economic injury levels for *Empoasca kraemeri* on common bean crops at different technological levels. *Pest Manag Sci* **74**: 398-405 (2018).
- Nault BA and Shelton AM, Impact of insecticide efficacy on developing action thresholds for pest management: a case study of onion thrips (Thysanoptera: Thripidae) on onion. *J Econ Entomol* **103**: 1315–1326 (2010).
- Pedigo LP and Rice ME, Entomology and Pest Management. Waveland Press, Long Grove, 784 pp. (2015).
- Pereira PS, Sarmiento RA, Galdino TVS, Lima CH, Santos FA, Silva J, Santos GR and Picanço MC, Economic injury levels and sequential sampling plans for *Frankliniella schultzei* in watermelon crops. *Pest Manag Sci* **73**: 1438-1445 (2017).
- Picanço MC, Paula-Moraes SV, Moraes Júnior AR, Oliveira IR, Semeão AA and Rosado JF, Impactos financeiros da adoção de manejo integrado de pragas na cultura do tomateiro. *Acta Sci* **26**: 245–252 (2004).
- Rebaudo F and Rabhi VB, Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: review of major developments, challenges, and future directions. *Entomol Exp Appl* **166**: 607-617 (2018).
- Riley DG, Joseph SV, Srinivasan R and Diffie S, Thrips vectors of tospoviruses. *J Int Pest Manag* **2**: 11–110 (2011).

- Rosado JF, Picanço MC, Sarmiento RA, Pereira RM, Pedro-Neto M, Galdino TVS, Saraiva AS and Erasmo EAL, Geostatistics as a tool to study mite dispersion in physic nut plantations. *Bull Entomol Res* **105**: 381-389 (2015a).
- Rosado JF, Picanço MC, Sarmiento RA, Silva RS, Pedro-Neto M, Carvalho MA, Erasmo EA and Silva LCR, Seasonal variation in the populations of *Polyphagotarsonemus latus* and *Tetranychus bastosi* in physic nut (*Jatropha curcas*) plantations. *Exp Appl Acarol* **66**: 415-426 (2015b).
- Rossi JP, Celini L, Mora P, Mathieu J, Lapied E, Nahmani J, Ponge JF and Lavelle P, Decreasing fallow duration in tropical slash-and-burn agriculture alters soil macroinvertebrate diversity: a case study in southern French Guiana. *Agric Ecosyst Environ*, **135**: 148-154 (2010).
- Rotenberg D, Jacobson AL, Schneewis DJ and Whitfield AE, Thrips transmission of tospoviruses. *Curr Opin Virol* **15**: 80–89 (2015).

## **CAPÍTULO 1: DEVELOPMENT AND VALIDATION OF SAMPLING PLANS FOR *Frankliniella schultzei* ON TOMATO**

### **ABSTRACT**

Tomato is known to be among the most affected crops for several *Frankliniella schultzei* transmitted tospoviruses that cause extensive economic losses worldwide. Despite the importance of this insect as a vector in tomato, no true economic thresholds or sampling plans have been developed to support the use of integrated pest management programs for this pest on tomato. Here, six sampling systems and the sampling distribution of *F. schultzei* on tomato were investigated. We also developed and evaluated eight sampling plans for *F. schultzei* on tomato using nominal thresholds, numerous field data sets and computer simulation. Beating the tomato plant apical section over a white plastic tray was the best sampling system to assess *F. schultzei*. In addition, *F. schultzei* had an aggregated sampling distribution in tomato fields. Regarding the sampling plans, both sequential and conventional plans resulted in similar decision-making. However, depending on the nominal threshold adopted, the economy of time when using the sequential sampling plans in relation to conventional sampling plans ranged from 30% to 80%. The beating tray sampling system used in this study provided accuracy, representativeness and economy of time for *F. schultzei* sampling. The nominal thresholds associated with the binomial sequential sampling plans developed are an efficient and time-saving option for managing *F. schultzei* and the associated tospovirus complex in tomato, contributing toward improved integrated pest management programs for this economic pest of tomato.

**Keywords:** common blossom thrips; enumerative sampling; binomial sampling; resampling software; benefit-cost ratio.

## 1 INTRODUCTION

The common blossom thrips, *Frankliniella schultzei* Trybom (Thysanoptera: Thripidae), is a global pest that occurs in several countries in Asia, Africa, Europe, the Americas, and Australia (GBIF, 2018). The economic significance of the species is associated with its direct damage to plants by sucking cellular contents and injecting toxins, but the primary concern is its role as a vector (indirect damage) of several tospoviruses (Pappu et al., 2009; Riley et al., 2011; Rotenberg et al., 2015). Tomato, *Solanum lycopersicum* L., is known to be among the most affected crops for several *F. schultzei* transmitted tospoviruses. These include Groundnut ring spot virus (GRSV) and Tomato chlorotic spot virus (TCSV), currently emerging in Florida and the southeastern United States (Guillebeau et al., 2007; Awondo et al., 2012). In Brazil, this tospovirus complex transmits the “vira cabeça do tomateiro” disease responsible for tomato fruit being unsuitable for market and recorded losses per year of US\$ 5 million (Monteiro et al., 2001; Ferraz et al., 2003). Consequently, growers have adopted a risk-averse approach to the pest, often resulting in high insecticide use (Bacci et al., 2008; Pereira et al., 2017).

Although this insect vector is an important pest of tomato, there are no true economic thresholds or sampling plans for this pest to incorporate in tomato integrated pest management (IPM) programs. For determination of these thresholds, an economic relationship between the insect (*F. schultzei*) and the tospoviruses in tomato would have to be established which is empirically difficult. Therefore, over the years tomato growers have adopted action thresholds (AT), or nominal thresholds, for the vector based on observational experience (e.g., 5,

10, 15, or 20% of infested plants). While less desirable than economic thresholds, AT built upon numerous field observations, have been very effective for IPM programs when associated with sampling plans (Nault and Shelton, 2010; Paula-Moraes et al., 2011).

Insecticide application without sampling protocols may result in unnecessary increases in production costs and in environmental contamination (Galvan et al., 2007). The purpose of designing a sampling protocol is to develop a guideline for collecting samples with an acceptable level of precision over a wide range of infestation levels and be logistically feasible for IPM implementation (Hutchison, 1994; Galvan et al., 2007). In this context, within a sampling plan, the sampling technique, unit, and pattern must be defined, and the accuracy, representativeness and economy of time in these sampling systems must be addressed (Bacci et al., 2008; Stubbins et al., 2014; Pinto et al., 2017).

For IPM programs, the binomial sampling plan represents an efficient and time-saving option for assisting growers in decision-making because only the presence or absence of the pest is recorded (Jones, 1994; Paula-Moraes et al., 2011). Two sampling plans can be developed by the binomial approach, the conventional sampling plan and the sequential sampling plan. In the conventional plan, the number of samples taken in the field is pre-determined, whereas in the sequential plan, the number of samples is variable (Hutchison, 1994; Naranjo and Hutchison, 1997). In the sequential plan, the number of samples is variable because after each sample is taken, a decision is made based on cumulative number of samples infested with the pest (Hutchison, 1994; Moura et al., 2018).

The objective of this study was to evaluate sampling systems and to investigate the sampling distribution pattern of *F. schultzei* on tomato fields. We also developed and evaluated sequential and conventional sampling plans for *F. schultzei* on tomato based on the binomial approach.

## **2 MATERIALS AND METHODS**

### **2.1 Experimental conditions**

The study was carried out from January 2015 to January 2017 in 19 commercial tomato (variety Aguamiel) fields grown for fresh consumption. Fields were located in Coimbra (20° 51' 24" S, 42° 48' 10" W, 720 m above sea level in tropical climate with a dry winter) and Tocantins (21° 10' 30" S, 43° 01' 18" W, 364 m above sea level in a tropical climate with a dry winter) counties in the state of Minas Gerais, Brazil. Tomato fields ranged from 1.5 to 3.5 ha and plants were spaced 1.0 m × 0.5 m apart. On each sample date for each field, 300 tomato plants were randomly sampled for *F. schultzei*. The tomato plants were systematically sampled, that is, the 300 sampling points were distributed equidistantly to sample the whole area of the field, thereby avoiding sampling bias (Galvan et al., 2007; Pinto et al., 2017). Samples were taken weekly, and plant growth stage (i.e., vegetative or reproductive) and season (dry or rainy) were recorded for each sample unit. The total number of thrips (i.e., nymphs and adults) were recorded for each plant sampled. After each sample was taken, specimens were placed in an Eppendorf tube with 70% ethyl alcohol solution. Representative specimens from each field, each year (i.e., 2015, 2016 and 2017) were then sent

to be identified by Professor Adriano Cavalleri of the Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brazil.

## 2.2 Sampling system

The best sampling system for *F. schultzei* on tomato plants was determined. We tested a total of six sampling systems. Each sampling system consisted of the combination of a sampling unit and a sampling technique. Three sampling units were tested. The tomato plant canopy was divided into three sections: apical, median, and basal (Gusmão et al., 2005). Regarding sampling techniques, two sampling techniques were tested: beating tray and direct counting. These two techniques were used because they are among the main techniques used in the sampling of piercing-sucking insects (Gusmão et al., 2005; Bacci et al., 2008; Silva et al., 2017). The beating tray technique consisted of the beating of the tomato plant apical section in a white plastic tray (40 × 25 × 3 cm<sup>3</sup>), and the individuals of *F. schultzei* fallen to the bottom of the tray were counted. The direct counting technique consisted of counting of *F. schultzei* individuals on the leaves and flowers of each tomato plant section. During the evaluations, the plants were carefully handled to avoid the escape of *F. schultzei*. For each sampling system, sampling time and *F. schultzei* individuals were recorded.

To determine the best sampling system, the densities of *F. schultzei* were calculated (mean ± standard error). The relative variances also were estimated for each sampling system (Southwood, 1978) (1):

$$\text{Eq. 1: } RV = 100 \times (SEM/\bar{x})$$

where  $RV$  = relative variance (%), ( $SEM$ ) = standard error, and  $\bar{x}$  = mean density for each combination of plant canopy section and sampling technique. Sampling systems with  $RV$  greater than 25% were not considered because they do not generate precise sampling plans (Southwood, 1978).

To verify the representativeness of the sampling system, a correlation analysis ( $P < 0.05$ ) was performed between the number of *F. schultzei* per plant section (relative density) and the total number of *F. schultzei* per plant (absolute density) (Gusmão et al., 2005; Pinto et al., 2017). Sampling systems that did not have a significant positive correlation were not considered (Silva et al., 2017).

Finally, the sampling system that required the least time for evaluating *F. schultzei* was selected. This sampling system was chosen because less time-consuming techniques can generate low-cost sampling plans (Bacci et al., 2008; Silva et al., 2017).

### **2.3 Sampling distribution of *F. schultzei***

Taylor's Power Law (TPL) was used to model the sampling distribution of *F. schultzei* in tomato fields (Taylor, 1961). TPL uses the sample mean and sample variance relationship to describe insect distribution in the field (2):

Eq. 2:  $s^2 = am^b$ , where  $s^2$  is the sample variance,  $m$  is the mean number of *F. schultzei* per sample unit,  $a$  is the antilog of the intercept and  $b$  is the slope of the linear regression. The  $a$  value is a scaling factor dependent on sample size with no biological meaning, while  $b$  can be interpreted as an index of distribution. The  $b$  value can be  $b = 1$ ,  $b > 1$  and  $b > 1$ , which indicates a sampling distribution pattern random, aggregated, and uniform, respectively (Taylor, 1961). Both

parameters  $a$  and  $b$  are estimated through a linear regression of log variance on log mean (3):

$$\text{Eq. 3: } \ln(\text{var}) = \ln(a) + b[\ln(m)]$$

Data sets with *F. schultzei* mean density equal to zero were removed prior to analysis, resulting in 120 of the 158 data sets used for this analysis. The mean densities and corresponding variances were transformed using base 10 logarithm. The effects of plant growth stage (i.e., vegetative or reproductive) and season (i.e., dry or rainy) on *F. schultzei* sampling distribution was tested using a linear mixed model performing the lmer function from the lme4 package in the statistical software R version 2.15.0 (R Core Team, 2012; Bates et al., 2015). In the model, log variance was described as a function of fixed effects for log mean, plant growth stage, and season. The model also included random effects for year (i.e., 2015 to 2017) and field (19 commercial tomato fields). The  $b$  value for each regression (plant growth stage, season and their interactions) was compared with 1 (i.e., random sampling distribution pattern) using two tailed, one-sample Student's  $t$ -test ( $P < 0.05$ ).

Samples taken during reproductive growth stages were used to develop the sampling plan. Tomato growers often plant older tomato seedlings to guarantee plants can tolerate outdoor conditions, so the tomato plants in commercial fields are in vegetative growth stages for only 1 to 2 weeks. Therefore, vegetative growth stage data sets recorded in this study were not used for the development of sampling plans.

## 2.4 Development and validation of the binomial sampling plans using resampling software (RVSP)

Development and validation of binomial sampling plans require two primary steps. First, the relationship between proportion of infested (PI) plants (e.g., sample units with one or more *F. schultzei*) is related to mean density by using all data sets (i.e., 101 reproductive growth stage data sets) (Supporting information Table S1). Second, the operating characteristic (OC) function is estimated for each AT previously defined. Four levels of plants infested were selected as potential ATs for *F. schultzei* in tomato: 5; 10; 15 and 20% of plants infested per field. These ATs were selected based on the subjective determinations adopted by tomato growers in the region of study. Subjective determinations based on practitioner or crop consultant experience are similar to nominal thresholds but can often perform well compared to conventional economic thresholds (ET) (Higley and Pedigo, 1996; Binns et al., 2000). Action thresholds are also commonly used when an arthropod pest is known to vector plant pathogens that also result in low tolerances for crop damage and risk-averse decision-making by growers (Radcliffe et al., 2009).

In this study, RVSP software was used to develop and validate the binomial sampling plans. In the RVSP software approach, there are no *a priori* assumptions regarding the sampling distribution because the resampling simulations are based on bootstrapping (Naranjo and Hutchison, 1997). These simulations mimic the process of data collection in the field generating different sampling outcomes (Naranjo and Hutchison, 1997; Severtson et al., 2016). Therefore, resampling simulations provided by RVSP software is often more robust than other methods,

as actual data are used to develop the OC function rather than theoretical distributions (Naranjo and Hutchison, 1997; Tollerup et al., 2013).

Two approaches were used for developing a binomial sampling plan, the fixed sample size method (conventional sampling plan) and Wald's sequential probability ratio test method (sequential sampling plan) (Wald, 1947; Naranjo and Hutchison, 1997). In this study, the performance of a conventional sampling plan with fixed sample size of 50 plants was assessed by resampling all data sets. This sample size was chosen because it is a sample size recommended for sampling other pests in tomato fields (Gusmão et al., 2006). The Wald's sequential probability ratio test was used to develop sequential sampling plans and all data sets were used to create the sampling stop lines with RVSP software (Naranjo and Hutchison, 1997). Stop lines for Wald's binomial sampling plan require an  $\alpha$  (type I error) and  $\beta$  (type II error) rates associated with the decisions bounds, and parameters for  $\theta_1$  and  $\theta_2$  (lower and upper bounds, respectively, around the AT) (Jones, 1994).

In this study, the type I error indicates treatment when the proportion of plants infested of *F. schultzei* is below the AT, whereas the type II error indicates treatment when the proportion of plants infested for *F. schultzei* is above the AT. Wald's binomial sampling plan parameters  $\alpha$  is usually set at 0.10 and  $\beta$  is set at a range of 0.05–0.10 (Naranjo and Hutchison, 1997; Hodgson et al., 2004; Paula-Moraes et al., 2011). In this study, we set  $\alpha = 0.10$  and  $\beta = 0.08$ . For each AT, simulations with different combinations among lower and upper bounds were ran with RVSP software (Supporting information Table S2). The combinations among

lower and upper bounds that resulted in the lowest average sample number (ASN) for the sequential sampling plans were selected. The lower and upper bounds chosen for the AT 5% were 0.02 and 0.07, for the AT 10% were 0.07 and 0.12, for the AT 15% were 0.12 and 0.17, and for AT 20% were 0.17 and 0.22, respectively.

Stop lines for Wald's binomial sampling plan were calculated using the equation (4):

$$\text{Eq. 4: } T_{n(t)} \geq Rx + Q \text{ and } T_{n(t)} \leq Rx - S$$

where  $T_{n(t)}$  is the cumulative number of samples infested with at least  $t$  insects, and  $Q$ ,  $R$ , and  $S$  are functions of  $\alpha$  and  $\beta$ .

The RVSP software was used in the resampling analyses for validation of the binomial sampling plans. Data sets (i.e., 101 reproductive growth stage data sets) were interactively resampled (500 resampling boots) until a decision of control or no control was made. A tally threshold = 1 was used for all binomial sampling plans. The software calculated the average proportion of infested samples (PI), the operating characteristic (OC) function that represents the probability of not controlling relative to the true proportion of infested plants, and the ASN required to reach this decision (Naranjo and Hutchison, 1997, Paula-Moraes et al., 2011).

To validate and compare the accuracy of the binomial sampling plans, OC functions calculated in RVSP software were plotted against the PI for each AT (Cocco et al., 2015; Severtson et al., 2016). The steepness of the OC functions

at the 0.5 OC value provides an indication of the precision of the sampling plan, and the steeper the curve, the less probability of type I or type II error per a given AT (Jones, 1994). In addition, in order to validate the sampling efficiency, the ASN functions calculated by RVSP software was plotted against the PI (Cocco et al., 2015; Severtson et al., 2016). For these validations, the functions were previously fitted by nonlinear regressions ( $P < 0.05$ ) using TableCurve2D software (TableCurve 2D v5.01 for Windows, 2002). The detailed information about equations used to fit the ASN and OC functions are in the supporting information Tables S3, S4, and S5.

## **2.5 Validation of the binomial sampling plans using the pest monitoring method**

The binomial sampling plans were also validated using the pest monitoring method. In this method, *F. schultzei* were randomly sampled on tomato plants of 40 commercial tomato fields using the sequential sampling plans and conventional sampling plans (fixed sample size of 50 samples) determined in this study. In each field, the proportion of infested plants, the number of samples to make a decision, and the type of decision (control or no control) were determined. In addition, the percentage of correct decisions (control or no control) and the economy of time due to the adoption of the sequential plans compared to the conventional sampling plans were determined.

### 3 RESULTS

#### 3.1 Sampling system

*Frankliniella schultzei* density was assessed by beating the tomato plant apical section over a white plastic tray (Fig. 1). This sampling system was chosen because it resulted in the lowest relative variance and sampling time, and significant positive correlation ( $P < 0.05$ ) of the relative densities of *F. schultzei* on the apical section with the absolute density of this insect on the plant (Table 1).

#### 3.2 Sampling distribution of *F. schultzei*

There was a significant effect of plant growth stage (vegetative and reproductive) ( $t = 8.08$ ;  $df = 1,118$ ;  $P < 0.001$ ), season (dry and rainy) ( $t = 8.14$ ;  $df = 1,118$ ;  $P < 0.001$ ), and their interactions ( $t = 14.59$ ;  $df = 1,118$ ;  $P < 0.001$ ) on *F. schultzei* sampling distribution. Taylor's Power Law (TPL) regression of the log mean and log variance of *F. schultzei* densities for the effects tested (plant growth stage, season, and their interactions) showed a significant positive linear relationship, with intercepts (Taylor's  $a$  value) ranging from 0.30 to 0.40, slopes (Taylor's  $b$  value) from 1.10 to 1.16, and coefficients of determination ( $R^2$ ) from 0.94 to 0.96 (Table 2). Except for the Taylor's  $b$  value of the combination of plant vegetative growth stage and dry season, all Taylor's  $b$  values were statistically  $> 1$  ( $P < 0.0001$ ). Statistically, the results indicated an aggregated sampling distribution for *F. schultzei* in tomato, although numerically this would be considered a mild level of aggregation. In addition, for fields sampled during the vegetative plant growth stage in the dry season, *F. schultzei* populations reflected a random distribution (Taylor's  $b$  values = 1).

### 3.3 Development and validation of the binomial sampling plans using resampling software (RVSP)

#### 3.3.1 Mean density and proportion of infested plants

A positive correlation was verified between mean density of *F. schultzei* and the proportion of infested plants with this pest on tomato plants at the reproductive growth stage ( $r = 0.96$ ;  $t = 33.94$ ;  $df = 1,99$ ;  $P < 0.001$ ; Fig. 2).

#### 3.3.2 Binomial sequential sampling plans

The stop lines were calculated for each sequential sampling plan (Fig. 3). The decision-making of controlling should be adopted if the cumulative number of infested plants with *F. schultzei* is above of upper line. In contrast, control measures should not be adopted if the cumulative number of infested plants with *F. schultzei* is the lower line. If the cumulative number of infested plants with *F. schultzei* is between the two stop lines, more samples are required before achieving the final treatment decision (Pedigo and Zeiss, 1996).

The minimum number of plants that are required to be sampled and to allow a decision of control to be made were at least 2, 5, 7, and 9 plants for each AT of 5%, 10%, 15%, and 20%, respectively. Otherwise, for a decision of no control to be made, sampling of at least 47, 44, 42, and 39 plants for each AT of 5%, 10%, 15%, and 20% were required, respectively. The upper ( $Q$ ) and lower ( $S$ ) intercepts of the stop lines were  $Q = 1.70$  and  $S = -1.85$ ,  $Q = 3.73$  and  $S = -4.07$ ,  $Q = 5.45$  and  $S = -5.95$ ,  $Q = 6.93$  and  $S = -7.56$  for each AT of 5%, 10%, 15% and 20%, respectively. In the case of the slopes ( $R$ ) of the stop lines, they were  $R = 0.04$ ,  $0.09$ ,  $0.14$ , and  $0.19$  for each AT of 5%, 10%, 15% and 20%, respectively (Fig.3).

### 3.3.3 Validation of the binomial sampling plans

Validation of the *F. schultzei* binomial sampling plans using operating characteristic function curves (OC) showed that for the conventional plans at the AT of 15% and 20% and for the sequential plans at all ATs (5%, 10%, 15%, and 20%) the probability of a decision of no control was below 0.50 (Fig. 4A–D). This result suggests that these sampling plans are conservative, where the plans are more likely to recommend a decision of control than no control it. Otherwise, for the conventional plans adopting an AT of 5% and 10%, the probability of no control was approximately 0.50 (Fig. 4B and C). In this case, the result suggests that these sampling plans are neither conservative nor liberal because there is a 50% chance of control or no control at the AT.

In addition, the OC function curves for each ATs (5%, 10%, 15%, and 20%) showed varying levels of accuracy between the conventional and sequential sampling plans. There was an increase of the OC curve steepness, and therefore an increase of the accuracy of the sequential sampling plans when compared to conventional sampling plans. The probability of no control when using the sequential plan compared to conventional plan increases 0.47 to 0.51, 0.32 to 0.52, and 0.34 to 0.43 when the AT of 5%, 15%, and 20% were reached (Fig. 4A, C–D), respectively. For an AT of 10%, the probability of no control was similar (0.42) for both sampling plans when the AT was reached (Fig. 4B).

Finally, the validation with RVSP software indicated that more than 50 samples would be necessary (number of samples for the conventional sampling plans) for the decisions to control and not control *F. schultzei* when using the sequential sampling plans (Fig. 4E–H).

### **3.4 Validation of the binomial sampling plans using the pest monitoring method**

Validation of the binomial sampling plans using the pest monitoring method in 40 tomato fields indicated that in all fields, both sequential and conventional plans led to correct decision-making (Supporting information Table S6). Among the fields monitored, a decision of control corresponded approximately to 85%, 72%, 60%, and 32% of the total of correct decisions for each AT of 5%, 10%, 15%, and 20%, respectively. A decision of no control was approximately 15%, 28%, 40%, and 68% of the total of correct decisions for each AT of 5%, 10%, 15%, and 20%, respectively (Fig. 5A).

Depending of the AT adopted, the economy of time when using the sequential sampling plans in relation to conventional sampling plans ranged from 30% to 80%. For a decision of control, the use of the sequential sampling plan resulted in an economy of time ranging from 63% to 94%. Otherwise, for a decision of no control, the economy of time ranged from 6% to 22% (Fig. 5B). When using the conventional sampling plan, the average time spent for making a decision was 25 minutes, whereas with the sequential plans these decisions took an average of 6 minutes for making a decision of control and of 21 minutes for making a decision of no control (Supporting information Table S7).

## **4 DISCUSSION**

The best sampling system for evaluating *F. schultzei* was beating the tomato apical plant section over a white plastic tray. In this sampling system, not only were higher *F. schultzei* densities observed, but also the lowest relative

variance of its densities we observed. This indicates that beating of the apical section over a tray allows evaluations with accuracy, enabling the generation of precise sampling plans for *F. schultzei* (Bacci et al., 2008; Lima et al., 2017; Silva et al., 2017). This sampling system also showed representativeness because *F. schultzei* relative densities in the apical section were correlated with its absolute densities on the plant. Therefore, the evaluation of *F. schultzei* attack intensity by this sampling system well represents the actual attack intensity of *F. schultzei* in a tomato field (Bacci et al., 2008; Rosado et al., 2014; Pinto et al., 2017). In addition, beating of the apical section over a tray required the least time for evaluating *F. schultzei*, providing a low-cost sampling plan (Bacci et al., 2008; Silva et al., 2017).

We determined that the sampling distribution of *F. schultzei* in tomato fields was aggregated for reproductive growth stages, independent of the season (dry or rainy), and for vegetative growth stages in the rainy season. An aggregated sampling distribution can be observed when there is a high frequency of sample units with extreme densities (low or high), resulting in variances among these sample units greater than the mean among them (Taylor, 1961). The aggregation pattern is a common sampling distribution among several insect pests species, often resulting from high reproductive rates or limited movements of adults or immature stages (Rosado et al., 2014, Cocco et al., 2015; Pinto et al., 2017). Therefore, knowledge of pest ecology and its subsequent sampling distribution pattern are essential in developing sampling plans and successful IPM.

We verified a positive correlation between the proportion of infested plants and the mean density of *F. schultzei* per plant. This allowed the development of

binomial sampling plans. In binomial sampling plans, there is a categorization of the pest based on its presence or absence (Jones, 1994; Cocco et al., 2015; Severtson et al., 2016). This categorization allows a reduction of the contribution of the outliers for the development of the sampling plan (Jones, 1994; Burkness and Hutchison, 2009; Paula-Moraes et al., 2011). However, the binomial sampling, based on the presence/absence of infested plants, does not estimate the density of the pest but rather indicates whether the pest density is above or below the AT (Tollerup et al., 2013; Cocco et al., 2015; Severtson et al., 2016). Therefore, this sampling approach can be a practical monitoring tool in IPM programs of insect vectors (e.g., *F. schultzei*) where the quantitative assessment of the population density is not necessarily required (Gusmão et al., 2006).

Sequential sampling has been reported to provide the reduction of the sampling effort when compared to conventional sampling plans (Stubbins et al., 2014; Pereira et al., 2017, Moura et al., 2018). The stop lines for the sequential sampling plans determined in this study indicated that for each action threshold, the cumulative number of plants sampled to make a decision vary. Conventional sampling plans required the same number of samples (i.e., 50 samples) to make a decision, regardless of the action threshold adopted. In addition, the accuracy of the sampling plans based on OC function curves demonstrated that for all action thresholds, the sequential sampling plans had a higher accuracy compared to conventional sampling plans. Therefore, the sequential sampling plans developed here provide not only a reduction of sampling effort, but also sampling optimization. In addition, the time required to sample when the infestation level of *F. schultzei* is between the upper and lower stop lines should be considered

when optimizing sampling plans, and it is recommended that a time limit be set in this zone (Galvan et al., 2007; Paula-Moraes et al., 2011).

Sampling should be initiated before a pest causes economic damage (Higley and Pedigo, 1996; Paula-Moraes et al., 2011; Rosado et al., 2014). For instance, the *F. schultzei* sampling should be initiated well before tospovirus infection levels are high or symptoms become obvious (Pereira et al., 2017; Silva et al., 2017). For tomatoes, *F. schultzei* sampling should commence during the beginning of the reproductive growth stage, because the insect infestation is typically occurring during this period, in response to the presence of tomato floral resources that serve as an alternative food source for the pest (Steenbergen et al., 2017). Finally, the resampling period should also account for the development time of the pest species (Paula-Moraes et al., 2011). The development of *F. schultzei* (egg-adult) occurs within 12-16 days under average field temperatures during the growing season, which is a relatively a short development time, and therefore, weekly resampling for this pest is recommended (Kakkar et al., 2012; Silva et al., 2017; Steenbergen et al., 2017).

The OC function curves for most of the binomial sampling plans suggested that they are conservative. Conservative sampling plans are recommended for management of insect vectors in high value crops, because a low density of its insects is capable of transmitting pathogens that can rapidly lead to substantial or 100% loss (Bacci et al., 2008). With *F. schultzei* as a tospoviruses vector, which transmits viruses in a persistent, propagative manner, and because the virus replicates within the insect and circulates through the body, the virus persists through the various developmental stages (Seal et al., 2014; Rotenberg et al.,

2015). Therefore, considering the risk potential of *F. schultzei* as an insect vector of tomato, the conservative sampling plans developed in this study reinforces their potential for IPM adoption.

The advantages of the sequential sampling plan over the conventional sampling plan are also demonstrated by validation of the plans using the pest monitoring method. The validation performed by monitoring 40 tomato fields demonstrated that the sequential plans make decisions that are similar to those of the conventional plan (correct decisions), but with a savings in sampling time. Therefore, for IPM decisions, sequential sampling plans are an efficient and time-saving option to evaluate *F. schultzei* on tomato.

The binomial sampling plans developed in this study can contribute to improving IPM for *F. schultzei* on tomato. However, the development of research-based economic thresholds for this pest that explicitly accounts for the vector-virus relationship in tomato is a current priority to fine-tune the IPM program. In the meantime, the nominal thresholds associated with the sequential sampling plans developed in this study provide an optimization and reduction of the sampling effort for managing *F. schultzei* and the associated tospovirus complex in tomato.

## 5 REFERENCES

- Awondo SN, Fonsah EG, Riley D and Abney M, Effectiveness of tomato-spotted wilt virus management tactics. *J Econ Entomol* **105**: 943–948 (2012).
- Bacci L, Picanço MC, Moura MF, Semeão AA, Fernandes FL and Morais EGF, Sampling plan for thrips (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber. *Neotrop Entomol* **37**:582–590 (2008).

- Bates D, Maechler M, Bolker B and Walker S, Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J Stat Softw* **67**: 1–48 (2015).
- Binns MR, Nyrop JP and van der Werf W, *Sampling and Monitoring in Crop Protection. Theoretical Basis for Developing Practical Decision Guides*. CABI Publishing, Wallingford, UK (2000).
- Burkness EC and Hutchison WD, Implementing reduced-risk integrated pest management in fresh-market cabbage: influence of sampling parameters, and validation of binomial sequential sampling plans for the cabbage looper (Lepidoptera: Noctuidae). *J Econ Entomol* **102**: 1874–1883 (2009).
- Cocco A, Serra G, Lentini A, Deliperi S and Delrio G, Spatial distribution and sequential sampling plans for *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops. *Pest Manag Sci* **71**:1311–1323 (2015).
- Ferraz E, Resende LV, Lima GS, Silva MC, França JGE and Silva DJ, Redenção: nova cultivar de tomate para a indústria resistente a geminivírus e tospovírus. *Horticultura Brasileira* **21**: 578–580 (2003).
- Galvan TL, Burkness EC and Hutchison WD, Enumerative and binomial sequential sampling plans for the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) in wine grapes. *J Econ Entomol* **100**:1000–1010 (2007).
- GBIF, *Global Biodiversity Information Facility*. <http://www.gbif.org/species/1420680> [accessed 10 January 2018].
- Guillebeau P, Hinkle N and Roberts P, *Summary of economic losses due to insect damage and costs of control in Georgia, 2006*. University of Georgia College of Agriculture Experimental Station Special Publications, 69 pp. (2007).
- Gusmão MR, Picanço MC, Guedes RNC, Galvan TL and Pereira EJG, Economic injury level and sequential sampling plan for *Bemisia tabaci* in outdoor tomato. *J Appl Entomol* **130**:160–166 (2006).
- Gusmão MR, Picanço MC, Zanuncio JC, Silva DJH and Barrigossi JAF, Standardised sampling plan for *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in outdoor tomatoes. *Sci Hort* **103**:403–412 (2005).
- Higley LG and Pedigo LP, *Economic Thresholds for Integrated Pest Management*. University of Nebraska Press, Lincoln, NE (1996).
- Hodgson EW, Burkness EC, Hutchison WD and Ragsdale DW, Enumerative and binomial sequential sampling plans for soybean aphid (Homoptera: Aphididae) in soybean. *J Econ Entomol* **97**: 2127–2136 (2004).
- Hutchison WD, Sequential sampling to determine population density, in *Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture*, ed. by Pedigo L and Buntin G. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 207–244 (1994).

- Jones VP, Sequential estimation and classification procedures for binomial counts, in *Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture*, ed. by Pedigo L and Buntin G. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 175–205 (1994).
- Kakkar G, Seal DR and Kumar V, Assessing abundance and distribution of an invasive thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) in south Florida. *Bull Entomol Res* **102**: 249–259 (2012).
- Lima CHO, Sarmiento RA, Pereira PS, Galdino TVS, Santos FA, Silva J and Picanço MC, Feasible sampling plan for *Bemisia tabaci* control decision-making in watermelon fields. *Pest Manag Sci* **73**:2345–2352 (2017).
- Monteiro RC, Mound LA and Zucchi RA, Espécies de *Frankliniella* (Thysanoptera: Thripidae) de importância agrícola no Brasil. *Neotrop Entomol* **30**:65–72 (2001).
- Moura MF, Lopes MC, Pereira RR, Parish JB, Chediak M, Arcanjo LP, Carmo DG and Picanço MC, Sequential sampling plans and economic injury levels for *Empoasca kraemeri* on common bean crops at different technological levels. *Pest Manag Sci* **74**:398-405 (2018).
- Naranjo SE and Hutchison WD, Validation of arthropod sampling plans using a resampling approach: software and analysis. *Am Entomol* **43**:48–57 (1997).
- Nault BA and Shelton AM, Impact of insecticide efficacy on developing action thresholds for pest management: a case study of onion thrips (Thysanoptera: Thripidae) on onion. *J Econ Entomol* **103**: 1315–1326 (2010).
- Pappu HR, Jones RAC and Jain RK, Global status of tospovirus epidemics in diverse cropping systems: successes achieved and challenges ahead. *Virus Res* **141**:219–236 (2009).
- Paula-Moraes S, Burkness EC, Hunt TE, Wright RJ, Hein GL and Hutchison WD, Cost-effective binomial sequential sampling of western bean cutworm, *Striacosta albicosta* (Lepidoptera: Noctuidae), egg masses in corn. *J Econ Entomol* **104**: 1900–1908 (2011).
- Pedigo LR and Zeiss MR, *Analyses in insect ecology and management*. Iowa State University Press, Ames, IA (1996).
- Pereira PS., Sarmiento RA, Galdino TVS, Lima CHO, Santos FA, Silva J, Santos GR and Picanço MC, Economic injury levels and sequential sampling plans for *Frankliniella schultzei* in watermelon crops. *Pest Manag Sci* **7**: 1438–1445 (2017).
- Pinto CB, Sarmiento RA, Galdino TVS, Pereira PS, Barbosa BG, Lima CHO, Silva NR and Picanço MC, Standardized Sampling Plan for the Thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) on Watermelon Crops. *J Econ Entomol* **110**: 748–754 (2017).

- R Core Team 2012, *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AT (2012).
- Radcliffe EB, Cancelado R and Hutchison WD, *Integrated pest management: concepts, tactics, strategies and case studies*. Cambridge University Press, Cambridge, UK (2009).
- Riley DG, Joseph SV, Srinivasan R and Diffie S, Thrips vectors of tospoviruses. *J Int Pest Manag* **2**:11–110 (2011).
- Rosado JF, Sarmiento RA, Pedro-Neto M, Galdino TV, Marques RV, Erasmo EA and Picanço MC, Sampling plans for pest mites on physic nut. *Exp Appl Acarol*. **63**:521–534 (2014).
- Rotenberg D, Jacobson AL, Schneewis DJ and Whitfield AE, Thrips transmission of tospoviruses. *Curr Opin Virol* **15**:80–89 (2015).
- Seal DR, Kumar V and Kakkar G, Common blossom thrips, *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) management and Groundnut ring spot virus prevention on tomato and pepper in Southern Florida. *Fla Entomol* **97**:374–383 (2014).
- Severtson D, Flower K and Nansen C, Spatially-Optimized Sequential Sampling Plan for Cabbage Aphids *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera:Aphididae) in Canola Fields. *J Econ Entomol* **0**:1–7 (2016).
- Silva AR, Rodrigues-Silva N, Pereira PS, Sarmiento RA, Costa TL, Galdino TV and Picanço MC, Sampling Plans for the Thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) in Three Lettuce Varieties. *J Econ Entomol* **110**:2490-2496 (2017).
- Southwood TRE, *Ecological Methods: with Particular Reference to Study of Insect Populations*. Chapman and Hall, New York (1978).
- Steenbergen M, Abd-el-Haliem A, Bleeker P, Dicke M, Escobar-Bravo R, Cheng G, Haring MA, Kant MR, Kappers I, Klinkhamer PG and Leiss KA, Thrips advisor: exploiting thrips-induced defences to combat pests on crops. *J Exp Bot* **69**:1837-1848 (2018).
- Stubbins FL, Seiter NJ, Greene JK and Reay-Jones FPF, Developing sampling plans for the invasive *Megacopta cribraria* (Hemiptera: Plataspidae) in soybean. *J Econ Entomol* **107**: 2213–2221 (2014).
- TableCurve 2D v5.01 for Windows*. Systat Software Inc., San Jose, CA (2002).
- Taylor LR, Aggregation, variance and the mean. *Nature* **189**:732–735 (1961).

Tollerup KE, Marcum D, Wilson R and Godfrey L, Binomial and enumerative sampling of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on peppermint in California. *J Econ Entomol* **106**: 1707–1715 (2013).

Wald A, *Sequential Analysis*. Wiley, New York, NY (1947).

**Table 1.** Density, relative variance (RV), Pearson's correlation coefficient ( $r$ ), and sampling time of *Frankliniella schultzei* using six sampling systems

Technique	Plant canopy section	Density (mean $\pm$ error)	RV (%)	$r$	Sampling time (min)
Beating tray	Apical	0.83 $\pm$ 0.07	10.01	0.72*	0.17
	Median	0.08 $\pm$ 0.02	25.14	0.19	0.21
	Basal	0.01 $\pm$ 0.01	41.63	0.10	0.21
Direct counting	Apical	0.85 $\pm$ 0.06	14.79	0.81*	0.57
	Median	0.09 $\pm$ 0.01	29.31	0.21	0.59
	Basal	0.03 $\pm$ 0.01	38.66	0.13	0.63

\*Significant correlation ( $P < 0.05$ ) of the relative densities (thrips. plant canopy section<sup>-1</sup>) with the absolute density (thrips.plant<sup>-1</sup>) at tomato plants.

**Table 2.** Relationship between the Log (mean) and Log (variance) using Taylor's Power Law to determine the sampling distribution of *Frankliniella schultzei* in tomato fields for the effects of plant growth stages, seasons, and their interactions<sup>a</sup>

Effect <sup>b</sup>	Intercept (SE)	Slope (SE) <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>	$P$	df
GSV	2.24 (1.17)	1.16 (0.01)*	0.95	<0.0001	18
GSR	2.00 (1.17)	1.10 (0.01)*	0.95	<0.0001	100
DS	2.24 (1.17)	1.16 (0.01)*	0.95	<0.0001	55
RS	2.19 (1.17)	1.10 (0.01)*	0.95	<0.0001	63
GSV * DS	2.24 (1.17)	1.16 (0.01)*	0.95	<0.0001	5
GSV * RS	2.19 (1.17)	1.10 (0.01)*	0.94	<0.0001	12
GSR * DS	2.00 (1.17)	1.10 (0.01)*	0.95	<0.0001	49
GSR * RS	2.51 (1.17)	1.15 (0.01)*	0.96	<0.0001	50

<sup>a</sup> (SE) = standardised error; R<sup>2</sup> = coefficient of determination;  $P$  = probability; df = degrees of freedom.

<sup>b</sup> GSV = growth stage vegetative; GSR = growth stage reproductive; DS = dry season; RS = rainy season.

<sup>c</sup> Slopes values with an asterisk (\*) are different of 1 value by Student's  $t$ -test at  $P < 0.001$

**Table S1.** Equation from Table Curve software used to fit the relationship between the proportion of infested plants as a function of the mean density of *Frankliniella schultzei* per plant

Type	Equation	R <sup>2</sup>	$F$	$P$
Linear	$y^{-1} = 1.56 + (0.96/x)$	0.98	4093.85	< 0.001

**Table S2.** Comparison of the average sample number (ASN) obtained from resampling software (RVSP) for the sequential sampling plans adopting action threshold (AT) of 5% ,10%, 15%, and 20%<sup>a</sup>

AT 5%			AT 10%			AT 15%			AT 20%		
Lower bound	Upper bound	ASN	Lower bound	Upper bound	ASN	Lower bound	Upper bound	ASN	Lower bound	Upper bound	ASN
0.04	0.06	200	0.09	0.11	187	0.14	0.16	149	0.19	0.21	146
0.03	0.07	85	0.08	0.12	85	0.13	0.17	73	0.18	0.22	71
0.02	0.08	115	0.07	0.13	104	0.12	0.18	78	0.17	0.23	73
0.04	0.07	123	0.09	0.12	114	0.14	0.17	98	0.19	0.22	99
0.04	0.08	88	0.09	0.13	81	0.14	0.18	71	0.19	0.23	74
0.03	0.06	120	0.08	0.11	122	0.13	0.16	98	0.18	0.21	94
0.03	0.08	66	0.08	0.13	73	0.13	0.18	88	0.18	0.23	56
0.02	0.06	63	0.07	0.11	89	0.12	0.16	74	0.17	0.21	70
0.02	0.07	62	0.07	0.12	67	0.12	0.17	58	0.17	0.22	55

<sup>a</sup>For all simulations,  $\alpha = 0.10$  and  $\beta = 0.08$ .

**Table S3.** Equations from Table Curve software used to fit the operating characteristic curves (probability of no control) as a function of the observed proportion of infested plants obtained from resampling software (RVSP) using field data for each action threshold (AT): 5%, 10%, 15%, and 20% of the conventional sampling plans

AT	Type	Equation	R <sup>2</sup>	F	P
5 %	Pearson IV	$y = 0.01 + 1.00 (1 + n^2)^{-8.22} \exp\{16.78 [\arctan(n) - 45.59]\} / -2.83 \times 10^{-3}$ $n = [(x + 1.68)/16.43]/0.10$	0.99	26141.52	< 0.001
10%	Pearson IV	$y = -0.02 + 1.02 (1 + n^2)^{-0.77} \exp\{-1.73 [\arctan(n) + 48.32]\} / 0.53$ $n = [(x - 0.14)/1.53]/0.08$	0.99	34998.67	< 0.001
15%	Gauss' modular	$y = 1.00 \times \exp[-0.50 ( x - 0.03 /0.11)^{2.87}]$	0.99	75394.57	< 0.001
20%	Gauss' modular	$y = 1.00 \times \exp[-0.50 ( x - 0.03 /0.14)^{3.35}]$	0.99	96607.37	< 0.001

**Table S4.** Equations from Table Curve software used to fit the operating characteristic curves (probability of no control) as a function of the observed proportion of infested plants obtained from resampling software (RVSP) using field data for each action threshold (AT): 5%, 10%, 15%, and 20% of the sequential sampling plans

AT	Type	Equation	R <sup>2</sup>	F	P
5 %	Pearson IV	$y = 0.01 + 1.00 (1 + n^2)^{-10.20} \exp\{-4.52 [\arctan(n) + 12.41]\} / 1.92 \times 10^{-27}$ $n = [(x - 0.81) / 20.39] / 0.18$	0.99	48086.67	< 0.001
10%	Pearson IV	$y = -0.02 + 1.02 (1 + n^2)^{-0.35} \exp\{-1.63 [\arctan(n) + 66.76]\} / 0.52$ $n = [(x - 0.06) / 0.68] / 0.04$	0.99	1510030.65	< 0.001
15%	Pearson IV	$y = -0.11 + 1.11 (1 + n^2)^{-0.12} \exp\{-0.88 [\arctan(n) + 74.74]\} / 0.67$ $n = [(x - 0.03) / 0.20] / 0.03$	0.99	34703.89	< 0.001
20%	Gauss' modular	$y = 1.00 \times \exp [-0.50 ( x - 0.05  / 0.15)^{6.31}]$	0.99	1510030.65	< 0.001

**Table S5.** Equations from Table Curve software used to fit the average sample number curves as a function of the observed proportion of infested plants obtained from resampling software (RVSP) using field data for each action threshold (AT): 5%, 10%, 15%, and 20% of the sequential sampling plans

AT	Type	Equation	R <sup>2</sup>	F	P
5 %	Pearson IV	$y = 19.21 + 83.31 (1 + n^2)^{-7.58} \exp\{49.39 [\arctan(n) - 72.94]\} / 1.67 \times 10^{-8}$ $n = [(x - 1.97) / 15.12] / 0.04$	0.99	2063.79	< 0.001
10%	Pearson IV	$y = 20.16 + 181.16 (1 + n^2)^{-1.82} \exp\{0.68 [\arctan(n) - 10.43]\} / 56.15$ $n = [(x - 0.05) / 3.55] / 0.07$	0.99	4928.21	< 0.001
15%	Pearson IV	$y = 26.82 + 258.53 (1 + n^2)^{-1.79} \exp\{0.11 [\arctan(n) - 1.76]\} / 94.49$ $n = [(x - 8.80 \times 10^{-3}) / 3.43] / 0.08$	0.99	29575.18	< 0.001
20%	Pearson IV	$y = 22.04 + 340.01 (1 + n^2)^{-1.17} \exp\{0.08 [\arctan(n) - 1.96]\} / 7.26$ $n = [(x - 4.80 \times 10^{-3}) / 2.14] / 0.06$	0.99	42177.01	< 0.001

**Table S6.** Proportion of infested plants (Pi) with *Frankliniella schultzei*, decision-making (Dm) of control (Ct) and no control (Nc), number of samples to make a decision-making (Ns) and economy of time (Et) due to the adoption of the sequential plans (Sq) compared to the conventional sampling plans (Cv) in tomato fields (Fd) for each action threshold (AT): 5%, 10%, 15%, and 20%

Fd	Pi	AT 5%					AT 10%					AT 15%					AT 20%				
		Dc		Ns		Ec	Dc		Ns		Ec	Dc		Ns		Ec	Dc		Ns		Ec
		Cv	Sq	Cv	Sq	(%)	Cv	Sq	Cv	Sq	(%)	Cv	Sq	Cv	Sq	(%)	Cv	Sq	Cv	Sq	(%)
1	0.27	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	7	86.00	Ct	Ct	50	9	82.00	Ct	Ct	50	9	82.00
2	0.04	Nc	Nc	50	47	6.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
3	0.17	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	14	72.00	Ct	Ct	50	23	54.00	Nc	Nc	50	39	22.00
4	0.16	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	13	74.00	Ct	Ct	50	20	60.00	Nc	Nc	50	39	22.00
5	0.06	Ct	Ct	50	2	96.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
6	0.06	Ct	Ct	50	2	96.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
7	0.31	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	9	82.00	Ct	Ct	50	15	70.00	Ct	Ct	50	16	68.00
8	0.03	Nc	Nc	50	47	6.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
9	0.12	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	8	84.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
10	0.04	Nc	Nc	50	47	6.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
11	0.04	Nc	Nc	50	47	6.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
12	0.24	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	8	84.00	Ct	Ct	50	13	74.00	Ct	Ct	50	14	72.00
13	0.02	Nc	Nc	50	47	6.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
14	0.08	Ct	Ct	50	3	94.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
15	0.28	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	11	78.00	Ct	Ct	50	17	66.00	Ct	Ct	50	21	58.00
16	0.32	Ct	Ct	50	3	94.00	Ct	Ct	50	10	80.00	Ct	Ct	50	14	72.00	Ct	Ct	50	16	68.00
17	0.06	Ct	Ct	50	3	94.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
18	0.11	Ct	Ct	50	5	90.00	Ct	Ct	50	14	72.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00

To be continued...

**Table S6.** Continuation

Fd	Pi	AT 5%					AT 10%					AT 15%					AT 20%				
		Dc		Ns		Ec (%)	Dc		Ns		Ec (%)	Dc		Ns		Ec (%)	Dc		Ns		Ec (%)
		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq			
19	0.31	Ct	Ct	50	3	94.00	Ct	Ct	50	9	82.00	Ct	Ct	50	17	66.00	Ct	Ct	50	21	58.00
20	0.26	Ct	Ct	50	5	90.00	Ct	Ct	50	14	72.00	Ct	Ct	50	21	58.00	Ct	Ct	50	25	50.00
21	0.18	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	13	74.00	Ct	Ct	50	20	60.00	Nc	Nc	50	39	22.00
22	0.18	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	13	74.00	Ct	Ct	50	20	60.00	Nc	Nc	50	39	22.00
23	0.1	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	14	72.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
24	0.21	Ct	Ct	50	3	94.00	Ct	Ct	50	8	84.00	Ct	Ct	50	13	74.00	Ct	Ct	50	14	72.00
25	0.33	Ct	Ct	50	3	94.00	Ct	Ct	50	9	82.00	Ct	Ct	50	17	66.00	Ct	Ct	50	20	60.00
26	0.16	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	13	74.00	Ct	Ct	50	20	60.00	Nc	Nc	50	39	22.00
27	0.06	Ct	Ct	50	2	96.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
28	0.32	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	15	70.00	Ct	Ct	50	22	56.00	Ct	Ct	50	26	48.00
29	0.3	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	15	70.00	Ct	Ct	50	22	56.00	Ct	Ct	50	26	48.00
30	0.19	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	15	70.00	Ct	Ct	50	22	56.00	Nc	Nc	50	39	22.00
31	0.18	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	15	70.00	Ct	Ct	50	18	64.00	Nc	Nc	50	39	22.00
32	0.14	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	5	90.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
33	0.04	Nc	Nc	50	47	6.00	Nc	Nc	50	44	12.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
34	0.31	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	7	86.00	Ct	Ct	50	8	84.00	Ct	Ct	50	10	80.00
35	0.22	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	5	90.00	Ct	Ct	50	20	60.00	Ct	Ct	50	26	48.00
36	0.13	Ct	Ct	50	3	94.00	Ct	Ct	50	8	84.00	Nc	Nc	50	42	16.00	Nc	Nc	50	39	22.00
37	0.19	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	5	90.00	Ct	Ct	50	20	60.00	Nc	Nc	50	39	22.00
38	0.23	Ct	Ct	50	3	94.00	Ct	Ct	50	9	82.00	Ct	Ct	50	11	78.00	Ct	Ct	50	16	68.00
39	0.16	Ct	Ct	50	4	92.00	Ct	Ct	50	10	80.00	Ct	Ct	50	13	74.00	Nc	Nc	50	39	22.00
40	0.16	Ct	Ct	50	2	96.00	Ct	Ct	50	5	90.00	Ct	Ct	50	20	60.00	Nc	Nc	50	39	22.00

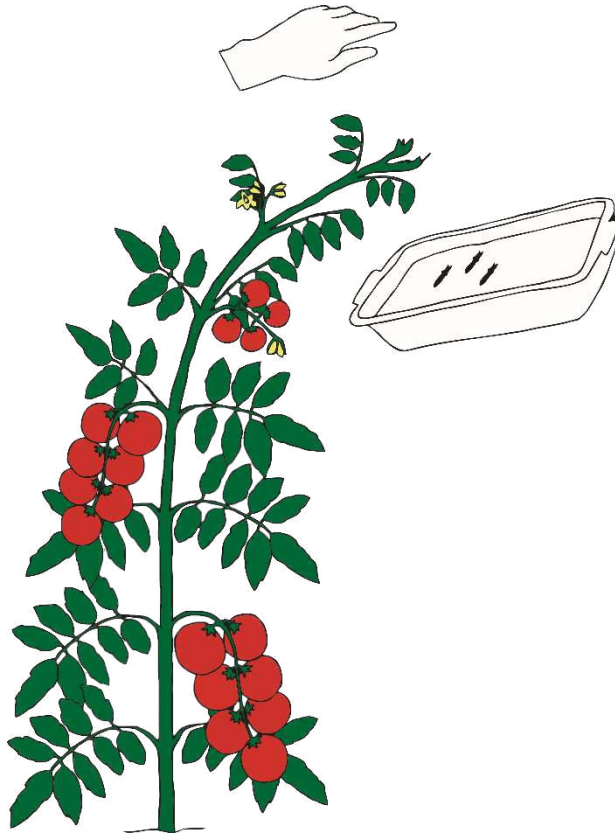
**Table S7.** Decision-making (Dm) of control (Ct) and no control (Nc) of *Frankliniella schultzei*, number of samples to make a decision-making (Ns) and sampling time in minutes (St) due to the adoption of the sequential plans (Sq) and of the conventional sampling plans (Cv) in tomato fields (Fd) for each action threshold (AT): 5%, 10%, 15%, and 20%

Fd	AT 5%					AT 10%					AT 15%					AT 20%				
	Dc	Ns		St		Dc	Ns		St		Dc	Ns		St		Dc	Ns		St	
		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq		
1	Ct	50	2	25	1	Ct	50	7	25	3.5	Ct	50	9	25	4.5	Ct	50	9	25	4.5
2	Nc	50	47	25	23.5	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
3	Ct	50	2	25	1	Ct	50	14	25	7	Ct	50	23	25	11.5	Nc	50	39	25	19.5
4	Ct	50	4	25	2	Ct	50	13	25	6.5	Ct	50	20	25	10	Nc	50	39	25	19.5
5	Ct	50	2	25	1	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
6	Ct	50	2	25	1	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
7	Ct	50	4	25	2	Ct	50	9	25	4.5	Ct	50	15	25	7.5	Ct	50	16	25	8
8	Nc	50	47	25	23.5	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
9	Ct	50	4	25	2	Ct	50	8	25	4	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
10	Nc	50	47	25	23.5	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
11	Nc	50	47	25	23.5	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
12	Ct	50	2	25	1	Ct	50	8	25	4	Ct	50	13	25	6.5	Ct	50	14	25	7
13	Nc	50	47	25	23.5	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
14	Ct	50	3	25	1.5	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
15	Ct	50	4	25	2	Ct	50	11	25	5.5	Ct	50	17	25	8.5	Ct	50	21	25	10.5
16	Ct	50	3	25	1.5	Ct	50	10	25	5	Ct	50	14	25	7	Ct	50	16	25	8
17	Ct	50	3	25	1.5	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
18	Ct	50	5	25	2.5	Ct	50	14	25	7	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
19	Ct	50	3	25	1.5	Ct	50	9	25	4.5	Ct	50	17	25	8.5	Ct	50	21	25	10.5
20	Ct	50	5	25	2.5	Ct	50	14	25	7	Ct	50	21	25	10.5	Ct	50	25	25	12.5
21	Ct	50	4	25	2	Ct	50	13	25	6.5	Ct	50	20	25	10	Nc	50	39	25	19.5

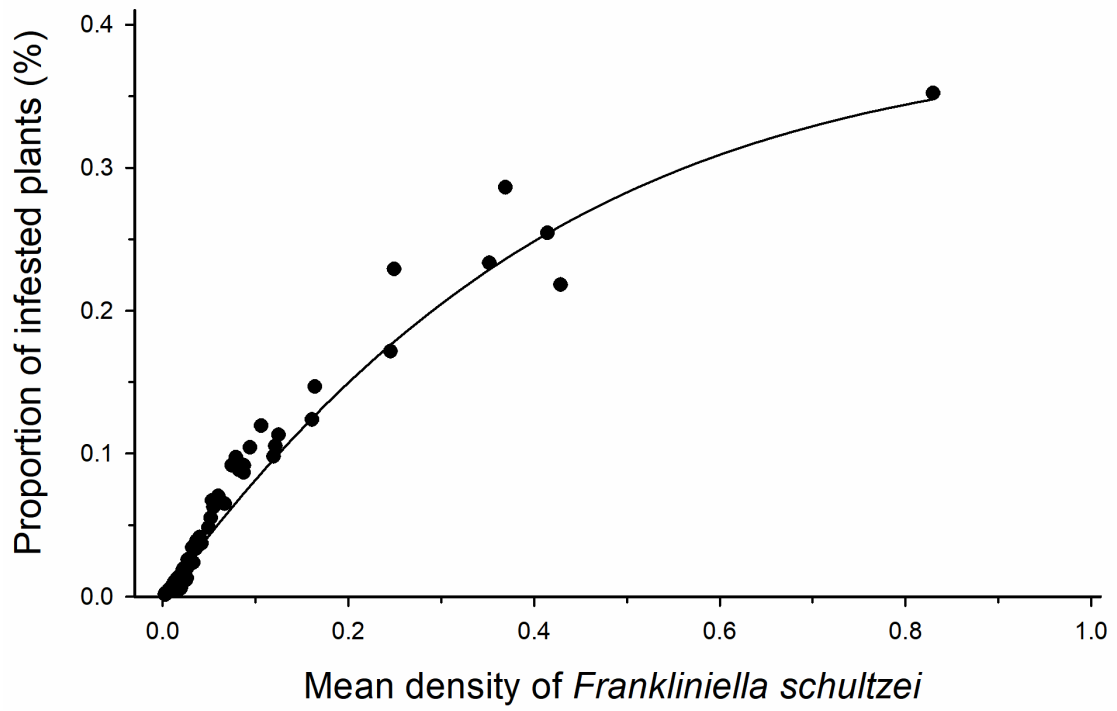
To be continued...

**Table S7.** Continuation

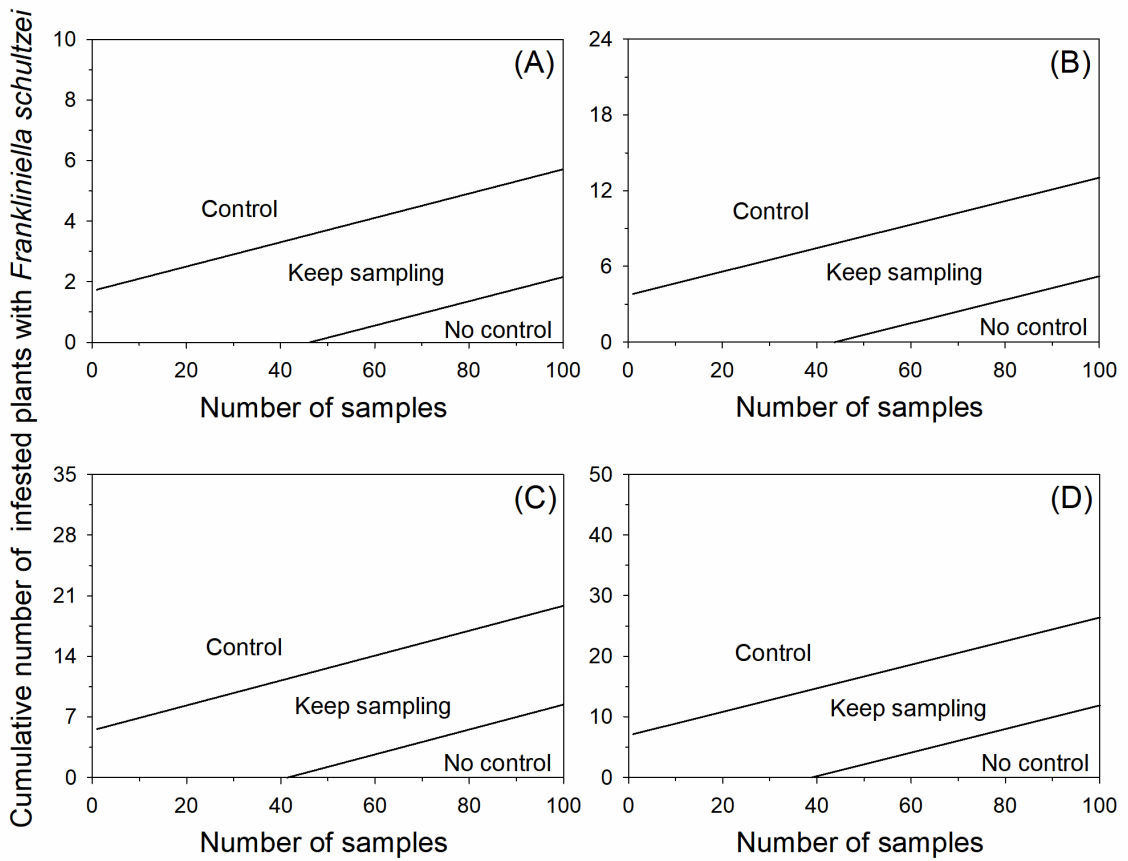
Fd	AT 5%					AT 10%					AT 15%					AT 20%				
	Dc	Ns		St		Dc	Ns		St		Dc	Ns		St		Dc	Ns		St	
		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq	Cv	Sq		Cv	Sq		
22	Ct	50	4	25	2	Ct	50	13	25	6.5	Ct	50	20	25	10	Nc	50	39	25	19.5
23	Ct	50	2	25	1	Ct	50	14	25	7	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
24	Ct	50	3	25	1.5	Ct	50	8	25	4	Ct	50	13	25	6.5	Ct	50	14	25	7
25	Ct	50	3	25	1.5	Ct	50	9	25	4.5	Ct	50	17	25	8.5	Ct	50	20	25	10
26	Ct	50	4	25	2	Ct	50	13	25	6.5	Ct	50	20	25	10	Nc	50	39	25	19.5
27	Ct	50	2	25	1	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
28	Ct	50	2	25	1	Ct	50	15	25	7.5	Ct	50	22	25	11	Ct	50	26	25	13
29	Ct	50	2	25	1	Ct	50	15	25	7.5	Ct	50	22	25	11	Ct	50	26	25	13
30	Ct	50	2	25	1	Ct	50	15	25	7.5	Ct	50	22	25	11	Nc	50	39	25	19.5
31	Ct	50	4	25	2	Ct	50	15	25	7.5	Ct	50	18	25	9	Nc	50	39	25	19.5
32	Ct	50	4	25	2	Ct	50	5	25	2.5	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
33	Nc	50	47	25	23.5	Nc	50	44	25	22	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
34	Ct	50	2	25	1	Ct	50	7	25	3.5	Ct	50	8	25	4	Ct	50	10	25	5
35	Ct	50	2	25	1	Ct	50	5	25	2.5	Ct	50	20	25	10	Ct	50	26	25	13
36	Ct	50	3	25	1.5	Ct	50	8	25	4	Nc	50	42	25	21	Nc	50	39	25	19.5
37	Ct	50	2	25	1	Ct	50	5	25	2.5	Ct	50	20	25	10	Nc	50	39	25	19.5
38	Ct	50	3	25	1.5	Ct	50	9	25	4.5	Ct	50	11	25	5.5	Ct	50	16	25	8
39	Ct	50	4	25	2	Ct	50	10	25	5	Ct	50	13	25	6.5	Nc	50	39	25	19.5
40	Ct	50	2	25	1	Ct	50	5	25	2.5	Ct	50	20	25	10	Nc	50	39	25	19.5



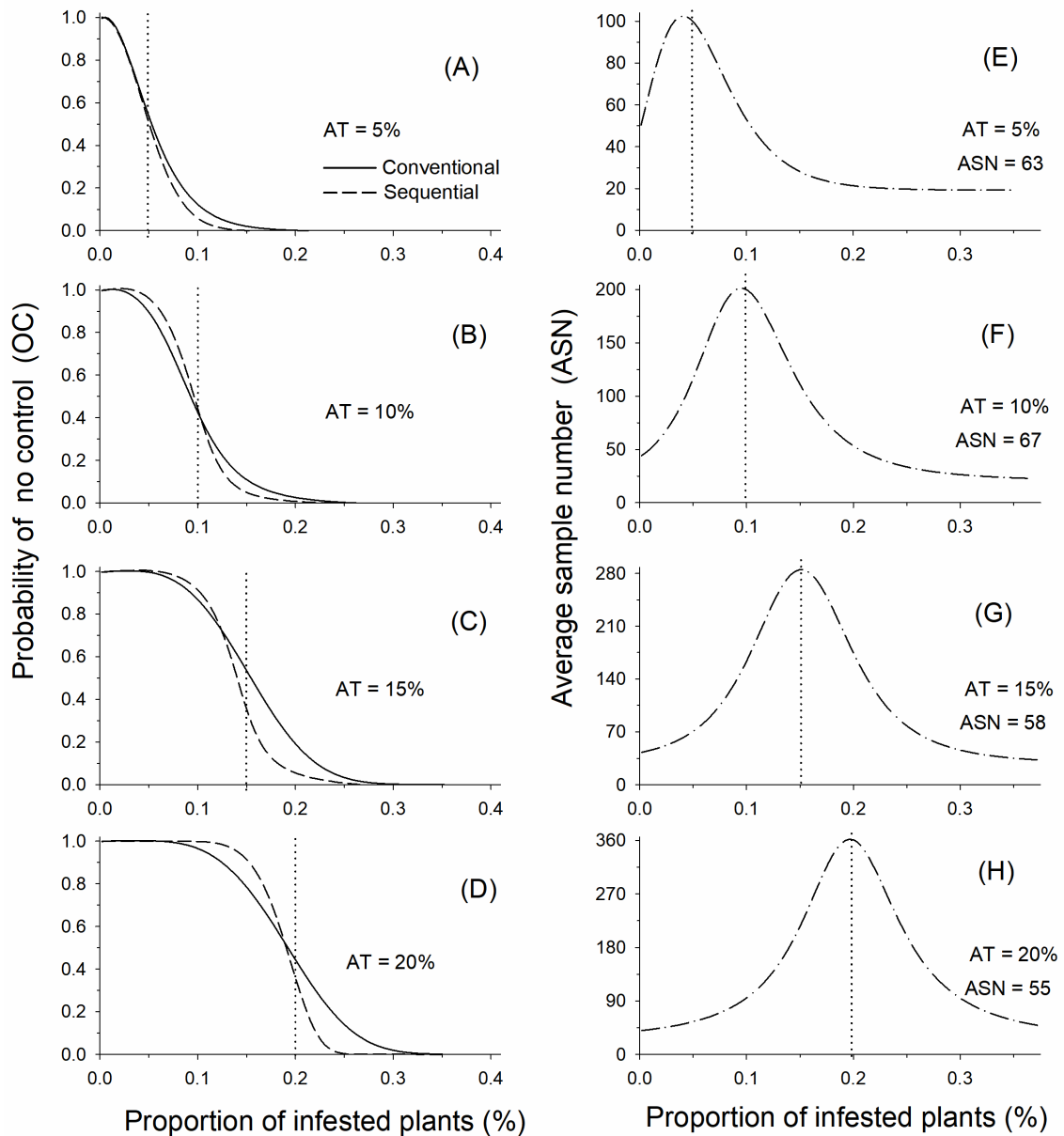
**Figure 1.** Schematic showing the beating tray method used for sampling *Frankliniella schultzei* on tomato.



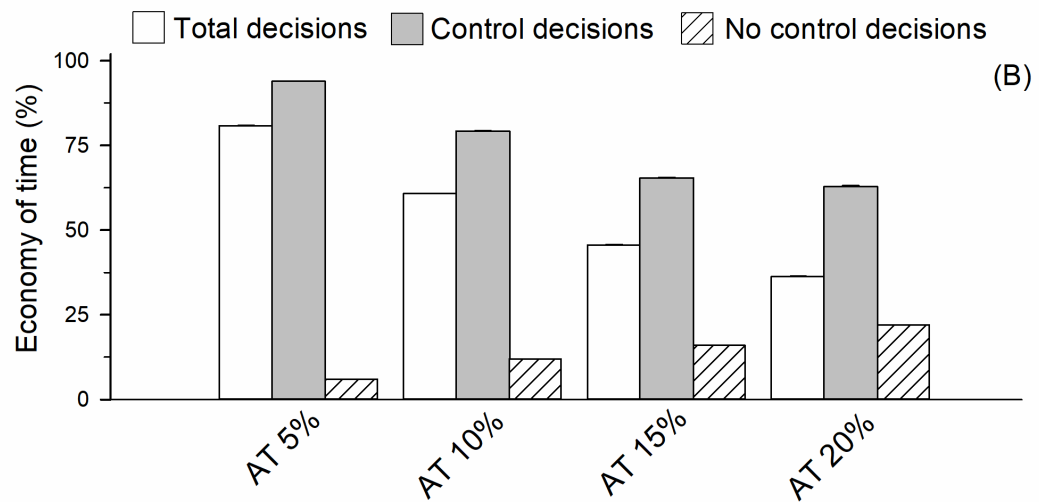
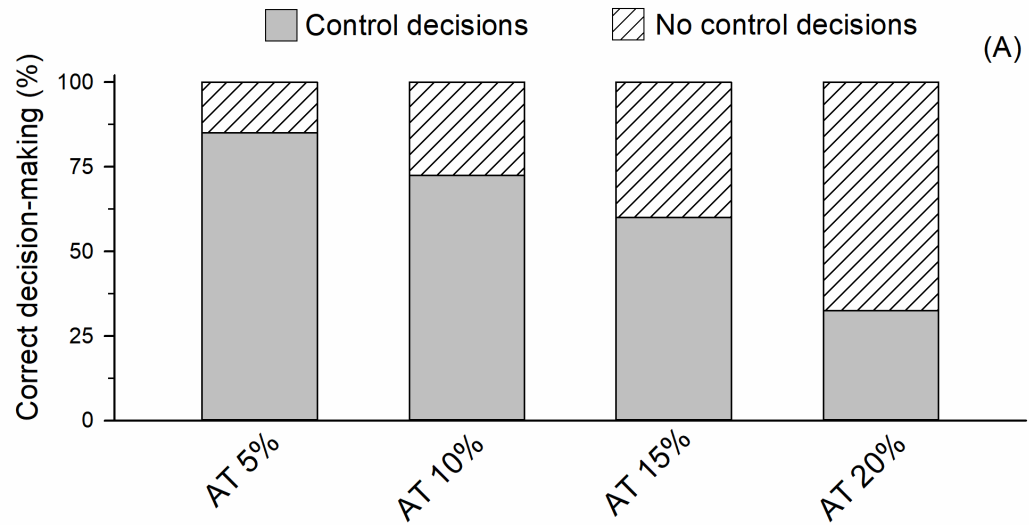
**Figure 2.** Relationship between the proportion of infested plants and the mean density of *Frankliniella schultzei* per plant.



**Figure 3.** Decision stop lines for sequential sampling plans determined for *Frankliniella schultzei* in tomato fields using four action thresholds: 5% (A); 10% (B); 15% (C); 20% (D).



**Figure 4.** Validation of the binomial sampling plans for *Frankliniella schultzei* in tomato fields, generated for four action thresholds, 5% (A), 10 % (B), 15 % (C), and 20% (D), using the operating characteristic curves (probability of no control). Validation of the sequential sampling plans for *Frankliniella schultzei* in tomato fields, generated for four action thresholds, 5% (E), 10 % (F), 15 % (G), and 20% (H) using the number of samples used in the sampling plan as a function of the observed proportion of infested plants with the pest. The curves were obtained from resampling software (RVSP) using field data.



**Figure 5.** Validation of sequential sampling plans of *Frankliniella schultzei* for each action threshold (AT) (5%, 10%, 15 %, and 20%) using the pest monitoring method. The percentage of correct decision-making (A) and the economy of time during the sampling (B) of the sequential plans were compared to the conventional sampling plan based on the monitoring of 40 tomato fields.

## **CAPÍTULO 2: EFEITO DO VAZIO SANITÁRIO SOBRE A DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO TRIPES *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) EM LAVOURAS DE TOMATE**

### **RESUMO**

O vazio sanitário consiste em deixar a área agrícola em pousio para redução das populações de pragas podendo afetar a dinâmica espaço-temporal destes organismos. O tripses *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) é uma importante praga do tomate em todo mundo, sobretudo nas regiões tropicais e subtropicais. Assim, este trabalho teve por objetivo determinar o efeito do vazio sanitário na dinâmica espaço-temporal de *F. schultzei* em lavouras de tomate em condições de campo usando geoestatística. Para tanto, durante dois anos em 17 lavouras de tomate a campo em duas regiões (com adoção ou não de vazio sanitário) foi monitorada a dinâmica espaço-temporal de *F. schultzei*. Ocorreram as menores densidades de *F. schultzei* nas lavouras da região com vazio sanitário. Na região com vazio sanitário as infestações do tripses ocorreram mais tardiamente. Dos 58 modelos de distribuição espacial de *F. schultzei* nas lavouras de tomate, 100% apresentaram forte dependência espacial (SRD < 0,25). A colonização das lavouras por *F. schultzei* foi agregada com os focos da praga se distribuindo na direção dos ventos. Portanto, os resultados deste estudo evidenciam pela primeira vez o efeito do vazio sanitário na dinâmica espaço-temporal de *F. schultzei* em lavouras de tomate. A adoção desta prática é capaz de retardar e reduzir as populações deste tripses na região onde ela é adotada.

**Palavras-chave:** distribuição espacial; práticas culturais; manejo de pragas; colonização; geoestatística.

## ABSTRACT

The fallow period consists in leaving the area unplanted with commercial crops to reduce the populations of pests and can affect the spatiotemporal dynamics of these organisms. The thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) is an important tomato pest worldwide, especially in tropical and subtropical regions. The objective of this work was to determine the effect of the fallow period on the spatiotemporal dynamics of *F. schultzei* on tomato crops under field conditions using geostatistics. For this purpose, the space-time dynamics of *F. schultzei* were monitored for two years in 17 tomato field crops in two regions (with or without fallow period). The lowest densities of *F. schultzei* occurred in the crops of the region with no fallow period. In the region with fallow period, the thrips infestations occurred later. Of the 58 spatial distribution models of *F. schultzei* in tomato crops, 100% presented strong spatial dependence (SRD <0.25). The colonization of crops by *F. schultzei* was aggregated with the pest foci distributing in the direction of the winds. Therefore, the results of this study evidence for the first time the effect of fallow period on the spatiotemporal dynamics of *F. schultzei* in tomato crops. The adoption of this practice is able to delay and reduce the populations of this thrips in the region where it is adopted.

**Keywords:** spatial distribution; cultural practices; pest management; colonization; geostatistics

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo das décadas, a agricultura moderna tem intensificado o uso das áreas de cultivo no tempo e espaço deixando de lado práticas empregadas nos sistemas agrícolas extensivos (Tilman et al., 2002; Rossi et al., 2012). O vazio sanitário é uma dessas práticas (Daily, 1997; Tilman et al., 2002). O vazio sanitário consiste em deixar a área agrícola em pousio para haver a sucessão natural da vegetação (Burgers et al., 2005). Durante este pousio, a fertilidade do solo é restaurada e as populações de plantas daninhas e pragas são reduzidas (Burgers et al., 2005; Manson et al., 2005). Esta supressão das populações das pragas ocorre devido à ausência de plantas cultivadas que são hospedeiras destes organismos durante o período de adoção do vazio sanitário (Shennan et al., 2008). Assim, as pragas existentes na área têm que emigrar para áreas vizinhas na busca de plantas hospedeiras ou sobreviver na área utilizando hospedeiros alternativos (como as plantas daninhas e vegetação natural) nos quais seu desempenho biológico é menor (Capinera, 2005, Noris and Kogan, 2005; Toivonen et al., 2018). Desta forma, a dinâmica das populações destes organismos é afetada no âmbito do espaço e tempo.

Além do vazio sanitário, os elementos climáticos e a paisagem onde as lavouras são conduzidas também podem afetar a dinâmica espaço-temporal das pragas nos sistemas agrícolas. Entre os elementos climáticos a temperatura do ar e os ventos têm papel importante na dinâmica espaço-temporal dos insetos. Neste contexto, a temperatura do ar tem função vital nas funções biológicas dos

insetos, afetando a taxa de crescimento populacional destes organismos (Sibly et al., 2002). O vento, por sua vez, tem um papel fundamental na dispersão das pragas tanto dentro da lavoura quanto da lavoura para a paisagem circundante e vice-versa (Lima et al., 2018; Martins et al., 2018). Já a paisagem afeta a dinâmica espaço-temporal das pragas nos sistemas agrícolas devido a vegetação existente nas circunvizinhanças das lavouras serem fontes de pragas e inimigos naturais (Hahn et al., 2017).

Entre as ferramentas a serem usadas nos estudos de dinâmica espaço-temporal dos organismos praga, a geoestatística é eficiente por possibilitar a avaliação do grau de dependência espacial entre as amostras (Rijal et al., 2014; Rosado et al., 2015; Galdino et al., 2017). Além disto, o uso da geoestatística possibilita a construção de mapas representando a distribuição espacial das espécies nas lavouras (Hahn et al., 2017; Lima et al., 2018).

O tripses *Frankliniella schultzei* Trybom (Thysanoptera: Thripidae) é um inseto-praga de importância econômica para diversos cultivos (Rotenberg et al., 2015; Cavalleri and Mound, 2012; Kakkar et al., 2012). Este tripses causa danos às plantas, devido a alimentação direta de folhas ou flores e por ser vetor de tospoviroses (Riley et al., 2011). Devido aos danos causados por esta praga ela tem adquirido o status internacional de praga quarentenária no Cazaquistão, Rússia, Itália e Reino Unido (EPPO, 2017). Entre as culturas das quais *F. schultzei* causa danos está o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Kakkar et al., 2012; Awondo et al., 2012). Apesar da importância de *F. schultzei* como praga do tomate não existem até o momento estudos sobre o impacto do vazio sanitário sobre este tripses. Assim, este estudo teve por objetivo determinar o efeito do

vazio sanitário na dinâmica espaço-temporal de *F. schultzei* em lavouras de tomate em condições de campo. Para tanto, durante dois anos foi monitorada e analisada a dinâmica espaço-temporal deste organismo em 17 lavouras comerciais de tomate em duas regiões (com adoção ou não de vazios sanitários) usando geoestatística.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Condições experimentais**

Este trabalho foi realizado de janeiro de 2015 a janeiro de 2017 em 17 lavouras comerciais de tomate (variedade Aguamiel) em duas regiões: Tocantins (21° 10' 30" S, 43° 01' 18" W, altitude 364 m, clima tropical com inverno seco) e Coimbra (20° 51' 95 24 "S, 42° 48 '10" W, altitude 720 m, clima tropical com inverno seco) do estado de Minas Gerais, Brasil. Estas regiões foram selecionadas por utilizarem diferentes sistemas de produção de hortaliças, com adoção de vazios sanitários (Tocantins) e sem adoção de vazios sanitários (Coimbra).

As características de cada lavoura são mostradas na Tabela 1. Na paisagem, onde os 17 cultivos de tomate se encontravam, a vegetação da circunvizinhança foi identificada e georreferenciada e ela é mostrada na Figura 1 e 2. As lavouras tinham de 1,5 a 3,5 ha e as plantas estavam espaçadas de 1,0 × 0,5 m entre si. As lavouras foram conduzidas de acordo com as técnicas sugeridas por Nick et al. (2018).

### **2.2 Coleta de dados**

Durante os cultivos foram monitoradas as densidades de *F. schultzei* e dos seus inimigos naturais, os elementos climáticos e os estágios fenológicos das

plantas. Na região de Coimbra as densidades da praga e de seus inimigos naturais foram avaliadas semanalmente, enquanto que na região de Tocantins as densidades destes organismos foram avaliadas mensalmente.

Em cada uma das lavouras de tomate, as densidades de *F. schultzei* foram avaliadas ao longo de todo o ciclo tomate. Em cada lavoura foram avaliadas 300 plantas. As plantas avaliadas foram posicionadas ao longo de uma grade regular ao longo da lavoura, a fim de obter pontos de amostragem sistematizados e evitar tendências direcionais (Isaaks and Srivastava, 1989; Galdino et al., 2017; Martins et al., 2017). As plantas foram avaliadas usando a técnica de batida das folhas mais apicais da planta sob uma bandeja plástica branca de 40 × 25 × 3 cm<sup>3</sup> (Silva et al., 2019). Todas as plantas avaliadas foram georreferenciadas.

Durante cada avaliação foi anotado o estágio fenológico das plantas (vegetativo ou reprodutivo). Os dados diários dos elementos climáticos (temperatura média do ar, precipitação total e fotoperíodo) foram registradas ao longo dos dois anos de condução deste trabalho em estação meteorológica.

### **2.3. Análises estatísticas**

#### **2.3.1. Variação das densidades de *F. schultzei* durante os cultivos de tomate**

Para cada região, foram construídas curvas de sazonalidade para cada elemento climático. No caso das densidades de *F. schultzei*, foram estimadas a média e o erro padrão para a construção das curvas de sazonalidade deste organismo ao longo dos cultivos.

#### **2.3.2. Distribuição espacial de *F. schultzei* nas lavouras de tomate**

Nesta parte do trabalho, foram usadas as densidades de *F. schultzei* nos estágios vegetativo (plantas com 15 dias após o transplante) e início (plantas

com 45 dias após o transplântio), meio (plantas com 70 dias após o transplântio) e final (plantas com 100 dias após o transplântio) do estágio reprodutivo. Nesta análise, foi utilizado o software GS+ (Gamma Design Software, Plainwell, Michigan, EUA - versão de avaliação) (Robertson, 2008). Neste estudo, a partir dos dados originalmente amostrados foram determinados os semivariogramas empíricos. Assim, estes semivariogramas foram ajustados aos modelos de semivariogramas teóricos: esféricos; exponenciais ou gaussianos (Isaaks and Srivastava, 1989). Estes semivariogramas são compostos pelos parâmetros: alcance; patamar ( $C_0+C$ ); efeito pepita ( $C_0$ ) e contribuição ( $C$ ) (Isaaks and Srivastava, 1989). Inicialmente, foram testados 132 modelos de distribuição espacial de *F. schultzei* nas lavouras de tomate. Entre estes modelos, 58 foram selecionados por apresentarem os menores valores de intercepto ( $\beta_0$ ) e quadrado médio do resíduo, e os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e inclinações ( $\beta_1$ ). Para verificar se a dependência espacial dos modelos era a mesma (isotropia) ou não (anisotropia) para todas as direções, foram construídos semivariogramas para as direções de 0°, 45°, 90° e 135° em relação ao norte magnético (Rosado et al. 2015).

Para construir os mapas de distribuição espacial de *F. schultzei* nas lavouras de tomate, a krigagem foi usada. Para isso, foi realizada uma regressão linear entre os valores observados e os estimados para o melhor modelo de semivariograma ajustado. Após a construção dos mapas, foi realizada a validação cruzada a qual foram obtidos o valor de intercepto ( $\beta_0$ ), inclinação ( $\beta_1$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos modelos de regressão linear.

Por fim, a taxa de dependência espacial (SDR) para cada um dos modelos de distribuição espacial foi determinada utilizando a seguinte fórmula:  $SDR = C_0 / (C_0 + C)$ , onde  $C_0$  representa o efeito pepita e  $C$  o patamar. Assim, a dependência espacial de cada semivariograma foi classificada como forte quando  $SDR \leq 0,25$ , moderada quando  $0,25 < SDR \leq 0,75$  e fraca quando  $SDR > 0,75$  (Cambardella et al., 1994; Sciarretta and Trematerra, 2006).

### 2.3.3 Efeito de fatores sobre a distribuição espaço-temporal de *F. schultzei* nas lavouras de tomate

Foi calculada a densidade média de *F. schultzei* para cada data e lavoura. As datas em que esta densidade foi igual a zero foram removidas antes da análise, resultando assim em 120 dos 158 conjuntos de dados. Foram atribuídas para os estádios fenológicos das plantas (1 = vegetativo e 2 = reprodutivo) e adoção de vazio sanitário (1 = sem adoção e 2 = com adoção). Também foi calculada as percentagens de plantas hospedeiras e não hospedeiras de *F. schultzei* existentes nas circunvizinhanças de cada lavoura de tomate (Lima et al., 2017). Os dados foram transformados usando logaritmo de base 10.

Posteriormente foi realizada análise do efeito das populações dos inimigos naturais, elementos climáticos, vegetação das circunvizinhanças das lavouras e adoção do vazio sanitário sobre as densidades de *F. schultzei*. Nesta análise foi utilizado um modelo linear misto (LMEMs) utilizando a função lmer do pacote lme4 do R Software Development Core Team (2017) (versão 3.3.3) (Bates et al., 2015).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1. Variação das densidades de *F. schultzei* durante os cultivos de tomate

Foram observadas menores densidades de *F. schultzei* nas lavouras de tomate na região com adoção de vazio sanitário (Tocantins) ( $0,25 \pm 0,02$  tripes por amostra) (Figura 3A) do que na região de cultivo de tomate sem adoção de vazio sanitário (Coimbra) ( $0,83 \pm 0,03$  tripes por amostra) (Figura 3B). Na região com adoção de vazio sanitário as maiores densidades da praga tenderam a ocorrer no final dos cultivos (Figura 3A). Já na região sem adoção de vazio sanitário as maiores densidades da praga tenderam a ocorrer no início dos cultivos (Figura 3B).

As regiões duas regiões onde este estudo foi realizado apresentaram diferentes temperaturas médias. Na região com adoção de vazio sanitário (Tocantins) a temperatura média foi de  $25,18 \pm 0,09$  °C e ela variou de 17 a 31° C (Figura 4A). Já na região sem adoção de vazio sanitário (Coimbra) a temperatura média foi de  $21,06 \pm 0,10$  °C e ela variou de 11 a 27 °C (Figura 4B). Em ambas regiões, a precipitação pluviométrica variou de 0 a 110,40 mm por dia e o fotoperíodo variou de 10,83 a 13,34 horas de luz durante o período experimental. Por fim, os períodos de maior precipitação coincidiram com os períodos mais quentes, com a maior intensidade entre os meses de outubro e fevereiro de cada ano (Figura 4).

#### 3.2. Distribuição espacial de *F. schultzei* nas lavouras de tomate

Dos 132 modelos de distribuição espacial de *F. schultzei* processados, 58 foram selecionados. Esses modelos foram selecionados por apresentarem os menores valores de intercepto ( $\beta_0$ ) e quadrado médio do resíduo, e os maiores

coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e inclinações ( $\beta_1$ ). Dos modelos selecionados, 33 foram esféricos, 14 exponenciais e 11 Gaussianos (Tabelas 2 e 3). Todos os modelos apresentaram a mesma autocorrelação espacial para todas as direções, sendo, portanto, modelos isotrópicos.

Foram verificadas diferenças nos parâmetros do semivariograma (efeito pepita, patamar e alcance) nos 17 cultivos. O alcance dos modelos variou de 0,17 a 9,18 m. Os maiores valores de alcance foram 9,18 m para o estágio vegetativo e 8,70 m para o estágio reprodutivo inicial, meio e final. O SDR dos modelos selecionados variou de 0,008 a 0,2250. Portanto, 100% dos modelos selecionados apresentaram uma forte dependência espacial ( $< 0,25$ ) (Tabelas 2 e 3).

Foram observados dois padrões de colonização das lavouras de tomate por *F. schultzei*. Na região com adoção de vazio sanitário (Tocantins) e na qual a temperatura do ar foi mais elevada a densidade da praga aumentou ao longo do cultivo e a colonização da praga ocorreu na direção dos ventos predominantes (direção norte-sul) (Figura 5). Já na região sem adoção de vazio sanitário (Coimbra) e na qual a temperatura do ar foi menor a densidade da praga diminuiu ao longo do cultivo e a colonização da praga também ocorreu na direção dos ventos predominantes (direção leste-oeste) (Figura 6).

### **3.3. Efeito de fatores sobre a distribuição espaço-temporal de *F. schultzei* nas lavouras de tomate**

Nos modelos de efeitos mistos verificou-se efeito significativo ( $F = 421,11$ ;  $df = 1,118$ ;  $P < 0,0001$ ) da adoção de vazio sanitário na densidade de *F. schultzei* nas lavouras de tomate. Neste contexto, a densidade do trips foi menor na

região com adoção de vazio sanitário ( $a = -1,69 \pm 0,01$ ;  $b = 0,38 (0,01)$ ;  $t = 24.03$ ;  $df = 18$ ;  $P < 0,001$ ;  $R^2 = 0,96$ ) do que naquela sem adoção desta prática ( $a = -1,30 \pm 0,01$ ;  $b = -0,38 (0,01)$ ;  $t = -24.03$ ;  $df = 46$ ;  $P < 0,001$ ;  $R^2 = 0,96$ ). Também se observou efeito positivo da temperatura do ar ( $r = 0,15$ ;  $t = 1.95$ ;  $df = 1,118$ ;  $P < 0,05$ ) sobre a densidade de *F. schultzei*. Entretanto, não verificou-se efeito do estágio fenológico das plantas ( $F = 3,63$ ;  $df = 1,118$ ;  $P > 0,01$ ), precipitação pluviométrica ( $r = 0,11$ ;  $t = 3.72$ ;  $df = 1,118$ ;  $P > 0,05$ ) e vegetação das circunvizinhanças das lavouras de tomate ( $r = 0,19$ ;  $t = 2,03$ ;  $df = 1,118$ ;  $P > 0,01$ ) sobre a densidade de *F. schultzei*.

#### **4 DISCUSSÃO**

Este estudo aborda pela primeira vez o impacto da adoção de vazio sanitário como estratégia de controle de *F. schultzei* em cultivos de tomate. Neste contexto, o fato de que na região com adoção de vazio sanitário ter ocorrido menores densidades de *F. schultzei* do que na região sem vazio sanitário indica que a adoção desta prática afetou a população desta praga. O vazio sanitário tem sido reportado como uma prática capaz de reduzir as populações de pragas (Burgers et al., 2005; Girma et al., 2006; Delang et al., 2016; Kamara et al., 2016). Durante o período de vazio sanitário, há a ausência de plantas cultivadas que sejam hospedeiras da praga (Daily, 1997). Assim, para a sobrevivência, desenvolvimento e reprodução destes organismos é necessário que eles utilizem como recurso alimentar a vegetação nativa e as plantas daninhas, as quais são alimentos de pobre qualidade nutricional (Capinera, 2005, Noris and Kogan, 2005). Dispondo deste tipo de alimentação, as pragas herbívoras apresentam

pior desempenho biológico, afetando assim, o crescimento de sua população e conseqüentemente, as suas densidades (Noris and Kogan, 2005). Assim, a adoção de vazio sanitário constitui uma importante prática a ser usada no controle do tripses *F. schultzei* em cultivos de tomate.

A adoção do vazio sanitário também influenciou a flutuação populacional da praga. Na região com vazio sanitário, a densidade de *F. schultzei* foi baixa no início do cultivo enquanto que, na região sem vazio sanitário ela foi alta. Isto ocorreu, possivelmente devido a adoção do vazio sanitário, não haver a sucessão de plantas hospedeiras cultivadas para a manutenção da população da praga na área agrícola (Daily,1997; Delang et al., 2016; Toivonen et al., 2018). Assim, ao se iniciar um novo cultivo na mesma área agrícola, a infestação da praga se dará a partir da imigração de populações vindas de outras áreas (Toivonen et al., 2018). Neste sentido, há um retardo na infestação da praga quando comparado a áreas sem vazio sanitário (Silva et al., 2018). Neste estudo, foi possível perceber que a infestação de *F. schultzei* nas lavouras de tomate na região com vazio sanitário retardou em relação as lavouras da região sem vazio sanitário. Portanto, o vazio sanitário se mostra mais uma vez como método de controle efetivo que deve ser explorado no contexto do manejo de pragas.

A efetividade do vazio sanitário é datada desde os tempos remotos, sendo o método de controle mais antigo utilizado para manejo de pragas (Daily, 1997). Em alguns países inclusive, o vazio sanitário é um controle legislativo sendo obrigatório sua adoção (Silva et al., 2018). No Brasil e Paraguai, por exemplo, é obrigatório o vazio sanitário de plantas de soja por 90 dias para o controle de ferrugem asiática (MAPA, 2007; SENAVE 2011). No Brasil também há o vazio

sanitário obrigatório por 60 dias para o algodão e por 30 dias para o feijão, para o controle do bicudo-do-algodoeiro e mosca-branca, respectivamente (MAPA, 2014; Silva et al., 2018). Neste contexto, a duração do vazio sanitário é um importante aspecto a ser considerado, uma vez que, dependendo da praga e do cultivo, o período do vazio sanitário não será capaz de suprimir a população da praga (Kamara et al., 2016). Neste estudo, o vazio sanitário de mais de 150 dias foi mais do que o suficiente para suprimir a população de *F. schultzei*, fato este que pode ser comprovado ao se observar a ausência deste organismo no início dos novos cultivos na região onde teve sua adoção.

O fato de ter sido verificado as maiores densidades de *F. schultzei* em períodos de maiores temperaturas do ar está relacionada ao fato dos insetos serem organismos pecilotérmicos e da temperatura ótima para esta praga ser elevada. Por serem pecilotérmicos, a temperatura é o principal fator abiótico que afeta as funções vitais dos insetos, incluindo sobrevivência, reprodução, dispersão e desenvolvimento (Cao et al. 2018, Rebaudo & Rabhi 2018). Os tripses do gênero *Frankliniella* apresentam a faixa de temperatura ótima para seu desempenho biológico entre 25 a 28°C (Nondillo et al. 2008, Li et al. 2011). Como ambas as regiões deste estudo apresentaram a maioria dos maiores valores de temperaturas do ar dentro desta faixa, a ocorrência de *F. schultzei* nas lavouras de tomate foi favorecida.

Neste estudo, foi evidenciado também de forma inédita a caracterização da distribuição espacial do tripses *F. schultzei* em lavouras de tomate em condição de campo. A caracterização da distribuição espacial das pragas fornece informações essenciais para o desenvolvimento efetivo de planos de

amostragem (Lima et al., 2018; Martins et al., 2018). A partir destas informações, é possível definir estratégias para direcionar o monitoramento e controle para áreas e/ou focos de maior ocorrência da praga (Rosado et al., 2015; Lima et al., 2018).

O fato da distribuição espacial de *F. schultzei* nas lavouras de tomate ter sido agregada pode ser evidenciado pelo forte grau de dependência espacial das densidades desta praga em 100% dos modelos gerados neste trabalho. A distribuição espacial dos insetos-praga nas lavouras é decorrência do padrão de colonização e dispersão desses organismos nestes locais (Rosado et al. 2015, Lima et al. 2018). Este padrão pode ser influenciado tanto pelas características da espécie de inseto quanto pelos elementos climáticos da região (Ludwig et al. 2018, Lima et al. 2018, Martins et al. 2018). Os tripes são insetos com baixa capacidade de voo, o que provavelmente favoreceu este organismo a apresentar uma distribuição do tipo agregada (Fernandes & Fernandes 2015).

Mesmo em lavouras com baixas densidades médias, houveram focos que apresentaram densidades superiores ao nível de dano econômico estabelecido para esta praga (1 tripes por planta) (Paes et al. *In Press*). Portanto, baseado nos princípios da agricultura de precisão mesmo em lavouras com baixa densidade média de *F. schultzei* é necessário localizar os focos deste tripes e controlá-los para que esta praga não cause danos econômicos (Lima et al., 2018).

Ao se examinar os mapas de da distribuição espacial de *F. schultzei* nas lavouras de tomate nas duas regiões de realização deste estudo verifica-se que as populações deste tripes tenderam a se distribuir na direção dos ventos predominantes. Neste contexto, entre os elementos climáticos, o vento é o que

tem maior contribuição na dispersão dos insetos, influenciando a dispersão destes organismos tanto em curtas como a longas distâncias continentais (Ludwig et al. 2018, Chapman et al. 2010). No caso dos tripes, tem sido reportado que estes organismos se movimentam na direção dos ventos em resposta aos estímulos químico-olfativos emitidos por suas plantas hospedeiras (Kogel & Koschier 2002, Berry et al. 2006). Assim, ao se considerar o direcionamento do esforço amostral para *F. schultzei* em uma lavoura, é importante o conhecimento da direção predominante dos ventos na região.

O valor do alcance obtido na análise de distribuição espacial de *F. schultzei* em lavouras de tomate pode ser utilizado no contexto do manejo de pragas. O valor de alcance representa a distância máxima na qual não há correlação espacial entre as amostras (Young & Young, 1998). Neste estudo, o maior valor de alcance foi cerca de 9 m. Assim, ao se considerar a amostragem de *F. schultzei* em lavouras de tomate, 9 m deve ser o valor da distância mínima entre as amostras. Além disto, os modelos de distribuição espacial de *F. schultzei* foram isotrópicos sugerindo que a dispersão deste organismo foi semelhante em todas as direções dentro da lavoura de tomate (Rosado et al. 2015, Martins et al. 2018).

Em conclusão, os resultados deste estudo evidenciam o efeito do vazio sanitário na dinâmica espaço-temporal de *F. schultzei* em lavouras de tomate. Na região com vazio sanitário, ocorreram as menores densidades da praga e houve um atraso da infestação de novos cultivos. A temperatura do ar também afetou a dinâmica populacional da praga, ocorrendo as maiores densidades nas épocas mais quentes. Em lavouras de tomate, *F. schultzei* coloniza a partir de um padrão

agregado sendo a colonização predominantemente na direção dos ventos. Mesmo em lavouras com baixas densidades médias, houve focos da lavoura que apresentaram densidades superiores ao nível de dano econômico desta praga. Por fim, a distância máxima de ocorrência de dependência espacial entre as amostras foram cerca de 9 m.

## 5 REFERÊNCIAS

- Awondo SN, Fonsah EG, Riley D and Abney M, Effectiveness of tomato-spotted wilt virus management tactics. *J Econ Entomol* **105**: 943-948 (2012).
- Berry N, Butler RC and Teulon DAJ, Responses of New Zealand flower thrips (*Thrips obscuratus*) to synthetic and natural stimuli (odour and colour) in a wind tunnel. *New Zeal J Crop Hort* **34**: 121-129 (2006).
- Burgers P, Ketterings QM and Garrity DP, Fallow management strategies and issues in Southeast Asia. *Agric Ecosyst Environ* **110**:1-13 (2005).
- Cambardella CA, Moorman TB, Parkin TB, Karlen DL, Novak JM, Turco RF and Konopka AE, Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci Soc Am J* **58**: 1501-1511 (1994).
- Cao Y, Li C, Yang WJ, Meng YL, Wang LJ, Shang BZ and Gao YL, Effects of Temperature on the Development and Reproduction of *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *J Econ Entomol* **111**: 755-760 (2018).
- Capinera JL, Relationships between insect pests and weeds: an evolutionary perspective. *Weed Sci* **53**: 892-901 (2005).
- Cavalleri A and Mound LA, Toward the identification of *Frankliniella* species in Brazil (Thysanoptera, Thripidae). *Zootaxa* **3270**:1-30 (2012).
- Chapman JW, Nesbit RL, Burgin LE, Reynolds DR, Smith AD, Middleton DR and Hill JK, Flight orientation behaviors promote optimal migration trajectories in high-flying insects. *Science* **327**: 682-685 (2010).
- Daily GC, Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems. Island Press, Washington DC, 412 pp. (1997).
- Delang CO, Weiyi X, Brooke B and Chun KP, The effect of fallow period length on the abundance and diversity of usable plant assemblages in shifting

- cultivation system (swidden agriculture) in northern Laos. *Pol J Ecol* **64**: 350-356 (2016).
- Fernandes FL and Fernandes MEDS, Flight movement and spatial distribution of immunomarked thrips in onion, potato, and tomato. *Pesq Agropec Bras* **50**: 399-406 (2015).
- Galdino TVDS, Ferreira DO, Santana Júnior PA, Arcanjo LDP, Queiroz EA, Sarmiento RA and Picanço MC, The Role of the Beetle *Hypocryphalus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae) in the Spatiotemporal Dynamics of Mango Wilt. *J Econ Entomol*, **110**: 865-874 (2017).
- GBIF, Global Biodiversity Information Facility. <http://www.gbif.org/species/1420680> [accessed 10 January 2018].
- Girma H, Rao MR, Day R and Ogol CKPO, Abundance of insect pests and their effects on biomass yields of single vs. multi-species planted fallows. *Agroforestry Syst* **68**: 93-102 (2006).
- Hahn NG, Rodriguez-Saona C and Hamilton GC, Characterizing the spatial distribution of brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* Stål (Hemiptera: Pentatomidae), populations in peach orchards. *PloS one*, **12**: e0170889 (2017).
- Isaaks EH and Srivastava RM, An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, 561 pp. (1989).
- Kakkar G, Seal DR and Kumar V, Assessing abundance and distribution of an invasive thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) in south Florida. *Bull Entomol Res* **102**: 249-259 (2012).
- Kamara A, Vonu OS, Lansana J, Lansana J and Sesay FS, Extent of Reduction of the Fallow Period and Its Impact on Upland Rice Production in the Nongowa Chiefdom of Kenema District in Eastern Sierra Leone. *Agric Sci* **7**: 805 (2016).
- Kogel WJ and Koschier EH, Thrips responses to plant odours, in Thrips and Tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera, ed. By Marullo R and Mound L, Australian National Insect Collection, Canberra, pp. 189-190 (2002).
- Li SJ, Xue X, Ahmed MZ, Ren SX, Du YZ, Wu JH and Qiu BL, Host plants and natural enemies of *Bemisia tabaci* (Hemiptera:Aleyrodidae) in China. *Insect Sci* **18**: 101-120 (2011).
- Lima CHO, Sarmiento RA, Galdino TVS, Pereira PS, Silva J, Souza DJ, Santos GR, Costa TL, and Picanço MC, Spatiotemporal Dynamics of Whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Commercial Watermelon Crops. *J Econ Entomol* **111**: 1895-1903 (2018).

- Ludwig M, Schlinkert H and Meyhöfer R, Wind-modulated landscape effects on colonization of Brussels sprouts by insect pests and their syrphid antagonists. *Agric For Entomol* **20**: 141-149 (2017).
- Manson SM, Agent-based modeling and genetic programming for modeling land change in the Southern Yucatan Peninsular Region of Mexico. *Agric Ecosyst Environ*, **111**: 47-62 (2005).
- MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Programa Nacional de Controle da Ferrugem Asiática da Soja. INSTRUÇÃO NORMATIVA No 2, DE 29 DE JANEIRO DE 2007.
- MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Programa feijão, Instrução Normativa Nº 02/2014.
- Martins JC, Picanço MC, Silva RS, Gonring AH, Galdino TV and Guedes RN, Assessing the spatial distribution of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs in open-field tomato cultivation through geostatistical analysis. *Pest Manag Sci* **74**: 30-36 (2018).
- Martins JC, Picanço MC, Silva RS, Gonring AH, Galdino TV and Guedes RN, Assessing the spatial distribution of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs in open-field tomato cultivation through geostatistical analysis. *Pest Manag Sci* **74**: 30-36 (2018).
- Nick C, Silva D, Borém A, Tomate do plantio à colheita. Editora UFV, Viçosa, Brazil, 237 pp. (2018).
- Nondillo A, Redaelli LR, Botton M, Pinent SMJ and Gitz R, Exigências térmicas e estimativa do número de gerações anuais de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) em morangueiro. *Neotrop Entomol* **37**: 646-650 (2008).
- Norris RF and Kogan M, Ecology of interactions between weeds and arthropods. *Annu Rev Entomol* **50**: 479-503 (2005).
- Paes JS, Araújo TA, Ramos RS, Soares JRS, Araújo VCR and Picanço MC, Economic injury level for sequential sampling plan of *Frankliniella schultzei* in bell pepper crops (*In press*).
- Pappu HR, Jones RAC and Jain RK, Global status of tospovirus epidemics in diverse cropping systems: successes achieved and challenges ahead. *Virus Res* **141**:219-236 (2009).
- R Core Team 2012, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AT (2012).

- Rebaudo F and Rabhi VB, Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: review of major developments, challenges, and future directions. *Entomol Exp Appl* **166**: 607-617 (2018).
- Rijal JP, Brewster CC and Bergh JC, Spatial distribution of grape root borer (Lepidoptera: Sesiidae) infestations in Virginia vineyards and implications for sampling. *Environ Entomol*, **43**: 716-728 (2014).
- Riley DG, Joseph SV, Srinivasan R and Diffie S, Thrips vectors of tospoviruses. *J Int Pest Manag* **2**: 11-110 (2011).
- Robertson GP, GS+: Geostatistics for the environmental sciences, 10 user's guide. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA. (2008).
- Rosado JF, Picanço MC, Sarmiento RA, Pereira RM, Pedro-Neto M, Galdino TVS, Saraiva AS and Erasmo EAL, Geostatistics as a tool to study mite dispersion in physic nut plantations. *Bull Entomol Res* **105**: 381-389 (2015).
- Rossi JP, Celini L, Mora P, Mathieu J, Lapied E, Nahmani J, Ponge JF and Lavelle P, Decreasing fallow duration in tropical slash-and-burn agriculture alters soil macroinvertebrate diversity: a case study in southern French Guiana. *Agric Ecosyst Environ*, **135**: 148-154 (2010).
- Rotenberg D, Jacobson AL, Schneeweis DJ and Whitfield AE, Thrips transmission of tospoviruses. *Curr Opin Virol* **15**: 80-89 (2015).
- Sciarretta A and Trematerra P, Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Grapholita molesta* and *Anarsia lineatella* males in an agricultural landscape. *J Appl Entomol* **130**: 73-83 (2006).
- SENAVE, Serviço Nacional de Qualidade Y de Semillas Departamento de Calidad e Inocuidad de Vegetales, resolución 071 de 11 de febrero de 2011.
- Shennan C, Biotic interactions, ecological knowledge and agriculture. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* (2007).
- Sibly RM and Hone J, Population growth rate and its determinants: an overview. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, **357**: 1153-1170 (2002).
- Silva EMP, Araújo TA, Ramos RS, Arcanjo LP, Carmo DG, Cavalleri A, and Picanço MC, Conventional sampling plan for common blossom thrips, *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae), in bell pepper crops. *J Econ Entomol*, DOI 10.1093/jee/toz037 (2019).
- Silva RAD, Degrande PE, Gomes CEC, Souza EPD and Leal MF, Phytophagous insects in cotton crop residues during the fallow period in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Pesq Agrop Bras* **53**: 875-884 (2018).

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R and Polasky S, Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* **418**: 671 (2002).

Toivonen M, Huusela-Veistola E and Herzon I, Perennial fallow strips support biological pest control in spring cereal in Northern Europe. *Biol Control* **121**: 109-118 (2018).

Young L and Young J, *Statistical Ecology: a Population Perspective*. Kulwer, Boston, 438pp. (1998).

**Tabela 1.** Características das lavouras de tomate

Cultivo	Latitude	Longitude	Tamanho da lavoura (ha)
Região com vazio sanitário			
1	21° 10' 59,87" S	43° 3' 54,64" W	1,50
2	21° 9' 20,11" S	43° 3' 10,91" W	1,50
3	21° 11' 48,95" S	43° 0' 50,44" W	2,10
4	21° 9' 15,07" S	43° 3' 6,31" W	1,50
5	21° 11' 48,95" S	43° 1' 11,14" W	3,20
Região sem vazio sanitário			
1	20° 50' 24,47" S	42° 45' 53,30" W	2,90
2	20° 49' 10,02" S	42° 47' 31,33" W	2,30
3	20° 51' 25,91" S	42° 46' 41,71" W	2,10
4	20° 51' 2,26" S	42° 45' 6,68" W	2,60
5	20° 50' 26,64" S	42° 45' 59,12" W	1,50
6	20° 48' 41,64" S	42° 57' 0,88" W	3,50
7	20° 50' 21,98" S	42° 47' 50,37" W	2,20
8	20° 47' 11" S	42° 45' 53" W	2,20
9	20° 50' 10,75" S	42° 45' 51,93" W	2,30
10	20° 50' 51" S	42° 50' 56" W	2,30
11	20° 51' 32,74" S	42° 53' 12,23" W	2,20
12	20° 51' 33,15" S	42° 53' 8,53" W	2,00

**Tabela 2.** Características dos modelos de distribuição espacial de *Frankliniella schultzei* em cultivos de tomate na região com vazio sanitário\*

Cultivo	Estágio das plantas	Características dos modelos de distribuição espacial								
		Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	RSS	$C_0$	$C_0+C$	Alcance (m)	R <sup>2</sup>	SDR
1	Vegetativo				Nenhuma densidade ocorreu					
1	Reprodutivo (início)	Exponencial	0,02	-0,24	68,40	0,0012	0,0221	1,09	0,31	0,0543
1	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,01	0,73	127,90	0,0017	0,5870	1,93	0,78	0,0029
1	Reprodutivo (final)	Exponencial	0,04	0,34	7,48	0,0008	0,0576	0,90	0,27	0,0139
2	Vegetativo				Nenhuma densidade ocorreu					
2	Reprodutivo (início)	Exponencial	0,01	-0,13	1,41	0,0014	0,0075	1,38	0,20	0,1867
2	Reprodutivo (meio)	Exponencial	0,02	0,48	22,09	0,0001	0,0387	1,44	0,60	0,0026
2	Reprodutivo (final)	Exponencial	0,01	0,36	12,76	0,0019	0,0256	8,70	0,49	0,0742
3	Vegetativo				Nenhuma densidade ocorreu					
3	Reprodutivo (início)				Nenhuma densidade ocorreu					
3	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,05	0,84	2150,00	0,0001	0,1262	1,04	0,64	0,0008
3	Reprodutivo (final)	Esférico	0,01	0,72	224,80	0,0038	0,0395	1,30	0,82	0,0962
4	Vegetativo				Nenhuma densidade ocorreu					
4	Reprodutivo (início)	Esférico	0,01	-0,55	12,14	0,0001	0,0029	1,35	0,41	0,0345
4	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,01	0,32	2193,00	0,0001	0,0418	1,41	0,35	0,0024
4	Reprodutivo (final)	Esférico	0,02	0,21	3649,00	0,0001	0,0418	1,36	0,51	0,0024
5	Vegetativo				Nenhuma densidade ocorreu					
5	Reprodutivo (início)	Gaussianoo	0,03	-0,18	0,95	0,0039	0,0227	0,17	0,81	0,1718
5	Reprodutivo (meio)	Exponencial	0,01	-0,55	0,15	0,0006	0,0036	0,30	0,22	0,1667
5	Reprodutivo (final)	Esférico	0,01	0,61	96,34	0,0038	0,2026	1,10	0,73	0,0188

\* $\beta_0$  = intercepto;  $\beta_1$  = coeficiente angular; RSS = soma dos quadrados dos resíduos;  $C_0$  = efeito pepita;  $C_0+C$  = patamar; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; SDR = taxa de dependência espacial

**Tabela 3.** Características dos modelos de distribuição espacial de *Frankliniella schultzei* em cultivos de tomate na região sem vazio sanitário

Cultivo	Estágio das plantas	Características dos modelos de distribuição espacial								
		Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	RSS	$C_0$	$C_0+C$	Alcance (m)	R <sup>2</sup>	SDR
1	Vegetativo	Esférico	0,11	0,59	619,30	0,0108	0,2376	1,70	0,21	0,0455
1	Reprodutivo (início)	Esférico	0,04	0,35	66,20	0,0001	0,0468	1,40	0,12	0,0021
1	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,02	0,31	17,97	0,0021	0,0154	1,00	0,00	0,1364
1	Reprodutivo (final)	Gaussiano	0,00	0,32	22,26	0,0009	0,0040	5,21	0,13	0,2250
2	Vegetativo	Gaussiano	0,04	0,67	13,93	0,0045	0,0368	1,39	0,90	0,1223
2	Reprodutivo (início)	Esférico	0,00	0,28	1,81	0,0005	0,0026	2,04	0,62	0,1923
2	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,00	0,31	1,26	0,0001	0,0016	1,50	0,24	0,0625
2	Reprodutivo (final)	Esférico	0,01	0,41	2,18	0,0001	0,0047	1,10	0,20	0,0213
3	Vegetativo	Exponencial	0,19	0,47	2240,00	0,0580	0,4350	6,30	0,47	0,1333
3	Reprodutivo (início)	Exponencial	0,01	0,32	10,00	0,0052	0,0311	6,00	0,32	0,1672
3	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,00	-0,38	2,72	0,0001	0,0038	2,00	0,21	0,0263
3	Reprodutivo (final)	Gaussiano	0,00	0,65	10,88	0,0011	0,0107	0,69	0,00	0,1028
4	Vegetativo	Exponencial	0,01	0,67	193,60	0,0070	0,0427	7,80	0,42	0,1639
4	Reprodutivo (início)	Esférico	0,01	0,52	19,60	0,0001	0,0108	1,90	0,00	0,0093
4	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,00	0,12	3,04	0,0002	0,0033	1,90	0,50	0,0606
4	Reprodutivo (final)	Gaussiano	0,01	0,27	5,94	0,0001	0,0006	2,25	0,50	0,1667
5	Vegetativo	Nenhuma densidade ocorreu								
5	Reprodutivo (início)	Esférico	0,00	0,30	0,82	0,0001	0,0026	1,00	0,48	0,0385
5	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,06	0,60	503,10	0,0019	0,0648	1,04	0,66	0,0293
5	Reprodutivo (final)	Esférico	0,01	0,62	6,55	0,0007	0,0095	1,00	0,37	0,0737
6	Vegetativo	Exponencial	0,11	0,77	29500,00	0,0840	0,9940	2,10	0,62	0,0845
6	Reprodutivo (início)	Exponencial	0,20	0,56	6570,00	0,1450	0,9180	1,50	0,33	0,1580
6	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,01	0,58	1,87	0,0007	0,0068	1,10	0,71	0,1029
6	Reprodutivo (final)	Exponencial	0,02	0,87	91,66	0,0025	0,0196	0,30	0,80	0,1276

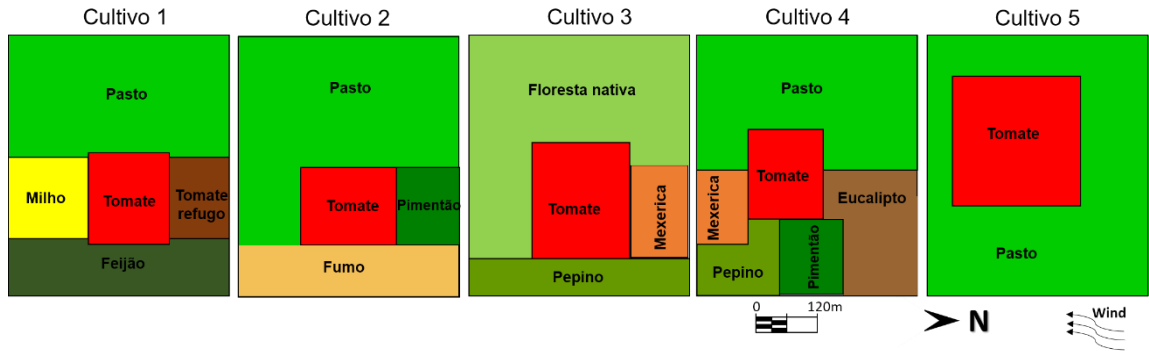
\* $\beta_0$  = intercepto;  $\beta_1$  = coeficiente angular; RSS = soma dos quadrados dos resíduos;  $C_0$  = efeito pepita;  $C_0+C$  = patamar; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; SDR = taxa de dependência espacial

Continua...

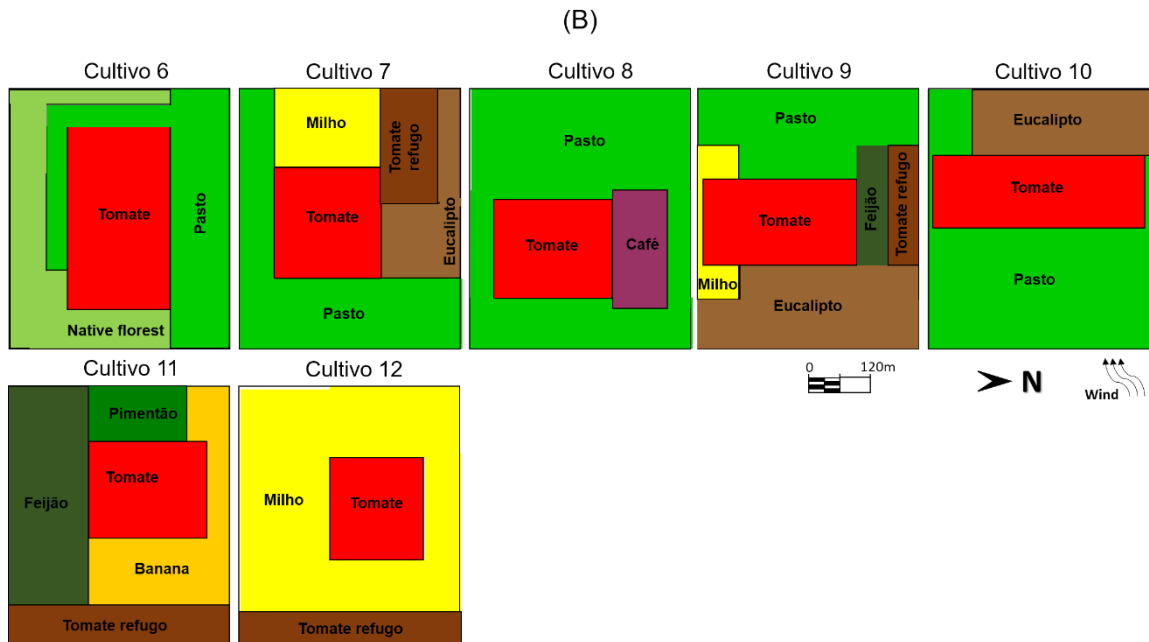
**Tabela 3.** Continuação

Cultivo	Estágio das plantas	Características dos modelos de distribuição espacial								
		Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	RSS	$C_0$	$C_0+C$	Alcance (m)	R <sup>2</sup>	SDR
7	Vegetativo	Esférico	0,00	-0,32	10,20	0,0001	0,0027	1,30	0,57	0,0370
7	Reprodutivo (início)	Gaussiano	0,01	0,46	140,20	0,0024	0,0137	1,04	0,80	0,1752
7	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,00	0,30	3,41	0,0001	0,0013	1,04	0,61	0,0769
7	Reprodutivo (final)	Esférico	0,01	0,60	2,36	0,0001	0,0075	1,06	0,23	0,0133
8	Vegetativo	Nenhuma densidade ocorreu								
8	Reprodutivo (início)	Esférico	0,00	0,26	0,22	0,0003	0,0031	1,20	0,55	0,0968
8	Reprodutivo (meio)	Nenhuma densidade ocorreu								
8	Reprodutivo (final)	Esférico	0,03	0,78	20,50	0,0016	0,0376	1,00	0,37	0,0426
9	Vegetativo	Esférico	0,00	0,38	9,93	0,0008	0,0037	6,70	0,23	0,2162
9	Reprodutivo (início)	Esférico	0,02	0,77	32,12	0,0001	0,0243	2,70	0,00	0,0041
9	Reprodutivo (meio)	Esférico	0,01	0,52	5,24	0,0009	0,0065	3,90	0,82	0,1385
9	Reprodutivo (final)	Gaussiano	0,01	0,28	15,12	0,0010	0,0061	7,10	0,49	0,1639
10	Vegetativo	Gaussiano	0,02	0,81	26,94	0,0035	0,0264	9,18	0,24	0,1326
10	Reprodutivo (início)	Esférico	0,00	0,53	1,73	0,0010	0,0042	8,60	0,54	0,2381
10	Reprodutivo (meio)	Exponencial	0,00	-0,13	6,15	0,0007	0,0033	8,70	0,14	0,2121
10	Reprodutivo (final)	Esférico	0,01	0,55	6,47	0,0001	0,0112	4,90	0,32	0,0089
11	Vegetativo	Gaussiano	0,03	0,21	31,78	0,0065	0,0360	1,39	0,40	0,1806
11	Reprodutivo (início)	Esférico	0,03	0,88	64,95	0,0002	0,0246	1,40	0,38	0,0081
11	Reprodutivo (meio)	Gaussiano	0,30	0,47	5010,00	0,0810	0,5910	0,35	0,81	0,1371
11	Reprodutivo (final)	Esférico	0,19	0,35	1750,00	0,0273	0,2906	1,40	0,46	0,0939
12	Vegetativo	Nenhuma densidade ocorreu								
12	Reprodutivo (início)	Gaussiano	0,04	0,20	21,24	0,0022	0,0278	0,17	0,75	0,0791
12	Reprodutivo (meio)	Exponencial	0,03	0,42	35,74	0,0021	0,0225	3,00	0,62	0,0933
12	Reprodutivo (final)	Esférico	0,00	0,96	3,46	0,0001	0,0024	1,00	0,40	0,0417

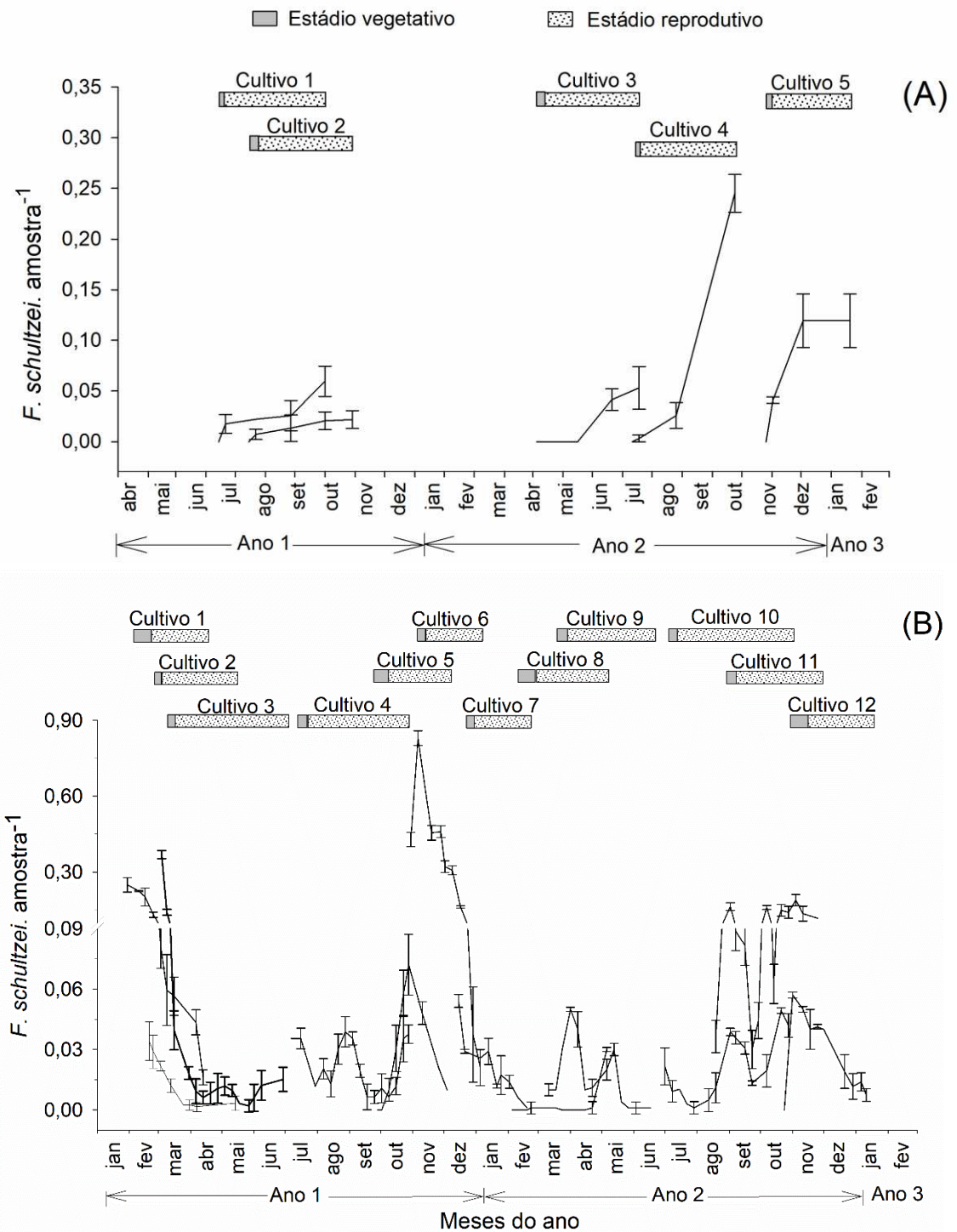
\* $\beta_0$  = intercepto;  $\beta_1$  = coeficiente angular; RSS = soma dos quadrados dos resíduos;  $C_0$  = efeito pepita;  $C_0+C$  = patamar; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; SDR = taxa de dependência espacial



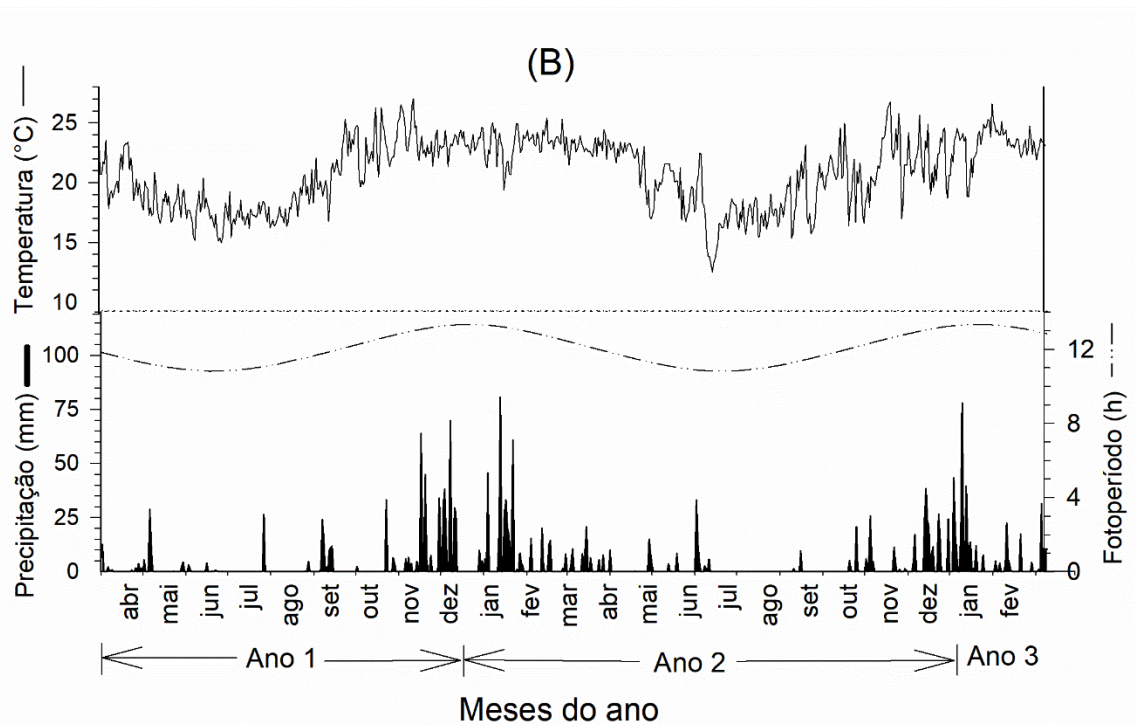
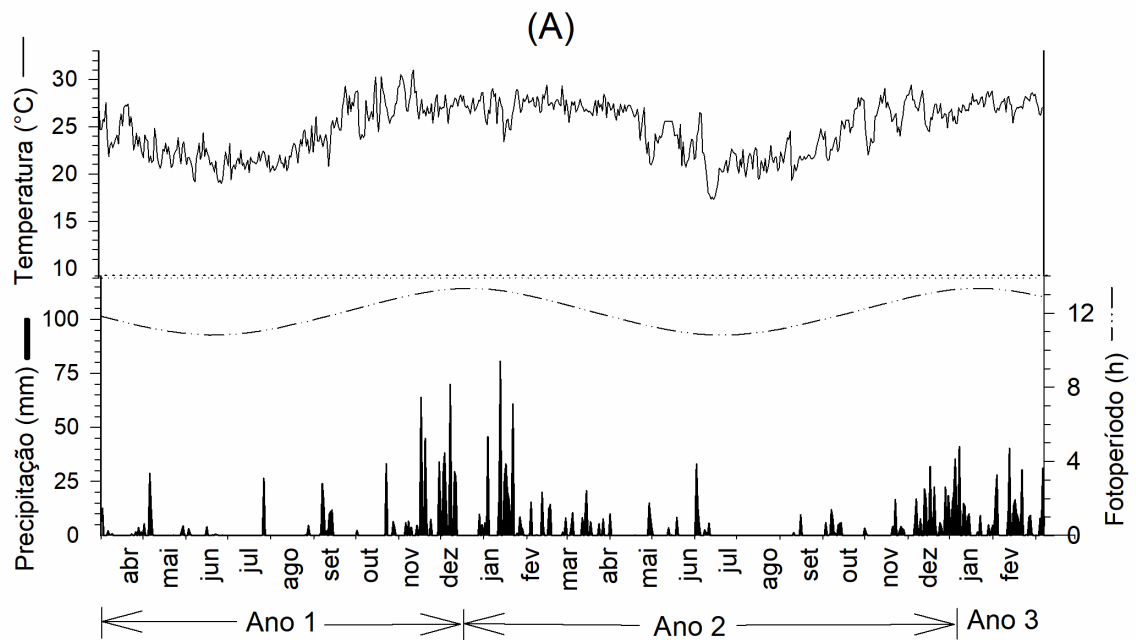
**Figura 1.** Representações das lavouras de tomate e suas paisagens circundantes em Tocantins, Minas Gerais, Brasil.



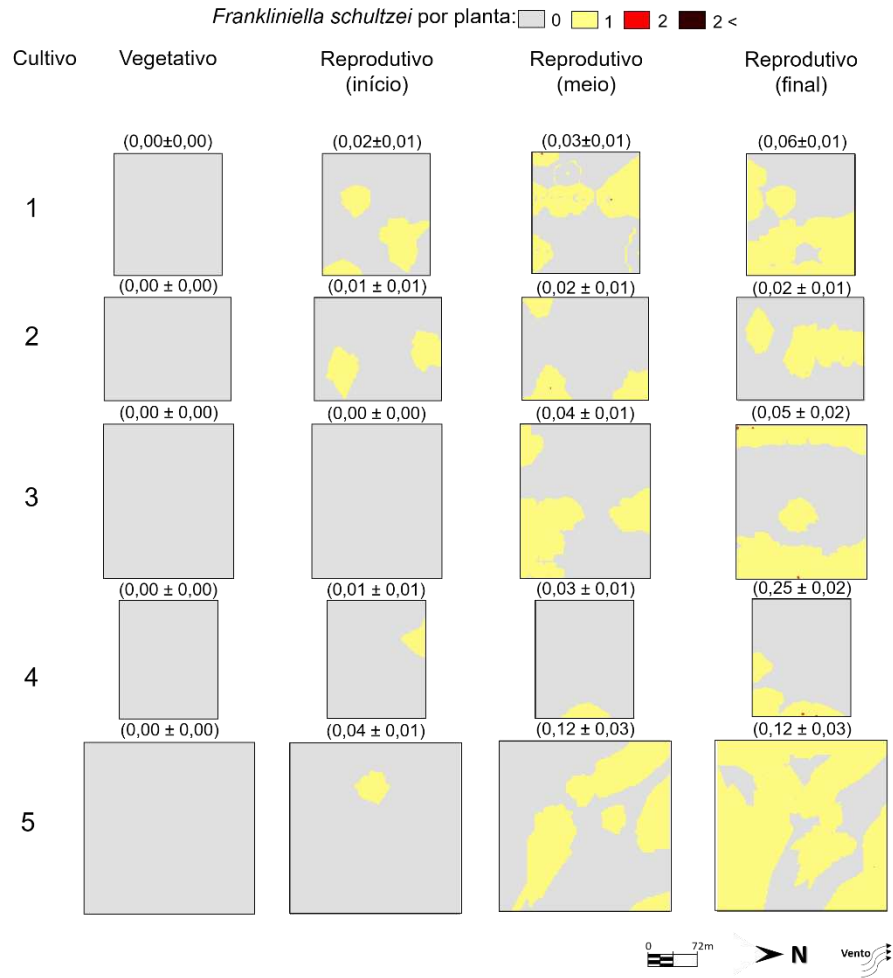
**Figura 2.** Representações das lavouras de tomate e suas paisagens circundantes em Tocantins, Minas Gerais, Brasil.



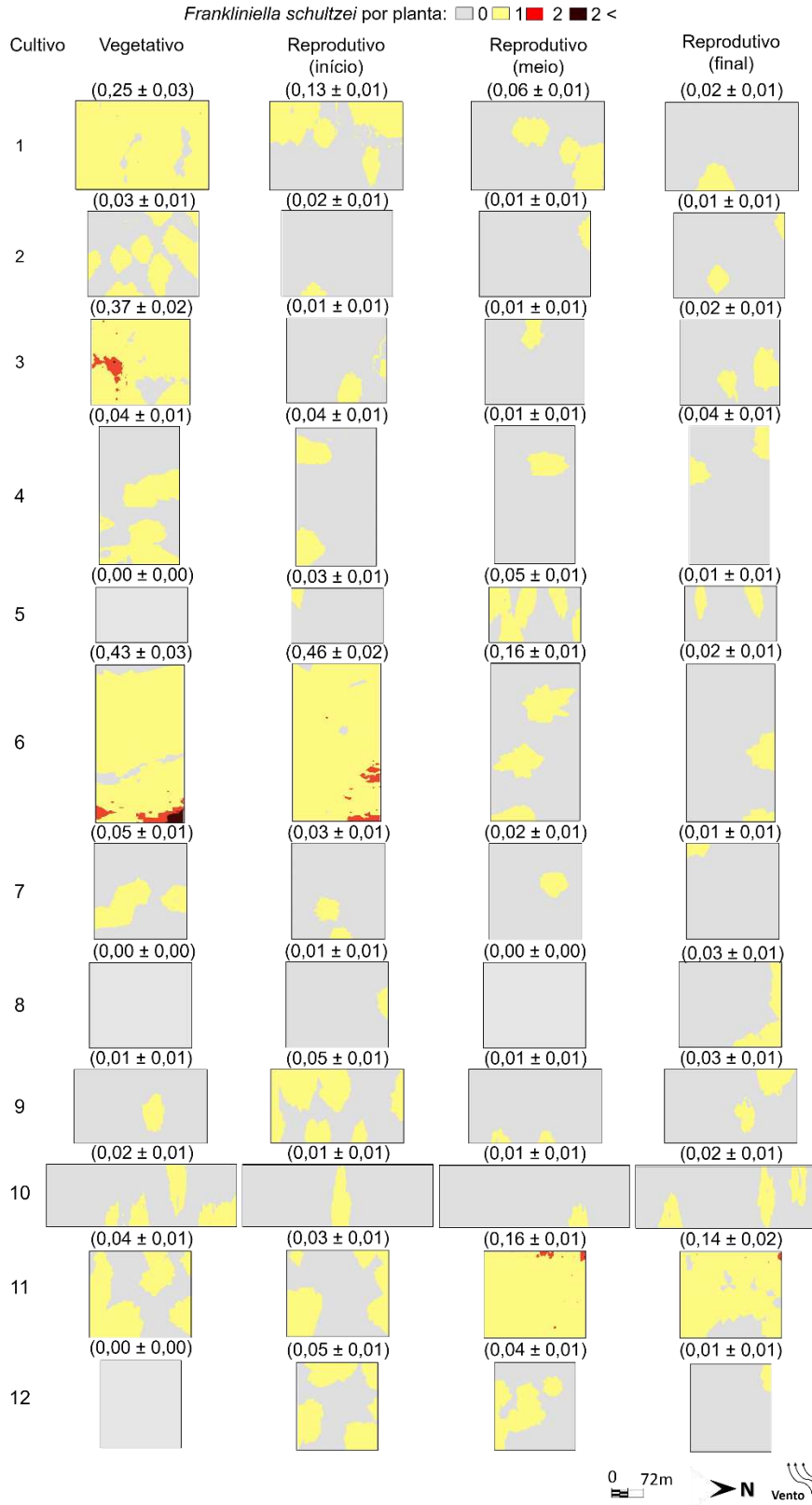
**Figura 3.** Variação sazonal da densidade de *Frankliniella schultzei* na região com vazio sanitário (A) e na região sem vazio sanitário (B).



**Figura 4.** Variação diária da temperatura do ar, precipitação total e fotoperíodo durante o período experimental na região com vazio sanitário (A) e na região sem vazio sanitário (B).



**Figura 5.** Mapas da distribuição espacial de *Frankliniella schultzei* em lavouras de tomate em diferentes estádios das plantas na região com vazio sanitário.



**Figura 6** Mapas da distribuição espacial de *Frankliniella schultzei* em lavouras de tomate em diferentes estádios das plantas na região sem vazio sanitário.

## CONCLUSÕES GERAIS

Em regiões com adoção de vazio sanitário é menor a intensidade de ataque do tripses *Frankliniella schultzei* às lavouras de tomate. Além disto, o ataque de *F. schultzei* aos cultivos de tomate ocorre mais tardiamente nas regiões com adoção de vazio sanitário. *Frankliniella schultzei* apresenta distribuição espacial agregada nas lavouras de tomate e a dispersão deste tripses nos cultivos se dá na direção predominante dos ventos. Na avaliação das populações de *F. schultzei* nas lavouras de tomate as amostras devem ser retiradas a distância mínima de nove metros.

O melhor sistema de amostragem para avaliar as populações de *F. schultzei* nas lavouras de tomate é a batida da parte apical das plantas sob a bandeja plástica branca e a posterior contagem dos tripses no fundo da bandeja. Nos cultivos de tomate os planos sequencial e convencional de *F. schultzei* tomam decisões de controle e não controle de forma similar. O limiar de 5% de plantas de tomate atacadas por *F. schultzei* é o melhor para a tomada de decisão de controle desta praga nas lavouras de tomate. Os planos de amostragem sequenciais de *F. schultzei* nas lavouras de tomate economizam de 30 a 80% do tempo e custo em relação ao plano convencional.