

JÚLIO CLÁUDIO MARTINS

MEDIADORES CLIMÁTICOS DE DESEMPENHO E DISTRIBUIÇÃO
ESPACIAL DE *Tuta absoluta*

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
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M386m
2012

Martins, Júlio Cláudio, 1981-

Medidores climáticos de desempenho e distribuição espacial
de *Tuta absoluta* / Júlio Cláudio Martins. – Viçosa, MG,
2012.

viii, 72f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Raul Narciso Carvalho Guedes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Tuta absoluta*. 2. *Tuta absoluta* - Registros de
desempenho. 3. *Tuta absoluta* - Distribuição geográfica.
4. Amostragem. 5. Mudanças climáticas. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 595.78

JÚLIO CLÁUDIO MARTINS

MEDIADORES CLIMÁTICOS DE DESEMPENHO E DISTRIBUIÇÃO
ESPACIAL DE *Tuta absoluta*

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: 25 de fevereiro de 2012.

Marcelo Coutinho Picanço
Coorientador

Eliseu José Guedes Pereira

Cristina Schetino Bastos

Fábio Akiyoshi Suinaga

Raul Narciso Carvalho Guedes
(Orientador)

A Deus, a quem devo tudo.

Agradeço

Aos meus pais, João Julião Martins e Ubaldina Pedro Martins, pelo amor e dedicação desde meu primeiro dia de vida;

Aos meus irmãos, José Gualberto Martins, Alice dos Reis, Efigênia dos Reis (in memória), Eva dos Remédios do Carmo, Adão Vitorino Martins e Joel Donizete Martins, pela amizade;

À minha esposa, Renata A. Rosa, pelo amor, companheirismo e pela paciência;

À minha filha, Livia Rosa Martins, pelas noites mal dormidas e mesmo assim me proporcionando felicidade todos os dias;

Dedico

Ao povo brasileiro, aos mestres e Doutores.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Entomologia, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Raul Narciso Carvalho Guedes pela paciência, orientação e amizade ao longo desses anos de convívio. À sua família pelos momentos agradáveis proporcionados.

Ao professor Marcelo Coutinho Picanço, pela paciência, orientação e amizade ao longo desses anos de convívio. À sua família pelos momentos agradáveis proporcionados.

Aos professores responsáveis pelos conhecimentos adquiridos durante a minha formação.

Aos membros da banca de tese: Cristina S. Bastos, Fábio Fábio A. Suinaga e Eliseu J. G. Pereira pelas críticas, sugestões e dedicação na melhoria do trabalho.

Às secretárias do Programa de Pós-graduação em Entomologia, Dona Paula, Miriam e Silvana, pela dedicação e seriedade.

Ao funcionário José Evaristo, pela amizade e por sempre estar a disposição em ajudar.

Aos colegas da Pós-graduação do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas: Tarcísio, Ricardo, Rogério, Renata, Nilson, Pablo, Renan, Jander, Gerson, Vânia, Matheus e Antônio, pelo convívio, troca de conhecimentos e especialmente pela ajuda neste trabalho.

Aos estagiários do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas: Adriano, Alan, Dalton, Elizeu, Geverson, Helder, Hellen, Henrique, Izailda, João, Jorgiane, Mailson, Mayara, Mirian, Obiratânia, Paulo, Reginaldo, Rodrigo, Silvério, Suellen, Suzana, Thadeu, pela amizade e valiosa ajuda durante a execução deste trabalho.

Aos companheiros Ézio, Jardel, Flávio, Maria Eliza e Elisângela pelo convívio e em especial ao companheiro Altair e Bacci que ajudaram nesta conquista.

Aos colegas do curso de mestrado e doutorado pelo agradável convívio durante as disciplinas.

Aos ex-companheiros de república Gerson, Daniel, Flávio, Carlos, Marcelo, Rafael, Nilson, Pedro Neri e Weillison (Sadol) pelo companheirismo e convivência agradável.

A toda a minha família pelo apoio.

Por fim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

JÚLIO CLÁUDIO MARTINS, filho de João Julião Martins e Ubaldina Pedro Martins, nasceu em Vitorinos, Minas Gerais, no dia 18 de fevereiro de 1981.

Em dezembro de 1998, concluiu o segundo grau na Escola Estadual Pe. Egídio Reis em Senhora dos Remédios.

Em março de 2001, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em maio de 2006. Durante a graduação, de janeiro de 2002 a maio de 2006 foi estagiário no Laboratório de Manejo Integrado de Pragas do Setor de Entomologia do DBA/UFV, sob orientação do Prof. Marcelo Coutinho Picanço. Neste período desenvolveu vários trabalhos na área de Manejo Integrado de Pragas em diversas culturas. Foi bolsista de Iniciação Científica do pelo PNP&D-café, da Embrapa café e pelo programa PROBIC/FAPEMIG. Foi ainda monitor da disciplina de Entomologia Agrícola por três anos coordenado pelo Prof. Marcelo Coutinho Picanço. Em maio de 2006 ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós-graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em fevereiro de 2008. Em seguida, ingressou no Doutorado em Entomologia na mesma instituição, defendendo tese em 25 de fevereiro de 2012.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	5
CAPÍTULO I. Temperatura e precipitação pluviométrica mediando o desempenho de <i>Tuta absoluta</i>	
Resumo.....	9
Abstract.....	10
Introdução.....	11
Material e Métodos.....	13
Resultados.....	19
Discussão.....	27
Literatura Citada.....	32
CAPÍTULO II. Distribuição espacial de <i>Tuta absoluta</i> em cultivos de tomate	
Resumo.....	38
Abstract.....	39
Introdução.....	40
Material e Métodos.....	43
Resultados.....	48
Discussão.....	61
Literatura Citada.....	66
CONCLUSÕES GERAIS.....	72

RESUMO

MARTINS, Júlio Cláudio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Mediadores climáticos de desempenho e distribuição espacial de *Tuta absoluta***. Orientador: Raul Narciso Carvalho Guedes. Corientadores: Marcelo Coutinho Picanço e Leandro Bacci.

Entre os principais fatores determinantes do ataque de inseto-praga aos cultivos estão a temperatura do ar e as chuvas. Já o conhecimento do padrão da distribuição espacial das pragas possibilita o planejamento de táticas de controle, geração de planos de amostragens eficientes e pode auxiliar na previsão de seus danos. *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) constitui a praga mais importante do tomateiro em muitas regiões do planeta. Assim com esta pesquisa objetivou-se determinar as exigências térmicas e o efeito da chuva sobre *T. absoluta* e a distribuição espacial deste inseto em cultivos de tomate. A faixa de temperatura de desenvolvimento e reprodução de *T. absoluta* foi entre 14 a 35 °C. A faixa ótima de temperatura desta espécie foi entre 26 a 30 °C. A chuva afetou negativamente *T. absoluta*, sendo que chuvas menores que 10 mm por mês já reduziram a sobrevivência deste inseto a zero. A oviposição de *Tuta absoluta* nas lavouras de tomate foi agregada. A densidade de ovos de *T. absoluta* foi maior nas bordas dos cultivos, sobretudo quando foi mais intenso o ataque deste inseto. A dispersão dos ovos de *T. absoluta* foi maior o longo das fileiras do que entre estas.

ABSTRACT

MARTINS, Júlio Cláudio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012. **Climatic mediators of performance and spatial distribution of *T. absoluta***. Adviser: Raul Narciso Carvalho Guedes. Co-advisers: Marcelo Coutinho Picanço and Leandro Bacci.

The air temperature and rain are among the main determinant factors of attacks of insect pest on crops. Whereas, the knowledge about the spatial distribution pattern enables the planning of pests control tactics, development of efficient sampling plans and it can help to predict their damage. *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) is the most important tomato's pest in several regions around the world. Therefore, the purpose of this research was determinate the thermal requirements and the rain effect on *T. absoluta* and its spatial distribution in tomato crops. The development and reproduction temperature range was between 14 and 35 °C. The optimal temperature range for this specie was between 26 and 30 °C. The rain affected negatively *T. absoluta*, whereas rains less than 10 mm per month have already reduced this insect survival to zero. The oviposition of *T. absoluta* in tomato crops was aggregated. The eggs density of *T. absoluta* is higher at the edges of the crops, especially when its attack was more intense. The eggs dispersal of *T. absoluta* was higher along the rows than between them.

INTRODUÇÃO GERAL

A traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) é considerada uma das mais devastadoras pragas de tomate na América do Sul (Silva et al. 2011). Recentemente esta espécie foi introduzida na Europa, e subseqüentemente no Norte da África e por toda zona mediterrânea causando sérios prejuízos em todas estas áreas de produção de tomate (Potting 2009; Desneux et al. 2010). Em 2011, *T. absoluta* foi detectada na Grécia, Lituânia e no Iraque. Há ainda informações da ocorrência desta praga na Arábia Saudita, Síria, Sudão, Líbano, Jordânia e, mais recentemente, em casa de vegetação na Rússia, embora isso ainda não tenha sido confirmado (EPPO 2012).

A injúria causada por *T. absoluta* é devido ao ataque das lagartas que afetam a produtividade do tomateiro por reduzir a área fotossintética ao alimentarem-se do mesófilo foliar (Souza & Reis 1992; Bogorni et al. 2003), por afetar o crescimento vertical ao broquear o ponteiro e por broquear os botões florais, as flores e principalmente os frutos (Coelho & Fraça 1987; Souza & Reis 1992; Picanço et al. 1997). Mediante as injúrias causadas por essa praga, um elevado número de aplicações de inseticidas é realizado no agroecossistema tomateiro aumentando assim, o custo de produção e prejuízos ao meio ambiente e ao consumidor. Atualmente, até três aplicações semanais de inseticidas têm sido realizadas ao longo de todo o ciclo da cultura, chegando ao extremo de se realizar 36 aplicações durante o cultivo (Silva et al. 2011). O uso intensivo de inseticidas acarreta inúmeros problemas como a contaminação do homem, do solo e da água, resíduos nos frutos, resistência da praga aos inseticidas, além de prejudicar o controle biológico natural, causando a ressurgência de pragas-chave e erupção de pragas secundárias (Villas-Bôas 1989; Moreira 1995). Diante desses problemas é necessário a adoção de sistemas mais racionais de controle de pragas, como o manejo integrado de pragas.

Para melhoria nas técnicas de manejo da *T. absoluta* é necessário que se desenvolvam pesquisas gerando informações que dêem suporte às técnicas e práticas de manejo dessa praga. Dentre estas, estão o conhecimento detalhado do padrão de distribuição espacial e do efeito dos elementos climáticos sobre a *T. absoluta*.

Os fatores climáticos afetam fortemente as populações de insetos por estarem entre as principais fontes de mortalidade desses animais pecilotérmicos em diversos agroecossistemas (Auerbach et al. 1995). Entre todos estes fatores, temperatura tem provavelmente o maior efeito sobre o desenvolvimento dos insetos (Taylor 1981). Estudos anteriores têm demonstrado que temperatura influencia várias características biológicas dos insetos como a razão sexual, a sobrevivência e a longevidade, fecundidade e fertilidade dos adultos (Yang et al. 1994; Infante 2000; Zheng et al. 2008). Como um resultado disso, a temperatura profundamente afeta a colonização, a distribuição, a abundância, o comportamento, a história de vida e desempenho dos insetos (Denlinger & Yocum 1998; James et al. 2002; Hoffmann et al. 2003). Portanto, a informação sobre os níveis de exigências térmicas para um inseto-praga é importante para o aprimoramento de manejo de pragas, uma vez que temperatura determina o crescimento e tamanho populacional desses organismos e suas variações sob diferentes condições (Kang et al. 2009).

A precipitação é outro fator climático que afeta significativamente a sobrevivência dos insetos (Moran & Hoffman 1987; Moran et al. 1987). A precipitação normalmente pode causar maior mortalidade de insetos pequenos ou insetos imóveis (Moran et al. 1987) e é freqüentemente associada com declínio do tamanho de populações de insetos (Delobel & Lubega 1984; Weisser et al. 1997). Além disso, pode afetar o potencial reprodutivo de insetos causando assincronia na emergência de adultos e atrasando o acasalamento ou limitando a capacidade vôo e encontro de parceiros sexuais para reprodução (Michereff et al. 2004; Bacca et al. 2006). Apesar das

evidências de que a precipitação pode afetar o estabelecimento, sobrevivência e reprodução dos insetos no campo, o efeito desse fator sobre *T. absoluta* ainda não foi completamente estudado.

Informações da heterogeneidade espacial das populações de pragas para escalas de cultivos têm implicações sobre alguns aspectos relacionados à produção da cultura e sobre os sistemas de tomada de decisão de manejo de pragas. A relação entre a densidade de pragas e as perdas de produção em um cultivo é influenciada pelo grau de heterogeneidade na distribuição da praga. Plantas são menos capazes de compensar a injúria de pragas quando a densidade dessas são maiores e, portanto, um padrão agregado da distribuição de pragas pode ter um maior impacto na cultura que uma mesma densidade de pragas na qual sua distribuição é uniforme (Bardner & Fletcher 1974; Hughes & McKinlay 1988).

Estudos neste sentido são importantes para conhecimento dos padrões de movimentação de insetos-praga dentro dos cultivos (Murchie et al. 1999; Ferguson et al. 2000), e para o aprimoramento de táticas de controle de pragas na qual o controle químico pode ser espacialmente direcionado minimizando seus impactos negativos (Weisz et al. 1995; Evans et al. 1998).

Os padrões de distribuição espacial dos insetos tem, muitas vezes, sido estudados erroneamente usando-se modelos matemáticos de distribuição de frequência. Nestes modelos têm-se atribuído que ajustes aos modelos binomial negativo, Poisson e binomial positivo indicariam padrões de distribuição espacial do inseto agregado, aleatório ou uniforme, respectivamente (Young & Young 2002). Esses modelos de distribuição de frequência se baseiam na relação média/variância e não consideram o fator espaço. Embora esta relação possa ser afetada pela distribuição espacial ela não representa a distribuição do organismo no espaço (Binns et al. 2000). Uma opção para se determinar o padrão de distribuição espacial do organismo é a adoção de modelos de geoestatística (Wright et al. 2002).

A geoestatística verifica se o valor observado de uma variável para um determinado local é dependente de valores de variáveis de locais vizinhos. Caso exista dependência, a variável exibe autocorrelação espacial. Para a modelagem da dependência espacial em estudos entomológicos com geoestatística é utilizada a função de semivariância, onde os semivariogramas constituem-se em modelos adequados para medir o padrão de distribuição espacial de insetos (Barrigossi et al. 2001; Bacca et al. 2006).

Assim, devido à escassez de conhecimentos sobre os padrões de distribuição espacial e do efeito dos elementos climáticos sobre *T. absoluta*, esta pesquisa tem por objetivos: i) determinar o padrão de distribuição espacial e gerar planos de amostragens deste inseto-praga em tomateiro e ii) determinar os níveis de exigências térmicas e os efeitos da precipitação sobre *T. absoluta*. Portanto, no primeiro capítulo dessa tese foi avaliado o desempenho de *T. absoluta* sob seis níveis de temperaturas constantes e sob diferentes intensidades de precipitação. Já no segundo capítulo, foi avaliado o padrão de distribuição espacial e um plano de amostragem convencional para ovos de *T. absoluta* foi gerado em lavouras de tomate em diferentes estágios fenológicos.

LITERATURA CITADA

- Auerbach, M. J.; Connor, E. F.; Mopper, S. Minor miners and major miners: population dynamics of leaf-mining insects. In: Cappuccino, N. & Price, P. W. eds. **Population dynamics**. London, Academic Press. p.83-105. 1995.
- Bacca, T.; Lima, E. R.; Picanço, M. C.; Guedes, R. N. C.; Viana, J. H. N. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the Coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.119, p.39-45. 2006.
- Bardner, R.; Fletcher, K. E. Insect infestations and their effects on the growth and yield of field crops: a review. **Bulletin of Entomological Research**, v.64, p.141-160. 1974.
- Barrigossi, J. A. F.; Young, L. J.; Crawford, C. A. G.; Hein, G. L.; Higley, L. G. Spatial and probability distribution of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) egg mass populations in dry bean. **Environmental Entomology**, v.30, p.244-253. 2001.
- Binns, M.R.; Nyrop, J. P.; Werf, W. V. D. **Sampling and monitoring in crop protection: the theoretical basis for developing practical decision guides**. Crambridge, 2000, 281p.
- Bogorni, C. P.; Silva, R. A.; Carvalho, G. S. Consumo de mesofilo foliar por *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) por três cultivares de *Lycopersicon esculentum* Mill. **Ciência Rural**, v.33, p.7-11, 2003.
- Coelho, M. C. F.; França, F. H. Biologia, quetotaxia da larva e descrição da traçado-tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.129-135. 1987.
- Delobel, A. G. L.; Lubega, M. C. Rainfall as a mortality factor in the sorghum shootfly *Atherigona soccata* Rond. (Diptera, Muscidae). **Zeitschrift fur Angewandte Entomologie**, v.97, p.510-516. 1994.
- Desneux, N.; Wajnberg, E.; Wyckhuys, K. A. G.; Burgio, G.; Arpaia, S.; Narváez-Vasquez, C. A.; González-Cabrera, J.; Catalán Ruescas, D.;

- Tabone, E.; Frandon, J.; Pizzol, J.; Poncet, C.; Cabello, T.; Urbaneja, A. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, history of invasion and prospects for biological control. **Journal of Pest Science**, v.83, p.197-215. 2010.
- Denlinger, D. L.; Yocum, G. D. Physiology of heat sensitivity. In: Hallman, G. J.; Denlinger, D. L. eds. **Thermal Sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management**. pp. 11-18. 1998.
- EPPO, 2012. **European and Mediterranean Plant Protection Organization**. Reporting Service. n.1. Disponivel em: <http://archives.eppo.org/EPPOReporting/2012/Rse-1201.pdf>.
- Evans, K.; Stafford, J.; Webster, R.; Halford, P.; Russell, M.; Barker, A.; Griffin, S. Mapping potato cyst nematode populations for modulated applications of nematicide. Protection and production of sugar beet and potatoes. **Aspects of Applied Biology**, v.52, p.101-108. 1998.
- Ferguson, A. W.; Klukowski, Z.; Walczhak, B.; Perry, J. N.; Mugglestone, M. A.; Clark, S. J.; Williams, I. H. The spatio-temporal distribution of adult *Ceutorhynchus assimilis* in a crop of winter oilseed rape in relation to the distribution of their larvae and that of the parasitoid *Trichomalus perfectus*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.95, p.161-171. 2000.
- Hoffman, A. A.; Sørensen, J. G.; Loeschcke, V. Adaptation of *Drosophila* to temperature extremes: bringing together quantitative and molecular approaches. **Journal of Thermal Biology**, v.28, p.175-216. 2003.
- Hughes, G.; McKinlay, R. G. Spatial heterogeneity in yield-pest relationships for crop loss assessment. **Ecological Modelling**, v.41, p.67-73. 1988.
- Infante, F. Development and population growth rates of *Prorops nasuta* (Hym., Bethyridae) at constant temperatures. **Journal of Applied Entomology**, v.124, p.343-348. 2000.
- James, S. S.; Pereira, R. M.; Vail, K. M.; Ownley, B. H. Survival of imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) species subjected to freezing and near-freezing temperatures. **Environmental Entomology**, v.31, p.127-133. 2002.

- Kang, L.; Chen, B.; Wei, J. N.; Liu, T. X. Roles of thermal adaptation and chemical ecology in *Liriomyza* distribution and control. **Annual Review of Entomology**, v.54, p.127-145. 2009.
- Michereff, M. F. F.; Vilela, E. F.; Michereff Filho, M.; Nery, D. M. S.; Thièbaut, J. T. Effects of delayed mating and male mating history on the reproductive potential of *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Agricultural and Forest Entomology**, v.6, p.241-247. 2004.
- Moran, V. C.; Hoffman, J. H. The effects of simulated and natural rainfall on cochineal insects (Homoptera: Dactylopiidae): colony distribution and survival on *Cactus cladodes*. **Ecological Entomology**, v.12, p.61-68. 1987.
- Moran, V. C.; Hoffman, J. H.; Basson, N. C. J. The effects of simulated rainfall on cochineal insects (Homoptera: Dactylopiidae): colony composition and survival on *Cactus cladodes*. **Ecological Entomology**, v.12, p.51-60. 1987.
- Moreira, L. F. **Diagnóstico dos problemas ecotoxicológicos causados pelo uso de inseticidas (metamidofós) na Região de Viçosa-MG**. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, 1995. 95p.
- Murchie, A. K.; Williams, I. H.; Perry, J. N. Edge distributions of *Ceutorhynchus assimilis* and its parasitoid *Trichomalus perfectus* in a crop of winter oilseed rape (*Brassica napus*). **Biocontrol**, v.44, p.379-390. 1999.
- Picanço, M. C.; Faleiro, F. G.; Pallini Filho, A.; Matioli, A. L. Perdas na produtividade do tomateiro em sistemas alternativos de controle fitossanitário. **Horticultura Brasileira**, v.15, p.88-91. 1997.
- Potting, R. **Pest risk analysis, *Tuta absoluta*, tomato leaf miner moth**. Plant protection service of the Netherlands. 2009. 24 pp. Disponível em: [\[www.minInv.nl\]](http://www.minInv.nl).
- Silva, G. A.; Picanço, M. C.; Bacci, L.; Crespo, A. L. B.; Rosado, J. F.; Guedes, R. N. C. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. **Pest Management Science**, v.67, p.913-920. 2011.

- Souza, J. C.; Reis, P. R. **Traça-do-tomateiro: histórico, reconhecimento, biologia, prejuízos e controle**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1992, (Boletim Técnico, 38), 20p.
- Taylor, F. Ecology and evolution of physiological time in insects. **American Naturalist**, v.117, p.1-23. 1981.
- Villas-Bôas, G. J. Métodos de controle de pragas em hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v.7, p.3-6. 1989.
- Weisser, W. W.; Volkl, W.; Hassell, M. P. The importance of adverse weather conditions for behaviour and population ecology of an aphid parasitoid. **Journal of Animal Ecology**, v.66, p.386-400. 1997.
- Weisz, R.; Fleischer, S.; Smilowitz, Z. Site-specific integrated pest management for high value crops: sample units for map generation using the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) as a model system. **Journal of Economic Entomology**, v.88, p.1069-1080. 1995.
- Wright, R. J.; Devries, T. A.; Young, L. J.; Jarvi, K. J.; Seymour, R. C. Geostatistical analysis of the small-scale distribution of european corn borer (Lepidoptera: Crambidae) larvae and damage in whorl stage corn. **Environmental Entomology**, v.31, p.160-167. 2002.
- Yang, P. J.; Carey, J. R.; Dowell, R. V. Temperature influence on the development and demography of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in China. **Environmental Entomology**, v.23, p.971-974. 1994.
- Young, L. J.; Young, J. H. **Statistical Ecology: a population perspective**. Norwel, MA, Kluwer Academic Publishers, 2002, 565p.
- Zheng, F. S.; Du, Y. Z.; Wang, Z. J.; Xu, J. J. Effect of temperature on the demography of *Galerucella birmanica* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Insect Science**, v.15, p.375-380. 2008.

TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MEDIANDO O DESEMPENHO DE *Tuta absoluta*

RESUMO: Os elementos climáticos são os principais fatores determinantes do desempenho biológico dos insetos. *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) constitui a praga mais importante do tomateiro em muitas regiões do planeta. Apesar disso, poucos estudos têm determinado o impacto do clima sobre este inseto-praga. Assim, este trabalho teve como objetivo determinar as exigências térmicas e do efeito da precipitação sobre o desempenho biológico de *T. absoluta*. As exigências térmicas foram determinadas pela avaliação do desenvolvimento e reprodução de *T. absoluta* nas temperaturas 17, 22, 26, 28, 30 e 33 °C. O efeito da precipitação foi determinado pela avaliação da densidade de ovos e de adultos e da sobrevivência de *T. absoluta* exposta a diferentes intensidades de precipitação no campo. A sobrevivência, o tempo de duração do ciclo de vida, reprodução e os parâmetros populacionais de *T. absoluta* foram fortemente afetados pelas temperaturas extremas. A temperatura ótima para o desenvolvimento e reprodução foi cerca de 30 °C. A chuva afetou negativamente a densidade de ovos, a sobrevivência e a densidade de adultos de *T. absoluta*. Intensidades de chuvas menores de 10 mm por mês já foram suficientes para reduzir a sobrevivência de *T. asboluta* à zero.

TEMPERATURE AND RAINFALL MEDIATING THE *Tuta absoluta* FITNESS

ABSTRACT: The climatic elements are the main factors determining the biological performance of insects. *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) is the most important tomato pest in several regions of the world. Nevertheless, a few studies have determined the climate effects on this insect pest. Thus, the purpose of this study was to determine the thermal requirements of *T. absoluta* and the rainfall impact on the biological performance of *T. absoluta*. The thermal requirements were determined by evaluating the reproduction and development of *T. absoluta* under the temperatures 17, 22, 26, 28, 30 and 33 °C. The rainfall effect was determined by evaluating the eggs and adults densities and the survival of *T. absoluta* exposed to different rainfall intensities at the field. The survival, the duration of life cycle, reproduction and population parameters of *T. absoluta* were strongly affected by the extreme temperatures. The optimal temperature for development and reproduction was about 30 °C. The rainfall affected negatively the eggs and adults densities and the survival of *T. absoluta*. The rain intensities less than 10 mm per month were enough to reduce the *T. absoluta* survival to zero.

1. INTRODUÇÃO

Insetos são afetados amplamente por fatores ambientais como o clima. Os elementos climáticos podem afetar a abundância, distribuição, dinâmica populacional e status de insetos-praga em diversas culturas (Cannon 1998; Estay et al. 2009). Estes efeitos são devido a influencia direta do clima sobre as atividades dos insetos herbívoros como oviposição, alimentação, crescimento, desenvolvimento, reprodução e migração (Lam et al. 2001; Hopkins & Memmott 2003), ou indireta mediada pela planta hospedeira, competidores e inimigos naturais (Harrington et al. 2001; Bale et al. 2002).

Entre todos os elementos climáticos, a temperatura e a precipitação pluviométrica são provavelmente os fatores que mais afetam o desenvolvimento dos insetos (Taylor 1981; Wallner, 1987). Estudos anteriores têm mostrado que a temperatura influencia em várias características biológicas de insetos como a razão sexual, longevidade, sobrevivência, fecundidade e fertilidade (Infante 2000; Zheng et al. 2008). Como resultado, a temperatura profundamente afeta a colonização, distribuição, abundância, comportamento, historia de vida e desempenho dos insetos (James et al. 2002; Hoffmann et al. 2003). Já o efeito da precipitação sobre os insetos pode ser devido à ação dessas como um fator de mortalidade (Moran et al. 1987; Weisser et al. 1997) e por afetar o potencial reprodutivo de insetos causando assincronia na emergência de adultos e atrasando o acasalamento ou limitando a capacidade vôo e encontro de parceiros sexuais para reprodução (Goulson et al. 2005; Bacca et al. 2006). Portanto, informações sobre o requerimento térmico e os efeitos da precipitação sobre insetos-pragas tem importantes implicações para programas de manejo de pragas (Kang et al. 2009).

A traça do tomateiro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), é o principal inseto-praga do tomateiro na América do Sul (Picanço et al., 2007; Silva et al. 2011) e de vários outros países da Europa e do norte da África (Desneux et al. 2010). Desde a sua detecção inicial na Espanha, a *T. absoluta* tem causado sérios prejuízos ao tomateiro em diversas áreas invadidas por essa praga (Germain et al. 2009). As perdas ocasionadas por este inseto variam entre os estágios fenológicos do tomateiro (Gonring 2004) e ao longo do ano (Castelo Branco 1992). Dependendo da época do ano as perdas podem chegar a 100% devido ao ataque nas folhas, flores, caule e principalmente nos frutos (Picanço et al. 1995).

Embora *T. absoluta* seja uma praga importante, não existem estudos determinando o efeito dos elementos climáticos sobre o desempenho biológico dessa praga. Assim, este trabalho teve por objetivo de determinar as exigências térmicas e do efeito da chuva sobre o desempenho de *T. absoluta*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para determinar o efeito do clima sobre o desempenho de *T. absoluta* foram realizados dois experimentos. O primeiro teve por objetivo estabelecer as exigências térmicas de *T. absoluta*. Já o segundo teve o objetivo de estabelecer o efeito da precipitação sobre a densidade de *T. absoluta*.

2.1. Exigências térmicas de *T. absoluta*

2.1.1. População de *T. absoluta*

O estudo foi realizado durante o ano de 2011, no Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. Foi utilizada uma população de *T. absoluta* coletada em lavouras comerciais de tomate localizadas na região de Viçosa. Esta população foi mantida em laboratório a $25 \pm 0,5$ °C, umidade relativa do ar de $75 \pm 5\%$ e fotofase de 12 horas. Na criação da população foram utilizadas quatro gaiolas de madeira (40 x 40 x 40 cm) revestidas por organza, sendo uma gaiola para oviposição, uma para alimentação de lagartas de primeiro e segundo ínstar, uma para alimentação de lagartas de terceiro e quarto ínstar e uma para pupação e emergência dos adultos. As lagartas foram alimentadas com folhas de tomate do cultivar Santa Clara, cultivadas em casa de vegetação, sem a aplicação de inseticidas (Silva et al. 2011).

2.1.2. Sobrevivência, reprodução e parâmetros de crescimento populacional de *T. absoluta*

O efeito de seis temperaturas constantes: 17, 22, 26, 28, 30 e 33 °C, sobre a sobrevivência e mortalidade de *T. absoluta* foi determinado sob condições de laboratório. O experimento foi conduzido em câmara de germinação tipo BOD (modelo 347 CDG, FANEM, SP, Brasil) operando sob temperaturas constantes. No início do experimento, para cada temperatura, nove pares de folhas de tomate foram retiradas da sexta posição a partir do ápice e então transferidas para gaiolas de 40 x 40 x 40 cm contendo 100 adultos de *T. absoluta* onde permaneceram por um período de 3 horas, para infestação com ovos. As folhas foram retiradas da gaiola, cuidadosamente

inspecionadas, deixando de 15 a 20 ovos recém ovipositados em cada uma delas, e então incubadas na BOD.

Após a incubação dos ovos na BOD, os estádios de desenvolvimento larval de *T. absoluta* e a sobrevivência ou mortalidade de ovos, larvas e adultos foram monitorados diariamente. O experimento foi mantido até a morte de todos os indivíduos originados da coorte. Cada folha foi inserida em garrafas PET de 2 litros teladas com organza, quando os insetos iniciaram o estágio larval, para evitar a fuga e misturas de insetos de folhas diferentes. Cada folha constituiu-se em parcela experimental. Quando os insetos atingiram a fase pupal, eles foram separados por sexo de acordo com Coelho & França (1987) e pesados usando uma balança eletrônica de precisão de 0,1 mg (modelo Sartorius BP 210 D) de precisão. Para todas as temperaturas, as condições de umidade relativa do ar ($70 \pm 5\%$) e foto período (12 horas de luz: 12 horas de escuro) foram mantidas constantes dentro da BOD.

A reprodução de *T. absoluta* foi estudada nas mesmas temperaturas constantes em que se avaliou a sobrevivência dos insetos (17, 22, 26, 28, 30 e 33 °C). No início do experimento, para cada temperatura, os adultos emergidos em cada temperatura foram separados em grupos de 5 a 10 casais em gaiolas de madeira (30 x 30 x 30 cm) contendo folhas de tomate e submetidos novamente às BOD sob as condições de temperaturas nas quais tinham sido criados. Cada gaiola foi observada diariamente para verificação de mortalidade e postura pelos adultos. Durante todo o período reprodutivo, os ovos recém-depositados foram contados e as folhas contendo ovos foram removidas e substituídas por outras novas. Este procedimento continuou até a morte de todos os adultos na gaiola.

A partir dos dados biológicos de *T. absoluta* confeccionou-se, para cada parcela experimental, uma tabela de vida de fertilidade conforme Rabinovich (1978), Krebs (1994) e Price (1997). A partir desta tabela de vida foram determinadas: a idade de *T. absoluta* em dias (x), a taxa de sobrevivência em uma idade específica (l_x), a fertilidade específica (m_x), e número total de fêmeas nascidas na idade x ($l_x m_x$). Baseando-se nas informações da tabela de vida, foram estimados os seguintes parâmetros populacionais para cada parcela: a taxa líquida de reprodutiva (R_0), o intervalo de gerações (T), a taxa intrínseca de crescimento (r_m) e taxa finita de aumento (λ).

Os dados de tempo de duração e a sobrevivência de cada estágio imaturo, a taxa reprodutiva média do ciclo (dias), o número de gerações por ano e os parâmetros R_0 , r_m , T e λ de *T. absoluta* em cada temperatura foi submetido à análise de regressão utilizando-se o programa Table Curve 2D versão 5.01 (Systat Software, Inc., Richmond, CA, 2002). A taxa reprodutiva diária (dias) em função do tempo também foi submetida à análise de regressão. Os critérios de seleção do modelo de regressão utilizados foram: a menor complexidade do modelo dentre aqueles que foram significativos a $p < 0,05$ e melhor explicação biológica dos dados. Já a sobrevivência (l_x) ao longo do tempo foi estimada para cada temperatura estudada por meio de estimadores Kaplan-Meier utilizando o procedimento LIFETEST (SAS Institute 2008).

2.2. Efeito da precipitação sobre a densidade de *T. absoluta*

O estudo foi realizado em lavouras de tomate (*Solanum lycopersicon* Mill.) localizadas no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 28' e 21° 20' S; 42° 20' e 43° 13'W; limite altitudinal 750 m), onde o tomateiro é cultivado rotineiramente durante todo o ano. Os dados foram coletados durante um período de dois anos em oito lavouras de tomate. As lavouras foram cultivadas em uma área de 864 m² pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV) utilizando-se o cultivar Santa Clara. A área foi dividida em 4 blocos de 180 m² separados entre si por 4 m. Cada bloco foi constituído por 12 fileiras de 30 plantas espaçadas de 1 x 0,5 m. As condições de preparo de solo, adubação, tutoramento e tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações para a cultura (Fontes & Silva 2002). Em nenhuma das lavouras foi aplicado inseticida ao longo do experimento.

2.2.1. Efeito da precipitação sobre a densidade de adultos e na oviposição

A densidade populacional de *T. absoluta* foi amostrada semanalmente desde a implantação das lavouras até a última colheita. Em cada amostragem, avaliou-se, das 8:00 às 12:00 h, o número de adultos e ovos de *T. absoluta*. A densidade de adultos foi avaliada através de armadilhas plásticas tipo Delta contendo um cartão adesivo e um septo de borracha (vermelho, 15 x 8 mm, ISCA Tecnologias, Ijuí, RS, Brasil) como dispersor do feromônio. As armadilhas foram amarradas nos bambus de tutoramento mantendo o dispersor na altura

do topo das plantas (Michereff Filho et al. 2000). Foram utilizadas uma armadilha no centro e quatro nas arestas da lavoura a 5 m das extremidades. Os adultos foram contados e retirados dos cartões adesivos uma vez por semana. Os septos com feromônio foram substituídos a cada quatro semanas (Michereff Filho et al. 2000) e os cartões a cada duas ou três semanas, dependendo da capacidade adesiva.

A amostragem de ovos foi realizada conforme os sistemas amostrais propostos por Gonring (2004). Foram utilizadas 50 unidades amostrais/lavoura/semana para cada variável avaliada. As amostras foram coletadas de modo a cobrir toda a lavoura, eliminando dessa forma possíveis tendências direcionais da avaliação (Bacci et al. 2006). Assim, as plantas avaliadas localizavam-se equidistantes uma da outra de modo a obter pontos sistematizados de amostragem.

Na amostragem de ovos, o dossel da planta foi dividido em três estratos (apical, mediano e basal). O número de folhas inserido em cada estrato variou em função do número total de folhas presentes em cada data de amostragem. Os três primeiros primórdios foliares foram considerados a primeira folha. Em lavouras antes da frutificação, a amostragem de ovos foi realizada nas duas primeiras folhas do estrato mediano do dossel. Em plantas depois da frutificação, a unidade amostral foi composta pelas duas últimas folhas do estrato apical do dossel (Gonring 2004).

Os dados de densidade de ovos e adultos capturados na armadilha de feromônio foram submetidos à análise de regressão em função da intensidade de chuvas ocorridas nos períodos de avaliação. O modelo de regressão foi selecionado utilizando os critérios de menor complexidade do modelo dentre aqueles que foram significativos a $p < 0,05$ e melhor explicação biológica dos dados.

2.2.2. Efeito da precipitação na sobrevivência total

A sobrevivência de *T. absoluta* foi determinada em oito lavouras durante oito períodos: 20/março a 19/junho, 20/junho a 21/setembro, 22/setembro a 09/dezembro, 21/dezembro a 24/fevereiro, 20/março a 26/maio, 21/junho a 01/setembro, 22/setembro a 27/outubro e 10/fevereiro a 20/março.

Para avaliação da sobrevivência de *T. absoluta* inicialmente estabeleceu-se uma criação no Laboratório de Manejo Integrado de Pragas da UFV. Os estádios imaturos do inseto, provenientes desta criação, foram transferidos para as lavouras, em cada período estudado. O delineamento foi inteiramente casualizado com 10 parcelas. Cada parcela foi constituída de uma planta de tomate na fase reprodutiva.

Para a avaliação da sobrevivência de ovos, 300 adultos acasalados de *T. absoluta* provenientes de criação foram levados para o campo. Esses insetos foram destinados à infestação de 10 parcelas (plantas de tomate na fase reprodutiva), sendo usados 30 adultos/parcela. Os insetos foram mantidos confinados à parcela experimental através de sacolas de organza de 30 x 40 cm. Dez folhas do dossel apical foram limpas e envoltas pelas sacolas contendo os adultos. Após 24 horas os adultos foram mortos e as sacolas retiradas das folhas. Os ovos foram contados com o auxílio de uma lente de aumento de 10 X e mapeados em um desenho esquemático da folha de tomate para facilitar o processo de avaliação. O número médio de ovos por parcela foi de 150, totalizando em média 1.500 ovos por período.

A sobrevivência de lagartas em cada período foi determinada através do somatório da sobrevivência das lagartas de 1º, 2º, 3º e 4º instares. Lagartas de 1º instar foram obtidas a partir da eclosão dos ovos. Os demais estádios larvais (2º, 3º e 4º instares) foram transferidos, com o auxílio de um pincel, para folhas previamente limpas do dossel mediano. Foram utilizadas 750 lagartas (250 lagartas de cada instar) provenientes da criação do laboratório. Para cada instar, os indivíduos foram divididos em 10 parcelas (25 lagartas/parcela). Em cada estágio de desenvolvimento larval, os insetos foram retirados do campo no início da mudança para o instar seguinte. Exceção foi feita às lagartas de 4º instar devido ao seu comportamento de migrar para o solo para a pupação. Estas lagartas foram retiradas do campo ao apresentarem aspecto rosado, um indicativo que precede a mudança para o estágio de pupa (Coelho & França 1987; Haji et al. 1988; Imenes et al. 1990).

Para determinar a sobrevivência de pupas, um total de 300 pupas foi levado para o campo, sendo adicionadas 30 pupas por parcela. As pupas de cada parcela foram acondicionadas em potes plásticos (10 cm de diâmetro e 7 cm de altura) preenchidos com areia e furados na lateral e base para permitir a

drenagem de água. As pupas depositadas no pote foram cobertas com cerca de 3 mm de areia e os potes foram enterrados ao nível do solo próximo à base da planta. Para padronizar o momento da retirada das pupas do campo, foi realizado um teste piloto onde as pupas foram colocadas em potes com areia recobertos com organza para medir o tempo gasto para emergência dos adultos.

A partir do número de unidades de cada estágio imaturo colocado no campo e do número de unidades restantes após o término de cada estágio, calculou-se a sobrevivência de *T. absoluta* através da equação: $q_x = 1 - (d_x / l_x)$, onde q_x representa a sobrevivência, x (os estágios de ovo, larva e pupa), d_x é o número insetos mortos em um dado estágio e l_x é o número de insetos vivos no início de cada estágio ou estágio.

Os dados de sobrevivência total de *T. absoluta* obtidos nos oito períodos de avaliação foram submetidos à análise de regressão em função da intensidade de chuvas ocorridas nos períodos. O modelo de regressão foi selecionado utilizando os critérios de menor complexidade do modelo dentre aqueles que foram significativos a $p < 0,05$ e melhor explicação biológica dos dados.

2.2.3. Dados climáticos coletados

Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura do ar, durante todo o período experimental foram monitorados diariamente através da estação meteorológica principal da UFV localizada em Viçosa, Minas Gerais.

3. RESULTADOS

O tempo de duração dos estágios de ovo, larva e pupa de *T. absoluta* reduziu 3,4; 6,25 e 5 vezes com o aumento da temperatura de 14 para 33 °C. As maiores sobrevivências de ovos (> 95%) e de larvas (60%) ocorreram em temperaturas de 22 a 30 °C. A maior sobrevivência de pupas ocorreu em temperaturas de 22 a 33 °C. Em temperaturas extremas (maiores que 30 °C para ovos e lagartas, maiores que 33 °C para pupas e menores de 22 °C para todos os estádios) a sobrevivência de *T. absoluta* decresceu acentuadamente com a variação da temperatura. Este decréscimo foi mais acentuado para as lagartas e pupas (Figura 1).

A duração do ciclo de vida de *T. absoluta* passou de 75 a 26 dias com a temperatura variando de 17 a 33 °C (Figura 2). Observando as curvas de sobrevivência de *T. absoluta*, em todas as temperaturas, quatro fases podem ser distinguidas: a primeira fase ocorreu durante o estágio de ovo até o início do primeiro ínstar larval, quando houve baixa taxa de mortalidade (<15%). Esta fase durou até o 12º, 8º, 6º, 5º, 5º e 4º dia nas temperaturas de 17, 22, 26, 28, 30 e 33 °C, respectivamente (Figura 1A e 2). A mortalidade ocorrida na primeira fase foi devido à não eclosão dos ovos. A segunda fase correspondeu ao estágio larval, que vai do primeiro até o quarto instar. Nesta fase, a sobrevivência variou em função da temperatura, apresentado menores sobrevivências nas temperaturas de 17 e 33 °C. A segunda fase durou 32, 15, 10, 9, 9 e 8 dias nas temperaturas de 17, 22, 26, 28, 30 e 33 °C, respectivamente (Figura 1B e 2). A terceira fase correspondeu ao estágio de pupa. A mortalidade ocorrida nesta fase foi observada no final do período pupal e ela ocorreu devido a não emergência dos adultos. A duração da terceira fase reduziu de 18 para 4 dias quando a temperatura variou de 17 para 33 °C (Figura 1C e 2). A quarta fase correspondeu ao estágio de adulto e ela ocorreu

a partir do 62º, 32º, 23º, 20º, 20º e 17º dia para as temperaturas de 17, 22, 26, 28, 30 e 33 °C, respectivamente. Nesta fase a mortalidade dos adultos ocorreu de forma gradual até o final do ciclo (Figura 2). Considerando todas as fases da curva de sobrevivência para todas as temperaturas, aquela correspondente à fase larval foi a que apresentou maior taxa de mortalidade, portanto pode ser considerada a fase crítica de *T. absoluta*.

A oviposição das fêmeas de *T. absoluta* iniciou no 63º, 31º, 22º, 21º, 21º e 17º dia e os picos de oviposição ocorreram no 68º, 36º, 30º, 22º, 24º e 20º dia nas temperaturas de 17, 22, 26, 28, 30 e 33 °C, respectivamente (Figura 2).

O tempo (*T*) de geração diminuiu de 144 para 21 dias, enquanto que o número de gerações aumentou de 0 para 17 ciclos por ano nas temperaturas de 14 e 33 °C, respectivamente (Figura 3A e 3B). A taxa de fertilidade em termos de número de ovos ovipositados por fêmea por dia (m_x) foi máxima (7 ovos) a 30 °C (Figura 3C). Portanto, em condições mais quentes, ocorreu aumento do número de gerações (ciclos por ano) e redução do tempo de geração (*T*) de *T. absoluta* atingindo assim esta espécie seu máximo de potencial reprodutivo.

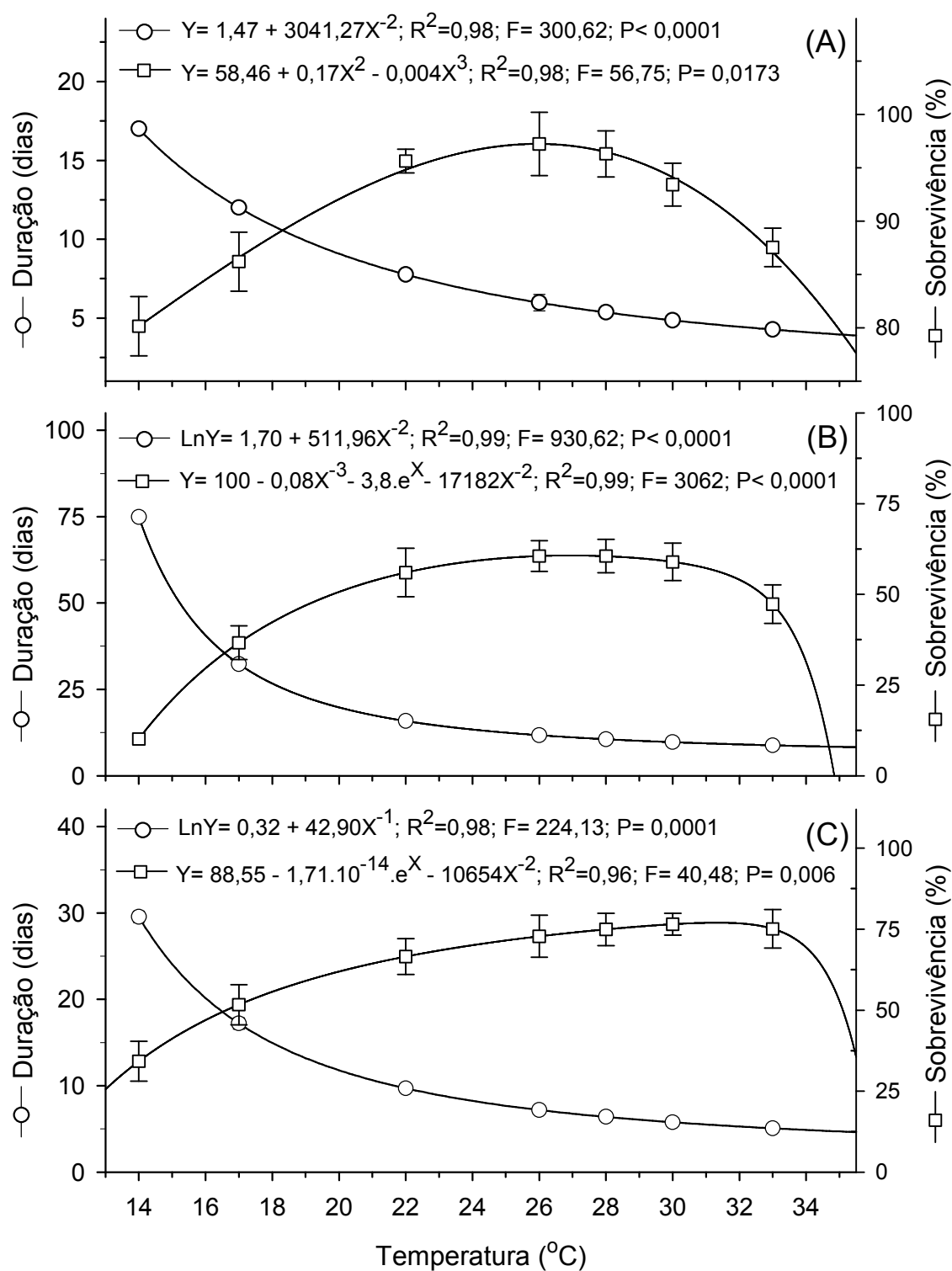


Figura 1. Desenvolvimento e sobrevivência de *T. absoluta* nos estágios de (A) ovos, (B) larvas e (C) pupas em função da temperatura.

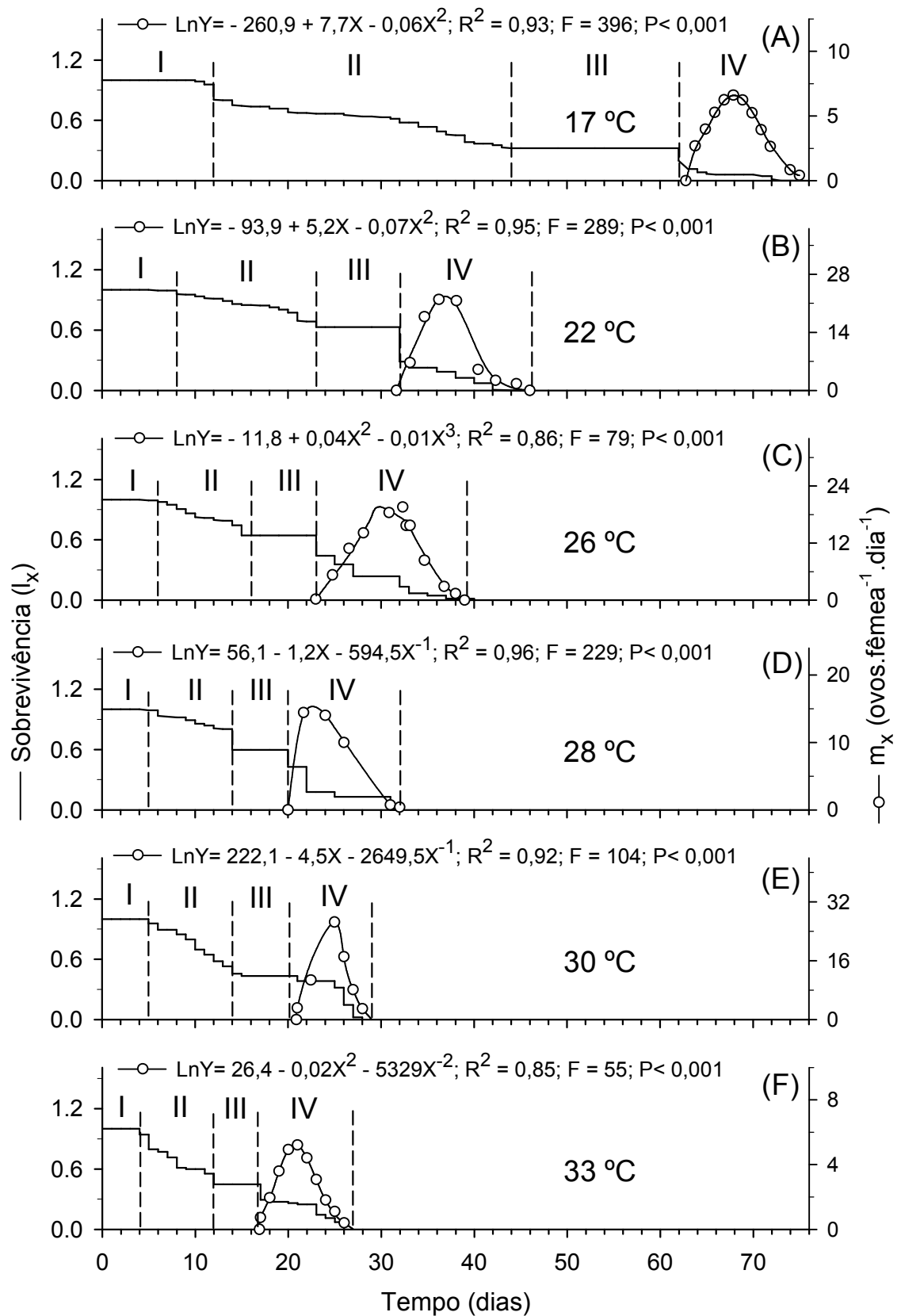


Figura 2. Sobrevivência e taxa reprodutiva de *T. absoluta* ao longo do tempo em seis temperaturas. Estágio de desenvolvimento de ovo (I), Larva (II), Pupa (III) e Adulto (IV).

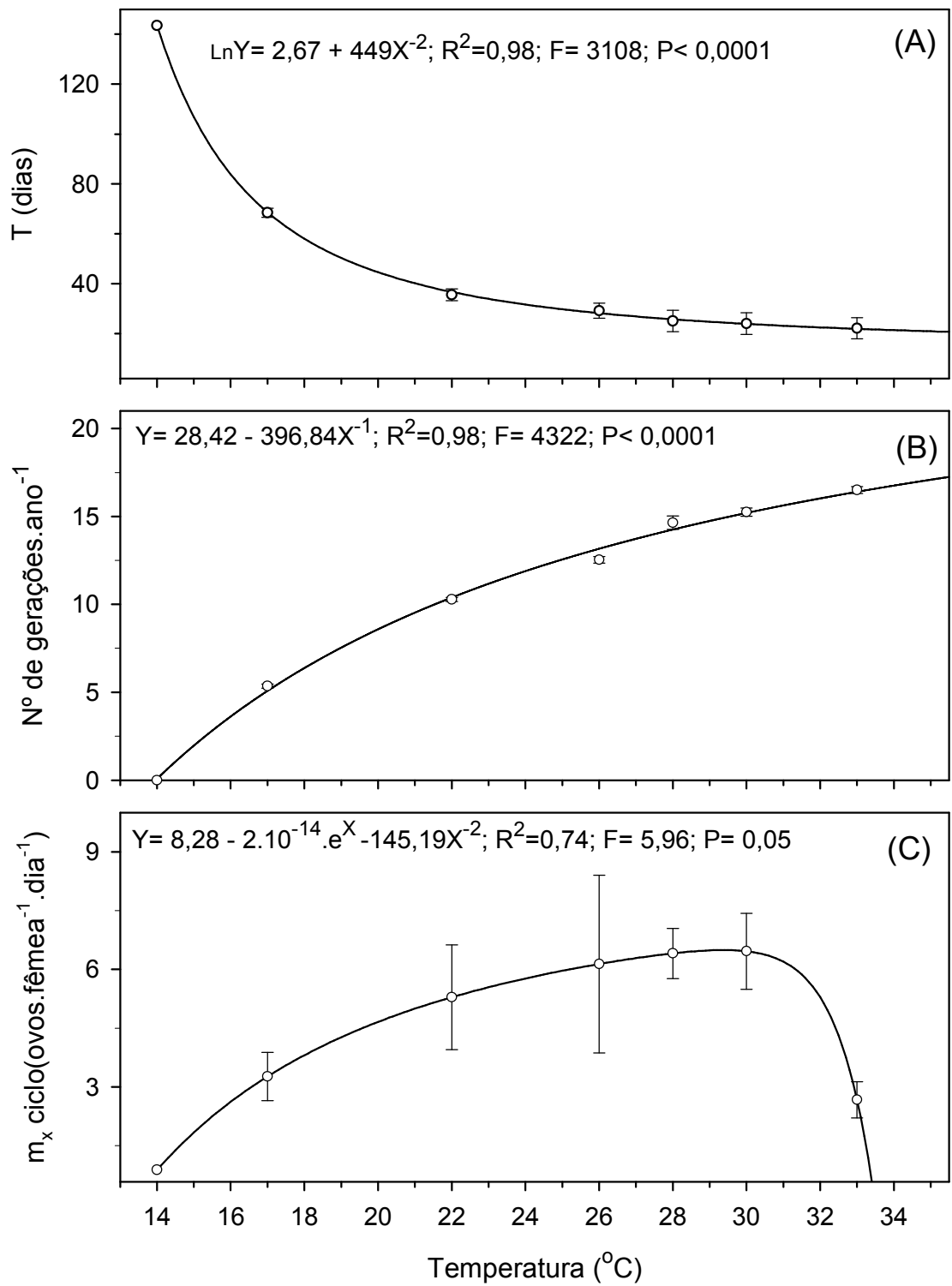


Figura 3. Tempo de geração (A), taxa de desenvolvimento (B) e fertilidade (C) para *Tuta absoluta* em função da temperatura.

A taxa líquida reprodutiva (R_0) de *T. absoluta*, que representa quanto a população aumenta durante uma geração, foi maior na temperatura de 28 °C ($R_0 = 25$) (Figura 4A). Já a taxa intrínseca de crescimento (r_m) e a razão finita de aumento (λ) alcançaram seus valores máximos na temperatura de 30 °C ($r_m = 0,12$ e $\lambda = 1,13$) (Figura 4B e 4C). Estes valores máximos dos parâmetros populacionais alcançados nas temperaturas de 28 °C (para R_0) e 30 °C (r_m e λ) indicam que estas temperaturas são as ótimas para o desenvolvimento de *T. absoluta*. Nas temperaturas de 14 e 34,6 °C, os valores de r_m e λ foram iguais a 0 e 1, respectivamente (Figura 4B e 4C). Estes valores mostram que existe uma faixa de temperaturas para ocorrer o crescimento populacional de *T. absoluta*, tendo como limite inferior a temperatura de 14 °C e limite superior a temperatura de 34,6 °C. Em temperaturas abaixo de 14 °C e acima de 34,6 °C, os valores de $r_m < 0$ e $\lambda < 1$, indicam que nestas condições *T. absoluta* tenderá a reduzir suas populações, tendo uma taxa de nascimento menor que a taxa de mortalidade na sua população.

A precipitação afetou negativamente *T. absoluta*. A densidade de ovos, a sobrevivência e a densidade de machos capturados na armadilha com feromônio diminuíram com o aumento da intensidade de chuvas. Com apenas 4 mm de chuvas por mês, o número de ovos reduziu a zero por amostra. Já para alcançar zero de sobrevivência total de *T. absoluta* foram necessários 15 mm de chuva por mês. Acima de 200 mm de chuva por trimestre nenhum macho de *T. absoluta* foi capturado na armadilha (Figura 5).

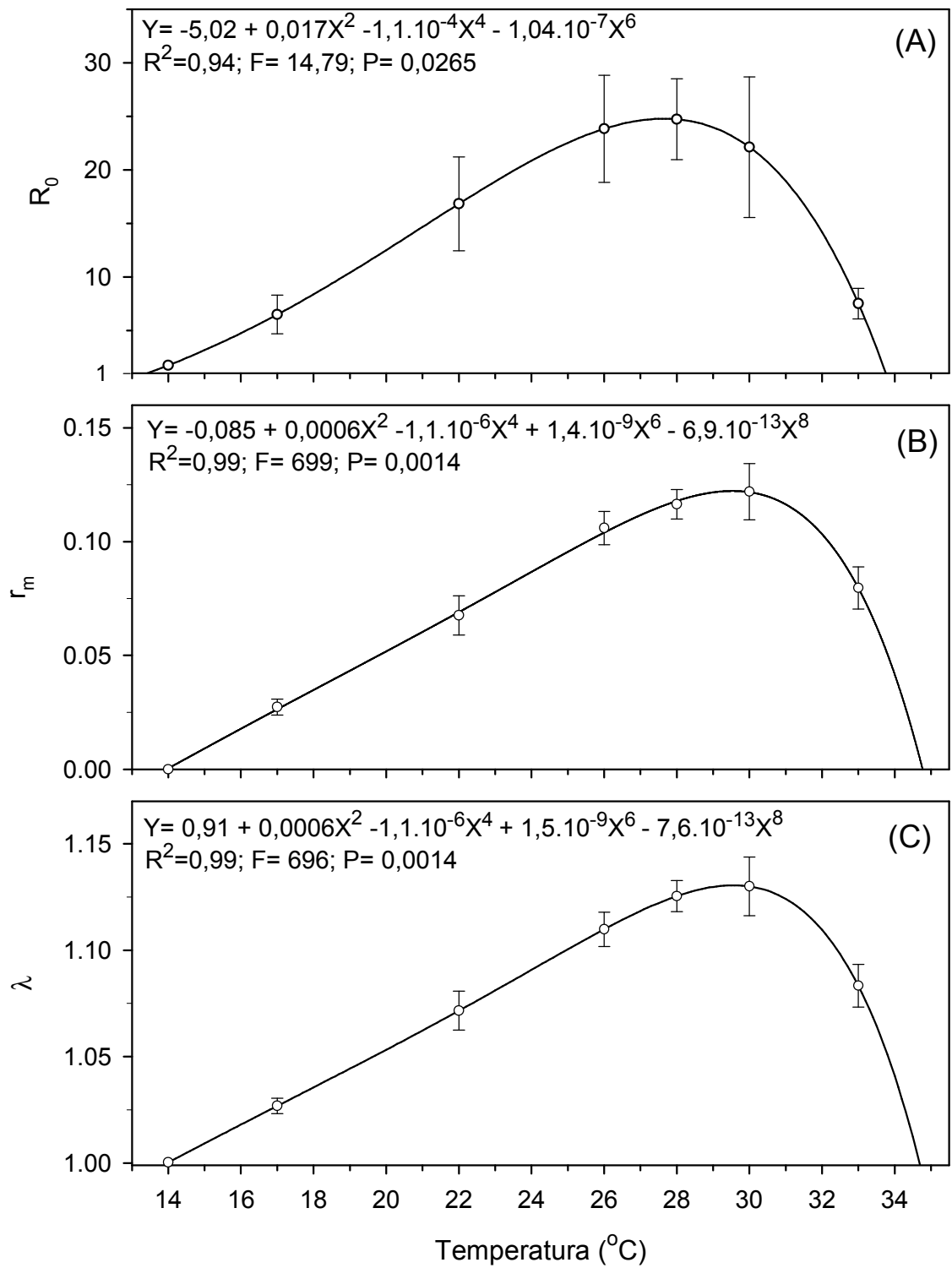


Figura 4. Taxa líquida de reprodutiva (A), taxa intrínseca de crescimento (B) e a razão finita de aumento (C) para *Tuta absoluta* em função da temperatura.

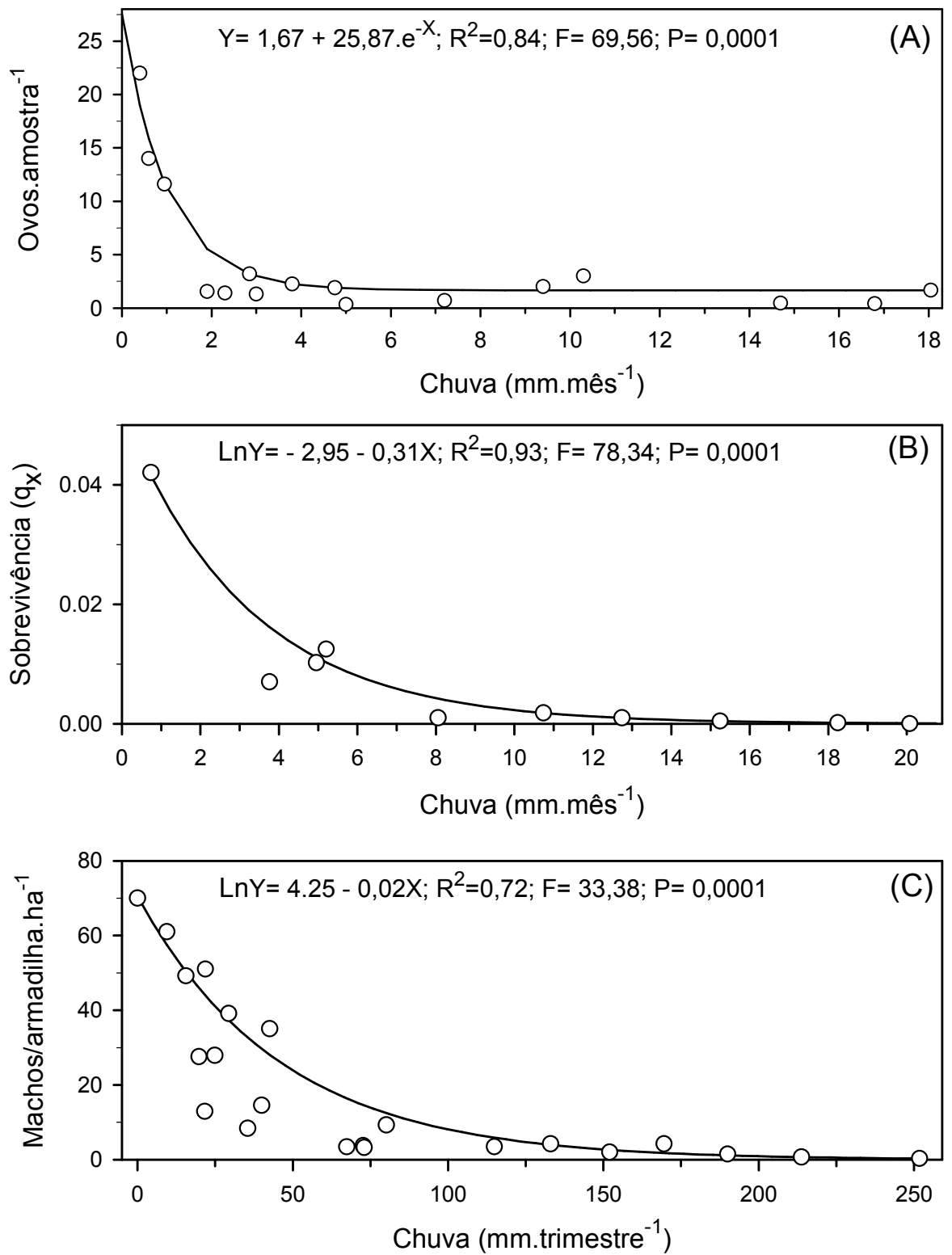


Figura 5. (A) Oviposição, (B) sobrevivência e (C) captura de machos de *Tuta absoluta* em cultivos de tomate em função da intensidade de chuva.

4. DISCUSSÃO

Embora insetos não vivam em um ambiente estável sem a flutuação da temperatura, os resultados de estudos com temperaturas constantes são úteis para entender a dinâmica populacional e podem ser empregados em modelos de previsão de ocorrência de vários insetos-praga (Summers et al. 1984; Roy et al. 2003). Associado ou não à temperatura, a precipitação é outro fator que é utilizado para estudos de dinâmicas populacionais e modelagem de insetos (Yadav & Singh, 2006).

Este trabalho fornece informações sobre os efeitos de uma ampla gama de temperaturas constantes e de diferentes intensidades de precipitação sobre a densidade populacional e a previsão de ataque de *T. absoluta*, as quais não estão disponíveis para esta importante praga de tomateiro. Os resultados encontrados neste trabalho revelaram efeitos óbvios da temperatura e da precipitação sobre o desenvolvimento, a mortalidade, a sobrevivência e a fecundidade de *T. absoluta*.

Os parâmetros demográficos são essenciais para medição da capacidade de crescimento populacional de determinada espécie sobre condições específicas e também em respostas a índices bioclimáticos selecionados (Southwood & Henderson 2000). A temperatura apresentou influência significativa sobre vários parâmetros demográficos de *T. absoluta*. Isso pode ser evidenciado pelos valores variáveis de R_0 , r_m e λ de *T. absoluta* quando expostas a diferentes temperaturas. Estes parâmetros são importantes, porque indicam em qual temperatura o crescimento de uma população é mais favorecido e refletem o efeito global da temperatura sobre o desenvolvimento, reprodução e sobrevivência de uma determinada praga (Southwood & Henderson 2000). Até o presente momento esse tipo de efeito não foi determinado em estudos anteriores, dado que apenas efeitos isolados da temperatura sobre a sobrevivência ou reprodução de *T. absoluta* foram considerados (Betancourt et al. 1996; Barrientos et al. 1998; Vercher et al. 2010).

A taxa intrínseca de crescimento (r_m) e a razão finita de aumento (λ) alcançaram seus valores máximos na temperatura de 30 °C, indicando que esta temperatura é a ótima para a sobrevivência e reprodução de *T. absoluta*. Dessa forma, locais ou épocas, que apresentem tais condições de temperatura, podem fazer com que *T. absoluta* alcance altos níveis populacionais devido a uma rápida proliferação dessa praga, refletida nas altas taxas de sobrevivências e de oviposição. De fato na temperatura de 30 °C, *T. absoluta* apresentou uma das maiores taxas de sobrevivência e a maior taxa de fecundidade (m_x) (Figuras 2E e 3C).

Os valores mais baixos de R_0 associados às temperaturas de 14 e 34 °C são resultado da alta mortalidade dos estágios de vida imaturos e baixa emergência de adultos nestas temperaturas. Menores valores de R_0 foram encontrados para a mariposa *Phyllonorycter corylifoliella* (Hübner) (Lepidoptera: Gracilariidae) uma importante praga de maçã no Irã sob temperaturas de 15 e 33 °C (Amiri et al. 2010).

O menor tempo de duração para os estádios imaturos, ciclo total de desenvolvimento e tempo de geração (T) foi obtido para temperaturas maiores que 33 °C indicando que o desenvolvimento de *T. absoluta* é mais rápido para temperaturas mais altas do que para mais baixas. Tal efeito leva ao aumento do número de gerações por ano como pode ser observado na Figura 3. Quanto menor o tempo de geração, maior é o número de gerações por ano, levando ao incremento na densidade e a um rápido crescimento populacional. Como a taxa intrínseca de crescimento (r_m) é a relação do R_0 com o tempo de geração, se R_0 mantém-se constante ou não se reduz com o aumento da temperatura, maiores valores de r_m são esperados. O tempo médio de geração de *P. corylifoliella* e *Copitarsia decolora* (Lepidoptera: Noctuidae) diminuíram com o aumento da temperatura em que foram criados (Gould et al. 2005; Amiri et al. 2010). O r_m dessas populações aumentou com o aumento das temperaturas até o limite em que os valores de R_0 mantiveram-se constantes ou crescentes.

A chuva influenciou negativamente a densidade de ovos, constatando-se que em maiores intensidades de precipitação houve menor número de ovos

nas plantas. Estas observações são suportadas pelos resultados da análise de regressão realizada entre a densidade de ovos sob diferentes regimes de intensidades de chuvas registrados ao longo de um longo de um considerável período de tempo. Duas hipóteses podem ser levantadas para explicar esses resultados. A primeira corresponde ao impacto direto da chuva sobre os ovos, matando-os ou retirando-os das folhas. Quanto maior a intensidade mais chances desses efeitos ocorrerem. Além disso, como os ovos de *T. absoluta* são depositados, na sua maioria, no estrato apical do dossel da plantas, ficando mais expostos à ação das precipitações pluviométricas, as chances deles serem lavados pela ação da chuva é ainda maior. Haji (1989) também verificou efeito negativo da precipitação pluviométrica sobre ovos de *T. absoluta*. Costa et al. (1998) também verificou a remoção de ovos de *T. absoluta* de folhas de tomateiro sob condições de irrigação por aspersão. A segunda hipótese, de menor densidade de ovos em condições de maior intensidade chuvas, pode ser levantada devido à limitação da oviposição devido ao impacto das chuvas sobre a densidade e capacidade de vôo de adultos diminuindo o encontro dos parceiros para reprodução (Bacca et al. 2006). Este fato é suportado neste trabalho, onde um menor número de machos adultos foi capturado em períodos de maiores intensidades de chuvas. O número de adultos de esfingídeos coletados em armadilhas foi altamente reduzido em períodos de ocorrência de maior intensidade de chuvas (Cruz-Neto et al. 2011).

A redução da sobrevivência de *T. absoluta* com o aumento das chuvas pode ser explicada pelo impacto desse fator sobre todos os estágios do ciclo de vida desse inseto. A precipitação foi um fator chave de mortalidade de *Leucoptera coffeella* durante a estação chuvosa (Pereira et al. 2007). Este fato ocorreu devido à ação desse fator causando maior mortalidade de ovos e larvas de *L. coffeella* em comparação com a mortalidade destes estágios na estação seca.

Muitos modelos têm sido introduzidos para predição da dinâmica populacional de pragas e seus inimigos naturais (Roy et al. 2003; Tang & Cheke 2008), e em todos estes modelos a taxa intrínseca de crescimento (r_m) é

um parâmetro chave. Embora o r_m tenha sido calculado para muitos insetos, a maioria dos modelos não são suficientemente precisos para a previsão de dinâmica populacional mesmo quando incorporam esse parâmetro. Essa situação é decorrente do fato de que em muitos casos, o r_m é calculado para uma temperatura constante em condições de laboratório, enquanto que no campo insetos são confrontados com temperaturas flutuantes obtendo taxas de crescimento populacionais diferentes em várias temperaturas. Neste estudo, a taxa intrínseca de crescimento de *T. absoluta* foi calculada em várias temperaturas constantes. Portanto, através destes resultados podemos fazer previsão mais precisas fazer previsão da dinâmica populacional de *T. absoluta* no campo onde as condições de temperatura são variáveis.

A compreensão das necessidades térmicas de uma determinada espécie como *T. absoluta* é importante para a previsão de seu potencial de distribuição geográfica e temporal em diferentes regiões. Usando os dados obtidos neste estudo é possível gerar linhas isotérmicas para previsão de prováveis regiões de distribuição de *T. absoluta*. Manrique et al. (2008) utilizou dados de tempo letal (LT_{50} e LT_{90}) de pupas de *Episimus utilis* em temperaturas de 0 e 5 °C para desenvolver um modelo de previsão de linhas isotérmicas contendo regiões desfavoráveis para o estabelecimento de *E. utilis*. Modelos que determinam limites de distribuição geográfica, previsão de ocorrência e nicho ecológico também têm sido desenvolvidos utilizando dados de exigências térmicas de insetos (Colacicco-Mayhugh et al. 2010; Sims-Chilton et al. 2010). Além disso, o uso de ambientes que apresentam possibilidade de controle de temperatura é um componente essencial para produção em massa de insetos com fins de liberação em campo, por exemplo, parasitóides utilizados em controle biológico de *T. absoluta*, fazendo com que os resultados gerados sejam úteis para a produção massal destes parasitóides. Da mesma forma, a sobrevivência e a longevidade de adultos sob diferentes regimes de temperatura são importantes para compreensão da biologia e comportamento de diapausa de insetos invasores (Papadopolos et al. 1998). Esses fatores tornam-se mais importante ainda quando estes insetos são introduzidos

acidentalmente em novas áreas e a erradicação é considerada (Vargas et al. 2000).

A precipitação também tem sido utilizada para modelagem de ocorrência de diversos insetos. Nestes modelos, os resultados têm variado de acordo com a sua finalidade. Modelos, que incorporam o efeito da chuva, têm sido desenvolvidos para modelagem de distribuição geográfica, padrões de diversidade, previsão de ocorrência e dinâmica de populações (Bairstow et al. 2010; Srivastava et al. 2010). Em muitas ocasiões, os modelos que incorporam a precipitação têm sido gerados, associando este fator com a temperatura para modelagem da ocorrência de insetos (Yadav & Singh 2006, Estay et al. 2009).

Em conclusão, verificou neste trabalho que a temperatura de 30 °C é a mais adequada para o desenvolvimento, reprodução e crescimento populacional de *T. absoluta*. Estes resultados obtidos com várias temperaturas constantes podem ser úteis para avaliar o desempenho de *T. absoluta* e a eficiência de seus inimigos naturais em campos sob condições ambientais variáveis. Baixas densidades de precipitação são suficientes para afetar negativamente *T. absoluta*. Isto mostra que em regiões tropicais, a chuva pode ter um papel fundamental no controle dessa praga. Estudos futuros de visando à previsão de ocorrência e a determinação de estratégias e táticas de manejo desta praga devem considerar os resultados obtidos neste trabalho.

5. LITERATURA CITADA

- Amiri, A.; Talebi, A. A.; Zamani, A. A.; Kamali, K. Effect of temperature on demographic parameters of the hawthorn red midget moth, *Phyllonorycter corylifoliella*, on apple. **Journal of Insect Science**, v.10, p.1-12. 2010.
- Bacca, T.; Lima, E.R.; Picanço, M.C.; Guedes, R.N.C.; Viana, J.H.M. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.119, p.39-45. 2006.
- Bacci, L.; Picanço, M. C.; Moura, M. F.; Della Lucia, T. M. C; Semeão, A. A. Sampling plan for *Diaphania* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) and for Hymenopteran parasitoids on cucumber. **Journal of Economical Entomology**, v.99, p. 2177-2184. 2006.
- Bairstow, K. A.; Clarke, K. L.; McGeoch, M. A.; Andrew, N. R. Leaf miner and plant galler species richness on Acacia: relative importance of plant traits and climate. **Oecologia**, v.163, p.437-448. 2010.
- Bale, J. S.; Masters, G. J.; Hodkinson, I. D.; Awmack, C.; Bezemer, T. M.; Brown, V. K.; Butterfield, J.; Buse, A.; Coulson, J. C.; Farrar, J.; Good, J. E. G.; Harrington, R.; Hartley, S.; Jones, T. H.; Lindroth, R. L.; Press, M. C.; Symrnioudis, I.; Watt, A. D.; Whittaker, J. B. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v.8, p.1-16. 2002.
- Barrientos, Z. R.; Apablaza, H. J.; Norero, S. A.; Estay, P. P. Temperatura base y constante térmica de desarrollo de la polilla del tomate, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). **Ciencia e Investigación Agraria**, v.25, p.133-137. 1998.
- Betancourt, C. M.; Scatoni, I. B.; Rodríguez, J. J. Influencia de la temperatura sobre la reproducción y el desarrollo de *Scrobipalpaloides absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Biologia**, v.56, p.661-670. 1996.
- Cannon, R. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. **Global Change Biology**. V.4, p.785-796. 1998.

- Castelo Branco, M. Flutuação populacional da traça-do-tomateiro no Distrito Federal. **Horticultura Brasileira**, v.10, p.33. 1992.
- Coelho, M. C. F.; França, F. H. Biologia, quetotaxia da larva e descrição da traçado-tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.129-135. 1987.
- Colacicco-Mayhugh, M. G.; Masuoka, P. M.; Grieco, J. P. Ecological niche model of *Phlebotomus alexandri* and *P. papatasi* (Diptera: Psychodidae) in the Middle East. **International Journal of Health Geographics**, v.9, p.1-10. 2010.
- Costa, J. S.; Junqueira, A. M. R.; Silva, W. L. C.; França, F. H. Impacto da irrigação via pivô-central na dinâmica populacional da traça-do-tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v.16, p.19-23. 1998.
- Cruz-Neto, O.; Machado, I. C.; Duarte Jr., J. A.; Lopes, A. V. Synchronous phenology of hawkmoths (Sphingidae) and Inga species (Fabaceae-Mimosoideae): implications for the restoration of the Atlantic forest of northeastern Brazil. **Biodiversity Conservation**, v.20, p.751-765. 2011.
- Desneux, N.; Wajnberg, E.; Wyckhuys, K. A. G.; Burgio, G.; Arpaia, S.; Narváez-Vasquez, C. A.; González-Cabrera, J.; Catalán Ruescas, D.; Tabone, E.; Frandon, J.; Pizzol, J.; Poncet, C.; Cabello, T.; Urbaneja, A. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, history of invasion and prospects for biological control. **Journal of Pest Science**, v.83, p.197-215. 2010.
- Estay, S. A.; Lima, M.; Labra, F. A. Predicting insect pest status under climate change scenarios: combining experimental data and population dynamics modeling. **Journal of Applied Entomology**, v.133, p.491-499. 2009.
- Fontes, P. C. R.; Silva, D. J. H. **Produção de tomate de mesa**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002, 196p.
- Germain, J. F.; Lacordaire, A. I.; Cocquempot, C.; Ramel, J. M.; Oudard, E. Un nouveau ravageur de la tomate en France: *Tuta absoluta*. **PHM-Revue Horticole**, v.512, p.37-41. 2009.
- Gonring, A. H. R. **Sistemas de tomada de decisão para o manejo integrado de *Tuta absoluta* (Meyrick) na cultura do tomate**. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal de Viçosa, 2004. 160p.

- Gould, J.; Venette, R.; Winograd, D. Effect of temperature on development and population parameters of *Copitarsia decolora* (Lepidoptera: Noctuidae) **Environmental Entomology**, v.34, p.548-556. 2005.
- Goulson, D.; Derwent, L. C.; Hanley, M. E.; Dunn, D. W.; Abolins, S. R.; Predicting calyptrate fly populations from the weather, and probable consequences of climate change. **Journal of Applied Ecology**, v.42, p.795-804. 2005.
- Haji, F. N. P. Controle da traça-do-tomateiro. Comunicado Técnico. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1989, 2p.
- Haji, F. N. P.; Oliveira, C. A. V.; Amorin Neto, M. S.; Batista, J. G. S. Flutuação populacional da traça-do-tomateiro no Submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.7-14. 1988.
- Harrington, R., Fleming, R.; Woiwood, I. P. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? **Agricultural and Forest Entomology**, v.3, p.233-240. 2001.
- Hoffman, A. A.; Sørensen, J. G.; Loeschcke, V. Adaptation of *Drosophila* to temperature extremes: bringing together quantitative and molecular approaches. **Journal of Thermal Biology**, v.28, p.175-216. 2003.
- Hopkins, G. W.; Memmott, J. Seasonality of a tropical leaf-mining moth: leaf availability versus enemy-free space. **Ecological Entomology**, v.28, p.687-693. 2003.
- Imenes, S. D. L.; Fernandes, M. A. U.; Campos, T. B.; Takematsu, A. P. Aspectos biológicos e comportamentais da traça do tomateiro *Scrobipalpula absoluta* (Meyrick, 1917), (Lepidoptera-Gelechiidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v.57, p.63-68. 1990.
- Infante, F. Development and population growth rates of *Prorops nasuta* (Hym., Bethyridae) at constant temperatures. **Journal of Applied Entomology**, v.124, p.343-348. 2000.
- James, S. S.; Pereira, R. M.; Vail, K. M.; Ownley, B. H. Survival of imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) species subjected to freezing and near-freezing temperatures. **Environmental Entomology**, v.31, p.27-133. 2002.

- Kang, L.; Chen, B.; Wei, J. N.; Liu, T. X. Roles of thermal adaptation and chemical ecology in *Liriomyza* distribution and control. **Annual Review of Entomology**, v.54, p.127-145. 2009.
- Krebs, C. J. **Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance**. Harper Collins, New York, 1994. 801p.
- Lam, W. K. F.; Pedigo, L. P.; Hinz, P. N. Population dynamics of bean leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) in Central Iowa. **Environmental Entomology**, v.30, p.562-567. 2001.
- Manrique, V.; Cuda, J. P.; Overholt, W. A.; Diaz, R. Temperature-dependent development and potential distribution of *Episimus utilis* (Lepidoptera: Tortricidae), a candidate biological control agent of Brazilian peppertree (Sapindales: Anacardiaceae) in Florida. **Environmental Entomology**, v.37, p.862-870. 2008.
- Michereff Filho, M.; Vilela, E. F.; Attygalle, A. B.; Meinwald, J.; Svatos, A.; Jham, G. N. Field trapping of tomato moth, *Tuta absoluta* with pheromone traps. **Journal of Chemical Ecology**, v.4, p.875-881. 2000.
- Moran, V. C.; Hoffman, J. H.; Basson, N. C. J. The effects of simulated rainfall on cochineal insects (Homoptera: Dactylopidiidae): colony composition and survival on cactus cladodes. **Ecological Entomology**, v.12, p.51-60. 1987.
- Papadopolos, N. T.; Katsoyannos, B. I.; Carey, J. R. Temporal changes in the composition of the overwintering larval population of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in northern Greece. **Annals of the Entomological Society of the América**, v.91, p.430-434. 1998.
- Pereira, E. J. G.; Picanço, M. C.; Bacci, L.; Crespo, A. L. B.; Guedes, R. N. C. Seasonal mortality factors of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*. **Bulletin of Entomological Research**, v.97, p.421-432. 2011.
- Picanço, M. C.; Bacci, L.; Crespo, A. L. B.; Miranda, M. M. M.; Martins, J. C. Effect of integrated pest management practices on tomato *Lycopersicon esculentum* production and preservation of natural enemies of pests. **Agricultural Forest Entomology**, v.9, p.201-212. 2007.
- Picanço, M. C.; Silva, D. J. H.; Leite, G. L. D.; Mata, A. C.; Jham, G. N. Intensidade de ataque de *Scrobipalpula absoluta* (Meyrick, 1917)

- (Lepidoptera: Gelechiidae) ao dossel de três espécies de tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.429-433. 1995.
- Price, P.W. **Insect Ecology**, New York: John Wiley & Sons, 1997. 888p.
- Rabinovich, J. E. **Ecología de Poblaciones Animales**. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, 1978. 114p.
- Roy, M.; Brodeur, J.; Cloutier, C. Effect of temperature on intrinsic rates of natural increase (r_m) of a coccinellid and its spider mite prey. **BioControl**, v. 48, p.57-72, 2003.
- SAS Institute. 2008. The SAS system for Windows, version 9.2. SAS Institute, Cary, NC.
- Silva, G. A.; Picanço, M. C.; Bacci, L.; Crespo, A. L. B.; Rosado, J. F.; Guedes, R. N. C. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. **Pest Management Science**, v.67, p.913-920. 2011.
- Sims-Chilton, N. M.; Zalucki, M. P.; Buckley, Y. M. Long term climate effects are confounded with the biological control programme against the invasive weed *Baccharis halimifolia* in Australia. **Biological Invasions**, v.12, p.3145-3155. 2010.
- Southwood, T. R. E.; Henderson, P. A. 2000. **Ecological methods**. Blackwell Science. 575p.
- Srivastava, A.; Naresh Kumar, S.; Aggarwal, P. K. Assessment on vulnerability of sorghum to climate change in India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.138, p.160-169. 2010.
- Summers, C. G.; Coviello, R. L.; Gutierrez, A. P. Influence of constant temperatures on the development and reproduction of *Acyrtosiphon kondoi* (Homoptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, v.13, p.236-242. 1984.
- Systat Software Inc. 2002. TableCurve 2D, version 5.01. Systat Software Inc., San Jose, CA.
- Tang, S.; Cheke, R. A. Models for integrated pest control and their biological implications. **Mathematical Biosciences**, v.215, p.115-125. 2008.
- Taylor, F. Ecology and evolution of physiological time in insects. **American Naturalist**, v.117, p.1-23. 1981.

- Vargas, R. I.; Walsh, W. A.; Kanehisa, D. T.; Jang, E. B.; Armstrong, J. W. Demography of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, v.90, p.162-168. 1997.
- Vercher, R.; Calabuig, A.; Felipe, C. Ecología, muestreos y umbrales de *Tuta absoluta* (Meyrick). **Phytoma España**, v.217, p.23-26. 2010.
- Wallner, W. E. Factors affecting insect population dynamics: differences between outbreak and non-Outbreak species. **Annual Review of Entomology**, v.32, p.317-40. 1987.
- Weisser, W. W.; Volkl, W.; Hassell, M. P. The importance of adverse weather conditions for behaviour and population ecology of an aphid parasitoid. **Journal of Animal Ecology**, v.66, p.386-400. 1997.
- Yadav, D. K.; Singh, S. K. Forecast model of major insect pests of mung bean. **Annals of Plant Protection Sciences**, v.14, p.323-328. 2006.
- Zheng, F. S.; Du, Y. Z.; Wang, Z. J.; Xu, J. J. Effect of temperature on the demography of *Galerucella birmanica* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Insect Science**, v.15, p.375-380. 2008.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Tuta absoluta* EM CULTIVOS DE TOMATE

RESUMO: A distribuição espacial dos insetos é decorrente da interação entre os indivíduos com o ambiente. O conhecimento do padrão da distribuição espacial de uma praga possibilita o planejamento de táticas de controle, geração de planos de amostragens eficientes e pode auxiliar na previsão de seus danos. *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) constitui a praga mais importante do tomateiro em muitas regiões do planeta. Apesar da importância desta praga até o momento não se conhece o padrão de distribuição espacial de *T. absoluta* nas lavouras. Assim, o presente trabalho teve por objetivo determinar a distribuição espacial e gerar plano de amostragem para *T. absoluta*. Foram avaliadas as densidades de ovos de *T. absoluta* em 22 lavouras comerciais de tomate nos estágios: vegetativo, início e final do reprodutivo. Dos 66 modelos de semivariogramas testados 19 foram selecionados. Entre os modelos selecionados 18 foram anisotrópicos. A densidade de ovos se concentrou nas bordas dos cultivos. Foi verificado que *T. absoluta* realiza maior dispersão dos ovos ao longo das fileiras do que entre estas. Os dados das densidades de ovos de 20 das 22 lavouras se ajustaram ao modelo de distribuição de frequência binomial negativa. Foi observada a existência de um parâmetro de agregação comum para o número de ovos de *T. absoluta* entre as lavouras. Foram 44, 37 e 44 número de amostras necessárias para avaliação dos ovos de *T. absoluta* em cultivos de tomate nos estádios vegetativos, início e final do estágio reprodutivo, respectivamente.

SPATIAL DISTRIBUTION OF *T. absoluta* IN TOMATO CROPS

ABSTRACT: Spatial distribution of insects is due the interaction between the individuals and the environment. The knowledge about the pattern of spatial distribution of a pest enables to planning control tactics, development of efficient sampling plans, and can help to predict their damage. *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) is the major pest in tomato crops in several regions of the world. Although the importance of this pest, the pattern of spatial distribution of *T. absoluta* remains unknown. Therefore, the purpose of this research was determinate the spatial distribution and generation of sampling plans for *T. absoluta*. Eggs density of *T. absoluta* was evaluated in 22 commercial tomato crops in stages: vegetative, beginning and end of reproductive stage. Among the 66 models of semivariograms tested, 19 were selected. Among the selected models, 18 were anisotropic. The eggs density was concentrated at the edges of the crops. It was found out that *T. absoluta* accomplishes the eggs dispersal more along the rows than between them. The data of eggs distribution of 20 from 22 crops were adjusted to the model of negative binomial frequency distribution. The existence of commom aggregation parameters for the number eggs of *T. absoluta* was observed between the crops. The number of samples necessary for the evaluation of eggs of *T. absoluta* in tomato crops was 44, 37, 44 in the vegetative, beginning and end of reproductive phenological stages, respectively.

1. INTRODUÇÃO

A traça do tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) é nativa da América do Sul, originando-se na região abrangida pelo Equador, cordilheira do Andes, norte do Chile e litoral do Oceano Pacífico (Souza & Reis 1986; Cifuentes et al. 2010). Esta espécie multivoltina é uma das pragas mais devastadoras de tomate na América do Sul (Picanço et al. 2007; Silva et al. 2011). Recentemente, a atenção sobre esta praga aumentou devido sua introdução na Espanha em 2006, e subsequente alastramento pela Europa e região mediterrânea da África, onde tem causado grandes perdas de produção aos cultivos de tomateiro (Ostrauskas & Ivinskis 2010; Desneux et al. 2010).

A infestação de *T. absoluta* no tomateiro ocorre pela postura das fêmeas preferencialmente sobre as folhas e suas lagartas, após a emergência, reduzem a produtividade por consumir o mesófilo foliar e danificar o caule, as flores e os frutos (Picanço et al. 2007). A consequência desse ataque tem sido o uso intensivo de inseticidas, chegando a se realizar até a 36 aplicações por ciclo de cultivo, na expectativa de se minimizar os prejuízos causados pela traça do tomateiro no campo (Picanço et al. 2007; Silva et al. 2011). Portanto, a adoção do Manejo Integrado de Pragas (MIP) é necessário para o controle mais efetivo desta importante praga do tomateiro.

O emprego do Manejo Integrado de Pragas visa reduzir os prejuízos causados pelas pragas, minimizar o número de aplicações de inseticidas e, conseqüentemente o custo de controle (Leake 2000; Picanço et al. 2007). Tais objetivos podem ser alcançados pela utilização de guias de decisões de controle que determinam quando ações curativas são necessárias. Para isso, um bom sistema de tomada de decisão é necessário (Binns & Nyrop 1991).

Os planos de amostragem para tomada de decisão em MIP são baseados na informação sobre a variabilidade da densidade e no padrão de distribuição espacial da população da praga nos cultivos (Pedigo & Buntin 1994; Castle & Naranjo 2009). O conhecimento do padrão de distribuição espacial permite realizar um planejamento amostral e um controle de pragas mais eficientes por direcionar tais atividades para os locais onde elas se

encontram (Barrigossi et al. 2001; Esfandiari & Mossadegh 2007). A informação espacial também é necessária para estudos de movimentação de insetos entre e dentro de cultivos (Ferguson et al. 2000). Além disso, o conhecimento dos padrões de distribuição espaciais de uma praga pode ser útil para previsão de danos, uma vez que a relação entre a densidade de pragas e a perda de produção em um cultivo é influenciada pelo grau de heterogeneidade espacial na distribuição da praga (Hughes & McKinlay 1988).

A modelagem dos padrões de distribuição espaciais dos insetos tem sido muitas vezes estudada erroneamente usando-se modelos matemáticos de distribuição de frequência. Nestes modelos têm-se atribuído que ajustes aos modelos binomial negativo, Poisson e binomial positivo indicariam padrões de distribuição espacial do inseto agregado, aleatório ou uniforme, respectivamente (Young & Young 2002). Esses modelos de distribuição de frequência se baseiam na relação média/ variância e não consideram o fator espaço. Embora esta relação possa ser afetada pela distribuição espacial, ela não representa a distribuição do organismo no espaço (Binns et al. 2000). Uma opção para se determinar o padrão de distribuição espacial do organismo é a adoção de modelos de geoestatística (Wright et al. 2002).

A geoestatística verifica se o valor observado de uma variável para um determinado local é dependente de valores de variáveis de locais vizinhos. Caso exista dependência, a variável exibe autocorrelação espacial. Para a modelagem da dependência espacial em estudos entomológicos com geoestatística é utilizada a função de semivariância, onde os semivariogramas mostram-se adequados para medir o padrão de distribuição espacial de insetos (Barrigossi et al. 2001; Bacca et al. 2006).

Existem diferentes técnicas de amostragem de insetos. Dentre as quais, a amostragem de ovos tem sido citada como uma boa opção para tomada de decisão de controle de lepidópteros-praga (Andrew & Stewart 1995; Ekbom & Päts 1996). Para *T. absoluta*, a amostragem de ovos pode ser vantajosa por monitorar os primeiros indícios de infestação da praga na planta antes que ela venha a danificar as plantas, prever o ataque de lagartas recém-emergidas e, conseqüentemente, o controle dessas em uma fase de maior vulnerabilidade

(Gomide et al. 2001). As lagartas de *T. absoluta*, após a emergência passam a se alimentarem do mesófilo foliar após eclosão, ficando assim protegidas da ação de controle no interior da mina construída. De acordo com Guedes et al. (1994), o controle químico de *T. absoluta* pode ser mais eficiente quando realizado antes da sua instalação na cultura, o que reforça o uso da amostragem na fase de ovos. Além disso, ovos dessa espécie podem ser considerados uma boa característica amostral, uma vez que apresentam uma forte correlação com a infestação de lagartas e com as suas injúrias à planta (Gomide et al. 2001).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo determinar a distribuição espacial e gerar um plano de amostragem que possibilite um controle mais eficiente de *T. absoluta*, já que existem poucas informações sobre os padrões de distribuição espacial e o processo de tomada de decisão de controle tendo por base a amostragem de ovos dessa praga em tomateiro.

2. MATERIAL E METÓDOS

2.1. Características gerais

Este trabalho foi realizado em 22 lavouras comerciais de tomate cultivadas com o híbrido “Débora Plus”, localizadas no Município de Coimbra (20°51'24" S e 42°48'10" W, altitude de 720m), Minas Gerais, Brasil. A área de estudo é caracterizada por vegetação típica do Bioma Mata Atlântica, clima diversificado e relevo de mares de morro (ondulado com vales estreitos entre montanhas). Vinte lavouras foram cultivadas em áreas de vales e duas nos altos dos morros. Do total de lavouras avaliadas, sete apresentavam-se no estágio vegetativo (até a idade de 31 dias após o transplântio e sem flores e frutos), seis no início da reprodução (idade entre 31 e 55 dias do transplântio e com até dois cachos de frutos) e nove no final da reprodução (idade entre 56 e 84 dias do transplântio e com mais de dois cachos de frutos). A densidade de plantio utilizada em todas as lavouras foi de 20.000 plantas/ha, sendo cultivadas no espaçamento de 0,5 x 1 m. As áreas das lavouras variaram de 1.430 a 14.257 m² e as declividades de 0,1 a 15%. Em todas as lavouras foram adotadas práticas normais de cultivos de tomate para fins de consumo *in natura* (Filgueira 2000). Duas vezes por semana foram aplicados inseticidas recomendados para a cultura (AGROFIT 2011).

2.2. Coletas dos dados

A densidade de *T. absoluta* foi monitorada através da contagem de ovos nas duas primeiras folhas do estrato mediano (4ª e 5ª folha totalmente expandida a partir do ápice) das plantas em estágio vegetativo e nas duas últimas folhas do estrato apical (5ª e 6ª folha a partir do ápice) das plantas em estágio reprodutivo (Gomide et al. 2001). Foram avaliadas plantas localizadas equidistantes umas das outras, ao longo e entre as linhas de plantio de modo a obter pontos de amostragens sistematizados para garantir a cobertura total da lavoura e eliminar tendências direcionais (Midgarden et al. 1993). Em média foram coletadas 450 amostras por lavoura, sendo cada ponto amostral

previamente georreferenciado usando um sistema de posicionamento global (GPS 12XL, Garmin, Othale, Kansas, USA).

2.3. Análise espacial

A distribuição espacial e a distância máxima de dependência espacial entre as densidades de ovos foram determinadas por meio de métodos geoestatísticos. Como os dados apresentaram valores variando de zero a 500 ovos por unidade amostral, estes foram aproximados para uma distribuição normal utilizando transformação logarítmica $\text{Log}(n + 1)$ antes da realização da análise. Posteriormente os dados foram submetidos ao ajuste de modelos de semivariogramas (Gaussiano, esférico e exponencial) usando doze distâncias iguais de 8 metros ($\approx$ distância de 1/10 da metade da maior distância entre pares de pontos). Os semivariogramas plotam as semivariâncias das amostras (estimada como metade da diferença média quadrada entre pares de amostras para distâncias de separação) que são calculadas pela fórmula:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(ij)|h_{ij} \approx h} (c_i - c_j)^2$$

Onde $N(h)$ é o número de pares de pontos amostrados separados a uma distância h , c_i é o número de ovos no primeiro ponto do par e c_j é o número de ovos no segundo ponto do par para todas as combinações de pontos tomados dois a dois (Liebhold et al. 1993).

As variâncias relativas ao número de ovos para cada distância foram plotadas para seus respectivos valores de distância (h). Se a dependência espacial estiver presente, o valor da semivariância aumenta com o aumento de h . Caso a semivariância se torne constante após alguma distância, há um indício de independência espacial entre as amostras. O valor a partir da qual a semivariância é constante é referido como patamar (C), a distância para qual independência espacial é alcançada é o alcance (A_0) e o efeito pepita (C_0) o valor de semivariância quando h é igual a zero (Liebhold et al. 1993).

Posteriormente, com os parâmetros do semivariograma calculados (C , C_0 e A_0) foi verificada a existência de desigualdade significativa entre as diferentes direções identificando os eixos de anisotropia ou isotropia da distribuição de dados amostrais (Bacca et al. 2006). Quando o semivariograma

é idêntico em qualquer direção de h ele é chamado de isotrópico e quando o semivariograma apresenta os parâmetros C , C_0 , A_0 e/ou modelo diferenciado dependendo da direção de h , ele é chamado anisotrópico. Caso ocorra isotropia, um único semivariograma é ajustado. Por outro lado, em caso de anisotropia Vieira (1995) orienta que se ajuste um semivariograma para cada direção. Portanto, neste trabalho foram ajustados modelos para as direções do maior e menor eixo de anisotropia em relação à direção das fileiras de plantas de tomate.

A qualidade do ajuste e a seleção do melhor modelo de semivariograma foi realizada através da validação cruzada, usando-se todos os pontos de amostragem. O emprego da validação cruzada permite obter os parâmetros β_0 (intercepto) e β_1 (inclinação) do modelo de regressão linear ajustado entre os valores do número de ovos observados e os estimados pelo modelo de semivariograma. Quanto mais próximas de 1 e de 0 forem as estimativas obtidas das curvas de regressão para os parâmetros β_1 e β_0 , respectivamente, melhor será o modelo de dependência espacial (Isaaks & Srivastava 1989). Também foram utilizados a raiz quadrada do erro médio (RQEM), o erro médio (EM) e o coeficiente de determinação da regressão (R^2) para validação dos modelos. Um valor de RQEM próximo de 1 demonstra que o modelo é válido ou apropriado em descrever as variáveis e valor de EM próximo de zero mostra que os dados são não viesados (Murphy & Sternitzke 1979), enquanto que valores de R^2 determinam quão variável é a relação entre os valores observados e os estimados pelos modelos (Nansen et al. 2003; Ryan et al. 2004).

Determinou-se para cada lavoura e modelo o grau de dependência espacial (GDE) do número de ovos pelo cálculo da razão entre o efeito pepita e o patamar $C_0/(C_0+C_1)$ (Cambardella et al. 1994). Esta relação representa a porcentagem de variabilidade atribuível à dependência espacial ou grau de agregação dos dados, onde valores de GDE menor ou igual a 0,25 indicam uma forte dependência espacial, valores entre 0,25 e 0,75 dependência espacial moderada e acima de 0,75 uma fraca dependência espacial (Cambardella et al. 1994; Sciarretta & Trematerra 2005).

Após determinar a dependência espacial entre amostras, utilizou-se a metodologia da Krigagem para construção dos mapas de densidades populacionais de ovos das nove das lavouras avaliadas (Farias et al. 2003). Estas nove lavouras foram selecionadas por apresentarem diferentes padrões de densidades populacionais em relação ao nível de dano econômico (NDE) determinado para *T. absoluta* (NDE = 3 ovos/duas folhas, dados não publicados). Portanto, foram construídos três mapas para baixa densidade (densidades < NDE), média densidade ($\approx$ NDE) e alta densidade (> NDE) nos estágios vegetativo, início do reprodutivo e final do reprodutivo do tomateiro. Todas as análises espaciais foram realizadas usando o software ArcGis 9.2 PROC ARCMAP GEOSTATISTICAL ANALYST (ESRI 2006).

2.4. Determinação do plano de amostragem

A partir do número de ovos de *T. absoluta* em cada lavoura foram calculadas a média ($\bar{X}$), a variância (S^2) e o índice de agregação ($\hat{K}$). Estas estimativas são indicativos do padrão da dispersão de dados e da melhor distribuição de freqüência em que os dados podem se ajustar (Taylor 1961; Maruyama et al. 2006).

Posteriormente, determinou-se a distribuição teórica de freqüência dos dados e conseqüentemente o modelo de distribuição mais adequado para estimar o número de amostras requeridas no plano de amostragem de ovos de *T. absoluta*. As freqüências esperadas para distribuição binomial negativa, binomial positiva e Poisson foram calculadas pelas equações estabelecidas por Binns et al. (2000). O modelo mais adequado foi verificado pela comparação entre as freqüências esperadas e observadas empregando-se o teste de qui-quadrado ao nível de 5% de probabilidade (Pedigo & Zeiss 1996). A existência de um valor de K_{comum} (K_c) foi verificado para as lavouras cujos dados se ajustaram ao modelo de distribuição binomial negativa objetivando obter um parâmetro de dispersão que descreva a variabilidade observada entre as lavouras em cada estágio fenológico (Bliss & Owens 1958). Inicialmente foram calculados valores de K_{parciais} (K_p) e sua independência da média foi testada

pela análise de regressão com eventual estimativa de Kc (Young & Young 2002).

Para lavouras cujos dados se ajustaram ao modelo binomial negativo, os valores de K foram submetidos à análise de regressão em função dos níveis de precisão ou erro admitido de 5, 10, 15, 20 e 25% a $p < 0,05$ para calcular o número de amostras requeridas no plano de amostragem para estimar a densidade de ovos de *T. absoluta*. O número de amostras foi calculado utilizando a equação de Young & Young (2002), descrita abaixo:

$$NA = \frac{1}{C^2} \left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{K} \right),$$

Onde NA = número de amostras, C = erro admitido, μ = média da população e K = parâmetro da distribuição binomial negativa. Para as lavouras em que os dados não se ajustaram a nenhuma distribuição de frequência, o número de amostras foi calculado usando-se a equação de Pedigo & Rice (2006) abaixo:

$$NA = \left(\frac{t + S}{D \times \bar{X}} \right)^2$$

Onde: NA = número de amostras, D = erro admitido, $\bar{X}$ = média da população, S = desvio padrão e t = teste t de Student a 5% de probabilidade (n-1 graus de liberdade).

O intervalo de variação dos erros de 5 a 25% foi estabelecido por ser este o intervalo utilizado na determinação de planos de amostragem de insetos (Southwood & Henderson 2000; Soto et al. 2002). O nível de precisão foi selecionado a partir do número de amostras que apresentou baixa variação dos resíduos, ou seja, cujos valores estavam próximo da linha do zero de dispersão dos resíduos (Draper & Smith 1981). Este nível de precisão foi então utilizado para determinar o número de amostras ideal para compor o plano de amostragem de ovos de *T. absoluta*.

3. RESULTADOS

3.1. Distribuição espacial

Verificou-se pela validação cruzada que os dados relativos à densidade de ovos de *T. absoluta* se ajustaram aos modelos de semivariogramas testados. O ajuste aos modelos se deve aos baixos valores de efeito pepita, altos valores do patamar e a existência de dependência espacial entre o número de ovos. Dos 66 modelos testados, 19 foram selecionados por apresentarem β_0 mais próximos de zero, β_1 mais próximos de um e RQEM (raiz quadrada do erro médio) mais próximos a um. Os valores de EM (erro médio) foram próximos de zero, com variação de 0,0001 a 0,0313, indicando que os erros associados aos modelos selecionados não foram viesados (Tabelas 1, 2 e 3). Destes modelos selecionados, 15 se ajustaram ao modelo exponencial, três ao esférico e um ao gaussiano (Tabela 4).

Observou-se que 18 dos 19 modelos selecionados foram anisotrópicos. Tal anisotropia pode ser verificada pela desigualdade significativa de valores de alcance (anisotropia geométrica) nas direções do eixo principal e secundário da maioria dos modelos selecionados. Somente na lavoura 4 cujas plantas se encontrava no início do estágio reprodutivo, o modelo foi isotrópico (Tabela 4). Assim, 94% dos modelos apresentaram alcances diferentes para os dois principais eixos de anisotropia

Tabela 1. Validação cruzada pelo método de krigagem dos valores observados e estimados pelos modelos esférico, exponencial e gaussiano da distribuição espacial dos números de ovos de *Tuta absoluta* por folha em lavouras de tomate em estágio vegetativo.

Lavouras	Modelos		β_0	β_1	R^2	RQEM	EM
1	Esférico	Anisotrópico	0,33	0,39*	0,20	0,9425	0,0003
	Exponencial ^φ	Anisotrópico	0,31	0,41*	0,20	0,9747	0,0014
	Gaussiano	Anisotrópico	0,33	0,39*	0,20	0,9169	0,0122
2	Esférico	Anisotrópico	0,04	0,07*	0,02	1,1460	0,0030
	Exponencial ^φ	Anisotrópico	0,02	0,07*	0,03	1,0110	0,0007
	Gaussiano	Anisotrópico	0,02	0,07*	0,02	0,9644	0,0008
3	Esférico	Anisotrópico	0,13	0,09*	0,11	1,0370	0,0014
	Exponencial ^φ	Anisotrópico	0,12	0,11*	0,12	1,0530	0,0012
	Gaussiano	Anisotrópico	0,13	0,09*	0,11	1,0320	0,0019
4	Esférico	Anisotrópico	0,36	0,37*	0,16	0,9858	0,0035
	Exponencial ^φ	Anisotrópico	0,26	0,51*	0,2	1,0270	0,0107
	Gaussiano	Anisotrópico	0,35	0,40*	0,18	0,9616	0,0102
5	Esférico	Anisotrópico	0,18	0,70*	0,46	1,0870	0,0282
	Exponencial ^φ	Anisotrópico	0,18	0,71*	0,46	1,0240	0,0252
	Gaussiano	Anisotrópico	0,18	0,70*	0,43	0,9881	0,0284
6	Esférico	Anisotrópico	0,05	0,50*	0,29	0,9406	0,0023
	Exponencial ^φ	Anisotrópico	0,06	0,50*	0,29	0,9912	0,0036
	Gaussiano	Anisotrópico	0,06	0,45*	0,26	0,8939	0,0010
7	Esférico	Anisotrópico	0,01	0,02	<0,01	1,0740	0,0023
	Exponencial	Anisotrópico	0,01	0,02	<0,01	1,0640	0,0014
	Gaussiano	Anisotrópico	0,01	0,01	<0,01	1,0730	0,0028

No cabeçalho: β_0 = intercepto e β_1 = inclinação da curva. RQEM = raiz quadrada do erro médio. EM = erro médio. * Significativo a $p < 0,001$. ^φ Modelo selecionado pela validação cruzada ($< \beta_0$; $> \beta_1$ e R^2 ; RQEM mais próximo de 1 e EM mais próximo de zero).

Tabela 2. Validação cruzada pelo método de krigagem dos valores observados e estimados pelos modelos esférico, exponencial e gaussiano da distribuição espacial dos números de ovos de *Tuta absoluta* por folha em lavouras de tomate no início do estágio reprodutivo.

Lavouras		Modelos	β_0	β_1	R^2	RQEM	EM
1		Esférico	0,18	0,41*	0,19	0,9917	0,0010
		Exponencial ^φ	0,17	0,41*	0,2	1,0470	0,0003
		Gaussiano	0,18	0,39*	0,19	0,9454	0,0008
2		Esférico	0,12	0,28*	0,12	0,9721	0,0015
		Exponencial ^φ	0,12	0,30*	0,13	0,9979	0,0055
		Gaussiano	0,13	0,29*	0,12	0,9320	0,0049
3		Esférico	0,09	0,07*	0,05	1,0360	0,0026
		Exponencial ^φ	0,09	0,08*	0,06	1,0310	0,0015
		Gaussiano	0,09	0,07*	0,04	1,0350	0,0022
4		Esférico	0,42	0,51*	0,36	1,0670	0,0247
		Exponencial ^φ	0,4	0,51*	0,36	1,0260	0,0082
		Gaussiano	0,44	0,47*	0,35	0,9699	0,0313
5		Esférico ^φ	0,29	0,42*	0,22	0,9393	0,0060
		Exponencial	0,3	0,42*	0,21	0,9011	0,0013
		Gaussiano	0,29	0,42*	0,22	0,8817	0,0043
6		Esférico	0,10	0,28*	0,11	0,9890	0,0016
		Exponencial ^φ	0,10	0,29*	0,12	1,0050	0,0007
		Gaussiano	0,10	0,28*	0,11	0,9701	0,0013

No cabeçalho: β_0 =intercepto e β_1 = inclinação da curva. RQEM = raiz quadrada do erro médio. EM = erro médio. * Significativo a $p < 0,001$. ^φ Modelo selecionado pela validação cruzada ($< \beta_0$; $> \beta_1$ e R^2 ; RQEM mais próximo de 1 e EM mais próximo de zero).

Tabela 3. Validação cruzada pelo método da krigagem dos valores observados e estimados pelos modelos esférico, exponencial e gaussiano da distribuição espacial do número de ovos de *Tuta absoluta* por folha em lavouras de tomate no final do estágio reprodutivo.

Lavouras		Modelos	β_0	β_1	R^2	RQEM	EM
1		Esférico	0,30	0,50*	0,29	0,9925	0,0086
		Exponencial ^Φ	0,29	0,50*	0,30	1,0270	0,0160
		Gaussiano	0,30	0,49*	0,29	0,9415	0,0101
2		Esférico	0,33	0,22*	0,08	1,0350	0,0067
		Exponencial ^Φ	0,31	0,26*	0,09	1,0090	0,0107
		Gaussiano	0,32	0,24*	0,08	0,9823	0,0119
3		Esférico	0,01	-0,007	<0,01	0,9888	0,0010
		Exponencial	0,01	-0,007	<0,01	0,9888	0,0010
		Gaussiano	0,01	-0,007	<0,01	0,9888	0,0010
4		Esférico	0,01	0,01	<0,01	1,1230	0,0001
		Exponencial	0,01	0,00	<0,01	1,1330	0,0004
		Gaussiano	0,01	0,01	<0,01	1,1130	0,0002
5		Esférico	0,20	0,26*	0,17	1,0470	0,0050
		Exponencial ^Φ	0,19	0,27*	0,17	1,0100	0,0042
		Gaussiano	0,20	0,20*	0,17	0,9722	0,0017
6		Esférico	0,22	0,03*	0,05	1,0100	0,0018
		Exponencial	0,19	0,07*	0,06	1,0180	0,0048
		Gaussiano ^Φ	0,18	0,08*	0,07	1,0010	0,0062
7		Esférico ^Φ	0,02	0,27*	0,11	1,0290	0,0026
		Exponencial	0,02	0,27*	0,10	1,0370	0,0041
		Gaussiano	0,02	0,27*	0,11	1,0660	0,0020
8		Esférico	0,17	0,70*	0,58	1,3260	0,0026
		Exponencial ^Φ	0,15	0,73*	0,61	1,1330	0,0079
		Gaussiano	0,16	0,71*	0,55	2,1010	0,0005
9		Esférico ^Φ	0,15	0,35*	0,18	1,0040	0,0094
		Exponencial	0,16	0,32*	0,18	1,0340	0,0096
		Gaussiano	0,15	0,34*	0,18	0,9882	0,0103

No cabeçalho: β_0 =intercepto e β_1 = inclinação da curva. RQEM= raiz quadrada do erro médio. EM = erro médio. *Significativo a $p<0,001$. ^Φ Modelo selecionado pela validação cruzada ($< \beta_0$; $> \beta_1$ e R^2 ; RQEM mais próximo de 1 e EM mais próximo de zero).

Tabela 4. Características dos modelos selecionados pela validação cruzada da distribuição espacial dos ovos de *Tuta absoluta* em lavouras de tomate nos estágios: vegetativo, início e final do reprodutivo.

Lavoura		Modelo	α	Alcance (m)		Efeito pepita	Patamar	R ²
Lavouras em estágio vegetativo								
1	Exponencial	Anisotrópico	55,1	71,12	53,15	9,1x10 ⁻²	1,6x10 ⁻¹	0,20
2	Exponencial	Anisotrópico	53,6	122,05	60,35	2,0x10 ⁻²	3,1x10 ⁻²	0,03
3	Exponencial	Anisotrópico	37,9	53,40	29,64	3,1x10 ⁻²	4,8x10 ⁻²	0,12
4	Exponencial	Anisotrópico	-4,1	71,12	46,10	1,5x10 ⁻¹	2,4x10 ⁻¹	0,20
5	Exponencial	Anisotrópico	-39,3	64,20	43,01	8,3x10 ⁻²	3,8x10 ⁻¹	0,46
6	Exponencial	Anisotrópico	76	158,04	93,27	6,4x10 ⁻²	1,2x10 ⁻¹	0,29
7	Efeito pepita puro	-	-	0,00	0,00	1,2x10 ⁻²	1,2x10 ⁻²	<0,01
Lavouras no início do estágio reprodutivo								
1	Exponencial	Anisotrópico	14,3	94,83	33,30	1,0x10 ⁻¹	2,1x10 ⁻¹	0,20
2	Exponencial	Anisotrópico	74,8	159,04	56,48	1,0x10 ⁻¹	1,6x10 ⁻¹	0,13
3	Exponencial	Anisotrópico	37,6	105,70	67,27	3,0x10 ⁻²	3,9x10 ⁻²	0,06
4	Exponencial	Isotrópico	18,1	51,06	51,06	6,8x10 ⁻²	2,3 x10 ⁻¹	0,36
5	Esférico	Anisotrópico	-50	47,80	21,00	1.9x10 ⁻¹	2,7x10 ⁻¹	0,22
6	Exponencial	Anisotrópico	-12,0	66,18	45,82	3,8x10 ⁻²	5,6x10 ⁻²	0,12
Lavouras no final do estágio reprodutivo								
1	Exponencial	Anisotrópico	83,0	52,33	42,72	1,3x10 ⁻¹	3,1x10 ⁻¹	0,30
2	Exponencial	Anisotrópico	6,8	66,18	33,65	1,6x10 ⁻¹	2,4x10 ⁻¹	0,09
3	Efeito pepita puro	-	-	0,00	0,00	4,2x10 ⁻³	4,2x10 ⁻³	<0,01
4	Efeito pepita puro	-	-	0,00	0,00	9,4x10 ⁻³	9,4x10 ⁻³	<0,01
5	Exponencial	Anisotrópico	74,0	59,27	34,22	1,0x10 ⁻¹	1,9x10 ⁻¹	0,17
6	Gaussiano	Anisotrópico	86,4	59,26	44,40	1,4x10 ⁻¹	1,8x10 ⁻¹	0,07
7	Esférico	Anisotrópico	-46,7	69,06	56,48	2,8x10 ⁻²	4,6x10 ⁻²	0,11
8	Exponencial	Anisotrópico	-1,6	52,35	21,26	0	3,8x10 ⁻¹	0,61
9	Esférico	Anisotrópico	59,5	71,12	41,70	1,2x10 ⁻¹	1,9x10 ⁻¹	0,18

No cabeçalho: α = ângulo entre a direção da fileira das plantas e o eixo principal de maior continuidade espacial do inseto no modelo anisotrópico. O primeiro e segundo valores do alcance correspondem ao tamanho do eixo principal e secundário do modelo anisotrópico, respectivamente.

Os modelos de semivariogramas selecionados para cada lavoura indicaram existir dependência espacial para o número de ovos de *T. absoluta* (Tabela 4 e Figura 1). Os graus de dependência espacial (GDE) dos modelos de semivariogramas variaram de 0,00 a 0,78. Noventa por cento dos modelos selecionados apresentaram dependência espacial moderada ($0,25 < \text{GDE} < 0,75$) a forte ($\text{GDE} < 0,25$) (Figura 1). Os alcances nos modelos anisotrópicos variaram de 21 a 159 m (lavoura 5 e 2, respectivamente). De forma geral, os menores valores de alcance ocorreram nas lavouras com plantas no final do estágio reprodutivo (Tabela 4). Os ajustes aos modelos exponenciais, Gaussiano e esférico mostraram que a dependência espacial não foi aleatória. Somente em três lavouras não foi verificada dependência espacial, pois nestas os modelos de semivariogramas não foram significativos ocorrendo apenas o efeito pepita (Tabela 4).

Observando-se os mapas de distribuição espacial verifica-se que a postura de *T. absoluta* nas lavouras ocorreu seguindo um padrão de distribuição agregado (Figura 2). A densidade de *T. absoluta* nas lavouras variou de 0 a 52 de ovos por duas folhas de tomate. As maiores densidades de ovos ocorreram nas bordas das lavouras, sendo que este fato foi mais acentuado nas lavouras com ataque da praga maior que o nível de dano econômico. Foi verificado que *T. absoluta* realizou maior dispersão dos ovos ao longo das fileiras do que entre estas (Figura 2).

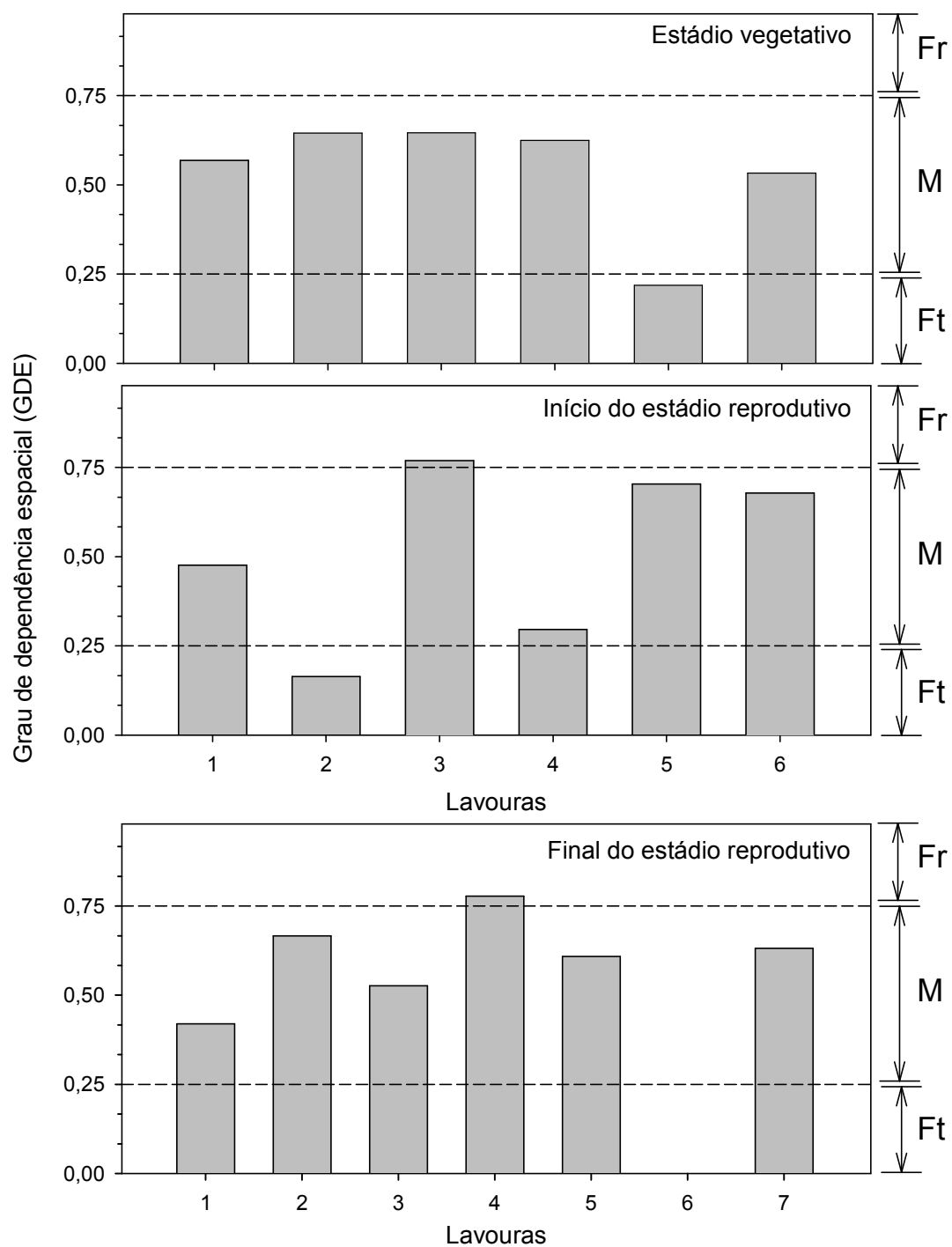


Figura 1. Grau de dependência espacial dos modelos dos semivariogramas isotrópicos ou anisotrópicos para as densidades de ovos de *Tuta absoluta* em 19 lavouras de tomate com plantas nos estágios vegetativo, início do reprodutivo e final do reprodutivo. Dependência espacial fraca (Fr), moderada (M) e forte (Ft).

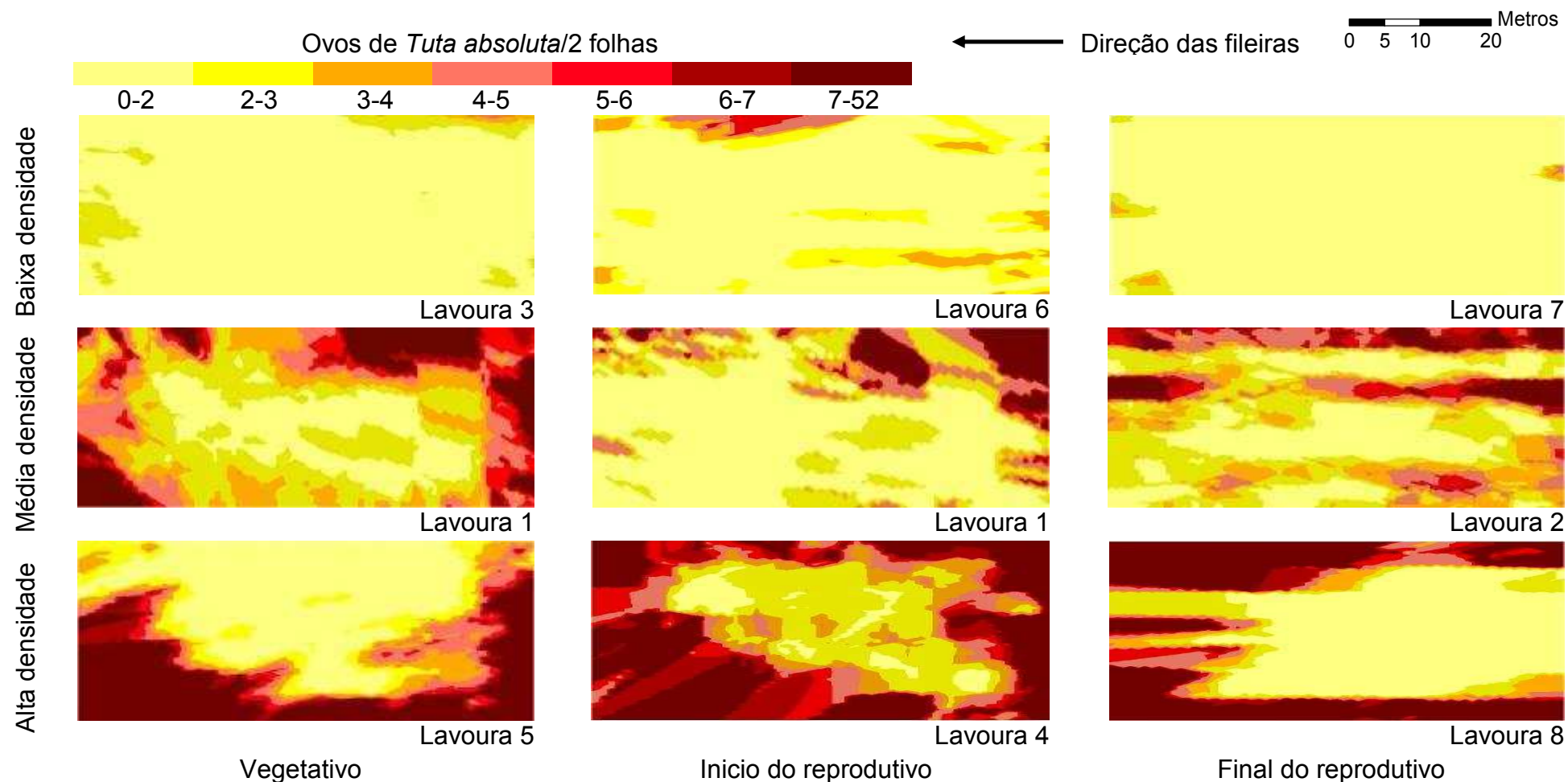


Figura 3. Mapas da distribuição espacial dos ovos de *Tuta absoluta* em nove lavouras de tomateiro nos estágios vegetativo, início do reprodutivo e final do reprodutivo. Baixa densidade = Lavouras com densidades < nível de dano econômico (NDE); Média densidade = Lavouras com densidades $\approx$ NDE; e Alta densidade = Lavouras com densidades > NDE. (NDE = 3 ovos/duas folhas, dados não publicados).

3.2. Plano de amostragem

Em todas as lavouras a variância (S^2) apresentou valores maiores que a média ($\bar{X}$) e índices de agregação ($\hat{K}$) mostraram-se próximos à zero, indicando agregação dos dados e seu possível ajuste à distribuição binomial negativa. Os dados de densidades de ovos de 20 das 22 lavouras estudadas se ajustaram à distribuição binomial negativa ($p > 0,05$; teste χ^2) e somente duas lavouras não se ajustaram a nenhum modelo de distribuição de frequência (Tabela 5).

As inclinações dos parâmetros de agregação comum (K_c) foram significativas para o estágio vegetativo ($F_{1,3}=17,88$; $p < 0,05$), para o início do estágio reprodutivo ($F_{1,3}= 197,60$; $p < 0,05$) e para o final do estágio reprodutivo ($F_{1,5}= 65,29$; $p < 0,05$). Já os interceptos foram não significativos para o estágio vegetativo ($F_{1,3}=7,66$; $p < 0,05$), para o início do estágio reprodutivo ($F_{1,3}= 0,60$; $p < 0,05$) e para o final do estágio reprodutivo ($F_{1,5}= 2,47$; $p < 0,05$). Tais resultados indicam existir um parâmetro de agregação comum (K_c) para o número de ovos de *T. absoluta*. Os valores dos parâmetros de dispersão comum (K_c) para cada estágio fenológico estão representados na Tabela 5. Portanto, com o K_c obtido determinou-se um número médio de amostras para cada estágio fenológico do tomateiro.

O número de amostras necessárias para amostragem de ovos, em vinte das lavouras estudadas, foi calculado seguindo a fórmula indicada quando os dados se ajustam à distribuição binomial negativa que utiliza a média, o nível de precisão e o parâmetro $\hat{K}$ dessa distribuição. Já o número de amostras necessárias para tomada de decisão pelo sistema de amostragem nas duas lavouras cujos dados não se ajustaram a nenhum modelo de distribuição de frequência utilizou-se a fórmula genérica. O menor nível de precisão ou com maior erro admitido (25%) demandou o menor número de amostras para a

amostragem dos ovos de *T. absoluta* (Tabela 6). Para o nível de precisão de 25% constatou-se a estabilização no número de amostras requeridas pelos planos amostrais (Figura 2). Nesse nível de precisão, os resíduos apresentaram a menor dispersão em torno da média do número de amostras (Figura 2). Esse fato indica que o número de amostras necessárias à determinação da densidade de ovos de *T. absoluta* sofrerá baixa variação em lavouras sujeitas a diferentes intensidades de ataque da praga a um nível de erro admitido de 25%. Portanto, para este nível de precisão, o plano de amostragem requer 44, 37 e 44 amostras para amostragem dos ovos de *T. absoluta* nos estágios vegetativos, início e final do estágio reprodutivo, respectivamente.

Tabela 5. Média ($\bar{X}$), variância (S^2), índice de agregação ($\hat{K}$) e teste de qui-quadrado (χ^2) para as frequências observadas e esperadas pela distribuição binomial negativa, Poisson e binomial positiva dos dados de amostragem de ovos de *Tuta absoluta* em tomateiro.

Lavoura	$\bar{X}$	S^2	$S^2/\bar{X}$	$\hat{K}$	Binomial negativa		Poisson		Binomial positiva	
					χ^2	GL	χ^2	GL	χ^2	GL
Lavouras em estágio vegetativo										
1	4,89	41,6	8,50	0,6	19,5 ^{ns}	18	3413 *	11	1062 *	10
2	0,31	1,1	3,56	0,1	3,8 ^{ns}	4	250 *	4	203 *	3
3	0,79	2,2	2,81	0,4	2,7 ^{ns}	8	178 *	6	6850 *	6
4	4,66	25,0	5,37	1,0	18,1 ^{ns}	18	1452 *	12	1693 *	9
5	8,15	163,4	20,04	0,4	31,9 ^{ns}	30	574 *	14	133 *	10
6	0,96	5,4	5,62	0,2	12,7 ^{ns}	7	233 *	5	198 *	6
7	0,45	0,8	1,89	0,5	10,3*	4	43 *	4	559 *	4
Lavouras no início do estágio reprodutivo										
1	2,45	16,3	6,66	0,4	17,2 ^{ns}	13	821 *	8	941 *	8
2	1,70	6,1	3,62	0,6	7,6 ^{ns}	8	175 *	6	2159 *	6
3	0,48	1,0	2,14	0,4	7,1 ^{ns}	5	198 *	4	6708 *	4
4	10,1 3	221,8	21,89	0,5	47,3 ^{ns}	37	249 *	14	272 *	10
5	5,26	54,1	10,28	0,6	28,7 ^{ns}	20	316 *	11	698 *	35
6	0,89	2,6	2,94	0,5	6,9 ^{ns}	7	212 *	5	1623 *	7
Lavouras no final do estágio reprodutivo										
1	6,68	94,9	14,21	0,5	27,1 ^{ns}	21	797 *	13	256 *	11
2	4,48	76,5	17,08	0,3	75,2 *	19	2988 *	11	888 *	12
3	0,14	0,2	1,60	0,2	2,5 ^{ns}	3	193 *	4	951*	3
4	0,16	0,3	1,80	0,2	3,4 ^{ns}	3	253 *	4	641*	3
5	2,16	10,2	4,70	0,6	14,0 ^{ns}	12	311 *	7	758 *	10
6	1,99	9,0	4,55	0,6	21,1 ^{ns}	14	178 *	7	1756 *	8
7	0,65	1,8	2,73	0,4	7,9 ^{ns}	6	53 *	4	1536 *	6
8	8,15	143,9	17,6	0,5	33,8 ^{ns}	27	354 *	13	86 *	11
9	2,22	12,83	5,8	0,5	9,9 ^{ns}	12	616 *	7	407 *	10

Os valores $K_{\text{comum}} = 0,41$ (estágio vegetativo), $0,49$ (início do estágio reprodutivo) e $0,41$ (final do estágio reprodutivo);

* Significativo a $P < 0,05$; ^{ns} Não significativo a $P < 0,05$; GL (graus de liberdade) = $k - 1 - m$, onde k é o número de classes e m é o número de parâmetros estimados no modelo (Young & Young, 2002).

Tabela 6. Número de amostras (2 folhas/planta) requeridas para a amostragem de ovos de *T. absoluta* calculados com níveis de erro admitido de 5, 10, 15, 20 e 25% em tomateiro.

Lavoura	Níveis de erro admitido (%)				
	5	10	15	20	25
Lavouras em estágio vegetativo					
1*	1044	261	116	65	42
2*	2239	560	249	140	90
3*	1467	367	163	92	59
4*	1048	262	116	66	42
5*	1012	253	112	63	40
6*	1380	345	153	86	55
7**	1859	465	207	116	74
Valor comum	1101	275	122	69	44
Lavouras no início do estágio reprodutivo					
1*	962	241	107	60	38
2*	1035	259	115	65	41
3*	1629	407	181	102	65
4*	838	210	93	52	34
5*	875	219	97	55	35
6*	1246	312	138	78	50
Valor comum	914	228	102	57	37
Lavouras no final do estágio reprodutivo					
1*	1037	259	115	65	41
2**	1066	267	118	67	43
3*	3802	950	422	238	152
4*	3523	881	391	220	141
5*	1162	291	129	73	46
6*	1178	295	131	74	47
7*	1594	399	177	100	64
8*	1026	256	114	64	41
9*	1157	289	129	72	46
Valor comum	1112	278	124	70	44

* Calculados segundo a fórmula de Young & Young (1988), para dados que se ajustaram a distribuição de frequência binomial negativa.

** Calculado com a fórmula genérica descrita por Pedigo & Rice (2006), para dados que não se ajustam a nenhuma distribuição de frequência.

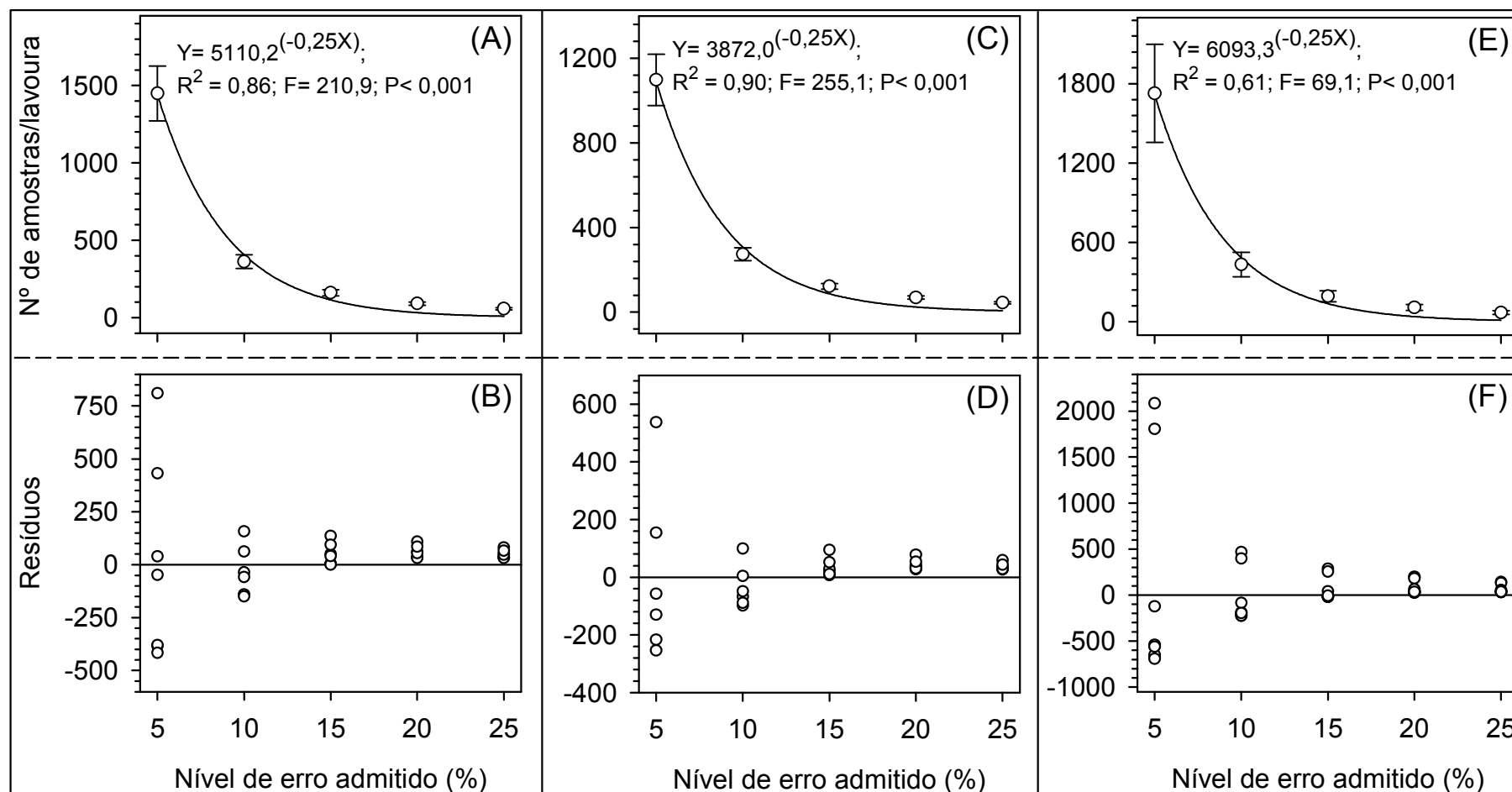


Figura 3. Número de amostras (2 folhas/planta) requeridas e resíduo da curva de regressão para amostragem de ovos de *Tuta absoluta* nos estágios vegetativo (A e B), início do estágio reprodutivo (C e D) e final do estágio reprodutivo (E e F) em função do nível de erro admitido em tomateiro.

4. DISCUSSÃO

Neste trabalho, apresentamos o primeiro mapa de distribuição espacial para *T. absoluta* em cultivos de tomate utilizando métodos geoestatísticos. Por meio de modelos de semivariogramas foi possível identificar a ocorrência de áreas de agregação de ovos de *T. absoluta*, principalmente nas bordas dos cultivos. Além disto, um plano de amostragem para estimativa da densidade de ovos foi desenvolvido como subsídio para tomada de decisão de controle de *T. absoluta* em cultivos comerciais de tomate.

A ocorrência de agregação de ovos nos cultivos pode ser verificada pelos altos valores dos patamares ($C+C_0$), baixos valores do efeito pepita (C_0), ajuste dos dados aos modelos de semivariogramas e forte grau de dependência espacial ($GDE < 0,75$) obtidos. Esse padrão de distribuição de ovos pode ser um reflexo da baixa eficiência de vôo das fêmeas entre plantas dentro dos cultivos. Segundo Fontes & Silva (2002), o cultivo de tomate para mesa é tutorado verticalmente a uma altura que varia de 1,5 a 2,0 metros onde a estrutura e as plantas funcionariam como barreira física, dificultando a sua dispersão na lavoura, concentrando, assim, sua oviposição na bordadura do cultivo. Movimentação restrita de fêmeas de outras espécies de Lepidoptera dentro do seu habitat hospedeiro foi também verificada para *Maculinea rebeli* (Lycaenidae) (Kórosi et al. 2008) e *Ostrinia nubilalis* (Crambidae) (Bailey et al. 2007). No caso de *Plutella xylostela* (Plutellidae), uma mariposa de tamanho similar à *T. absoluta*, as mariposas também possuem baixa capacidade de dispersão dentro dos cultivos de repolho e normalmente tendem a ter padrão agregado de deposição de ovos, principalmente nas bordas do cultivo (Sarfraz et al. 2010).

Embora o padrão agregado de deposição de ovos dentro dos cultivos indique a existência de movimentação restrita e baixa habilidade de vôo de fêmeas de *T. absoluta* entre plantas, não podemos afirmar que esta espécie apresenta baixa capacidade de dispersão. Adultos dessa espécie, devem se dispersar rotineiramente entre cultivos, como forma de exploração de manchas de recursos temporários formadas por essas lavouras que estão distribuídas irregularmente no espaço e abundantes ao longo de todo o ano na região do estudo. Dessa forma, a dispersão funcionaria como um elo entre os ciclos populacionais locais de colonização e extinção de *T. absoluta* nas manchas

efêmeras constituídas pelos cultivos (Hanski 1999). Espécies que exploram recursos em manchas temporárias, como é o caso de *T. absoluta*, tendem a possuir habilidade de dispersão bem desenvolvida (Southwood 1962; Novotný 1994). Quando a lavoura está em deterioração, os indivíduos podem abandoná-la em busca de outra que seja mais favorável aos seus descendentes (Southwood 1962). Além disso, como a região em estudo é montanhosa, corredores poderiam ser formados pelos vales entre montanhas e através desses ocorrer a dispersão de adultos através de correntes de ar de tal forma a propiciar a exploração de diferentes cultivos (Dover & Settele 2009; Anderson & Sturtevant 2011). Dispersão de *P. xylostea* e *Phthorimaea operculella* também já foi verificada para distâncias de até 615 m entre cultivos (Cameron et al. 2002). Goldson & Emberson (1977) notou a provável dispersão de *P. operculella* para distância de até 750 m quando auxiliada pelo vento.

Uma extensão da faixa de agregação de ovos nas bordas de lavouras com maiores densidades de ovos também foi verificada no presente trabalho. Isto pode ser explicado pela competição entre os adultos pelo local de oviposição (Sutherland et al. 2002). Este processo ecológico é considerado como uma das maiores forças para dispersão de indivíduos (Bohonak 1999; Cook & Holt 2006). Portanto, em alguma medida à medida que os recursos diminuíram, os adultos tenderam a se redistribuir mediante a dispersão, entre as diferentes fileiras de tomate em busca de melhores locais para oviposição (Denno et al. 1995).

A infestação de ovos de *T. absoluta* apresentou um formato irregular de distribuição dentro das lavouras. A evidência disto são os diferentes valores de alcance para os dois eixos de anisotropia em 94% dos modelos de semivariogramas ajustados. O principal eixo de anisotropia ocorreu no sentido das fileiras de tomate, enquanto o eixo secundário de anisotropia ocorreu entre as fileiras de cultivo. Esta diferenciação de valores de alcance da infestação de ovos era esperada baseada no fato de que as plantas juntamente com as suas estruturas de tutoramento no sentido das fileiras poderiam servir como obstáculos para a dispersão de adultos entre fileiras (Reardon et al. 2007; Kórosi et al. 2008). Além disso, a força e velocidade dos ventos podem ser maiores no sentido das fileiras que entre fileiras e, assim, contribuir para uma maior dispersão dos adultos e conseqüentemente maior dispersão de ovos no sentido da fileira. A frequência e velocidade de ventos foram os fatores que

mais contribuíram para ocorrência de um padrão anisotrópico de dispersão de *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera: Tortricidae) em uma paisagem formada por suas plantas hospedeiras (Anderson & Sturtevant 2011).

Os valores de alcance tenderam a reduzir com o avanço da idade das plantas, onde em plantas na fase de final da reprodução o alcance foi menor. Uma possível explicação para isso é que plantas mais velhas apresentam maior tamanho e, portanto podendo ser maior obstáculo para dispersão de adultos (Gage et al. 1999; Engels et al. 2008). Plantas maiores apresentam maior disponibilidade de recurso por ter maior quantidade de folhas, flores e frutos nos quais as lagartas de *T. absoluta* podem se alimentar e assim influenciar na procura de recursos mais distantes por adultos dessa espécie. Peterson (1997) verificou uma maior dispersão de fêmeas de *Euphilotes enoptes* (Lepidoptera: Lycaenidae) no sentido de suas plantas hospedeiras que se apresentavam no estágio reprodutivo, pelo fato dessas representarem maior disponibilidade de alimento para os seus descendentes. O lepidóptero *Megathymus yuccae* (Hesperiidae) também ovipositou mais em plantas maiores de *Yucca filamentosa* (Trager et al. 2009).

O valor do alcance obtido na análise de distribuição espacial de um inseto é a linha divisória para a aplicação de geoestatística ou estatística clássica em manejo de pragas (Rossi et al. 1992; Young & Young 1998). Portanto, o alcance deve ser a distância mínima entre as amostras a ser respeitada por ocasião da realização do procedimento de amostragem. Ao adotar essas distâncias amostrais, os dados não sofrerão influência da distribuição espacial do inseto (Rossi et al. 1992; Young & Young 1998), podendo-se assim utilizar as metodologias clássicas de amostragem convencional e sequencial. Além disso, adotando essa informação do alcance (distância a partir da qual ocorre independência entre amostras), pode se reduzir o número de amostras que deve ser coletadas em uma determinada área.

Inferências sobre o padrão de distribuição espacial a partir de procedimentos geoestatísticos também são importantes por ser capaz de contornar o problema dos métodos tradicionalmente utilizados (Young & Young 1998). Tais métodos como as distribuições de frequência nem sempre refletem o padrão de distribuição espacial de populações de insetos no campo, uma vez que não levam em consideração as coordenadas espaciais dos pontos de

amostragem (Young & Young 1998; Binns et al. 2000; Barrigossi et al. 2001). Isso, contudo, pode ser verificado por análises espaciais através de modelos de semivariogramas e claramente mostrados nos mapas gerados (Liebhold et al. 1993; Bacca et al. 2006).

Apesar dos métodos de distribuição de frequência não fornecerem informações sobre o padrão espacial de distribuição dos insetos, mas através do ajuste dos dados à distribuição de frequência como a binomial negativa é possível determinar um parâmetro de agregação comum permitindo um simples plano de amostragem convencional para todas as lavouras amostradas (Young & Young 2002). Dessa forma, na determinação do número de amostras para compor um plano amostral de ovos de *T. absoluta* foi adotado conforme as fórmulas indicadas por Young & Young (2002).

Os dados de número de ovos de *T. absoluta*, na maioria das lavouras, se ajustaram ao modelo binomial negativo indicando a ocorrência de elevada frequência de amostras com densidades extremas de ovos (muito baixas ou muito altas) variando muito de uma planta para outra. Isso resulta na obtenção de variâncias muito maiores que a média. Assim, quanto maior a relação variância/média, maiores serão os valores do parâmetro K da distribuição binomial negativa (Taylor 1984), fato observado no presente trabalho. Esses ajustes indicam que os dados amostrais, como verificado anteriormente, de fato possuem um padrão agregado de distribuição. Resultados semelhantes têm sido constatados na amostragem de outros lepidópteros, como *Diaphania* spp. (Pyralidae) (Bacci et al. 2006) e *Lobesia botrana* (Noctuidae) (Sciarretta et al. 2008).

Foi observada também a ocorrência de um parâmetro de agregação comum (K_{comum}) na distribuição binomial negativa de ovos de *T. absoluta*, contemplando dessa forma as variâncias ocorridas nas populações das diferentes lavouras estudadas. Diferentes populações podem apresentar valores distintos do parâmetro K da distribuição binomial negativa, o que resulta em um número diferente de amostras a ser empregado para amostragem de cada população (Young & Young 2002). Portanto, a ocorrência do valor de K_{comum} permitiu estabelecer um plano de amostragem convencional para cada estágio fenológico do tomateiro. Isto é importante, uma vez que o número de unidades amostrais necessário para a coleta de dados irá definir o custo da amostragem (Feng et al. 1994). Dessa forma, os planos

convencionais de amostragens de ovos de *T. absoluta* permitiram estimar que são necessárias 44, 37 e 44 amostras (4ª e 5ª folhas a partir do ápice) por talhão para plantas nos estágios vegetativo, início do reprodutivo e final do reprodutivo, respectivamente, a um nível de erro da estimativa de 25%. Níveis de erro de até 25% são admissíveis na estimativa do número de amostras para tomada de decisão em sistemas de manejo de pragas (Southwood & Henderson 2000). Os planos de amostragem determinados para *T. absoluta* apresentam viabilidade de utilização, pois são planos praticáveis necessitando baixo número de amostras e permitindo a tomada de decisão de controle dessa praga em um estágio em que ela se encontra mais vulnerável ao método mais empregado para o seu controle (Guedes et al. 1994; Gomide et al. 2001).

Em resumo, neste trabalho foram elucidados modelos geoestatísticos adequados para a determinação do padrão espacial de distribuição de ovos de *T. absoluta* que se mostraram agregados nas bordas dos cultivos. Maior tendência de dispersão de ovos ocorreu no sentido das fileiras do que entre fileiras de cultivo, mostrando que amostras para o monitoramento devem ser tomadas de forma criteriosa nas diferentes direções. A amostragem deve ser realizada nas bordas do cultivo respeitando uma distância média de independência espacial que é de aproximadamente 70 metros. Além disso, foi desenvolvido um plano de amostragem para monitoramento de populações de *T. absoluta* com 44, 37 e 44 amostras por talhão para plantas nos estágios vegetativo, início do reprodutivo e final do reprodutivo, respectivamente.

5. LITERATURA CITADA

- Agrofit, 2011. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit/cons/principal/agrofit>. Acesso: 22 de setembro de 2011.
- Anderson, D. P.; Sturtevant, B. R. Pattern analysis of eastern spruce budworm *Choristoneura fumiferana* dispersal. **Ecography**, v.34, p.488-497. 2011.
- Andrew, P. D.; Stewart, J. G. The location of egg masses of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) on potato plants. **Phytoprotection**, v.76, p.123-126. 1995.
- Bacca, T.; Lima, E. R.; Picanço, M.C.; Guedes, R. N. C.; Viana, J. H. N. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the Coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.119, p.39-45. 2006.
- Bacci, L.; Picanço, M. C.; Moura, M. F.; Della Lucia, T. M. C.; Semeão, A. A. Sampling plan for *Diaphania* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) and for hymenopteran parasitoids on cucumber. **Journal of Economic Entomology**, v.99, p.2177-2184. 2006.
- Bailey, R. I.; Bourguet, D.; Le Pallec, A. H.; Ponsard, S. Dispersal propensity and settling preferences of European corn borers in maize field borders. **Journal of Applied Ecology**, v.44, p.385-394. 2007.
- Barrigossi, J. A. F.; Young, L. J.; Crawford, C. A. G.; Hein, G. L.; Higley, L. G. Spatial and probability distribution of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) egg mass populations in dry bean. **Environmental Entomology**, v.30, p.244-253. 2001.
- Binns, M. R.; Nyrop, J. P.; Werf, W. V. D. **Sampling and monitoring in crop protection: the theoretical basis for developing practical decision guides**. Crambridge. 2000. 281p.
- Bliss, C. I.; Owen, A. R. G. Negative binomial distributions with a common k. **Biometrika**, v.45, p.37-58. 1958.
- Bohonak, A. J. Dispersal, gene flow and population structure. **Quarterly Review of Biology**, v.74, p.21-45. 1999.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novack, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Knopka, A. E. Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils. **Soil Science Society América Journal**, v.58, p.1240-1248. 1994.

- Cameron, P. J.; Walker, G. P.; Penny, G. M.; Wigley, P. J. Movement of potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae) within and between crops, and some comparisons with diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Environmental Entomology**, v.31, p.65-75. 2002.
- Castle, S.; Naranjo, S. E. Sampling plans, selective insecticides and sustainability: the case for IPM as 'informed pest management'. **Pest Management Science**, v.65, p.1321-1328. 2009.
- Cifuentes, D.; Chynoweth, R.; Bielza, P. Genetic study of Mediterranean and South American populations of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Povolny, 1994) (Lepidoptera: Gelechiidae) using ribosomal and mitochondrial markers. **Pest Management Science**, v.67, p.809-820. 2011
- Cook, W. M.; Holt, R. D. Influence of multiple factors on insect colonization of heterogeneous landscapes: a review & case study with periodical cicadas (Homoptera: Cicadidae). **Annals of the Entomological Society of América**, v.99, p.809-820. 2006.
- Denno, R. F.; McClure, M. S.; Ott, J. R. Interspecific interactions in phytophagous insects: competition revisited and resurrected. **Annual Review of Entomology**, v.40, p.297-331. 1995.
- Desneux, N.; Wajnberg, E.; Wyckhuys, K. A. G.; Burgio, G.; Arpaia, S.; Narváez-Vasquez, C. A.; González-Cabrera, J.; Ruescas, D. C.; Tabone, E.; Frandon, J.; Pizzol, J.; Poncet, C.; Cabello, T.; Urbaneja, A. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. **Journal of Pest Science**, v.83, p.197-215. 2010.
- Dover, J.; Settele, J. A review of landscape influences on butterflies. **Journal of Insect Conservation**, v.13, p.3-27. 2009.
- Draper, N. R.; Smith, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1981, 709p.
- Ekbom, B.; Päts, P. A sampling plan for egg batches of *Chilo* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) on maize. **International Journal of Pest Management**. v.42, p.35-37. 1996.
- Engels, H.; Sinha, A.; Schuphan, I.; Eber, S. Small-scale dispersal of the European corn borer and its relevance for resistance management in Bt maize. **Journal of Applied Entomology**, v.132, p.675-680. 2008.
- Esfandiari, M.; Mossadegh, M. S. Spatial distribution and sampling of *Icerya purchasi* Mask. (Hom.: Margarodidae) on orange trees in Southwest Iran. **Journal of Biological Science**, v.7, p.1239-1243. 2007.
- ESRI ArcMap. 2005. Version 9.1, ArcInfo license. ESRI, Redlands, CA.

- Farias, P. R. S.; Nociti, L. A. S.; Barbos, J. C.; Perecin, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.235-241. 2003.
- Feng, M. G.; Nowierski, R. M.; Zeng, Z. Binomial sequential classification sampling plans for Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) management: Robustness varying with tally thresholds of aphids in sample units. **Journal of Economic Entomology**, v.87, p.1237-1250. 1994.
- Ferguson, A. W.; Klukowski, Z.; Walczak, B.; Perry, J. N.; Muggleston, M. A.; Clark, S. J.; Williams, I. H. The spatio-temporal distribution of adult *Ceutorhynchus assimilis* in a crop of winter oilseed rape in relation to the distribution of their larvae and that of the parasitoid *Trichomalus perfectus*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.95, p.161-171. 2000.
- Filgueira, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402p.
- Fontes, P. C. R.; Silva, D. J. H. **Produção de tomates de mesa**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. 196p.
- Gage, S. H.; Isard, S. A.; Colunga, G. M. Ecological scaling of aerobiological dispersal processes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, p.249-261. 1999.
- Goldsons, L.; Emberson, M. Suction trap studies of the potato moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) and some observations on its biology. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.20, p.519-523. 1977.
- Gomide, E.; Vilela, E. F.; Picanço, M. Comparação de procedimentos de amostragem de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomateiro estaqueado. **Neotropical Entomology**, v.30, p.697-705. 2001.
- Guedes, R. N. C.; Picanço, M. C.; Matioli, A. L.; Rocha, R. M. Efeito de inseticidas e sistemas de condução do tomateiro no controle de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.23, p.321-325. 1994.
- Hanski, I. **Metapopulation ecology**. Oxford: Oxford University Press, 1999, 324p.
- Hughes, G.; McKinlay, R. G. Spatial heterogeneity in yield-pest relationships for crop loss assessment. **Ecological Modelling**, v.41, p. 67-73. 1988.
- Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University, 1989, 561p.

- Kőrösi, Á.; Örvössy, N.; Batáry, P.; Kövér, S.; Peregovits, L. Restricted within-habitat movement and time-constrained egg laying of female *Maculinea rebeli* butterflies. **Oecologia**, v.156, p.455-464. 2008.
- Leake, A. The development of integrated crop management in agricultural crops: comparisons with conventional methods. **Pest Management Science**, v.56, p.950-953. 2000.
- Liebhold, A. M.; Rossi, R. E.; Kemp, W. P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. **Annual Review of Entomology**, v.38, p.303-327. 1993.
- Maruyama, W.I.; Barbosa, J.C.; Toscano, L. C. Distribuição espacial de *Oncometopia facialis* (Signoret) (Hemiptera: Cicadellidae) em pomar cítrico. **Neotropical Entomology**, v.35, p.93-100. 2006.
- Murphy, P. A.; Sternitzke, H. S. **Growth and yield for loblolly pine in West Gulf**. U.S. Department of agriculture forest service research paper, 1979. 8p.
- Novotný, V. Relation between temporal persistence of host plants and wing length in leafhoppers (Hemiptera, Auchenorrhyncha). **Ecological Entomology**, v.19, p.168-176. 1994.
- Ostrauskas, H.; Ivinskis, P. Records of tomato pinkworm (*Tuta absoluta* (Meyrick, 1917)) Lepidoptera: Gelechiidae in Lithuania. **Acta Zoologica Lituanica**, v.20, p.151-155. 2010.
- Pedigo, L. P.; Buntin, G. D. **Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture**. CRC Press, Florida, 1994. 714p.
- Pedigo, L. P.; Rice, M. E. **Entomology and Pest Management**. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, 2006. 563p.
- Pedigo, L. P.; Zeiss, M. R. **Analyses in Insect Ecology and Management**, Iowa: Iowa State University, 1996. 168p.
- Peterson, M. A. Host plant phenology and butterfly dispersal: causes and consequences of uphill movement. **Ecology**, v.78, p.167-180. 1997.
- Picanço, M. C.; Bacci, L.; Crespo, A. L. B.; Miranda, M. M. M.; Martins, J. C. Effect of integrated pest management practices on tomato *Lycopersicon esculentum* production and preservation of natural enemies of pests. **Agricultural Forest Entomology**, v.9, p.201-212. 2007.
- Reardon, B. J.; Sappington, T. W. Effect of age and mating status on adult European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) dispersal from small-grain aggregation plots. **Journal of Economic Entomology**, v.100, p.1116-1123. 2007.

- Rossi, R. E.; Mulla, D. J.; Journel, A. G.; Franz, E. H. Geostatistical tools for modelling and interpreting ecological spatial dependence. **Ecological Monographs**, v.62, p.277-314. 1992.
- Ryan, P. A.; Lyons, S. A. Alsemgeest, D.; Thomas, P.; Kay, B. H. Spatial statistical analysis of adult mosquito (Diptera: Culicidae) counts: an example using light trap data, in Redland Shire, Southeastern Queensland, Australia. **Journal of Medical Entomology**, v.41, p.1143-1156. 2004.
- Sappington, T. W. First-flight Adult European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) distribution in roadside vegetation relative to cropping patterns and crop phenology. **Environmental Entomology**, v.34, p.1541-1548. 2005.
- Sarfraz, M.; Dosdall, L. M.; Keddie, B. A. Performance of the specialist herbivore *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on Brassicaceae and non-Brassicaceae species. **The Canadian Entomologist**, v.142, p.24-35. 2010.
- Sciarretta, A.; Trematerra, P. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Grapholita molesta* and *Anarsia lineatella* males in an agricultural landscape. **Journal of Applied Entomology**, v.130, p.73-83. 2006.
- Sciarretta, A.; Zinni, A.; Mazzocchetti, A.; Trematerra, P. Spatial analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) male population in a Mediterranean agricultural landscape in central Italy. **Environmental Entomology**, v.37, p.382-390. 2008.
- Silva, G. A.; Picanço, M. C.; Bacci, L.; Crespo, A. L. B.; Rosado, J. F.; Guedes, R. N. C. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. **Pest Management Science**, v.67, p.913-920. 2011.
- Soto, A.; Ohlenschläeger, F.; García Marí, F. Distribution and sampling of the whiteflies *Aleurothrixus floccosus*, *Dialeurodes citri*, and *Parabemisia myricae* (Homoptera: Aleyrodidae) in citrus in Spain. **Journal of Economic Entomology**, v.95, p.167-173. 2002.
- Souza, J. C.; Reis, P. R. Controle da traça do tomateiro em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, p.343-354. 1986.
- Southwood, T. R. E. Migration of terrestrial arthropods in relation to habitat. **Biological Reviews**, v.37, p.171-214. 1962.
- Southwood, T. R. E.; Henderson, P. A. **Ecological Methods**. Blackwell Science, Oxford, UK. 2000. 575p.

- Sutherland, W. J.; Gill, J. A.; Norris, K. **Density dependent dispersal in animals: concepts, evidence, mechanisms and consequences.** p.135-151. In: Bullock, J. M.; Kenward, R. E.; Hails, R. S. (ed.). Dispersal ecology. Blackwell Publishing, Malden, Massachusetts, USA. 2002.
- Taylor, L. R. Aggregation, variance and the mean. **Nature**, v.189, p.732-735. 1961.
- Taylor, L. R. Assessing and interpreting the spatial distribution of insect populations. **Annual Review of Entomology**, v.29, p.231-257. 1984.
- Trager, M. D.; Boyd, B. M.; Daniels, J. C.; Pence, J. A. Host plant selection, larval survival and reproductive phenology in *Megathymus yuccae* (Lepidoptera: Hesperiiidae). **Environmental Entomology**, v.38, p.1211-1218. 2009.
- Vieira, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial.** Curso de atualização em conservação de solos. Campinas: IAC, 1995. 61p.
- Wright, R. J.; Devries, T. A.; Young, L. J.; Jarvi, K. J.; Seymour, R. C. Geostatistical analysis of the small-scale distribution of european corn borer (Lepidoptera: Crambidae) larvae and damage in whorl stage corn. **Environmental Entomology**, v.31, p.160-167. 2002.
- Young, L. J.; Young, J. H. **Statistical Ecology: a population perspective.** Norwel, MA, Kluwer Academic Publishers. 1998, 565p.
- Young, L.; Young, J. **Statistical ecology: a population perspective.** Kluwer Academic, Boston, 2002. 534p.

CONCLUSÕES GERAIS

A faixa de temperatura de desenvolvimento e reprodução de *Tuta absoluta* é entre 14 a 35 °C. A faixa ótima de temperatura desta espécie é entre 26 a 30 °C. A chuva afeta negativamente *T. absoluta*, sendo que chuvas menores que 10 mm por mês já reduzem a sobrevivência deste inseto a zero.

A oviposição de *T. absoluta* nas lavouras de tomate é agregada. A densidade de ovos de *T. absoluta* é maior nas bordas dos cultivos, sobretudo quando é mais intenso o ataque deste inseto. A dispersão dos ovos de *T. absoluta* é maior o longo das fileiras do que entre estas.