

EDUARDO RODRIGUES HICKEL

**DINÂMICA POPULACIONAL E PREVISÃO DA ATIVIDADE DE VÔO
DE *Grapholita molesta* (BUSK, 1916) (LEPIDOPTERA:TORTRICIDAE)
EM POMARES DE PESSEGUEIRO E AMEIXEIRA**

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

2002

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

T

H628d
2002

Hickel, Eduardo Rodrigues, 1964-

Dinâmica populacional e previsão da atividade de vôo de *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera : Tortricidae) em pomares de pessegueiro e ameixeira / Eduardo Rodrigues Hickel. – Viçosa : UFV, 2002. 86p. : il.

Orientador: Evaldo Ferreira Vilela

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. *Grapholita molesta* - Dinâmica populacional. 2. *Grapholita molesta* - Atividade de vôo - Simulação por computador. 3. Pêssego - Doenças e pragas. 4. Ameixa - Doenças e pragas. 5. Pragas - Controle integrado. 6. Mariposa-oriental. 7. Fourier, Análise de. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 595.781045248

CDD 20.ed. 595.781045248

EDUARDO RODRIGUES HICKEL

**DINÂMICA POPULACIONAL E PREVISÃO DA ATIVIDADE DE VÔO
DE *Grapholita molesta* (BUSK, 1916) (LEPIDOPTERA:TORTRICIDAE)
EM POMARES DE PESSEGUEIRO E AMEIXEIRA**

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: 19 de novembro de 2002

Prof. Og Francisco Fonseca de Souza
(Conselheiro)

Prof. Carlos Frankl Sperber

Prof. Marcelo Lobato Martins

Dr. Ricardo Sgrillo

Prof. Evaldo Ferreira Vilela
(Orientador)

A Deus,
que dia a dia nos revela alguns mistérios
da sua grande Criação

Recompensa

Voou
por engano
uma flor.
Não sei se voou
um mês
ou se voou
um ano,
mas seja como for
voou uma vez,
duas, três,
uma flor.

Entrou
na escola
e descansou
na sacola
preta
preta
do menino branco
que estava no banco
e lhe chamou
borboleta.

E a borboleta
para agradecer
abriu a sacola
e ajudou o menino a fazer
os exercícios da escola.

Sidônio Muralha

Agradecimentos

Amigo Prof. Evaldo Ferreira Vilela, meu muito obrigado por se dispor, novamente, a me orientar na busca do conhecimento científico e contribuir sobremaneira para a minha prosperidade e de toda a minha família.

Profs. Og Francisco Fonseca de Souza, que me deu guarita em seu Laboratório, e Octavio Miramontes, que mesmo vindo de longe se dispôs a trabalhar conosco, obrigado por compartilharem seus conhecimentos e proporem rumos para o trabalho.

Profs. José Henrique Schoereder e Carlos Frankl Sperber e Dra. Madelaine Venzon, grato por revisarem alguns dos manuscritos.

Dr. Francisco Jablonski, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obrigado por gentilmente ceder os softwares DFT e DCF utilizados neste estudo.

Meu irmão Gabriel, sua colaboração nas análises e discussões sobre ruído 1/f foram fundamentais. Tenha para sempre meu reconhecimento e gratidão.

Companheiros do Laboratório de Termitologia, obrigado pelo convívio e o salutar intercâmbio de idéias.

Programa de Pós-Graduação em Entomologia da UFV, agradeço a acolhida.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), seu comprometimento e indispensável suporte financeiro obtiveram êxito. Obrigado.

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), agradeço a oportunidade de aprimoramento.

Pai, Mãe e pessoal lá de casa, recebam um grande abraço de agradecimento.

Lúcia, Gabriel, Thalita, Arthur, Vinícius e Antônio, sem vocês eu não conseguiria.

Biografia

Eduardo Rodrigues Hickel, filho de Rodi Hickel e Maria do Carmo Rodrigues Hickel, nasceu em Florianópolis, SC, aos 6 de abril de 1964.

Cursou o primeiro e segundo graus em Florianópolis, SC, no Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Santa Catarina.

Em julho de 1986 gradou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, SC.

Em agosto de 1986 ingressou no Programa de Concessão de Bolsas de Estudo da Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S.A. – EMPASC.

Em março de 1990 obteve o título de “Magister Scientiae” em Entomologia pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

Pesquisador II da EMPASC, posterior Epagri, a partir de outubro de 1989, lotado na Estação Experimental de Videira, em Videira, SC.

Iniciou o curso de doutorado em Entomologia em abril de 1999, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

Índice

	Página
Resumo	viii
Abstract	ix
Introdução Geral	1
Ação prejudicial de <i>G. molesta</i> nos pomares	1
Peculiaridades sobre a biologia do inseto	2
Monitoramento de <i>G. molesta</i> com feromônio	4
O que mais extrair dos estudos de monitoramento?	6
Literatura Citada	6
Por que as populações flutuam erraticamente? Tantos e tão poucos... e suas implicações no manejo integrado de pragas	10
Resumo	10
Abstract	11
Introdução	12
As flutuações populacionais e o manejo de pragas	13
Os promotores de flutuação populacional	16
O universo físico	16
Os efeitos do clima e outras influências ambientais	18
Quando a física emerge na biologia	19
O caos nas dinâmicas populacionais	20
Processos distintos porém similares - grandezas com escalamento.....	21
O universo vivo	23
Auto-regulação	23
Movimentos migratórios e dispersão	24
Organismos se confrontando	25
Quando um terceiro participa do confronto	27
Outras causas efêmeras	28
O caminho futuro no estudo das dinâmicas populacionais de pragas agrícolas ...	28

	Página
Literatura citada	30
Dinâmicas periódicas e ruído 1/f na flutuação populacional da mariposa oriental, <i>Grapholita molesta</i> (Busk), em pomares de pessegueiro e ameixeira	38
Resumo	38
Abstract	39
Introdução	40
Material e métodos	41
Resultados	43
Discussão	51
Agradecimentos	57
Literatura citada	60
Previsão da atividade de vôo de <i>Grapholita molesta</i> (Busk) em pomares de pessegueiro e ameixeira, através do ajuste entre captura de adultos em armadilhas de feromônio e acumulação de calor	64
Resumo	64
Abstract	65
Introdução	66
Material e métodos	67
Resultados	70
Discussão	70
Literatura citada	76
Anexo	80
Literatura citada	80

Resumo

HICKEL, Eduardo Rodrigues, D.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2002.

Dinâmica populacional e previsão da atividade de vôo de *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera:Tortricidae) em pomares de pessegueiro e ameixeira.

Orientador: Evaldo Ferreira Vilela. Conselheiros: Og Francisco Fonseca de Souza e Octavio Miramontes.

É característico nas populações de seres vivos oscilações no número de indivíduos ao longo do tempo, embora o tempo não seja o promotor destas oscilações. Compreender a forma como ocorrem estas oscilações é fundamental para se proceder o manejo de espécies, quer seja objetivando a preservação da biodiversidade em ambiente naturais ou a supressão de organismos indesejáveis em agroecossistemas. Populações da mariposa oriental, *Grapholita molesta* (Busk 1916) (Lepidoptera:Tortricidae), em pomares de pessegueiro e ameixeira apresentaram periodicidade de 53,91 semanas com oscilações de indivíduos características de ruído rosa, com típico escalamento 1/f. Uma das implicações desta dinâmica, é que um pico populacional não tende a ser precedido ou sucedido por outro pico populacional, devendo haver uma queda no número de indivíduos antes que picos sucessivos ocorram. Outra implicação, é que grandes picos populacionais não se sucedem em curtos intervalos de tempo, assim, a ocorrência prolongada de um reduzido número de indivíduos passa a denotar que um grande pico populacional está prestes a ocorrer. Estas informações são fundamentais para a estratégia de controle de *G. molesta*. Sendo a dinâmica 1/f, resulta que não haverá acúmulo de indivíduos na população com o passar do tempo (há pulsos de ocorrência de indivíduos), o que pode tornar inviável vincular a tomada de decisão do controle em níveis populacionais predefinidos. Os surtos de ocorrência de *G. molesta* foram concomitantes com as flutuações de temperatura e a ocorrência em fase destas oscilações permitiu estabelecer um modelo simulatório da atividade de vôo do inseto com base na captura de adultos em armadilhas de feromônio e na acumulação de calor em graus-dia. Para o primeiro vôo de mariposas (geração pós-diapausa), as previsões para coleta de 50% dos indivíduos ficaram adiantadas em $1,0 \pm 0,11$ dias, enquanto que para o segundo vôo (primeira geração estival) este adiantamento foi de $5,0 \pm 0,13$ dias.

Abstract

HICKEL, Eduardo Rodrigues, D.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2002.
Population dynamics and forecasting of flight activity of *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera:Tortricidae) in peach and plum orchards. Adviser: Evaldo Ferreira Vilela. Committee members: Og Francisco Fonseca de Souza and Octavio Miramontes.

It is characteristic in the population of being oscillations in the number of individuals in time, although the time is not the cause of these oscillations. Understanding the way by these oscillations happen is essential for species management either to preserve the biodiversity in nature or to suppress undesired organisms in agroecosystems. Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busk 1916) (Lepidoptera: Tortricidae), populations in peach and plum orchards had periodicity of 53,91 weeks with oscillations in the number of individuals characteristic of pink noise, with typical $1/f$ scale. One implication of this dynamics is that one population peak is not precede or succeed by another, there must have been a population decline before the occurrence of successive peaks. Another implication is that great peaks do not succeed in short time intervals, so the occurrence of a long time with a small number of individuals suggests that a great population peak is near to happen. This information is important to plan the control of *G. molesta*. Being the dynamics $1/f$, meant that will not have cumulative number of individuals in time (the individuals occur in pulses) and this may turn inappropriate to link the decision of control in predefined population levels. The outbreaks of *G. molesta* were concomitant with the temperature fluctuations and the occurrence in phase of these oscillations enabled the establishment of a simulation model of the flight activity based on moth trap catches and heat summation in degree-days. For the first flight (overwintered generation) the predictions for 50% catch occurred with an advance of $1,0 \pm 0,11$ days, whereas for the second flight (first season generation) the same prediction occurred $5,0 \pm 0,13$ days forward.

DINÂMICA POPULACIONAL E PREVISÃO DA ATIVIDADE DE VÔO DE *Grapholita molesta* (BUSK, 1916) (LEPIDOPTERA:TORTRICIDAE) EM POMARES DE PESSEGUEIRO E AMEIXEIRA

Introdução Geral

A mariposa oriental, *Grapholita molesta* (Busk 1916) (Lepidoptera: Tortricidae), também conhecida como grafolita ou broca-dos-ponteiros, é uma das piores pragas em pomares de pessegueiro e ameixeira. Amplamente disseminada por todas as regiões produtoras do Brasil, esta praga causa perdas expressivas, quer seja na produção ou durante a fase de implantação dos pomares, quando incide de forma devastadora, impedindo o crescimento normal das plantas (Salles 1984).

No estado de Santa Catarina, a mariposa oriental é praga chave para o cultivo de frutas de caroço e requer do produtor rural vigilância constante sobre a sua ocorrência e providências no sentido de manter as populações sob controle. Também pode incidir sobre fruteiras pomáceas, como macieira e pereira, não passando despercebida pelos produtores destas frutas (Hickel 1993).

Ação prejudicial de *G. molesta* nos pomares

As lagartas atacam os ponteiros e frutos das fruteiras de clima temperado. Nos ponteiros se alimentam dos primórdios foliares e depois penetram na medula, abrindo uma galeria de 2 a 10 cm de extensão. O ponteiro atacado seca e fica enegrecido, podendo haver exudação de goma pelo orifício de entrada da lagarta. É comum as lagartas abandonarem o ponteiro atacado para se instalar em outros em busca de alimento. Uma única lagarta pode atacar de 3 a 7 ponteiros da mesma planta, geralmente próximos um do outro (Lorenzato 1988, Salles & Marini 1989).

Os danos nos ponteiros são mais prejudiciais em viveiros de mudas e em pomares jovens em formação, pois há uma tendência natural das plantas atacadas emitirem

brotações laterais, prejudicando a "arquitetura" e crescimento das mesmas. Em macieira o ataque em ponteiros provenientes da poda verde impede a formação das gemas terminais e conseqüentemente perde-se a floração destes ramos.

Nos frutos as lagartas penetram preferencialmente pela região do pedúnculo ou do cálice e vão se alimentar da polpa próximo à região carpelar ou caroço. No ponto de penetração das lagartas pode-se observar a deposição de excrementos envoltos em fios de teia e eventualmente aderidos à goma exudada. Frutos atacados apresentam galerias e tornam-se imprestáveis para comercialização. Quando muito pequenos os frutos atacados podem murchar e cair prematuramente, principalmente quando são frutos de ameixeira (Hickel & Ducroquet 1998).

Peculiaridades sobre a biologia do inseto

A forma adulta da praga é uma pequena mariposa de cerca de 12mm de envergadura, de coloração pardo-escuro-acizentado com algumas estrias de coloração branca. Os ovos são diminutos (0,7mm de diâmetro) e tem formato de pequenos discos, ligeiramente convexos e esbranquiçados. São postos isoladamente na face inferior de folhas novas, nas brotações, em ramos novos e nos frutos.

As lagartas recém eclodidas são branco-acizentadas com cabeça preta, porém quando completamente desenvolvidas apresentam coloração branco-rosada com cabeça marrom e atingem de 12 a 14mm de comprimento. As crisálidas ficam abrigadas em casulos de seda, tecidos pelas lagartas, em fendas da casca dos troncos ou ramos, nas axilas dos ramos, ou em detritos no solo. Apresentam coloração amarelo-acastanhado e medem aproximadamente 6mm de comprimento (Hurtado *et al.* 1979, Gallo *et al.* 1988).

As primeiras mariposas surgem na primavera oriundas de lagartas que passaram o inverno em diapausa. São insetos crepusculares, com atividades de migração, alimentação, acasalamento e postura concentradas no horário das 17:00 às 22:00h. Vivem em torno de 15 dias, durante os quais as fêmeas ovipositam 45 ovos em média. A incubação dos ovos varia de 2 a 6 dias e o período larval se estende por 11 a 36 dias, dependendo das condições ambientais. Sob a forma de pupa ou crisálida, o inseto passa de 6 a 14 dias, o que resulta num ciclo de vida completo variando de 19 a 56 dias, podendo ocorrer de 5 a 8 gerações anuais (Tabela 1) (Salles 1984, Grelmann 1991).

Tabela 1. Duração das fases do ciclo biológico de *Grapholita molesta* em diferentes temperaturas, sob UR de 75 10% e fotoperíodo 14L:10E.

Temperatura (°C)	Período (em dias)									
	Ovo		Larva		Pré-pupa		Pupa		Total	
	Média	I.V. ¹	Média	I.V.	Média	I.V.	Média	I.V.	Média	I.V.
20	5,07	4 - 6	21,53	18 - 27	7,93	7 - 9	12,29	11 - 14	46,82	40 - 56
23	3,83	3 - 4	15,72	13 - 19	4,50	4 - 6	9,06	8 - 11	33,11	28 - 40
26	3,07	2 - 4	12,26	10 - 14	3,42	3 - 4	7,71	7 - 9	26,46	22 - 31
30	2,86	2 - 3	11,03	9 - 13	3,03	2 - 4	6,81	6 - 8	23,73	19 - 28

^{1/} I.V. - Intervalo de variação

A temperatura ambiente tem influência direta sobre a duração das fases do ciclo biológico, regulando o desenvolvimento do inseto. Em função deste efeito, foi possível estabelecer as temperaturas bases (mínimas necessárias) para *G. molesta* completar cada fase do ciclo (Tabela 2) (Grelmann 1991). A temperatura base pode ser entendida como a temperatura mais baixa que permite o desenvolvimento dos indivíduos, e é determinada pela fisiologia do inseto. Abaixo desta temperatura o desenvolvimento é interrompido.

Tabela 2. Temperaturas bases inferiores das fases do ciclo biológico de *Grapholita molesta*, sob UR de 75 10% e fotoperíodo 14L:10E.

Fase do ciclo biológico	Temperatura base (°C)
Ovo	6,47
Larva	9,04
Pré-pupa	12,78
Pupa	6,61
Ciclo ovo-adulto	8,99

O estabelecimento das temperaturas bases permite definir as constantes térmicas, em graus-dia, necessárias para que cada fase do ciclo biológico chegue a termo (Tabela 3), e esta informação é fundamental para o desenvolvimento dos modelos simulatórios da atividade de vôo do inseto (Dutcher & All 1978, Rice *et al.* 1982, Kocourek *et al.* 1995, Kocourek *et al.* 1996).

Tabela 3. Constantes térmicas das fases do ciclo biológico de *Grapholita molesta* (Rice *et al.* 1982, Grelmann 1991).

Fase do ciclo biológico	Constante térmica (graus-dia)	
	Califórnia, EEUU	Pelotas, RS
Período de pré-oviposição	27,78	-
Ovo	79,45	64,79
Larva	215,00	223,63
Pré-pupa	-	50,16
Pupa	157,22	155,46
Ciclo ovo-adulto	-	482,00
Período inter-gerações	535,00	-

As constantes térmicas refletem a quantidade de calor necessária para o inseto desenvolver-se de um estágio para o outro e são conhecidas também por tempo fisiológico. Assim, o desenvolvimento do inseto não está apenas em função do seu tempo de vida, mas da combinação tempo-temperatura, na forma de calor acumulado. Este calor acumulado geralmente é expresso em unidades de graus-dia. Um grau-dia, para um dado inseto, corresponderá então a um período de 24 horas com a temperatura média um grau acima da temperatura base deste inseto (Grelmann 1991).

Monitoramento de *G. molesta* com feromônio

Em diversas espécies de insetos a comunicação entre indivíduos é processada por um complexo sistema, baseado na troca de mensagens químicas. Estes mensageiros químicos são denominados feromônios e podem ser classificados conforme sua função (Vilela & Della Lucia 1987).

Em *G. molesta*, o recrutamento do parceiro para acasalamento é desencadeado pelo feromônio sexual, exalado pelas fêmeas nos períodos de atividade do inseto (Roelofs *et al.* 1969, Rothschild & Minks 1974, Baker & Carde 1979). Esta substância foi identificada como sendo uma mistura dos isômeros (Z)-8-dodecenil acetato e (E)-8-dodecenil acetato (Arn *et al.* 1992) e atua nos indivíduos machos estimulando a atividade de vôo e procura das fêmeas.

O feromônio sexual sintético de *G. molesta* foi obtido no início da década de setenta e desde então iniciaram-se os estudos de monitoramento mediante o uso de armadilhas adesivas (Phillips 1973, Forno *et al.* 1975, Garziano & Viggiani 1981, Silveira Neto *et al.* 1981). Atualmente esta técnica é comercializada por empresas especializadas, sendo adotado o modelo de armadilha Delta, como o mais adequado (de melhor eficiência, praticabilidade e menor custo) (Agrisence s.d.).

Em seu ciclo anual, *G. molesta* sobrevive ao inverno em diapausa na fase larval, em casulos tecidos sob as cascas das árvores, em folhas aderidas aos ramos, em frutos mumificados ou sobre o solo entre as folhas secas. Com o aumento da temperatura no final do inverno, as lagartas empupam e após 10 a 20 dias emergem os adultos (Salles 1984).

Dada a existência de diapausa durante o ciclo anual, é peculiar na flutuação populacional de *G. molesta* a ocorrência de levas de adultos (vôos), que vão se sobrepondo em gerações sucessivas durante a primavera e o verão. Assim, em estudos de monitoramento com armadilhas de feromônio, é característico períodos de intensa coleta de mariposas, intercalados por períodos de baixa ou nenhuma coleta, sendo esta alternância de coletas uma característica importante para definir a época do controle da praga através do monitoramento (Baker *et al.* 1980, Rice *et al.* 1982).

Rice *et al.* (1982) argumentam que as armadilhas devem ser instaladas no pomar de modo a detectar a primeira emergência de adultos, originários das lagartas em diapausa. Assim, para as regiões produtoras de frutas de caroço do Brasil, o mês de agosto (primeira ou segunda semanas) é a referência para a instalação de armadilhas de feromônio visando o monitoramento de *G. molesta* (Bertoldi 1988, Hickel & Ducroquet 1998).

Estudos conduzidos em São Paulo em pomares de pessegueiro evidenciaram a ocorrência de *G. molesta* durante todo o ano, porém com as maiores populações nos meses de dezembro e janeiro (Silveira Neto *et al.* 1981). De modo similar em Pelotas, RS, a população da praga também foi mais elevada nos referidos meses (Bertoldi 1988). Em pomares de pessegueiro situados em Caldas, MG, a *G. molesta* também ocorreu durante todo o ano e embora em dezembro ocorresse um surto populacional, foi nos meses de abril e maio que se verificaram as maiores populações (Regina & Matioli 1987). Em Videira, SC, *G. molesta* tende a ocorrer de agosto a maio, embora possam ser capturados adultos em junho e julho nos anos de alta incidência da praga. As populações mais elevadas ocorrem em janeiro, fevereiro e abril (Reis Filho *et al.* 1988, Hickel & Ducroquet 1998).

O que mais extrair dos estudos de monitoramento?

Não obstante a profusão de estudos de monitoramento, a dinâmica populacional de *G. molesta* nos pomares não está satisfatoriamente elucidada. Questões básicas como a periodicidade de ocorrência da praga e a natureza das oscilações do número de indivíduos observado ainda permanecem obscuras. Estas são informações relevantes para o planejamento de estratégias de controle da praga e precisam ser esclarecidas.

O uso de armadilhas de feromônio por parte dos produtores também permanece problemático, dada sua escassez no mercado de insumos agrícolas. Em Santa Catarina por exemplo, ainda é prática comum entre os fruticultores a aplicação de inseticidas para o controle de *G. molesta* de forma preventiva e sistemática, tendo em vista a falta de conhecimento do início de ocorrência da praga (Hickel & Ducroquet 1998).

Esta dificuldade poderia ser minimizada mediante o desenvolvimento de sistemas de previsão de ataque, baseados em modelos simulatórios da ocorrência da praga, que permitiriam estabelecer os momentos adequados para intervir com medidas mais drásticas de controle (Rice *et al.* 1982, Kocourek *et al.* 1995, Kocourek *et al.* 1996). E isto sem que fosse necessário o uso intensivo de armadilhas de feromônio pelos produtores.

Desta forma, a proposta do presente documento é apresentar informações pertinentes sobre a dinâmica populacional de *G. molesta* em pomares de pessegueiro e ameixeira em Santa Catarina, bem como estabelecer um modelo para simulação da atividade de vôo da praga nos pomares, baseado em dados de coleta de mariposas em armadilhas de feromônio e dados climáticos; que possa posteriormente ser aplicado em programas de manejo integrado. Este documento está organizado em três seções, equivalendo cada a um artigo científico elaborado nos moldes do periódico Neotropical Entomology da Sociedade Entomológica do Brasil, apenas modificando a posição das figuras e tabelas.

Literatura Citada

AGRISENSE. *Insect monitoring systems for agriculture, stored produce and forestry: pheromones, lures and insect traps*. Fresno: Agrisense, s.d. 23p.

- ARN, H.; TOTH, M.; PRIESNER, E. *List of sex pheromones of Lepidoptera and related attractants*. Monfavet:IOBC, 1992. 179p.
- BAKER, T.C.; CARDÉ, R.T. Analysis of pheromone-mediated behavior in male *Grapholita molesta*, the oriental fruit moth (Lepidoptera:Tortricidae). *Environmental Entomology*, v.8, n.5, p.956-968, 1979.
- BAKER, T.C.; CARDÉ, R.T.; CROFT, B.A. Relationship between pheromone trap capture and emergence of adult oriental fruit moths, *Grapholita molesta* (Lepidoptera:Tortricidae). *The Canadian Entomologist*, v.112, n.1, p.11-15, 1980.
- BERTOLDI, L.H.M. *Flutuação populacional de Grapholita molesta (Busk, 1916) (Lepidoptera - Olethreutidae) e alguns aspectos de sua bioecologia em pomar de pessegueiro*. Pelotas:UFPel, 1988. 48p. (Tese de mestrado).
- DUTCHER, J.D.; ALL, J.N. Predictive models for the summer activity of *Vitacea polistiformis* in concord grape vineyards. *Environmental Entomology*, v.7, n.3, p.456-460, 1978.
- FORNO, H.; ARRETZ, P.; GONZALES, R.H. Sex pheromone in the detection and evaluation of the oriental fruit moth in Chile. *Plant Protection Bulletin*, v.23, p.4-11, 1975.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIN, J.D. *Manual de entomologia agrícola*. São Paulo:Agronômica Ceres, 1988. 649p.
- GARZIANO, V.; VIGGIANI, G. Four years of observations on the flight and control of *Cydia molesta* (Busk) and of *Anarsia lineatella* (Zell.) in peach orchards in Campania by means of synthetic pheromone traps. *Annali della Facolta di Scienze Agrarie della Universita degli Studi di Napoli*, v.15, p.93-110, 1981.
- GRELMMANN, E.O. *Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de Grapholita molesta (Busk, 1916) (Lepidoptera - Olethreutidae) em Pelotas, RS*. Pelotas:UFPel, 1991. 43p. (Tese de mestrado).
- HICKEL, E.R. *Pragas do pessegueiro e ameixeira e seu controle no Estado de Santa Catarina*. Florianópolis:EPAGRI, 1993. 45p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 66).

- HICKEL, E.R.; DUCROQUET, J.P.H.J. Monitoramento e controle da grafolita ou mariposa oriental no Alto Vale do Rio do Peixe. *Agropecuária Catarinense*, v.11, n.2, p. 8-11, 1998.
- HURTADO, D.P.; TOMASA, M.C.; AOSOBISPO, L. Biología y control de Grafolita y *Anarsia* em melocotoneros. *Revista de Extension Agraria*, v.18, n.1, p.11-17, 1979.
- KOCOUREK, F.; BERÁNKOVÁ, J.; HRDÝ, I. A temperature-driven model to simulate the population development of the plum fruit moth, *Cydia funebrana* (Treit.). *Anzeiger fur Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz*, v. 68, n.3, p.64-68, 1995.
- KOCOUREK, F.; BERÁNKOVÁ, J.; HRDÝ, I. Fligth patterns of the peach twig borer, *Anarsia lineatella* Zell. (Lep.,Gelechiidae) in Central Europe as observed using pheromones traps. *Anzeiger fur Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz*, v. 69, n.4, p.84-87, 1996.
- LORENZATO, D. Lepidópteros nocivos em frutíferas rosáceas no sul do Brasil. *Ipagro Informa*, n.31, p.71-78, 1988.
- PHILLIPS, J.H.H. Monitoring for oriental fruit moth with synthetic sex pheromone. *Environmental Entomology*, v.2, n.6, p. 1039-1042, 1973.
- REGINA, M.A.; MATIOLI, J.C. Flutuação populacional de *Grapholita molesta* (Busk) (Lep.; Olethreutidae) em pessegueiros no Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 11., Campinas, 1987, *Resumos*. Campinas: SEB, 1987, p.140.
- REIS FILHO, W.; NORA, I.; MELZER, R. Population dynamics of *Grapholita molesta*, Busk, 1916, and its adaptation on apple in South Brazil. *Acta Horticulturae*, v.232, p. 204-208, 1988.
- RICE, R.E.; BARNETT, W.W.; FLAHERTY, D.L.; BENTLEY, W.J.; JONES, R.A. Monitoring and modeling oriental fruit moth in California. *California Agriculture*, v.36, n.1-2, p.11-12, 1982.
- ROELOFS, W.L.; COMEAU, A.; SELLE, R. Sex pheromone in the oriental fruit moth. *Nature*, v.224, p.723, 1969.
- ROTHSCHILD, G.H.L.; MINKS, A.K. Time of activity of male oriental fruit moth at pheromones sources in the field. *Environmental Entomology*, v.3, p.1003-1007, 1974.
- SALLES, L.A.B. *Grafolita* (*Grapholita molesta*) *bioecologia e controle*. Pelotas:

- EMBRAPA/CNPFT, 1984. 16p. (EMBRAPA/CNPFT. Documentos, 20).
- SALLES, L.A.B.; MARINI, L.H. Etiologia do ataque das lagartas de *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera: Tortricidae) em pessegueiro. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v.18, n.2, p.337-345, 1989.
- SILVEIRA NETO, S.; PRECETTI, A.A.C.M.; BRAZ, A.J.B.P.; SANTOS, P.E.T. Flutuação populacional de *Grapholita molesta* (Busk) (Lep., Olethreutidae) em pessegueiro e nectarina com o uso de feromônio sexual sintético. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v.10, n.1, p.43-49, 1981.
- VILELA, E.F.; DELLA LUCIA, T.M.C. *Feromônios de insetos*. Biologia, química e emprego no manejo integrado de pragas. Viçosa:UFV, 1987. 155p.

Por que as populações flutuam erraticamente?

Tantos e tão poucos... e suas implicações no manejo integrado de pragas

Eduardo R. Hickel¹, Gabriel R. Hickel², Evaldo F. Vilela³,
Og F.F. DeSouza³, Octavio Miramontes⁴

Resumo - Desvendar os intrigantes processos que levam o número de indivíduos de uma população a oscilar ao longo do tempo tem sido um dos grandes desafios dos ecólogos. A busca desta informação é crucial para o desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam prever a época e intensidade das oscilações. No caso de pragas agrícolas, esta previsão pode resultar em estratégias de controle mais adequadas. Diversas hipóteses têm sido propostas e várias delas permitem a elaboração de modelos de previsão satisfatórios, porém com resultados por vezes paradoxalmente opostos. Uma característica peculiar destes modelos é que, apesar de serem fundamentados por fenômenos naturais, como a dependência de densidade, soluções caóticas, multi-periódicas e periódicas podem ser obtidas com a manipulação dos valores dos parâmetros. Ainda mais instigante é o comportamento com escalamento no domínio de frequências, que tornam estes processos similares a outros fenômenos naturais completamente distintos, porém quiçá pertencentes à mesma classe universal.

Palavras-chave: dinâmica populacional, ecologia de populações, caos, dinâmicas não-lineares, periodicidade

¹ Epagri/Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Biologia Animal, 36570-000, Viçosa, MG, e-mail: ehickel@epagri.rct-sc.br. Bolsista do CNPq.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Astrofísica, Caixa postal 515, 12202-970, São José dos Campos, SP. Bolsista da FAPESP.

³ Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Biologia Animal, 36570-000, Viçosa, MG.

⁴ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Física, Dep. Sistemas Complejos, Ciudad Universitaria, México 01000 D.F.

Why do populations erratically cycle?
So many and so few...and its implications for
integrated pest management

Abstract – Elucidating the intriguing processes that make natural populations oscillate in time has been one of the greatest challenges for ecologists. This information is crucial for developing mathematical models that allow forecasting the time and intensity of the oscillations. For agricultural pests, forecasting can result in better timing of control strategies. Several hypotheses have been proposed and some of them have allowed the construction of satisfactory forecasting models, which sometimes convey paradoxically opposite results. One peculiar characteristic of the models is that, regardless of being based in natural phenomena like density dependence, chaotic, quasi-periodic, and periodic solutions can be achieved with a mere parameter manipulation. Much more instigating is the scaling behavior in the frequency domain that makes these processes similar to other completely different natural phenomena that may well belong to the same universal class.

Keywords: population dynamics, population ecology, chaos, nonlinear dynamics, periodicity

Introdução

As oscilações verificadas na ocorrência dos organismos vivos há muito vêm fascinando os estudiosos de ecologia e de entomologia agrícola. Estas oscilações refletem o balanço entre os indivíduos que nascem e chegam e os que morrem e saem em dado local, de tal forma que, nos incrementos populacionais, a taxa de natalidade ou de incorporação de indivíduos (que chegam por dispersão ou migração) supera a taxa de mortalidade ou de saída e assim mais organismos persistem no local.

Os intrigantes processos que levam o número de indivíduos a se alterar ao longo do tempo, bem como de que forma ocorrem estas alterações, geralmente são o foco dos estudos de ecologia de populações (Lundberg *et al.* 2000) e sempre objetivam responder a um questionamento maior do: *Por que as populações flutuam erraticamente?*

Diversos padrões de flutuação têm sido verificados, desde aqueles facilmente correlacionáveis com alguma variável qualquer (Lischke & Blago 1990, Berryman 1996, Habermann 2000) até outros extremamente complexos e que desafiam o *status quo* do conhecimento (Leonard & Parker 1994, Batzli 1999, Liebhold *et al.* 2000, Ruohomäki *et al.* 2000).

A grande mola propulsora destes estudos porém, é a necessidade (e vontade) de se prever quando e em que intensidade ocorrerão as oscilações de indivíduos (Ellner & Turchin 1995). Para a área agrícola, esta informação torna-se cada vez mais necessária na medida em que as estratégias de manejo de pragas são refinadas e que novos sistemas de produção são propostos (e.g. produção integrada) (Logan & Allen 1992). Não obstante, é justamente nas prospecções de populações de pragas agrícolas que os estudos são mais incipientes, principalmente naquelas levadas a efeito no território nacional. Mormente apresenta-se apenas a flutuação populacional do organismo alvo ao longo do tempo, sem que se esboce qualquer tentativa de explicar as causas ou descrever outras características da flutuação populacional encontrada. Quantas delas são periódicas, quantas são caóticas, quantas se devem a interações ecológicas, quantas são regidas por forças abióticas externas, permanece sempre uma grande incógnita.

As flutuações populacionais e o manejo de pragas

Embora estudos de flutuação populacional possam ser importantes para diversos segmentos das ciências biológicas, como manejo e conservação de espécies, sem dúvida é nas ciências agrárias que eles tornam-se essenciais, principalmente para manejo e controle de pragas e até mesmo de doenças dos vegetais e ervas invasoras dos cultivos (Pedigo & Zeiss 1996).

Na Figura 1 estão ilustradas cinco possibilidades teóricas de flutuação populacional de uma dada espécie, cujo número de indivíduos oscila em torno da média histórica das respectivas séries temporais. Ao lado de cada série, quando apropriado, está o espectro de potência da série temporal, que estabelece a importância estatística de cada frequência para a composição da série (ajuste linear) e será discutido no tópico: “Processos distintos porém similares - grandezas com escalamento”. Uma sexta possibilidade seria o “ruído azul” que, embora matematicamente possível, acredita-se que não subsistiria em sistemas biológicos (Cohen 1995, Sugihara 1995, 1996, White *et al.* 1996).

As cores são empregadas para facilitar a mentalização dos diferentes padrões de flutuação, tal como se a flutuação populacional equivallesse a uma onda de luz do espectro visível (Petchey 2002, Clark 2001). Assim, aquelas flutuações inteiramente aleatórias em frequência e amplitude são ditas “brancas” (ou ruído branco), visto o branco ser a mistura de todas as cores; e aquelas flutuações em que pequenas oscilações ocorrem sobrepostas a outras maiores, perfazendo grandes oscilações no tempo, são ditas “avermelhadas” (vermelho e rosa).

Mas, quais as implicações destas possibilidades para manejo de pragas?

A primeira possibilidade apresentada é o movimento harmônico e seria a situação ideal para se lidar num cultivo agrícola. Inteiramente estável e previsível em frequência e amplitude de oscilação, acarretaria, numa situação hipotética, o estabelecimento preciso dos momentos para intervenção com medidas de manejo. Contudo, esta é só uma possibilidade teórica, muito pouco provável de ocorrer em populações naturais.

No extremo oposto está a quinta possibilidade, o movimento casual ou ruído branco. Inteiramente instável e imprevisível em frequência e amplitude de oscilação, acabaria por conduzir, numa situação hipotética, à adoção do denominado “controle por calendário”, onde as medidas de manejo seriam empregadas em datas fixas, independentemente da ocorrência do organismo alvo (Pool 1987). Felizmente esta é também apenas uma possibilidade teórica, muito pouco provável de ocorrer em populações naturais.

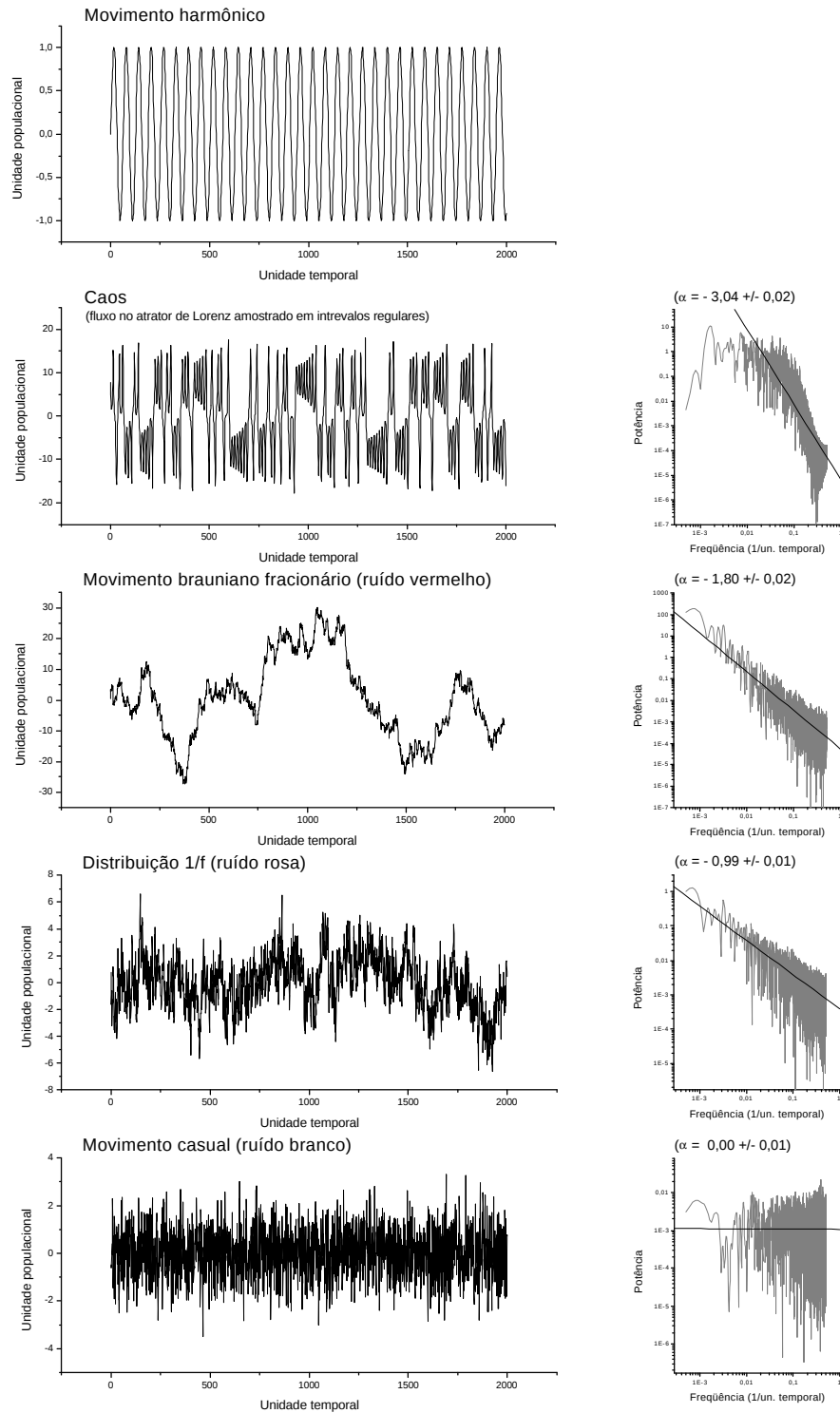


Figura 1. Exemplos de séries temporais, caracterizando comportamentos variando de inteiramente regular a inteiramente irregular e seus respectivos espectros de potência (gráficos à direita) e inclinação do ajuste linear ($y = \alpha x + \beta$). Fonte: Chaos Data Analiser (<http://sprott.physics.wisc.edu/cda.htm>)

A segunda possibilidade apresentada é o caos, que a exemplo do ruído branco, é inteiramente imprevisível em frequência e amplitude de oscilação. A diferença entre as duas séries, é que no caos o sistema é determinístico, ou seja, há um relacionamento estabelecido entre variáveis dependentes e independentes (uma equação matemática) que, porém, conduz a resultados aparentemente aleatórios (Logan & Allen 1992, Rai & Schaffer 2001). Na prática agrícola, seria preferível encontrar uma flutuação populacional caótica a uma casual pois, em tese, uma vez identificado o determinismo poder-se-ia tentar interferir nos parâmetros que levam ao caos para se obter outra situação mais previsível (Pool 1987, Logan & Allen 1992).

As terceira e quarta possibilidades são as mais comuns de ocorrer entre os organismos vivos e traduzem duas situações distintas em termos de planejamento de estratégias de manejo pragas. O movimento brauniano ou ruído vermelho representa aquelas situações de flutuação populacional em que há momentos de acúmulo contínuo de indivíduos e momentos de decréscimo contínuo de indivíduos na população (Ariño & Pimm 1995). Nestes casos, o estabelecimento de níveis populacionais para a tomada de decisão para o controle, como o *nível de ação* e o *nível de dano econômico*, parece ser a melhor estratégia, visto que a seqüência amostral de indivíduos da população permitirá reconhecer com clareza os momentos de acúmulo de indivíduos e os momentos em que este acúmulo será prejudicial aos cultivos (Pedigo *et al.* 1986).

Na situação de distribuição 1/f ou ruído rosa, os acúmulos e decréscimos de indivíduos na população não são contínuos mas sim intermitentes. Há pulsos de ocorrência de indivíduos que, a longo prazo, podem caracterizar momentos de crescimento populacional ou momentos de decréscimo populacional (Halley 1996, Grover *et al.* 2000). Uma vez que não há acúmulo progressivo de indivíduos na população com o passar do tempo (há pulsos de ocorrência de indivíduos), a vinculação da tomada de decisão do controle em níveis populacionais predefinidos pode se mostrar uma estratégia equivocada. Mesmo considerando que o dispositivo amostral utilizado e a frequência de amostragem são capazes de “capturar” a seqüência de pulsos de ocorrência de indivíduos, não há como estabelecer com clareza os momentos de acúmulo de indivíduos e os momentos em que este acúmulo será prejudicial aos cultivos. Nestes casos, talvez seja mais apropriado vincular as estratégias de controle aos pulsos de ocorrência dos indivíduos ou a modelos simulatórios da ocorrência de indivíduos, porém os estudos ainda são escassos.

Os promotores de flutuação populacional

Uma característica peculiar dos estudos de flutuação populacional é que a variável independente, no caso o tempo, não é o fator que determina o estado da variável dependente, geralmente indivíduos da população. Assim, a mera apresentação da variação do número de indivíduos no tempo não traduz as causas de variação dos registros (Kendall *et al.* 1999).

A busca das causas ou respostas de porquê as populações flutuam erráticamente nem sempre é tarefa fácil e quando algum motivo é proposto, sempre paira uma certa dúvida se este motivo não resulta de mera coincidência de fatos ou mesmo de mero efeito de cálculos ou números (Morris 1990, Ginzburg & Taneyhill 1994, Berryman 1995, Cavalieri & Koçak 1995, Berryman 1996, White *et al.* 1996, Hunter & Price 1998, Lloyd & May 1999, Newman & Eble 1999, Liebhold & Kamata 2000). Contudo, esta dúvida parece estar se mostrando salutar para os estudos de ecologia de populações, pois tem permitido a proposição de novas hipóteses e desafios a serem desvendados (Logan & Allen 1992, Hunter & Price 1998, Kendall *et al.* 1999, Turchin 2001).

Uma compilação dos conhecimentos atuais das causas das oscilações populacionais permite separá-las em dois grandes grupos, quais sejam: as causas oriundas do universo físico e aquelas oriundas do universo vivo ou do domínio da vida (Fig. 2). Embora assim separadas, para mero desenvolvimento de raciocínio, estas causas podem ocorrer sobrepostas, sendo esta sobreposição um dos fatores (se não o principal) geradores de dúvida nos estudos de dinâmica populacional (Kaitala & Ranta 1996, Sugihara 1996). A partir destes dois grandes grupos, as causas são apresentadas num diagrama dicotômico onde as linhas acabam por convergir para os possíveis padrões de flutuação populacional.

O universo físico

As causas de oscilações de populações agrupadas no universo físico ou abiótico, são aquelas oriundas de forças externas ao sistema, como o clima ou outros fenômenos meteorológicos e variações ambientais (Logan & Allen 1992, Liebhold & Kamata 2000, Ruohomäki *et al.* 2000), ou então oriundas da própria natureza dos dados e de sua semelhança com processos físicos análogos (Halley 1996, Constantino *et al.* 1998, Miramontes & Rohani 1998, Henson, 2000).

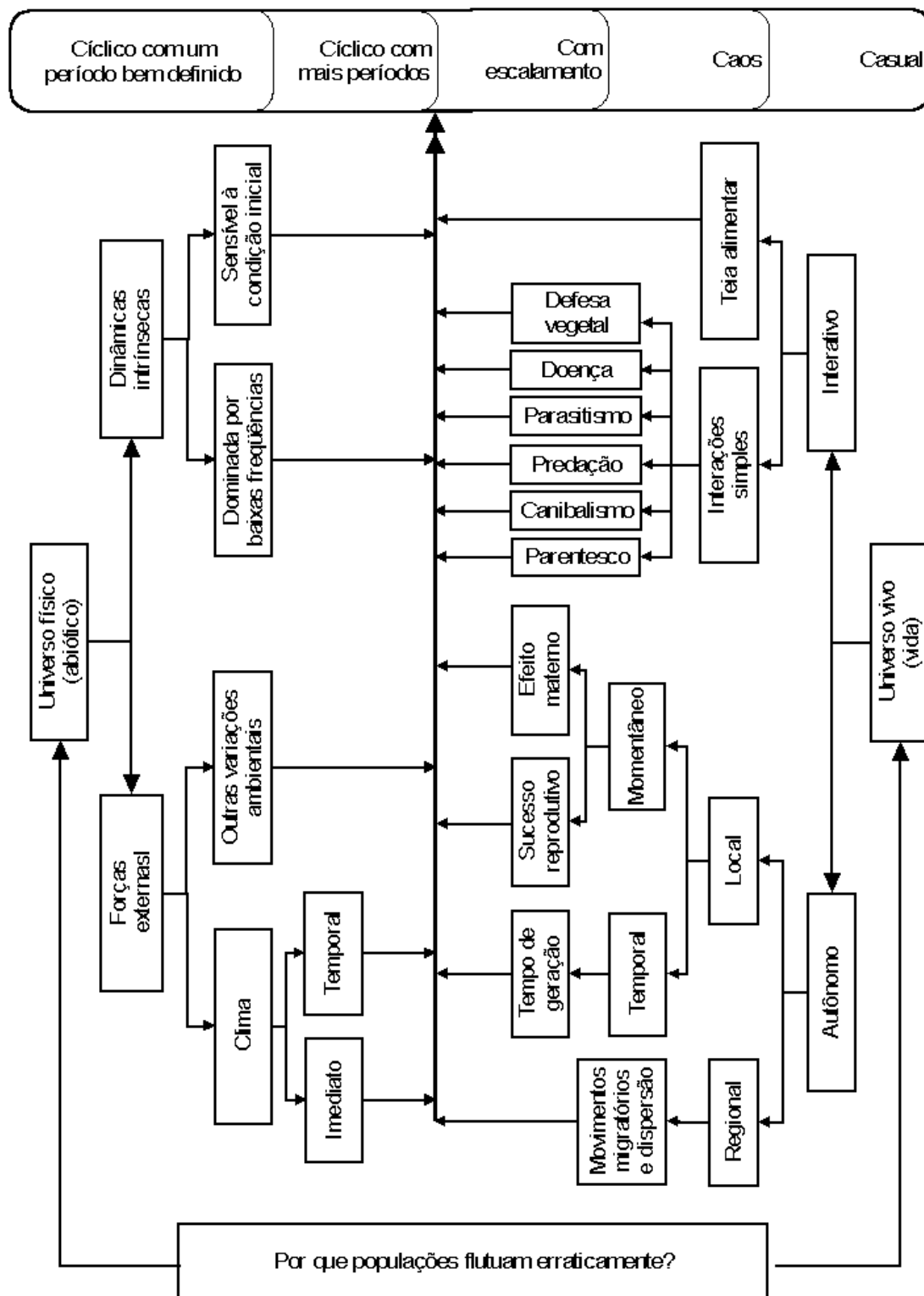


Figura 2. Fluxograma de resposta do por que as populações flutuam erraticamente. No alto, para onde as linhas convergem, estão os comportamentos possíveis das oscilações populacionais.

Os efeitos do clima e outros fenômenos meteorológicos são de natureza perceptível e assim podem ser reputados como atuantes sobre as oscilações populacionais, ou seja podem ser mensurados e correlacionados com dados de flutuações populacionais (Fielding & Brusven 1990, Holyoak *et al.* 1997). Por outro lado, os registros de flutuação populacional apresentam características próprias que os tornam análogos a sistemas físicos não lineares e desta forma, podem ser modelados e previstos com base na teoria relativa a estes sistemas (Hilborn & Tufillaro 1997, Miramontes & Rohani 1998, Rai & Schaeffer 2001).

Os efeitos do clima e outras influências ambientais

O clima é, tradicionalmente, um dos primeiros fatores aventados para justificar as oscilações no número aferido de indivíduos de uma população (Batista Filho *et al.* 1991, Turchin *et al.* 1991, Fernandes & Habid, 1992, Perruso & Cassino 1993, Berryman 1996). Esta tradição talvez tenha origem nos estudos de flutuação populacional das pragas agrícolas, aparentemente sujeitas a poucas interações ecológicas, pela própria natureza dos agro-ecossistemas (Levins & Wilson 1980, Hall & Sosa 1994). Como os componentes do clima oscilam em toda sorte de períodos (dependendo da escala de mensuração), fica fácil encontrar correlações com variações de temperatura, precipitação, horas de insolação ou outro componente qualquer do clima, mesmo que esta correlação seja espúria (sem real relação entre causa e efeito) (Fielding & Brusven 1990, Lischke & Blago 1990, Zimmer 1999, Ralphs & Jones 2000).

Tendo-se em conta ainda, que os estudos de dinâmica populacional de pragas agrícolas se limitam a curtos períodos de tempo (muitas vezes por apenas dois anos ou safras), não há como prospectar outras causas, especialmente aquelas dependentes de densidade ou oriundas de dinâmicas não-lineares, que só se tornam evidentes em estudos de maior duração (Turchin *et al.* 1991, Kuznetsov *et al.* 1992, Logan & Allen 1992, Liebhold & Kamata 2000, Rai & Schaffer 2001, Turchin 2001).

Normalmente, o efeito dos componentes do clima sobre as populações ocorre localmente, quer a nível de indivíduo, como por exemplo períodos de chuva, nevoeiro ou ventania impedindo o voo de insetos (Sanders *et al.* 1978, Kaakeh & Dutcher 1993, Holyoak *et al.* 1997), ou a nível temporal, como a temperatura sincronizando os estágios de desenvolvimento ou reprodução dos indivíduos (Williams & Liebhold 1995a, Peterson

& Nilssen 1996, Lundberg *et al.* 2000). É interessante ressaltar que esta sincronização pelo clima tem sido um dos principais argumentos para explicar a ocorrência concomitante de indivíduos em diferentes regiões numa mesma latitude (efeito de Moran) (Royama 1984, Hanski & Woiwod 1993, Berryman 1996, Myers 1998, Ruohomäki *et al.* 2000).

Outras variações ambientais, como estrutura e fertilidade do solo, disponibilidade de água, fluxos de marés e fases lunares, têm efeito similar ao clima sobre as populações e podem ser correlacionadas com diferentes comportamentos de dinâmicas populacionais (Tan & Serit 1994, Zimmer 1999, Habermann 2000).

Os componentes do clima por certo contribuem nas oscilações de indivíduos, contudo os estudos de sua influência devem ser mais criteriosos (Ariño & Pimm 1995, Sugihara 1995, Zimmer 1999, Lundberg *et al.* 2000). As análises de séries temporais mais longas normalmente reduzem as correlações com fatores climáticos ou mesmo eliminam esta possibilidade (Turchin *et al.* 1991, Berryman 1996, Hunter & Price 1998, Petchey 2000). Análises de vários ciclos de ocorrência de pragas florestais não tem tido correlação com os componentes locais de clima e embora possam ser correlacionados com fenômenos meteorológicos cíclicos, como os ciclos de manchas solares (Sinclair *et al.* 1992, Myers 1998, Ruohomäki *et al.* 2000), não parece haver muito fundamento entre causa e efeito (Berryman 1996). O clima parece atuar mais como fonte de interferência, adicionando "ruído" (perturbações imprevisíveis independentes de densidade) a processos aparentemente regulares (Pool 1987, Cavalieri & Koçak 1994, Ellner & Turchin 1995, Holyoak *et al.* 1997, Ellner *et al.* 1998).

Quando a física emerge na biologia

Em 1974 Robert May assombrou os ecologistas ao demonstrar que um modelo de crescimento populacional - o modelo logístico - poderia levar a soluções de equilíbrio, cíclicas, bi-periódicas e inclusive caóticas, apenas se alterando o valor numérico de um parâmetro numa equação matemática (May 1974, Rai & Schaffer 2001). Nada de clima, nada de interações ecológicas, apenas números dentro de uma máquina!

Parece ser característico dos dados e modelos populacionais estas soluções matemáticas que simplificam o universo biológico (Kuznetsov *et al.* 1992, Murdoch *et al.* 1998, Zimmer 1999). Séries temporais de ocorrência de indivíduos podem ainda ser tratadas como movimentos oscilatórios, às quais se aplica toda teoria física a eles associada

(Constantino *et al.* 1998, Henson 2000). As previsões da ocorrência dos indivíduos podem ser feitas independentes de qualquer interação com o mundo vivo (Cavalieri & Koçak 1995).

A razão destas proposições não está apenas na manipulação de números e fórmulas, mas também no fato de se verificar oscilações em populações que, a priori, estariam imunes a alterações no número de indivíduos. Diversos organismos quando criados em laboratório, num ambiente controlado, apresentam oscilações populacionais semelhantes àsquelas observadas em populações naturais (Gurney *et al.* 1980, Bellows, 1982, Dennis *et al.* 1997, Knell 1998, Miramontes & Rohani 1998, Grover *et al.* 2000). As causas destas oscilações podem então ser atribuídas ao caráter "físico" dos processos populacionais, uma vez que as possíveis causas ecológicas estão reduzidas ao mínimo.

O caos nas dinâmicas populacionais

Numa visão simplificada, um comportamento caótico advém quando alterações infinitesimais no estado inicial de um sistema, levam a resultados completamente discrepantes em relação a um outro inicialmente experimentado, mesmo sendo o sistema determinístico (Pool 1987, Logan & Allen 1992, Lorenz 1996, Rai & Schaffer 2001). É como se o sistema fosse imprevisível, uma vez que não há como mensurar as modificações no estado inicial do sistema e assim saber o resultado final. Dada a esta imprevisibilidade (característica comum a várias situações de flutuação populacional), o caos foi largamente perquirido nos estudos de dinâmica populacional e embora facilmente demonstrado por cálculos, sua real existência nos sistemas biológicos naturais não foi amplamente comprovada (Morris 1990, Kuznetsov *et al.* 1992, Sun & Yang 1999, Zimmer 1999, Rai & Schaffer 2001).

Por que então dinâmicas populacionais podem ser caóticas? A principal razão é que os processos populacionais são característicos de sistemas não-lineares (Ellner & Turchin 1995, Cushing *et al.* 1996, Dennis *et al.* 1997, Hilborn & Tufillaro 1997, Zimmer 1999, Rai & Schaffer 2001) e a solução caótica é uma das possibilidades dos sistemas não-lineares (Olsen & Schaffer 1990, Logan & Allen 1992, Lloyd & May 1999). Assim, a simples manipulação matemática de parâmetros de equações não-lineares, que podem representar efeitos reais de processos demográficos ou de interações ecológicas, como mortalidade, canibalismo, predação, entre outros; pode levar o sistema a ter um comportamento caótico. Soluções intermediárias de periodismo ou multi-periodismo

normalmente também são verificadas (Gurney *et al.* 1980, Logan & Allen 1992, Cavaliere & Koçak 1995, Constantino *et al.* 1995, Dennis *et al.* 1997, Ellner *et al.* 1998), inclusive com a introdução de perturbações casuais (Ellner & Turchin 1995, Sun & Yang 1999, Zimmer 1999). Atualmente apregoa-se que os processos de flutuação populacional podem ter comportamentos transitórios associados a diferentes atratores (pontos de convergência), em resposta a uma mudança de condição, e o caos é um dos comportamentos possíveis (Dennis *et al.* 1997, Grover 1999, Turchin & Ellner 2000, Rai & Schaffer 2001).

Processos distintos porém similares - grandezas com escalamento

Paradoxalmente ao comportamento caótico, diversos estudos de séries temporais envolvendo a ocorrência de organismos vivos, quando tratados sob a ótica da física, tem mostrado incríveis similaridades com outros fenômenos naturais cíclicos como abalos sísmicos, surtos de doenças, registros fósseis, registros de extinção de aves, complexidade estrutural de tecidos, entre outros (Bak *et al.* 1988, Halley 1996, Keitt & Marquet 1996, Rhodes & Anderson 1996, Miramontes & Rohani 1998, Clark 2001).

Mas, aonde pairam estas similaridades? Dados de flutuação populacional assemelham-se a ondas que sofrem interferências e assim caracterizam-se pela vibração num domínio de baixas frequências, ou seja, pequenas variações de indivíduos ora cumulativas ora subtrativas, perfazendo grandes variações de indivíduos em longos períodos de tempo (Ariño & Pimm 1995, Halley 1996, White *et al.* 1996, Petchey 2000). Neste particular, assume-se que as populações tem “cor vermelha”, ou seja, se os registros das oscilações de indivíduos se equivalessem a uma onda de luz, esta luz estaria na faixa avermelhada do espectro eletro-magnético.

Vibração em domínio de baixas frequências é próprio de sinais periódicos que sofrem interferência, tal qual um canal de TV ou de rádio que não sintoniza direito (tem-se a onda base e as vibrações de amplitude). A interferência pode ser tão intensa que pode resultar apenas em chiado (ruído branco) (Fig. 1) (Clark 2001). Entretanto, também é comum um certo nível de ruído, que resulta em fenômenos ocorrendo com escalamento, ou seja, pequenos sinais em curtos espaços de tempo e grandes sinais em longos intervalos de tempo, proporcionais entre si (ruído rosa ou "1/f") (Halley 1996, Miramontes & Rohani 1998, Grover *et al.* 2000).

A proporcionalidade entre sinais é dada por uma lei de potência na forma de:

$$w(f) = f^\alpha$$

onde f equivale a frequência e em que o expoente α é igual a -1 (ajuste linear, Fig1.), assim:

$$w(f) = f^{-1} \Rightarrow w(f) = 1/f$$

desta forma, um evento que ocorre a cada ano, será dez vezes menos intenso que um que ocorre a cada dez anos ($f = 0,1$), que por sua vez será dez vezes menos intenso que um que ocorre a cada cem anos ($f = 0,01$), e assim por diante.

Pois bem, além de flutuações populacionais, registros de abalos sísmicos, surtos de doenças, registros fósseis, registros de extinção de aves, complexidade estrutural de tecidos, entre outros, também podem apresentar este comportamento, onde a frequência de ocorrência de um evento (f) é inversamente proporcional a potência deste evento ($w(f)$) (Lapenna *et al.* 1998).

Este fenômeno em escalamento também ocorre numa ampulheta que derrama sua areia no compartimento de baixo. A areia cai e espontaneamente passa a formar um cone, sempre proporcional (o anterior é igual em escala ao posterior), e isto ocorre em sucessivos deslizamentos de areia, vários deslizamentos de poucos grãos (deslizamentos pouco potentes) intercalados vez por outra por deslizamentos de muitos grãos de areia (deslizamentos muito potentes), de tal forma que, potência e frequência de deslizamentos obedecem uma lei de potência ($1/f$). Assim, acumulando e liberando avalanches de grãos, a inclinação do cone de areia é mantida. Isto é o que se convencionou chamar "criticalidade auto-organizada" em sistemas complexos (Bak *et al.* 1988, Halley 1996, Solé *et al.* 1999).

Um sistema auto-organizado é aquele em que forças físicas atuando localmente, determinam o comportamento do sistema, independentemente da natureza e peculiaridades do mesmo e sem que exista um plano traçado de antemão (Keitt & Marquet 1996, Skokov *et al.* 2001). A auto-organização num estado crítico, caracteriza sistemas complexos amplos, formados por muitas partes interatuantes, que espontaneamente evoluem para um ponto crítico, no limiar de organização do sistema. Neste ponto, perturbações casuais desestabilizam a organização do sistema que porém tende a retornar com o rearranjo das partes (Bak *et al.* 1988, Solé *et al.* 1999).

Neste contexto, as oscilações populacionais podem ter origem num processo cíclico e regular (e.g. intervalos de geração), que porém, por estar sujeito a interferências ambientais, assume um padrão com escalamento, típico dos fenômenos auto-organizados

(Halley 1996, Grover *et al.* 2000). Não obstante, o mesmo padrão com escalamento pode emergir em populações mantidas em laboratório (sem interferência ambiental), caracterizando-o como uma propriedade intrínseca das dinâmicas populacionais, forte o suficiente para se manter inalterado ante a perturbações introduzidas (Miramontes & Rohani 1998, Petchey 2000).

O universo vivo

Números, parâmetros e abstrações parecem não satisfazer boa parte dos estudiosos de ecologia e assim a busca de causas para as oscilações populacionais envolvendo o universo vivo persistiu (Berryman & Millstein 1989, Berryman 1996, Rai & Schaffer 2001, Turchin 2001). Neste aspecto é possível separar as causas intrínsecas ao organismo em estudo, daquelas que compõem as interações ecológicas a que este organismo está sujeito.

Auto-regulação

Um dos principais processos geradores de oscilações na ocorrência de organismos é o intervalo entre gerações, especialmente para organismos de menor derivação filogenética e de ciclo de vida curto como os insetos (Knell 1998, Grover 1999). Dada a sua relativa invariabilidade, o intervalo entre gerações normalmente condiciona oscilações regulares na ocorrência dos organismos (Gurney *et al.* 1980, Jansen *et al.* 1990).

Para insetos que vivem em regiões de clima temperado, estas oscilações regulares têm permitido o desenvolvimento de modelos de previsão com acurada precisão (Riedl *et al.* 1976, Gargiullo *et al.* 1984, Berardinis *et al.* 1992, Cockfield *et al.* 1994). Cabe ressaltar entretanto, que normalmente as épocas de ocorrência é que são previstas e não a quantidade de indivíduos.

Na verdade estas oscilações podem estar caracterizando um falso periodismo, pois na verdade apenas um estágio de desenvolvimento está sendo observado. Assim, quando este estágio não é observado, não significa que os indivíduos não estejam presentes, eles apenas se encontram numa outra forma, por vezes menos conspícua.

Interferências ambientais no intervalo de gerações podem levar a uma dinâmica auto-organizada, com variações ocorrendo com escalamento, uma vez que estas

interferências tendem a provocar pequenas oscilações no número de indivíduos amostrados (Sugihara 1995, Halley 1996). Ciclos de geração também podem representar um estado dinâmico de um comportamento caótico, cujo alcance depende das condições iniciais do sistema (Grover 1999).

Tem sido demonstrado também que interferências freqüentes no sucesso reprodutivo dos indivíduos podem levar a oscilações populacionais ao longo do tempo. Este efeito foi constatado em modelos populacionais dependentes de densidade, adicionando-se uma variável representativa de uma perturbação aleatória do sucesso reprodutivo (Kaitala *et al.* 1996).

Por outro lado, a qualidade média dos indivíduos de uma população, traduzida pelo estado nutricional e resistência a adversidades, também pode se constituir num fator promotor de oscilação no número de indivíduos, principalmente quando esta qualidade é transmitida entre gerações por herança materna (efeito materno), à semelhança de um fator dependente de densidade com retardo temporal (Ginzburg & Taneyhill 1994, Rossiter 1994, Simchuk *et al.* 1999). Isto porque a fecundidade e o desenvolvimento até o estágio adulto estão em função da qualidade individual, que por sua vez, é dependente da qualidade das fêmeas e de sua habilidade em propiciar à progênie boas condições de desenvolvimento (loais de oviposição) (Ginzburg & Taneyhill 1994).

Tem sido observado também, que mudanças genéticas na população podem preceder mudanças na densidade de indivíduos. Assim, nos momentos de surto prevalece um genoma (e.g. heterozigoto), enquanto nos momentos de raridade outra composição (e.g. homozigoto) é mais freqüente. A competição intra-específica é que estaria promovendo estas alterações, numa intrincada inter-dependência entre composição gênica e exploração de recursos (Simchuk *et al.* 1999).

Movimentos migratórios e dispersão

Fluxos migratórios de organismos podem condicionar oscilações populacionais, pois acarretam a chegada ou a partida de grande número de indivíduos em determinada região (Gadgil 1971). Oscilações desta natureza, quando observadas apenas a nível local, podem levar a interpretações equivocadas da dinâmica populacional do organismo em estudo, como a detecção espúria de efeitos dependentes de densidade em séries temporais (Pool 1987, Ruohomäki *et al.* 2000).

Embora seja um mecanismo promotor de dinâmicas populacionais, o fenômeno da

migração é pouco comum entre os organismos vivos e assim parece ter importância apenas para algumas espécies (Hanski & Woiwod 1993, Myers 1998, Batzli 1999). Entretanto, os deslocamentos de indivíduos entre locais têm reflexos na dinâmica populacional de várias espécies, ora como fator amplificador das oscilações populacionais (Royama 1984), ora como fator redutor destas oscilações (Paradis 1995). Nenhum estudo porém, considera estes deslocamentos como determinantes da dinâmica populacional, assim a dispersão de indivíduos normalmente é tratada como um distúrbio adicional, incorporador de ruído no comportamento das dinâmicas populacionais (Rohani & Miramontes 1995, Gonzalez-Andujar 1998, Lundberg *et al.* 2000).

Organismos se confrontando

As inter-relações entre organismos, quer sejam de indivíduos da mesma espécie ou de espécies distintas, são processos que induzem oscilações do número de indivíduos ao longo do tempo, principalmente quando são processos dependentes de densidade (Bulmer 1975, Berryman 1978). Neste particular a competição intra-específica (Leonard & Parker 1994, Ginzburg & Taneyhill 1994, Dennis *et al.* 1997) e as interações entre presa/predador ou presa/parasitóide (Begon *et al.* 1996, Berryman 1996, Grover 1999, Liebhold & Kamata 2000, Ruohomäki *et al.* 2000) são os processos mais estudados. Outros processos dependentes de densidade que afetam as dinâmicas populacionais são as defesas induzidas por herbivoria (Haukioja 1988, Ruohomäki *et al.* 2000), as epizootias (Anderson & May 1980, Myers 1993, Liebhold *et al.* 2000) e os laços de parentesco intra-específicos (Matthiopoulos *et al.* 2000, Moss & Watson 2001).

A dependência de densidade promove oscilações porque o número de indivíduos da geração anterior condiciona, não apenas o número de indivíduos da geração seguinte, mas também o número de indivíduos do agente regulador. Quando este condicionamento é por competição, a regulação do número de indivíduos pode ocorrer por um efeito imediato, por exemplo, lagartas de último instar comendo lagartas de estágios iniciais (Jillson 1980, Leonard & Parker 1994, Knell 1998), ou então por um efeito com retardo temporal, como a desnutrição larval interferindo no sucesso reprodutivo dos adultos, resultando em poucos indivíduos na terceira geração (Bulmer 1975, Ginzburg & Taneyhill 1994).

A presença ou não do retardo temporal tipifica o comportamento das dinâmicas populacionais. Fatores dependentes de densidade com efeito imediato (e.g. mortalidade por canibalismo) delineiam populações oscilando em torno de um nível médio de

indivíduos (comportamento “estável”), ao passo que ciclos periódicos de ocorrência de indivíduos, intercalados por períodos de raridade, resultam de fatores dependentes de densidade com retardo temporal (e.g. mortalidade causada por um parasitóide) (Berryman 1978, Ginzburg & Taneyhill 1994, Murdoch 1994, Berryman 1995, Ruohomäki *et al.* 2000).

Quando o condicionamento de indivíduos das gerações futuras ocorre pela ação de um predador, parasitóide ou doença, o efeito geralmente é com retardo temporal, pois é preciso sucessivas gerações para incrementar o número de indivíduos do agente de controle (Fig. 3) (Leonard & Parker 1994, Berryman 1996, Knell 1998). Este retardo temporal é uma variável importante na elaboração de modelos para previsão de ocorrência dos organismos, porém a variação do valor deste e de outros parâmetros, simulando uma interferência natural (e.g. temperatura), pode levar a uma resposta caótica (Kuznetsov *et al.* 1992, Logan & Allen 1992, Cavalieri & Koçak 1994). Há indícios também, de que pode haver mudanças sazonais na dependência de densidade com reflexo nas dinâmicas populacionais (Batzli 1999); porém o mais impressionante, é que a dependência de densidade pode ser encontrada em séries temporais completamente desconectadas do universo vivo, como valores de contas de luz por exemplo. Isto revela que o condicionamento de uma dinâmica por variáveis externas, como ciclos climáticos, pode levar a uma detecção espúria de efeitos dependentes de densidade em populações naturais (Williams & Liebhold 1995b, Hunter & Price 1998, Zeng *et al.* 1998).

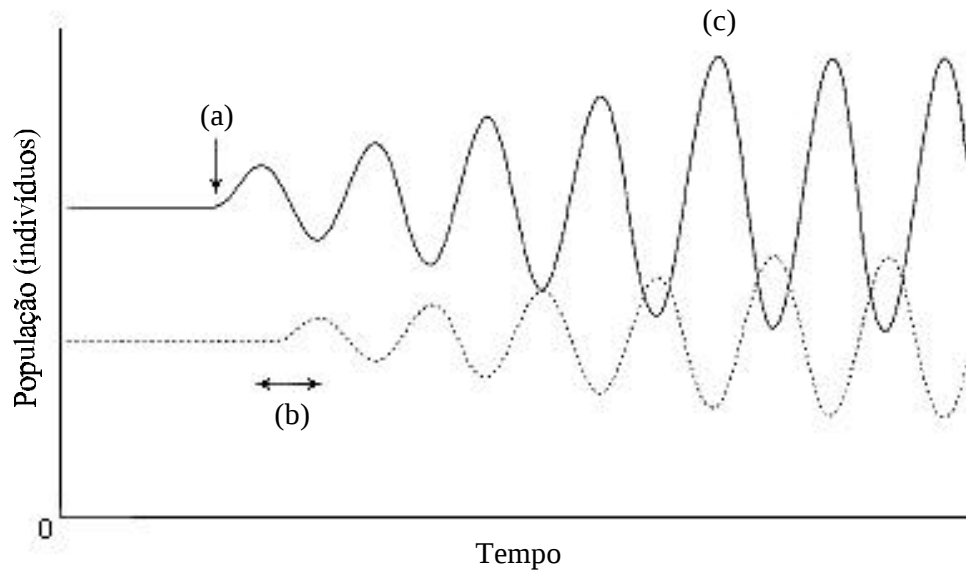


Figura 3. Representação gráfica da geração de oscilações populacionais pela interação presa (linha cheia) X parasitóide (linha pontilhada). Em (a) alguma condição ou recurso favorece a população da presa, cujo incremento é acompanhado pela população do parasitóide, defasado no tempo equivalente ao intervalo de geração do parasitóide (b). As oscilações são crescentes até que um novo equilíbrio dinâmico é atingido (c) (redesenhado de Knell (1998)).

Quando um terceiro participa do confronto

Uma interação dependente de densidade, principalmente quando envolve dois organismos (e.g. predação), pode ser regulada por um terceiro organismo atuando sobre o agente regulador do primeiro, principalmente nos períodos de raridade (baixa densidade populacional). Assim, um vegetal que fornece alimento alternativo para um predador, pode interferir na interação presa/predador quando fornece este alimento em abundância ou quando não o produz em suficiência (Liebhold *et al.* 2000). Por outro lado, pode haver interferência direta do terceiro organismo sobre o primeiro, tal qual a qualidade da planta hospedeira promovendo uma maior ou menor suscetibilidade do herbívoro aos parasitóides ou predadores, mantendo a população da presa estável (pequenas oscilações a partir de um nível médio) (Ruohomäki *et al.* 2000, Turchin & Ellner 2000). Desta forma, apesar de, aparentemente, as oscilações da presa estarem sendo determinadas pelo

predador/parasitóide, na verdade o condicionamento provém de um nível trófico inferior, caracterizando um complexo de partes interatuantes.

Outras causas efêmeras

Outras hipóteses que explicam o aparecimento periódico de organismos dizem respeito a fenômenos efêmeros como a colonização recente e catástrofes naturais, porém o efeito destes fenômenos seria passageiro e a estabilidade nas oscilações populacionais adviria com sucessivas gerações (Leonard & Parker 1994). Não obstante estes fenômenos terem pouca importância na análise de séries temporais longas, para análise de séries temporais curtas, como aquelas tradicionalmente obtidas em agro-ecossistemas, é necessário considerá-las (Sherrat & Jepson 1993).

O tamanho corporal também é proposto como hipótese para explicar as oscilações populacionais, principalmente de mamíferos. Por esta hipótese, espécies com maior tamanho corporal tenderiam a sofrer oscilações longas, envolvendo vários anos (Calder 1983). Não obstante, esta hipótese tem sido sumariamente refutada em outros estudos (Berryman 1995), e parece estar ligada ao intervalo de gerações. Como organismos de corpo maior demoram mais para se reproduzir, o tamanho corporal parece estar relacionado a periodicidade dos ciclos de geração (Ginzburg & Taneyhill 1995).

O caminho futuro no estudo das dinâmicas populacionais de pragas agrícolas

Visto que as oscilações de indivíduos podem caracterizar diversos comportamentos de dinâmica populacional, e que inúmeros processos (inclusive interatuantes) podem condicionar estes comportamentos; os estudos de dinâmica populacional de pragas agrícolas não podem mais terminar em si mesmos, apenas mostrando a flutuação populacional do inseto por um ou dois anos conforme é prática comum (e.g. Batista Filho 1991, Fernandes & Habid 1992, Perrusso & Cassino 1993, Auad *et al.* 1998). É preciso perseverança na coleta de dados, para que as séries temporais abranjam períodos de tempo maiores e assim, possam ser adequadamente analisadas. Apenas exemplificando, quando

as análises envolvem equações não-lineares, para se detectar comportamentos complexos como o caos, é preciso que as séries tenham alguns milhares de dados, caso contrário, não se obtém, com segurança, parâmetros como o expoente de Lyapunov, entre outros (Eckmann & Ruelle 1992, Logan & Allen 1992). Por outro lado, para se obter resultados consistentes nas análises de periodicidade, que normalmente envolvem a transformada de Fourier (Miramontes & Rohani 1998, Clark 2001), é preciso que as séries temporais possuam algumas centenas de dados. Neste aspecto, o correto dimensionamento do sistema em estudo passa a ser importante, pois o período de tempo necessário para coleta de dados é função da frequência das oscilações do sistema (Ariño & Pimm 1995).

Alguns estudos porém, principalmente aqueles envolvendo espécies univoltinas (McLellan 1978, Zimmer 1999), requerem do pesquisador muitos anos de dedicação “infrutíferos” no tocante aos índices de desempenho profissional (e.g. publicações). Nestes casos, seria mais adequado transformar o estudo numa ação institucional, aonde a coleta de dados persistiria, mesmo com a análise periódica de algumas séries.

É preciso também uma mudança de política das agências financiadoras de pesquisa, que normalmente limitam o financiamento dos estudos por curtos períodos de tempo. As obrigações contratuais, na forma de relatórios de resultados, acabam condicionando os estudos de flutuação populacional pelo tempo que perdura o financiamento (Logan & Allen 1992).

Embora a sazonalidade seja característica dos cultivos agrícolas, o estudo de séries temporais longas, notadamente nos cultivos perenes de frutíferas e pastagens, podem revelar estatísticas importantes das flutuações populacionais ou mesmo dinâmicas inesperadas até então. Estes conhecimentos por sua vez, podem revolucionar as estratégias de controle de pragas atualmente empregadas nestes cultivos ou mesmo revelar quão inadequadas são estas estratégias. Apenas exemplificando, será que mosca-das-frutas *Anastrepha fraterculus* (Wied.) deve mesmo ser combatida com pulverização inseticida em cobertura quando se atinge 0,5 mosca por frasco por dia?

Literatura citada

- Anderson, R.M., R.M. May. 1980.** Infectious diseases and population cycles of forest insects. *Science* 210: 658-661.
- Ariño, A., S.L. Pimm. 1995.** On the nature of population extremes. *Evol. Ecol.* 9: 429-443.
- Auad, A. M., V. H. P. Bueno, J. W. de Matos, L. M. V. Foureaux, , J. W. De Matos. 1998.** Ocorrência e flutuação populacional de *Brachycaudus schwartzi* em pessegueiro, no município de Jacuí, MG. *Pesq. Agrop. Bras.* 33: 115-132.
- Bak, P., C. Tang, K. Wiesenfeld. 1988.** Self-organized criticality. *Phys. Rev. A* 38: 364-374.
- Batista Filho, A., M.E. Sato, A. Raga, L.G. Leite, A. Prada. 1991.** Flutuação populacional da broca da bananeira (*Cosmopolites sordidus* Germar) em Miracatu, SP. *Ecossistema* 16: 46-53.
- Batzli, G.O. 1999.** Can seasonal changes in density dependence drive population cycles? *Trends Ecol. Evol.* 14: 129-131.
- Begon, M., S.M. Sait, D.J. Thompson. 1996.** Predator-prey cycles with periods shifts between two- and three-species systems. *Nature* 381: 311-315.
- Bellows Jr., T.S. 1982.** Analytical models for laboratory populations of *Callosobruchus chinensis* and *C. maculatus* (Coleoptera, Bruchidae). *J. Anim. Ecol.* 51: 263-287.
- Berardinis, E., R. Tiso, A. Butturini, G. Briolini. 1992.** A phenological forecasting model for the apple and pear leaf-roller *Argyrotaenia pulchellana* (Hw.) (Lepidoptera:Tortricidae). *Boll. Ist. Ent. "G. Grandi" Univ. Bologna* 47: 111-122.
- Berryman, A.A. 1978.** Population cycles of the douglas-fir tussock moth (Lepidoptera: Lymantriidae): the time-delay hypothesis. *Can. Entomol.* 110: 513-518.
- Berryman, A. A. 1995.** Population cycles: a critique of the maternal and allometric hypotheses. *J. Anim. Ecol.* 64: 290-293.
- Berryman, A. A. 1996.** What causes population cycles of forest Lepidoptera? *Trends Ecol. Evol.* 11: 28-32.
- Berryman, A. A., J.A. Millstein. 1989.** Are ecological systems chaotic - and if not, why not? *Trends Ecol. Evol.* 4: 26-28.
- Bulmer, M.G. 1975.** The statistical analysis of density dependence. *Biometrics* 31: 901-911.

- Calder, W.A. 1983.** An allometric approach to population cycles of mammals. *J. Theor. Biol.* 100: 275-282.
- Cavaliere, L.F., H. Koçak. 1994.** Chaos in biological control systems. *J. Theor. Biol.* 169: 179-187.
- Cavaliere, L.F., H. Koçak. 1995.** Intermittent transition between order and chaos in an insect pest population. *J. Theor. Biol.* 175: 231-234.
- Clark, J.I. 2001.** Fourier and power law analysis of structural complexity in cornea and lens. *Micron* 23: 239-249.
- Cockfield, S.D., S.L. Butkewich, K.S. Samoil, D.L. Mahr. 1994.** Forecasting flight activity of *Sparganothis sulfureana* (Lepidoptera:Tortricidae) in cranberries. *J. Econ. Entomol.* 87: 193-196.
- Cohen, J.E. 1995.** Unexpected dominance of high frequencies in chaotic population models. *Nature* 378: 610-612.
- Constantino, R.F., J.M. Cushing, B. Dennis, R.A. Desharnais. 1995.** Experimentally induced transitions in the dynamic behaviour of insect populations. *Nature* 375: 227-230.
- Constantino, R.F., J.M. Cushing, B. Dennis, R.A. Desharnais, Henson, S.M. 1998.** Resonant population cycles in temporally fluctuating habitats. *Bull. Mat. Biol.* 60: 247-273.
- Cushing, J.M., B. Dennis, R.A. Desharnais, R.F. Constantino. 1996.** An interdisciplinary approach to understanding nonlinear ecological dynamics. *Ecol. Model.* 92: 111-119.
- Dennis, B., R.A. Desharnais, J.M. Cushing, R.F. Constantino. 1997.** Transitions in population dynamics: equilibria to periodic cycles to aperiodic cycles. *J. Anim. Ecol.* 66: 704-729, 1997.
- Eckmann, J.P., D. Ruelle. 1992.** Fundamental limitatons for estimating dimensions and lyapunov exponents in dynamical systems. *Physica D* 56: 185-187.
- Ellner, S., P. Turchin. 1995.** Chaos in a noisy world: new methods and evidence from time-series analysis. *Am. Nat.* 145: 343-375.
- Ellner, S., B.A. Bailey, G.V. Bobashev, A.R. Gallant, B.T. Genfell, D.W. Nychka. 1998.** Noise and nonlinearity in measles epidemics: combining mechanistic and statistical approaches to population modeling. *Am. Nat.* 151: 425-440.
- Fernandes, W.D., M.E.M. Habib. 1992.** Flutuação populacional de *Pectinophora gossypiella* (Saunders, 1843) (Lepidoptera: Gelechiidae) em lavoura de algodão

- submetida ao controle químico convencional. *Revta. Agric.* 67: 67-75.
- Fielding, D. J., M. A. Brusven. 1990.** Historical analysis of grasshopper (Orthoptera: Acrididae) population responses to climate in southern Idaho, 1950-1980. *Environ. Entomol.* 19: 1786-1791.
- Gadgil, M. 1971.** Dispersal: population consequences and evolution. *Evolution* 52:253-261.
- Gargiullo, P.M., C.W. Berisford, C.G. Canalos, J.A. Richmond, S.C. Cade. 1984.** Mathematical descriptions of *Rhyacionia frustrana* (Lepidoptera:Tortricidae) cumulative catches in pheromone traps, cumulative eggs hatching, and their use in timing of chemical control. *Environ. Entomol.* 13: 1681-1685.
- Ginzburg, L.R., D.E. Taneyhill. 1994.** Population cycles of forest Lepidoptera: a maternal effect hypothesis. *J. Anim. Ecol.* 63: 79-92.
- Ginzburg, L.R., D.E. Taneyhill. 1995.** Higher growth rate implies shorter cycles, whatever the cause: a reply to Berryman. *J. Anim. Ecol.* 64:294-295.
- Gonzalez-Andujar, J.L. 1998.** Effect of immigration on a chaotic insect population. *Ecol. Research* 13: 259-261.
- Grover, J.P. 1999.** Water fleas on cycles. *Nature* 402: 592-593.
- Grover, J.P., D. McKee, S. Young, H.C.J. Godfray, P. Turchin. 2000.** Periodic dynamics in *Daphnia* populations: biological interactions and external forcing. *Ecology* 81: 2781-2789.
- Gurney, W.S.C., S.P. Blythe, R.M. Nisbet. 1980.** Nicholson's blowflies revisited. *Nature* 287: 17-21.
- Habermann, M. 2000.** The larch casebearer and its host tree: I. Population dynamics of the larch casebearer (*Coleophora laricella* Hbn.) from latent to outbreak density in the field. *For. Ecol. Manag.* 136: 11-22.
- Hall, D.J., O. Sosa Jr. 1994.** Population levels of *Leptodictya tabida* (Hemiptera: Tingidae) in Florida sugarcane. *Fla. Entomol.* 77: 91-99.
- Halley, J.M. 1996.** Ecology, evolution and 1/f-noise. *Trends Ecol. Evol.* 11: 33-37.
- Hanski, I., I.P. Woiwod. 1993.** Spatial synchrony in the dynamics of moth and aphid populations. *J. Anim. Ecol.* 62: 656-668.
- Haukioja, E. 1988.** Induction of defenses in trees. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 25-42.
- Henson, S.M. 2000.** Multiple attractors and resonance in periodically forced population models. *Physica D* 140: 33-49.

- Hilborn, R.C., N.B. Tufillaro. 1997.** Resource letter: ND 1: Nonlinear dynamics. Am. J. Phys. 65: 822-834.
- Holyoak, M., V. Jarosik, I. Novak. 1997.** Weather-induced changes in moth activity bias measurement of long-term population dynamics from light trap samples. Entomol. Exp. Appl. 83: 329-335.
- Hunter, M. D., P. W. Price. 1998.** Cycles in insect populations: delayed density dependence or exogenous driving variables. Ecol. Entomol. 23: 216-222.
- Jansen, V.A.A., R.M. Nisbet, W.S.C. Gurney. 1990.** Generation cycles in stage structured populations. Bull. Math. Biol. 52: 375-396.
- Jillson, D.A. 1980.** Insect populations respond to fluctuating environments. Nature 288: 699-700.
- Kaakeh, W., J. D. Dutcher. 1993.** Effect of rainfall on population abundance of aphids (Homoptera: Aphididae) on pecan. J. Entomol. Sci. 28: 283-286.
- Kaitala, V., E. Ranta. 1996.** Red/blue chaotic power spectra. Nature 381:198-199.
- Kaitala, V., E. Ranta, J. Lindström. 1996.** Cyclic population dynamics and random perturbations. J. Anim. Ecol. 65: 249-251.
- Keitt, T.H., P.A. Marquet. 1996.** The introduced hawaiian avifauna reconsidered: evidence for self-organized criticality? J. Theor. Biol. 182: 161-167.
- Kendall, B.E., C.J. Briggs, W.W. Murdoch, P. Turchin, S.P. Ellner, E. McCauley, R.M. Nisbet, S.N. Wood. 1999.** Why do populations cycle? A synthesis of statistical and mechanistic modeling approaches. Ecology 80: 1789-1805.
- Knell, R.J. 1998.** Generation cycles. Trends Ecol. Evol. 15: 186-190.
- Kuznetsov, Y.A., S. Muratori, S. Rinaldi. 1992.** Bifurcations and chaos in a periodic predator-prey model. J. Bifurc. Chaos 2: 117-128.
- Lapenna, V., M. Macchiato, L. Telesca. 1998.** $1/f^{\beta}$ fluctuations and self-similarity in earthquake dynamics: observational evidences in southern Italy. Phys. Earth Planet. Int. 106: 115-127.
- Leonard, J.C., B.L. Parker. 1994.** Periodical appearance of *Korscheltellus gracilis* (Lepidoptera: Hepialidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 87: 566-571.
- Levins, R., M. Wilson. 1980.** Ecological theory and pest management. Annu. Rev. Entomol. 25: 287-308.
- Liebholt, A., N. Kamata. 2000.** Are population cycles and spatial synchrony a universal characteristic of forest insect populations? Popul. Ecol. 42: 205-209.

- Liebhold, A., J. Elkinton, D. Williams, R.-M. Muzika. 2000.** What causes outbreaks of the gypsy moth in North America? *Popul. Ecol.* 42: 257-266.
- Lischke, H., N. Blago. 1990.** A model to simulate the population dynamics of the codling moth (*Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae)): development and male moth flight. *Acta Hort.* 276: 43-52.
- Lloyd, A.L., R.M. May. 1999.** Synchronicity, chaos and population cycles: spatial coherence in an uncertain world. *Trends Ecol. Evol.* 14: 417-418.
- Logan, J.A., J.C. Allen. 1992.** Nonlinear dynamics and chaos in insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 37: 455-477.
- Lorenz, E.N. 1996.** A essência do caos. Salvador, Editora UnB, 1996. 280p.
- Lundberg, P., E. Ranta, J. Ripa, V. Kaitala. 2000.** Population variability in space and time. *Trends Ecol. Evol.* 15: 460-464.
- Matthiopoulos, J., R. Moss, X. Lambin. 2000.** The kin-facilitation hypothesis for red grouse population cycles: territory sharing between relatives. *Ecol. Model.* 127: 53-63.
- May, R.M. 1974.** Biological populations with nonoverlapping generations: stable points, stable cycles and chaos. *Science* 186: 645-647.
- McLellan, C.R. 1978.** Trends of eye-spotted bud moth (Lepidoptera: Olethreutidae) populations over 12 years on two cultivars in an insecticide free orchard. *Can. Entomol.* 110: 91-100.
- Miramontes, O., P. Rohani. 1998.** Intrinsically generated coloured noise in laboratory populations. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 265: 785-792.
- Morris, W.F. 1990.** Problems in detecting chaotic behavior in natural populations by fitting simple discrete models. *Ecology* 71: 1849-1862.
- Moss, R., Watson, A. 2001.** Population cycles in birds of the grouse family (Tetraonidae). *Adv. Ecol. Res.* 32: 53-111.
- Murdoch, W.W. 1994.** Population regulation in theory and practice. *Ecology* 75: 271-287.
- Murdoch, W.W., R.M. Nisbet, E. McCauley, A.M. DeRoos, W.S.C. Gurney. 1998.** Plankton abundance and dynamics across nutrient levels: tests of hypothesis. *Ecology* 79: 1339-1356.
- Myers, J.H. 1993.** Population outbreaks in forest Lepidoptera. *Am. Scient.* 81: 240-251.
- Myers, J.H. 1998.** Synchrony in outbreaks of forest Lepidoptera: a possible example of the Moran effect. *Ecology* 79:1111-1117.

- Newman, M.E.J., G.J. Eble. 1999.** Power spectra of extinction in the fossil record. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 226: 1267-1270.
- Olsen, L.F., W.M. Schaffer. 1990.** Chaos versus noisy periodicity: alternative hypothesis for childhood epidemics. *Science* 249: 499-504.
- Paradis, E. 1995.** Survival, immigration and habitat quality in the mediterranean pine vole. *J. Anim. Ecol.* 64: 579-591.
- Pedigo, L. P., M.R. Zeiss. 1996.** Analyses in insect ecology and management. Iowa State University Press: Ames, 168p.
- Pedigo, L.P., S.H. Hutchins, L.G. Higley. 1986.** Economic injury levels in theory and practice. *Annu. Rev. Entomol.* 31: 341-368.
- Perruso, J. C., P. C. R. Cassino. 1993.** Flutuação populacional de *Selenaspidus articulatus* (Morg.) (Hemiptera: Diaspididae) em *Citrus sinensis* (L.) no Estado do Rio de Janeiro. *An. Soc. Entomol. Brasil* 22: 401-104.
- Petchey, O.L. 2000.** Environmental colour affects aspects of single-species population dynamics. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B* 267: 747-754.
- Peterson, N.A., A.C. Nilssen. 1996.** Nonlinear temperature-dependent development of autumnal moth pupae, *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae). *Environ. Entomol.* 25: 147-154.
- Pool, R. 1987.** Is it chaos, or is it just noise? *Science* 243: 25-28.
- Rai, V., W.M. Schaffer. 2001.** Chaos in ecology. *Chaos, Sol. Frac.* 12: 197-203.
- Ralphs, M.H., W.A. Jones. 2000.** Population cycles of the larkspur mirid (Heteroptera: Miridae). *J. Entomol. Sci.* 35: 483-489.
- Rhodes, C.J., R.M. Anderson. 1996.** Power laws governing epidemics in isolated populations. *Nature* 381: 600-602.
- Riedl, H., B.A. Croft, A.J. Howitt. 1976.** Forecasting codling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological-time models. *Can. Entomol.* 108: 449-460.
- Rohani, P., O. Miramontes. 1995.** Immigration and the persistence of chaos in population models. *J. Theor. Biol.* 175: 203-206.
- Rossiter, M.C. 1994.** Maternal effects hypothesis of herbivore outbreak. *BioScience* 44: 752-763.
- Royama, T. 1984.** Population dynamics of the spruce budworm *Choristoneura fumiferana*. *Ecol. Monog.* 54: 429-462.
- Ruohomäki, K., M. Tanhuanpää, M.P. Ayres, P. Kaitaniemi, T. Tammaru, E. Haukioja. 2000.** Causes of cyclicity of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera,

- Geometridae): grandiose theory and tedious practice. *Popul. Ecol.* 42: 211-223.
- Sanders, C.J., D.R. Wallace, G.S. Lucuik. 1978.** Flight activity of female eastern spruce budworm (Lepidoptera:Tortricidae) at constant temperatures in the laboratory. *Can. Entomol.* 110:627-632.
- Sherratt, T.N., P.C. Jepson. 1993.** A metapopulation approach to modelling the long-term impact of pesticides on invertebrates. *J. App. Ecol.* 30: 696-705.
- Simchuck, A.P., A.V. Ivashov, V.A. Companiytsev. 1999.** Genetic patterns as possible factors causing population cycles in oak leafroller moth, *Tortrix viridana* L. *For. Ecol. Manag.* 113: 35-49.
- Sinclair, A.R.E., J.M. Gosline, G. Holdsworth, C.J. Krebs, S. Boutin, J.N.M. Smith, R. Boonstra, M. Dale. 1992.** Can the solar cycle and climate synchronize the snowshoe hare cycle in Canada? Evidence from the rings and ice cores. *Am. Nat.* 141: 173-198.
- Skokov, V.N., A.V. Reshetnikov, V.P. Koverda, A.V. Vinogradov. 2001.** Self-organized criticality and 1/f noise at interacting nonequilibrium phase transitions. *Physica A* 293: 1-12.
- Solé, R.V., S.C. Manrubia, M. Benton, S. Kauffman, P. Bak. 1999.** Criticality and scaling in evolutionary ecology. *Trends Ecol. Evol.* 14: 156-160.
- Sugihara, G. 1995.** From out of the blue. *Nature* 378: 559-560.
- Sugihara, G. 1996.** Red/blue chaotic power spectra. *Nature* 381:199.
- Sun, P., X.B. Yang. 1999.** Deterministic property changes in population models under random error perturbations. *Ecol. Model.* 119: 239-247.
- Tan, K.H., M. Serit. 1994.** Adult population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in relation to host phenology and weather in two villages of Penang Island, Malaysia. *Environ. Entomol.* 23: 217-225.
- Turchin, P. 2001.** Does population ecology have general laws? *Oikos* (in press).
- Turchin, P., S.P. Ellner. 2000.** Living on the edge of chaos. *Ecology* 81: 3099-3116.
- Turchin, P., P. L. Lorio Jr., A. D. Taylor, R. F. Billings. 1991.** Why do populations of southern pine beetles (Coleoptera: Scolytidae) fluctuate? *Eviron. Entomol.* 20: 401-409.
- White, A., R.G. Bowers, M. Begon. 1996.** Red/blue chaotic power spectra. *Nature* 381:198.

- Williams, D.W., Liebhold, A.M. 1995a.** Influence of weather on the synchrony of gypsy moth (Lepidoptera:Lymantriidae) outbreaks in New England. *Environ. Entomol.* 24:987-995.
- Williams, D.W., Liebhold, A.M. 1995b.** Detection of delayed density dependence: effects of autocorrelation in an exogenous factor. *Ecology* 76: 1005-1008.
- Zeng, Z., R.M. Nowierski, M.L. Taper, B. Dennis, W.P. Kemp. 1998.** Complex population dynamics in the real world: modeling the influence of time-varying parameters and time lags. *Ecology* 79: 2193-2209.
- Zimmer, C. 1999.** Life after chaos. *Science* 284:83-97.

**Dinâmicas periódicas e ruído 1/f na flutuação populacional da mariposa oriental,
Grapholita molesta (Busk), em pomares de pessegueiro e ameixeira**

Eduardo R. Hickel¹, Gabriel R. Hickel²,
Og F.F. DeSouza³, Evaldo F. Vilela³, Octavio Miramontes⁴

Resumo

Adultos da mariposa oriental *Grapholita molesta* (Busk) foram monitorados em dois pomares de pessegueiro e um de ameixeira por um período de cinco anos, para se aferir a flutuação populacional, a periodicidade de ocorrência da praga e a natureza das oscilações na coleta de indivíduos, com e sem qualquer periodicidade observada. Séries temporais equivalentes de temperaturas máximas e mínimas foram correlacionadas aos dados de flutuação populacional para se aferir a correspondência entre a ocorrência da praga e as flutuações de temperatura. A análise de Fourier das séries temporais das armadilhas de coleta de mariposas revelou dinâmicas cíclicas, com período predominante médio de 53,91 semanas. Um período menor médio, de 7,45 semanas, também ficou evidente e se aproxima do tempo médio de geração do inseto. Mediante análise do espectro de potência das séries temporais, com e sem periodicidades, pode-se inferir que a dinâmica populacional de *G. molesta* possui uma componente regular, caracterizada pelos períodos observados e outra componente irregular, remanescente de ruído 1/f, caracterizada pelas variações de amplitude, aparentemente irregulares, na ocorrência do inseto. A combinação destas duas componentes ocasiona um processo com domínio de baixas frequências, próprio das dinâmicas periódicas. Os ciclos de aparecimento da praga ocorrem em fase com os ciclos de flutuação de temperaturas máximas e mínimas.

Palavras-chave: Insecta, Tortricidae, dinâmica populacional, ecologia de populações, espectro de potências, *Prunus*

¹ Epagri/Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Biologia Animal, 36570-000, Viçosa, MG, e-mail: ehickel@epagri.rct-sc.br. Bolsista do CNPq.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Astrofísica, Caixa postal 515, 12202-970, São José dos Campos, SP. Bolsista da FAPESP.

³ Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Biologia Animal, 36570-000, Viçosa, MG.

⁴ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Física, Dep. Sistemas Complejos, Ciudad Universitaria, México 01000 D.F.

Periodic dynamics and 1/f noise in the population fluctuation of the oriental fruit moth
Grapholita molesta (Busk) in peach and plum orchards

Abstract

Adults of the Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta* (Busk), were monitored in two peach and one plum orchards to access the population dynamics, and the periodicity of the pest occurrence. Equivalent time series of maximum and minimum temperatures were correlated to the population fluctuation data to verify the correspondence between pest occurrence and temperature fluctuations. A Fourier analysis of the moth time series revealed cyclic dynamics, with a main average period of 53,91 weeks. Another mean short period, of 7,45 weeks, related to the mean pest generation time were also obtained. The power spectrum analysis of the time series, with and without the main periodicity, revealed that *G. molesta* population dynamic has one regular component characterized by the observed periods, and one irregular component, reminiscent of 1/f noise, characterized by the observed apparently irregular amplitude oscillations in the insect occurrence. Both components combined generate a process in the low frequency domain, consistent with noisy periodic dynamic. The pest cycles occurred in phase with the maximum and minimum temperature fluctuations.

Keywords: Insecta, Tortricidae, population dynamics, population ecology, spectral analysis, *Prunus*

Introdução

A mariposa oriental, *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera:Tortricidae), também conhecida como grafolita ou broca-dos-ponteiros, é praga chave para o cultivo de pessegueiro e ameixeira no Brasil (Salles 1984, Gallo *et al.* 1988, Hickel 1993). Também incide sobre outras frutíferas, principalmente da família Rosaceae, como macieira, marmeleiro, pereira e nespereira. Amplamente disseminada por todas as regiões produtoras de frutas de clima temperado, esta praga causa perdas expressivas, quer seja na produção ou durante a fase de implantação dos pomares, quando incide de forma devastadora, impedindo o crescimento normal das plantas.

A elucidação do feromônio sexual da espécie, que intermedeia a atração entre sexos (Roelofs *et al.* 1969), permitiu o desenvolvimento da técnica de monitoramento de adultos com armadilhas, e assim a condução de vários estudos de flutuação populacional (Phillips 1973, Forno *et al.* 1975, Garziano & Viggiani 1981, Silveira Neto *et al.* 1981). Embora seja normalmente relatada a variação de indivíduos ao longo do tempo, não há aprofundamento no estudo das oscilações. Uma das questões não elucidadas é a periodicidade de ocorrência de *G. molesta* nos pomares. O estudo da repetição dos períodos de ocorrência ao longo dos anos é importante para o estabelecimento de ajustes e modelos matemáticos para previsão de eventos relacionados à flutuação populacional do inseto. Outra questão a elucidar, relacionada à primeira, diz respeito à natureza das oscilações na coleta de indivíduos. Embora o comportamento caótico seja potencialmente possível em dinâmicas populacionais (May 1974, Logan & Allen 1992, Constantino *et al.* 1995, Lloyd & May 1999, Rai & Schaffer 2001), estudos mais recentes advogam que estas dinâmicas estão no limiar entre ordem e desordem, onde as oscilações ocorrem com escalamento $1/f$ (a potência da oscilação é proporcional ao inverso da frequência), com domínio de baixas frequências (Olsen & Schaffer 1990, Kauffman 1993, Halley 1996, White *et al.* 1996, Miramontes & Rohani 1998, Skokov *et al.* 2000).

Assim, para aferir a hipótese de que a ocorrência de *G. molesta* é periódica e se repete ao longo dos anos nas mesmas épocas, e que a frequência das oscilações de indivíduos são proporcionais ao inverso da potência destas oscilações, conduziram-se as análises apresentadas neste estudo.

Material e métodos

Dados de coleta semanal de adultos de *G. molesta* em armadilhas de feromônio, por um período de cinco safras agrícolas (outubro de 1994 a janeiro de 1999), foram utilizados para as análises. Estes dados se referem ao monitoramento do inseto realizado em dois pomares de pessegueiro e um de ameixeira. Estes pomares eram de coleção de cultivares da Estação Experimental de Videira, em Videira, SC. O pomar 1 de pessegueiro, com área de 1,2 ha, continha plantas de segunda brota quando do início do monitoramento e os pomares 2 de pessegueiro e o de ameixeira, com áreas de 0,6 ha e 0,8 ha respectivamente, continham plantas em produção. Os tratamentos culturais e fitossanitários foram executados conforme as recomendações técnicas para as culturas (Epagri 1995, 1996), ou seja, houve aplicação de inseticida no período de monitoramento, principalmente para controle da mosca-das-frutas *Anastrepha fraterculus* (Wied.).

A técnica de monitoramento de *G. molesta* empregada foi aquela atualmente preconizada, e consistiu na instalação de armadilhas de feromônio tipo Delta, com 1 dm² de área de coleta, na proporção de uma armadilha por hectare de pomar (Rice *et al.* 1982, Salles 1984, Bertoldi 1988). As armadilhas foram suspensas a 1,60m de altura no interior da copa das árvores e em seu interior foram instalados um dispositivo dispersor de feromônio sexual sintético e dependendo da montagem da armadilha, um cartão adesivo. Os dispersores de feromônio foram trocados a cada sete semanas em média e os cartões adesivos ou toda a armadilha quando houve acúmulo de detritos ou deterioração das mesmas (Hickel & Ducroquet 1998).

As armadilhas foram instaladas nos pomares na primeira semana de agosto (excetuando a safra 94/95), a fim de detectar a primeira emergência de adultos, originários das lagartas em diapausa (Rice *et al.* 1982, Hickel & Ducroquet 1998) e permaneceram a campo até a última semana de julho do ano seguinte (excetuando a safra 98/99). A inspeção das armadilhas foi executada uma vez por semana, quando registrou-se e retirou-se do cartão adesivo as mariposas capturadas.

Para verificar a periodicidade de ocorrência de *G. molesta*, os valores de coleta de mariposas foram organizados em planilha eletrônica e transferidos para o software DFT[®], que procede a análise transformada discreta de Fourier (DFT), ou seja, transforma os dados do domínio temporal para o domínio das frequências. Os valores de período (P), tempo para ocorrência do primeiro máximo (T_{max}), amplitude média (R) e a média das contagens

(a_0), foram calculados para o melhor ajuste senoidal às variações da ocorrência do inseto (Equação 1).

$$F(x) = a_0 + R * \cos\left(2\pi * \frac{(x - T_{\max})}{P}\right) \quad (1)$$

A estimativa da ocorrência dos máximos populacionais (T_i), foi obtida pela Equação 2 utilizando-se o período (P) e o tempo para ocorrência do primeiro máximo de contagem ($T_{\max}$). Estas estimativas foram confrontadas com os picos observados na flutuação populacional, obtendo-se a significância pelo teste do χ^2 .

$$T_i = (i * P) + T_{\max} \quad (2)$$

onde: $i = 0, 1, 2, \dots, n$

Mediante o software DFT, obteve-se também os valores das probabilidades relativas de cada frequência nos espectros de potência das séries temporais, com e sem as periodicidades observadas, para analisar o comportamento das oscilações de amplitude (ruído) nos períodos de ocorrência de *G. molesta*. Estes valores foram plotados em escala log-log, obtendo-se em seguida o ajuste linear pelos mínimos quadrados. A inclinação da equação linear (α) foi utilizada para classificar o comportamento da flutuação populacional (Solé *et al.* 1999, Clark 2001). Para formar as séries temporais sem as periodicidades observadas, e assim verificar a natureza do ruído permeado nas séries, o período predominante foi subtraído diretamente dos respectivos periodogramas obtidos no DFT, gerando-se assim as séries residuais.

As séries temporais de captura de mariposas foram ainda analisadas com o software CDA[®] que realiza o teste IFS (Iterated Function System) e calcula o expoente de Hurst, parâmetros estes utilizados para confirmar a natureza das oscilações na coleta de indivíduos (Miramontes & Rohani 1998).

Séries temporais equivalentes de temperaturas máximas e mínimas, obtidas junto ao Setor de Meteorologia da Estação Experimental de Videira, foram também processadas pelo DFT e CDA, para se aferir a existência das mesmas dinâmicas nesta variável ambiental. Estas séries foram ainda analisadas com o software DCF[®] para a análise de correlação/autocorrelação, a fim de verificar a correspondência entre a ocorrência da praga e as flutuações de temperatura.

Resultados

A flutuação populacional de *G molesta* durante o período de monitoramento, bem como as senóides obtidas com a análise DFT são apresentadas na Figura 1. Houve intensa variação no número de mariposas capturadas em cada ciclo de ocorrência e semanas com número elevado de mariposas capturadas se intercalam com semanas com baixas capturas de indivíduos, aparentemente denotando os ciclos de geração (Knell 1998). Períodos longos com ausência de capturas correspondem aos períodos de frio hibernar.

A análise DFT revelou o período aproximado de um ano para a ocorrência de *G. molesta* nos pomares monitorados, embora outras periodicidades sem maior significado biológico também tenham sido reveladas (Tabela 1). Apenas os menores períodos significativos gerados na DFT é que se aproximam do ciclo de geração do inseto, estimado entre 5,7 a 8 semanas a 20°C (Grelmann 1991). A estimativa dos máximos populacionais apresentou um desvio progressivo, de maior valor para os últimos máximos calculados (Tabela 2). Os ciclos de geração da praga, representados pelos menores períodos encontrados, parecem ser determinantes para a ocorrência de *G. molesta*, sendo possível estimar aproximadamente os picos populacionais apenas com esta informação (Tabela 3).

O ajuste linear do espectro de potência das séries temporais na íntegra resultou em coeficientes α próximos de -1 (Fig. 2); valor este característico da distribuição de frequências 1/f. O mesmo ajuste, para as séries residuais, resultou em coeficientes α mais afastados do valor -1, porém ainda com forte tendência para distribuição 1/f. Inclusive, o ruído 1/f permanece forte para intervalos de tempo reduzidos (20 semanas ou menos), onde os eventos maiores parecem se equivaler em escala aos eventos menores. Este fenômeno pode ser ilustrado no intervalo entre 50 e 75 semanas (Fig. 1), onde o pico principal aparenta ser uma projeção em escala dos picos anteriores.

O resultado do teste IFS é apresentado na Figura 3. Apesar de pouco aparente, em função do reduzido número de valores das séries temporais, é possível notar arranjos triangulares de pontos que se repetem em escalas ampliadas a partir de um dos cantos e pontos acumulados na diagonal do quadro. Este arranjo de pontos é similar àquele produzido por séries de oscilação 1/f (Miramontes & Rohani 1998). O coeficiente de Hurst, que fornece uma indicação da persistência na série temporal, ou seja, a ocorrência futura ou não de tendências passadas na série temporal; situou-se na faixa esperada para séries com ruído 1/f ($0 < H < 0,5$) (Tabela 4).

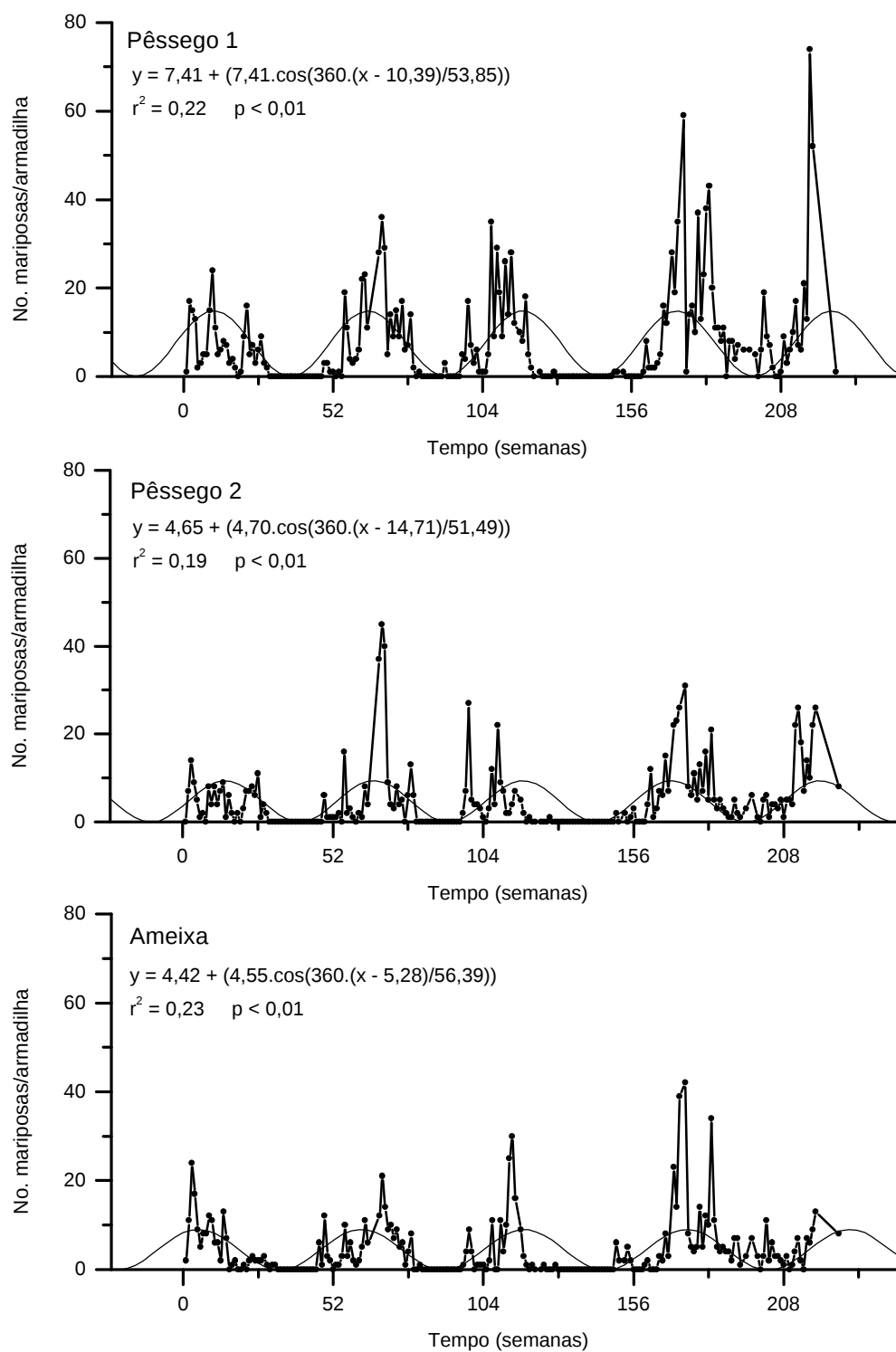


Figura 1. Flutuação populacional de *Grapholita molesta* em Videira, SC (linha cheia fina) e senóides geradas a partir dos períodos obtidos com a DFT (linha cheia grossa).

Tabela 1. Períodos significativos ($p < 0,01$) e parâmetros associados ($\pm$ sd) resultantes da análise de Fourier das séries temporais de coleta de *G. molesta* em armadilhas de feromônio em Videira, SC.

Pomar	Seqüência de períodos	Período (semana)	Tempo do primeiro máximo (semana)	Amplitude média (indivíduo)	Média das capturas (indivíduo)
Pêssego 1	1	99,82 $\pm$ 5,43	88,07 $\pm$ 3,55	4,66 $\pm$ 1,04	7,41 $\pm$ 0,74
	2 ^a	53,85 $\pm$ 0,92	10,39 $\pm$ 1,11	7,41 $\pm$ 0,96	7,41 $\pm$ 0,68
	3	36,88 $\pm$ 0,63	32,56 $\pm$ 1,12	5,35 $\pm$ 1,02	7,43 $\pm$ 0,72
	4	21,25 $\pm$ 0,38	5,92 $\pm$ 1,17	3,07 $\pm$ 1,06	7,41 $\pm$ 0,75
	5 ^b	7,44 $\pm$ 0,05	2,72 $\pm$ 0,42	3,02 $\pm$ 1,07	7,37 $\pm$ 0,75
Pêssego 2	1	111,47 $\pm$ 7,45	81,45 $\pm$ 4,36	2,88 $\pm$ 0,71	4,80 $\pm$ 0,50
	2 ^a	51,49 $\pm$ 0,91	14,71 $\pm$ 1,16	4,70 $\pm$ 0,66	4,65 $\pm$ 0,47
	3	37,01 $\pm$ 0,63	29,77 $\pm$ 1,12	3,64 $\pm$ 0,69	4,76 $\pm$ 0,49
	4	20,86 $\pm$ 0,34	6,44 $\pm$ 1,06	2,25 $\pm$ 0,72	4,74 $\pm$ 0,51
	5 ^b	7,50 $\pm$ 0,05	2,24 $\pm$ 0,50	1,73 $\pm$ 0,72	4,73 $\pm$ 0,51
Ameixa	1	90,23 $\pm$ 4,34	87,80 $\pm$ 3,14	2,83 $\pm$ 0,62	4,31 $\pm$ 0,44
	2 ^a	56,39 $\pm$ 0,97	5,28 $\pm$ 1,12	4,55 $\pm$ 0,56	4,42 $\pm$ 0,40
	3	34,33 $\pm$ 0,70	6,00 $\pm$ 1,33	2,56 $\pm$ 0,62	4,18 $\pm$ 0,44
	4	20,78 $\pm$ 0,31	8,25 $\pm$ 0,96	2,18 $\pm$ 0,63	4,28 $\pm$ 0,45
	5 ^b	7,41 $\pm$ 0,05	3,30 $\pm$ 0,46	1,64 $\pm$ 0,64	4,27 $\pm$ 0,45

^{a/} Período mais provável.

^{b/} Período que se ajusta aos ciclos de geração.

A análise de auto-correlação permitiu evidenciar os mesmos períodos anuais de ocorrência da praga, já verificados com o DFT, porém outros períodos bi-anuais, em torno de 104 semanas, também ficaram evidentes (Fig. 4). Estes períodos bi-anuais provavelmente não ficam evidentes com Fourier em função dos harmônicos que se igualam a duas vezes o período principal. Estes ciclos bianuais surgem em função de dois “adiantamentos” na ocorrência da praga (Fig. 1; em cerca de 100 semanas e após 200 semanas), intercalados por anos de ocorrência “normal” e seu significado pode ser tema para novas prospecções científicas.

Tabela 2. Estimativa dos máximos populacionais (em semanas) ($\pm$ sd) para a ocorrência anual de *G. molesta*, a partir dos parâmetros do período mais provável resultante da análise de Fourier.

Série	Seqüência	Máximos populacionais			χ^2	Probabilidade
		Estimado	Ocorrido	Desvio ¹		
Pêssego 1	0	10,39 $\pm$ 1,11	10	-0,39	1,70	0,79
	1	64,24 $\pm$ 2,03	69	4,76		
	2	118,09 $\pm$ 2,95	107	-11,09		
	3	171,94 $\pm$ 3,87	174	2,06		
	4	225,79 $\pm$ 4,79	218	-7,79		
Pêssego 2	0	14,71 $\pm$ 1,16	3	-11,71	12,56	0,01
	1	66,20 $\pm$ 2,07	69	2,80		
	2	117,69 $\pm$ 2,98	99	-18,69		
	3	169,18 $\pm$ 3,89	174	4,82		
	4	220,67 $\pm$ 4,80	219	-1,67		
Ameixa	0	5,28 $\pm$ 1,12	3	-2,28	2,60	0,63
	1	61,67 $\pm$ 2,09	69	7,33		
	2	118,06 $\pm$ 3,06	114	-4,06		
	3	174,45 $\pm$ 4,03	174	-0,45		
	4	230,84 $\pm$ 5,00	219	-11,84		

¹ Máximo ocorrido - Máximo estimado

Nota: a não significância do χ^2 indica que os máximos estimados se equivalem aos máximos observados.

Os registros de temperatura também apresentaram periodicidade anual (Fig. 5), com os períodos de temperatura acima da média da série coincidindo com os períodos de ocorrência da praga (Fig. 6). Pela análise de correlação, verificou-se que não há defasagem de tempo entre a variação na ocorrência de adultos e a variação na temperatura, revelando que ambos os eventos ocorrem simultaneamente (Fig. 7), ou seja, não necessariamente deve haver uma elevação prévia da temperatura para que mariposas ocorram. As oscilações de amplitude nos registros de temperatura também tendem para distribuição 1/f, com forte periodicidade (Fig. 5).

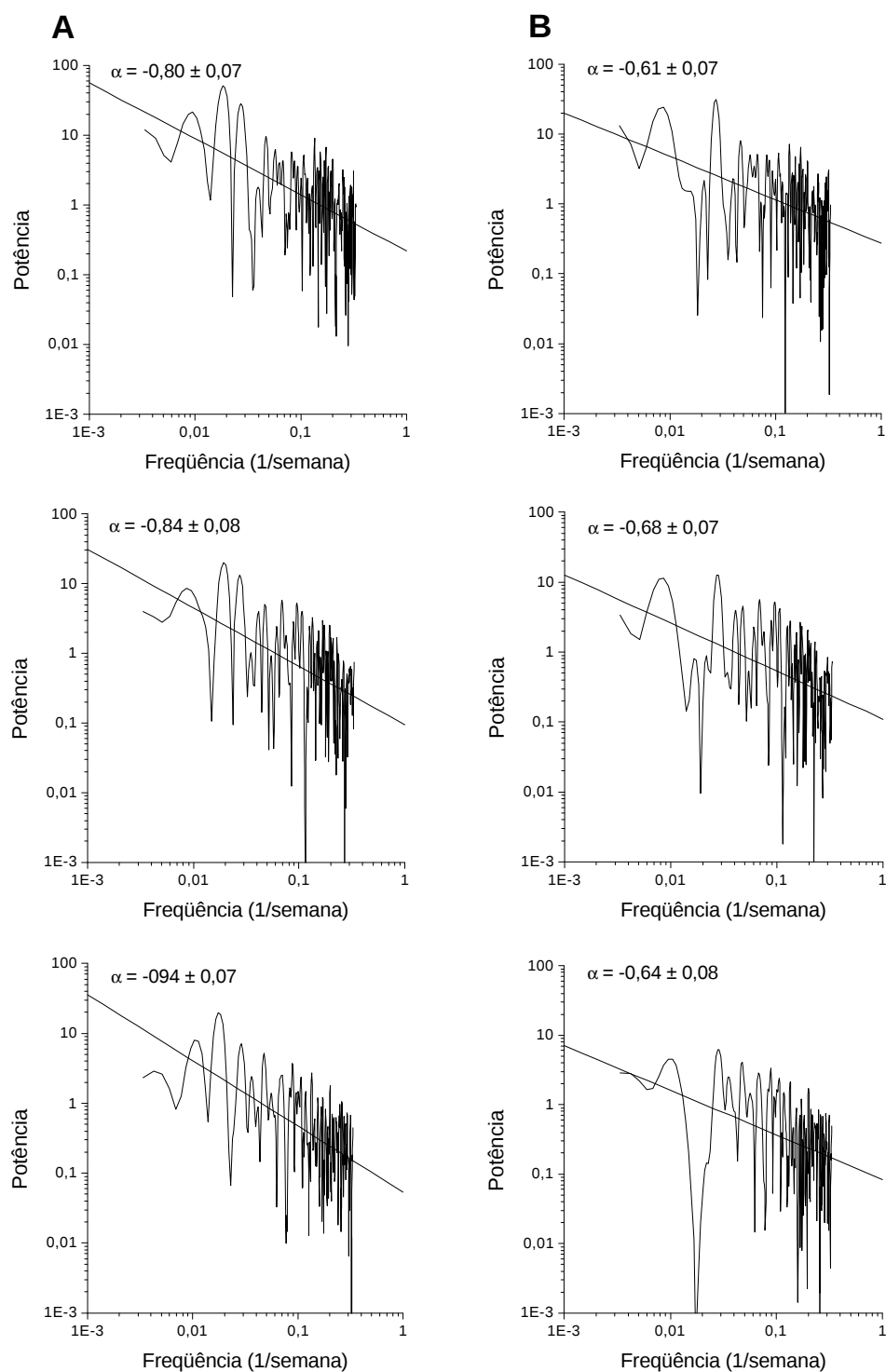


Figura 2. Espectros de potência das séries temporais de coleta de *Grapholita molesta* em Videira, SC e respectivos ajustes lineares. Em **A**, espectros das séries na íntegra e em **B**, espectros das séries residuais (descontado o período principal).

Tabela 3. Estimativa dos máximos populacionais (em semanas) para os ciclos anuais de *G. molesta*, a partir dos parâmetros do menor período significativo resultante da análise de Fourier.

Série Pêssego 1	Seqüência	Máximos populacionais			χ^2	Probabilidade
		Estimado	Ocorrido	Desvio ¹		
Safrá 94/95	0	2,72±0,42	2	-0,72	2,22	0,69
	1	10,16±0,47	10	-0,16		
	2	17,60±0,52	14	-3,60		
	3	25,04±0,57	22	-3,04		
	4	32,48±0,62	27	-5,48		
Safrá 95/96	0	56,57±1,34	56	-0,57	0,83	0,93
	1	64,01±1,39	63	-1,01		
	2	71,45±1,44	69	-2,45		
	3	78,89±1,49	76	-2,89		
	4	86,33±1,54	79	-7,33		
Safrá 96/97	0	110,42±2,26	99	-11,42	10,15	0,04
	1	117,86±2,31	107	-10,86		
	2	125,30±2,36	109	-16,30		
	3	132,74±2,41	114	-18,74		
	4	140,18±2,46	119	-21,18		
Safrá 97/98	0	164,27±3,18	161	-3,27	0,25	0,99
	1	171,71±3,23	174	2,29		
	2	179,15±3,28	179	-0,15		
	3	186,59±3,33	183	-3,59		
	4	194,03±3,38	190	-4,03		
Safrá 98/99	0	218,12±4,10	202	-16,12	série incompleta	continua...
	1	225,56±4,15	214	-11,56		
	2	233,00±4,20	218	-15,00		
	3	240,44±4,25	-	-		
	4	247,88±4,30	-	-		

Tabela 3. Continuação

Série Pêssego 2	Seqüência	Máximos populacionais			χ^2	Probabilidade
		Estimado	Ocorrido	Desvio ¹		
Safra 94/95	0	2,24±0,50	3	0,76	2,43	0,66
	1	9,74±0,55	9	-0,74		
	2	17,24±0,60	14	-3,24		
	3	24,74±0,65	22	-2,74		
	4	32,24±0,70	26	-6,24		
Safra 95/96	0	53,73±1,41	49	-4,73	1,20	0,88
	1	61,23±1,46	56	-5,23		
	2	68,73±1,51	69	0,27		
	3	76,23±1,56	74	-2,23		
	4	83,73±1,61	79	-4,73		
Safra 96/97	0	105,22±2,32	99	-6,22	0,72	0,87
	1	112,72±2,37	109	-3,72		
	2	120,22±2,42	115	-5,22		
	3	127,72±2,47	127	-0,72		
	4	135,22±2,52	-	-		
Safra 97/98	0	156,71±3,23	156	-0,71	0,24	0,99
	1	164,21±3,28	162	-2,21		
	2	171,71±3,33	174	-2,29		
	3	179,21±3,38	183	-3,79		
	4	186,71±3,43	191	4,29		
Safra 98/99	0	208,20±4,14	202	-6,20	série incompleta	
	1	215,70±4,19	213	-2,70		
	2	223,20±4,24	219	-4,20		
	3	230,70±4,29	-	-		
	4	238,20±4,34	-	-		

continua...

Tabela 3. Continuação

Série Ameixa	Seqüência	Máximos populacionais			χ^2	Probabilidade
		Estimado	Ocorrido	Desvio ¹		
Safrá 94/95	0	3,30±0,46	3	-0,30	1,33	0,72
	1	10,71±0,51	9	-1,71		
	2	18,12±0,56	14	-4,12		
	3	25,53±0,61	24	-1,53		
	4	32,94±0,66	-	-		
Safrá 95/96	0	59,69±1,43	49	-10,69	8,76	0,06
	1	67,10±1,48	56	-11,10		
	2	74,51±1,53	63	-11,51		
	3	81,92±1,58	69	-12,92		
	4	89,33±1,63	79	-10,33		
Safrá 96/97	0	116,08±2,40	99	-17,08	8,18	0,04
	1	123,49±2,45	107	-16,49		
	2	130,90±2,50	114	-16,90		
	3	138,31±2,55	125	-13,31		
	4	145,72±2,60	-	-		
Safrá 97/98	0	172,47±3,37	150	-22,47	7,17	0,12
	1	179,88±3,42	161	-18,88		
	2	187,29±3,47	174	-13,29		
	3	194,70±3,52	183	-11,70		
	4	202,11±3,57	191	-11,11		
Safrá 98/99	0	202,86±4,34	202	-26,86	série incompleta	
	1	236,27±4,39	213	-23,27		
	2	243,68±4,44	219	-24,68		
	3	251,09±4,49	-	-		
	4	258,50±4,54	-	-		

¹ Máximo ocorrido - Máximo estimado

Nota: a não significância do χ^2 indica que os máximos estimados se equivalem aos máximos observados.

Discussão

Em seu ciclo anual, *G. molesta* sobrevive ao inverno em diapausa na fase larval, sob as cascas das árvores, em folhas aderidas aos ramos, em frutos mumificados ou sobre o solo entre as folhas secas. Com o aumento do fotoperíodo e temperatura no final do inverno, as lagartas empupam e após 10 a 20 dias emergem os adultos (Charmillot 1991). Dada a existência de diapausa durante o ciclo anual, é peculiar na flutuação populacional de *G. molesta* a ocorrência de levas de adultos (vôos), que vão se sobrepondo em gerações sucessivas durante a primavera e o verão. Assim, nos estudos de monitoramento, é característico períodos de intensa coleta de mariposas, intercalados com períodos de baixa ou nenhuma coleta, sendo esta alternância de coletas uma característica importante para definir o controle da praga através do monitoramento (Baker *et al.* 1980, Rice *et al.* 1982).

Estas alternâncias de coletas num mesmo período de ocorrência do inseto podem ser atribuídas aos ciclos de geração (Knell 1998, Azerefegne *et al.* 2001). Estes ciclos são bastantes evidentes em insetos que ocorrem em regiões de clima temperado, dado ao sincronismo de estágios de desenvolvimento após a diapausa, porém também podem ser evidenciados em espécies de clima tropical (Rice *et al.* 1982, Knell 1998, Azerefegne *et al.* 2001). Tanto a presença de diapausa quanto de ciclos de geração ficaram evidentes no estudo de flutuação populacional de *G. molesta*, acarretando a ocorrência periódica e intermitente de adultos (Fig. 1).

As oscilações na amplitude do número de indivíduos, amostrados em estudos de flutuação populacional, normalmente são atribuídas aos fatores do clima, principalmente temperatura (Fielding & Brusven 1990, Lischke & Blago 1990, Batista Filho *et al.* 1991, Fernandes & Habid, 1992, Perruso & Cassino 1993, Tan & Serit 1994, Ralphs & Jones 2000). No entanto diversos estudos de modelagem têm verificado a ocorrência de interações ecológicas, dinâmicas não-lineares intrínsecas ou mesmo outros fatores não climáticos, regulando as oscilações de indivíduos (Turchin *et al.* 1991, Berryman 1996, Dennis *et al.* 1997, Grover *et al.* 2000, Turchin & Ellner 2000, Rai & Schaffer 2001). Os surtos de ocorrência de *G. molesta* foram concomitantes com as flutuações de temperatura e a ocorrência em fase destas oscilações sugere que os registros de temperatura podem ser utilizados para a obtenção de modelos ou ajustes visando a previsão das épocas de ocorrência da praga. No entanto, apesar de ser notório que mais adultos da praga ocorrem quando está mais quente (Fig. 8), as grandes oscilações da praga em curtos intervalos de tempo não têm correspondência nas séries de temperatura.

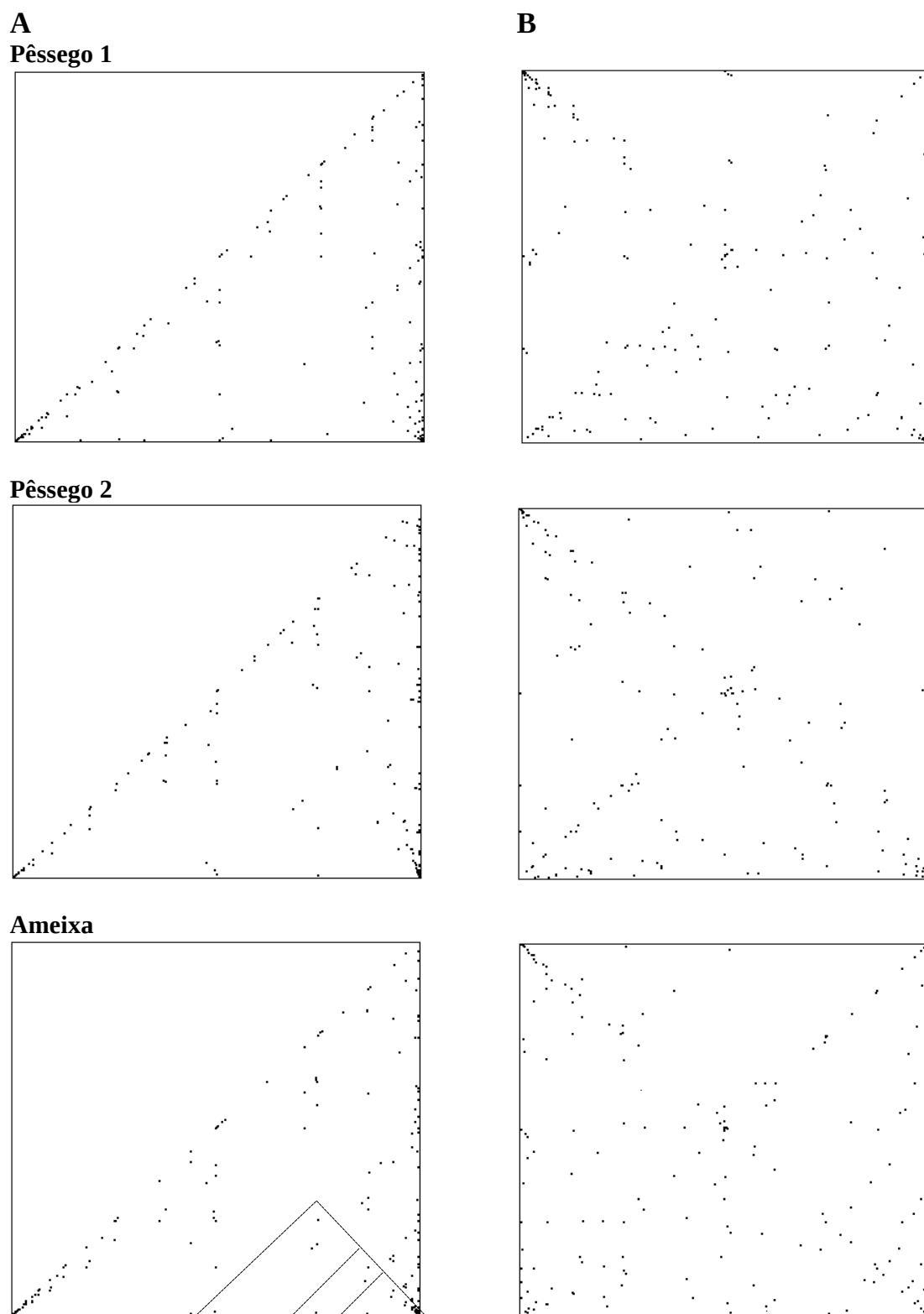


Figura 3. Quadros resultantes do teste IFS aplicado às séries temporais de coleta de *Grapholita molesta* em Videira, SC. Em **A**, resultado das séries na íntegra e em **B**, resultados das séries residuais. Os triângulos tracejados, num dos quadros, foram inseridos para facilitar a visualização dos arranjos de pontos.

Tabela 4. Coeficiente de Hurst calculado para as séries temporais de coleta de *G. molesta* em pomares de pessegueiro e ameixeira em Videira, SC.

Série temporal	Situação	Coeficiente de Hurst
Pêssego 1	Série na íntegra	0,16
	Sem período dominante	0,28
Pêssego 2	Série na íntegra	0,27
	Sem período dominante	0,26
Ameixa	Série na íntegra	0,24
	Sem período dominante	0,30

Estudos recentes têm demonstrado que o espectro da variação ambiental (se casual ou positivamente autocorrelacionado), não determina o espectro de variação das populações, que via de regra flutuam em baixa frequência com alta amplitude. Este padrão de flutuação, inclusive, é suficientemente forte para se manter ante as oscilações ambientais, embora possa ressonar quando estas oscilações também ocorrem em baixa frequência com alta amplitude (Constantino *et al.* 1998, Petchey 2000).

As oscilações nas flutuações populacionais podem ser consideradas, por analogia, como um sinal, tal como ondas eletromagnéticas ou mecânicas, que sofrem uma série de interferências em seus respectivos percursos (Halley 1996, Henson 2000). Neste particular, atribui-se cores para caracterizar os diferentes padrões. Assim, flutuações inteiramente aleatórias em frequência e amplitude são ditas “brancas” (ou ruído branco), visto o branco ser a mistura de todas as cores. Outras possibilidades são o “vermelho” onde as flutuações tem baixa frequência com alta amplitude e o “azul” com alta frequência e alta amplitude. A distribuição $1/f$ é tida como rosa, ou o vermelho “desbotado” pelas interferências incorporadas.

No caso da flutuação populacional de insetos, as interferências podem ter origem nos efeitos de fatores ecológicos sobre a população (Liebhold *et al.* 2000, Petchey 2000, Ruohomäki *et al.* 2000), ampliados ou não por dinâmicas não-lineares intrínsecas, características destas flutuações (Ellner & Turchin 1995, Miramontes & Rohani 1998, Sun & Yang 1999, Grover *et al.* 2000). Contudo, como sinal ou onda, existe uma “fonte geradora” cujo padrão de emissão se repete constantemente.

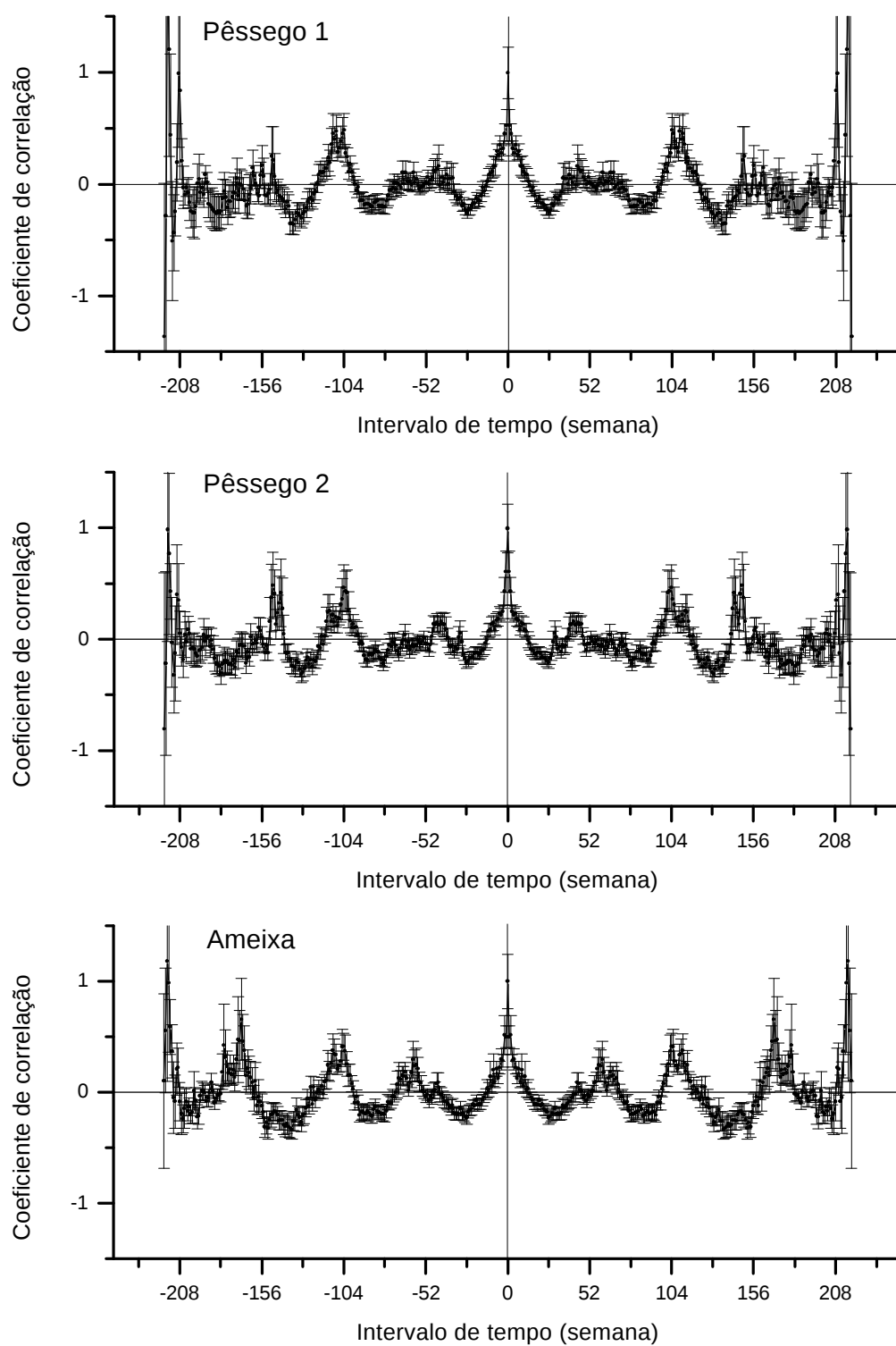


Figura 4. Gráficos de autocorrelação discreta das séries temporais de coleta de *Grapholita molesta* em Videira, SC.

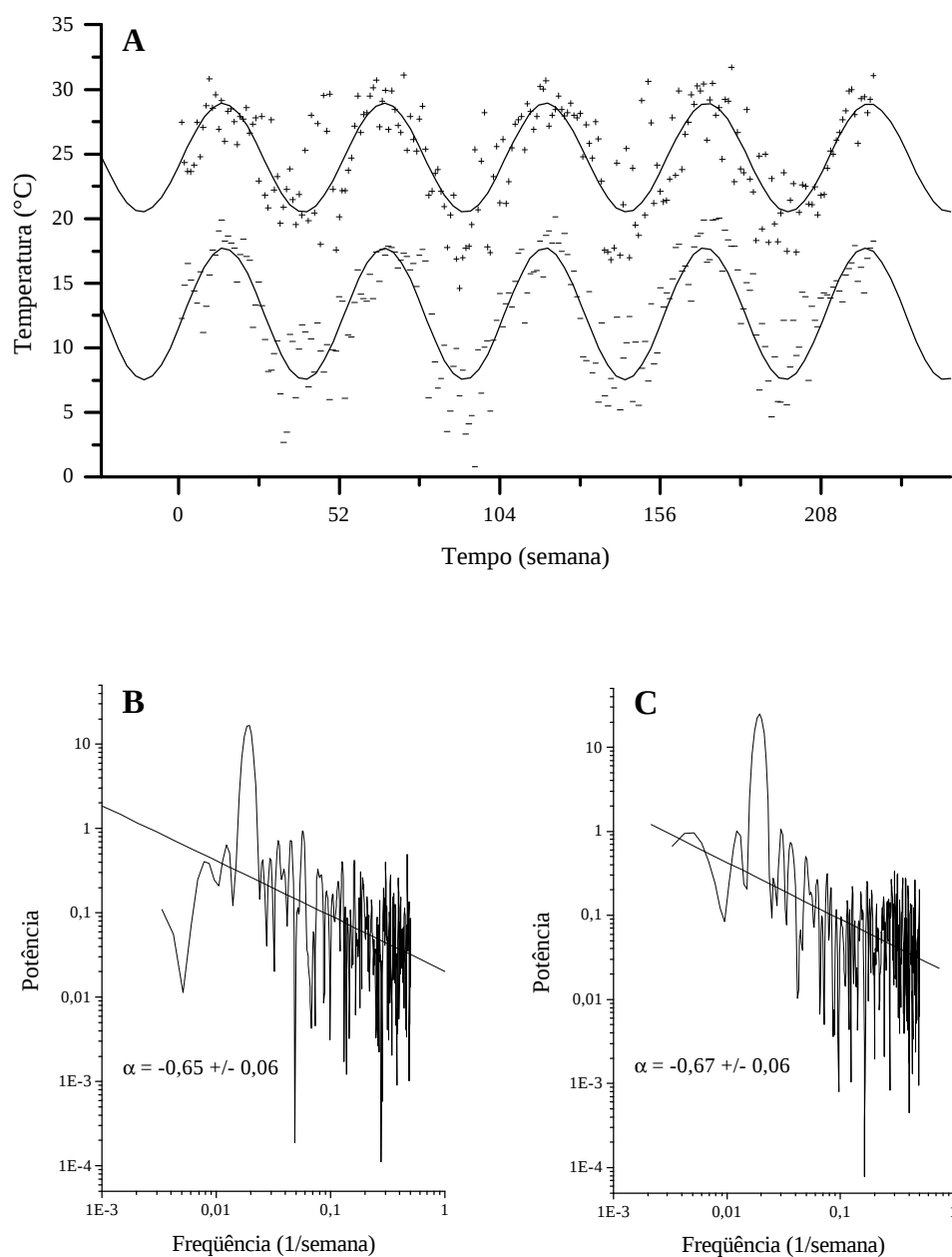


Figura 5. Em A, flutuação de temperatura máxima (+) e mínima (-) (médias semanais) em Videira, SC, durante o período de coleta de *Grapholita molesta*, e senóides geradas a partir dos períodos predominantes obtidos com a DFT. Em B e C, espectros de potência e ajustes lineares das séries de temperatura máxima e mínima respectivamente.

Mediante a análise do espectro de potência da série temporal pode-se constatar que a dinâmica populacional de *G. molesta* possui uma componente regular, caracterizada nos períodos observados e uma componente irregular, remanescente de distribuição $1/f$, caracterizada nas variações de amplitude na ocorrência do inseto. O teste IFS e o coeficiente de Hurst também corroboraram a detecção de ruído $1/f$ (perturbações com escalamento, imprevisíveis e independentes de densidade) permeado na série temporal de coleta de *G. molesta*.

A regularidade na dinâmica populacional de *G. molesta* advém do ciclo biológico do inseto e sua intermitência gerada pela diapausa hibernar, já o ruído $1/f$ permeado pode estar sendo provocado pelas perturbações climáticas, ou então por dinâmicas não lineares inerentes da flutuação populacional do inseto (processos demográficos). O processo amostral parece não provocar tais dinâmicas pois séries temporais equivalentes, geradas por números aleatórios, anteriormente testadas pelos autores, apresentaram características de ruído branco.

Processos $1/f$ (com escalamento) são característicos de diversos fenômenos naturais como abalos sísmicos e surtos de doenças, ou produzidos pela atividade humana como a música ou flutuações no fechamento de bolsas de valores (Voss & Clarke 1978, Bak *et al.* 1988, Halley 1996, Rhodes & Anderson 1996, Lapenna *et al.* 1998, Miramontes & Rohani 1998, Clark 2001, Stanley *et al.* 2000). Uma das implicações deste padrão com escalamento, para flutuações populacionais, é que um pico populacional não tende a ser precedido ou sucedido por outro pico populacional, devendo haver uma queda no número de indivíduos antes que picos sucessivos ocorram. Outra implicação, é que grandes picos populacionais não se sucederão em curtos intervalos de tempo, assim, a ocorrência prolongada de um reduzido número de indivíduos passa a denotar que um grande pico populacional está prestes a ocorrer (Lapenna *et al.* 1998).

Estas informações podem ser fundamentais na estratégia de controle de *G. molesta*. Sabendo-se que picos populacionais serão sucedidos por decréscimo no número de indivíduos amostrados e que o máximo de posturas provavelmente ocorra nos picos populacionais, medidas de controle químico aplicadas logo após os picos populacionais serão as mais prováveis de atingir eficientemente ovos e lagartas recém eclodidas. Por outro lado, sendo uma dinâmica $1/f$, não haverá acúmulo de indivíduos na população com o passar do tempo (há pulsos de ocorrência de indivíduos), o que pode tornar inviável vincular a tomada de decisão do controle em níveis populacionais predefinidos. Estas conjecturas entretanto, necessitam de mais estudos comprobatórios. Não obstante, uma

estratégia interessante, neste caso, seria a obtenção de modelos para a previsão de eventos relacionados à flutuação populacional de *G. molesta*, justamente para antecipar a ocorrência dos picos populacionais e programar a aplicação de medidas de controle.

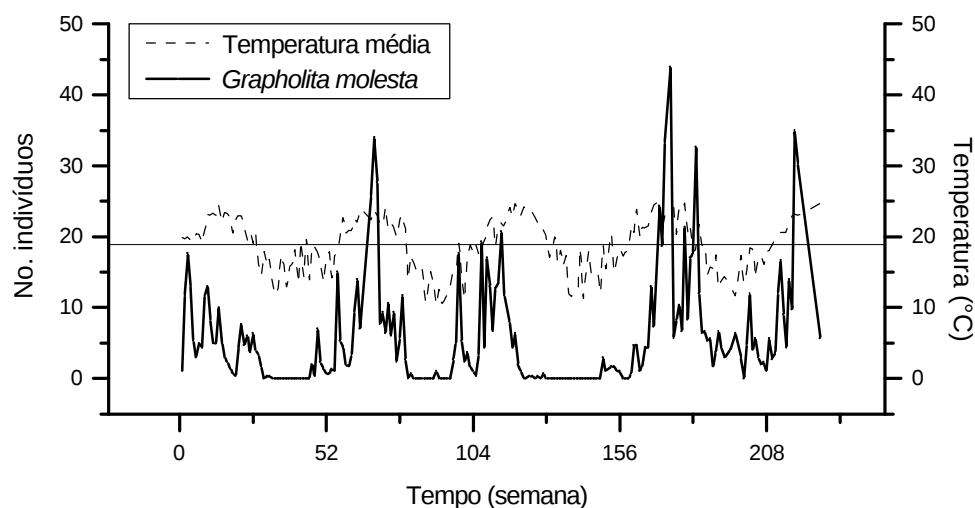


Figura 6. Flutuação populacional média de *Grapholita molesta* (linha cheia fina) e flutuação da temperatura média semanal (linha pontilhada) em Videira, SC. A linha reta aos 18,9°C equivale a temperatura média da série temporal.

Agradecimentos

Ao Dr. Francisco Jablonski (INPE) por gentilmente ceder os softwares DFT[®] e DCF[®] utilizados neste estudo.

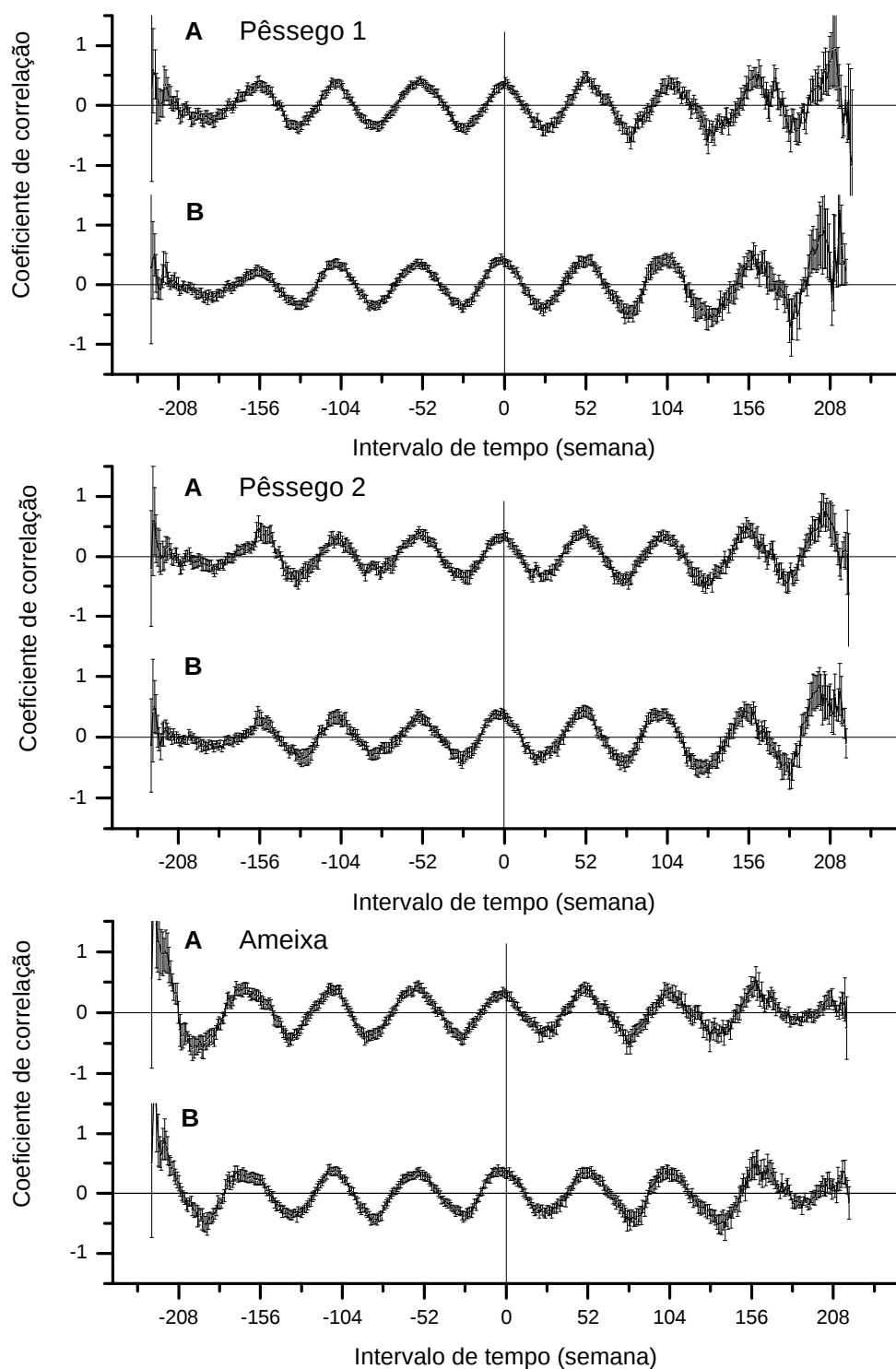


Figura 7. Gráficos de correlação discreta das séries temporais de coleta de *Grapholita molesta* com as séries de temperatura máxima (em **A**) e mínima (em **B**) (médias semanais) obtidas em Videira, SC.

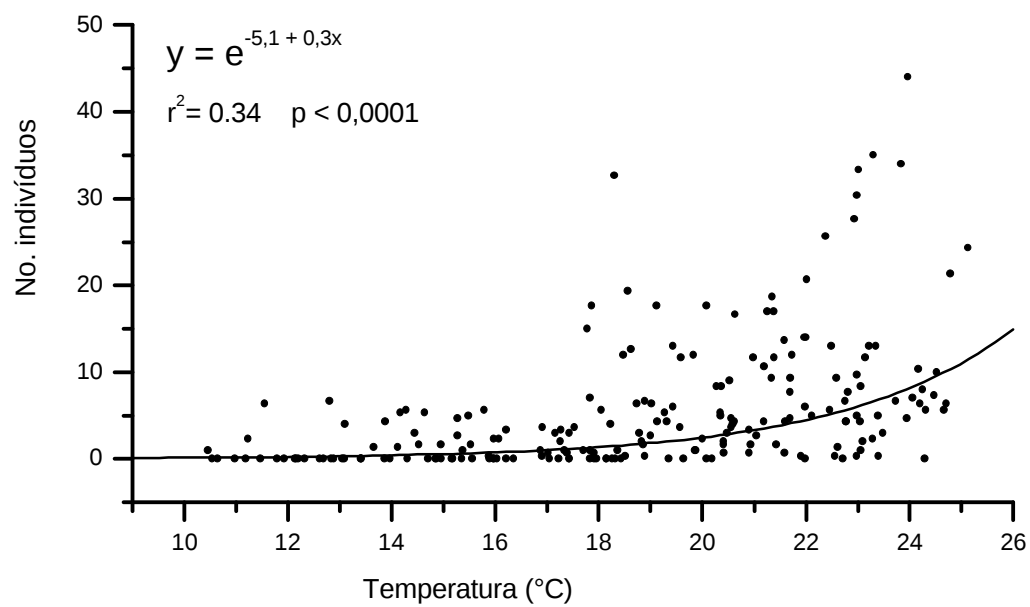


Figura 8. Gráfico da regressão entre os valores médios de coleta de *Grapholita molesta* e de registro da temperatura média semanal em Videira, SC.

Literatura Citada

- Azerefegne, F., C. Solbreck, A.R. Ives. 2001.** Environmental forcing and high amplitude fluctuations in the population dynamics of the tropical butterfly *Acraea acerata* (Lepidoptera:Nymphalidae). *J. Anim. Ecol.* 70: 1032-1045.
- Batista Filho, A., M.E. Sato, A. Raga, L.G. Leite, A. Prada. 1991.** Flutuação populacional da broca da bananeira (*Cosmopolites sordidus* Germar) em Miracatu, SP. *Ecossistema* 16: 46-53.
- Bak, P., C. Tang, K. Wiesenfeld. 1988.** Self-organized criticality. *Phys. Rev. A* 38: 364-374.
- Baker, T.C., R.T. Cardé, B.A. Croft. 1980.** Relationship between pheromone trap capture and emergence of adult oriental fruit moths, *Grapholita molesta* (Lepidoptera:Tortricidae). *Can. Entomol.* 112: 11-15.
- Berryman, A. A. 1996.** What causes population cycles of forest Lepidoptera? *Trends Ecol. Evol.* 11: 28-32.
- Bertoldi, L.H.M. 1988.** Flutuação populacional de *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera - Olethreutidae) e alguns aspectos de sua bioecologia em pomar de pessegueiro. Pelotas:UFPel. 48p. (Tese de mestrado).
- Charmillot, P.-J. 1991.** Possibilités et limites des moyens sélectifs de lutte contre les tordeuses des verges. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 23: 363-374.
- Clark, J.I. 2001.** Fourier and power law analysis of structural complexity in cornea and lens. *Micron* 23: 239-249.
- Constantino, R.F., J.M. Cushing, B. Dennis, R.A. Desharnais. 1995.** Experimentally induced transitions in the dynamic behaviour of insect populations. *Nature* 375: 227-230.
- Constantino, R.F., J.M. Cushing, B. Dennis, R.A. Desharnais, Henson, S.M. 1998.** Resonant population cycles in temporally fluctuating habitats. *Bull. Mat. Biol.* 60: 247-273.
- Dennis, B., R.A. Desharnais, J.M. Cushing, R.F. Constantino. 1997.** Transitions in population dynamics: equilibria to periodic cycles to aperiodic cycles. *J. Anim. Ecol.* 66: 704-729, 1997.
- Ellner, S., P. Turchin. 1995.** Chaos in a noisy world: new methods and evidence from time-series analysis. *Am. Nat.* 145: 343-375.
- Epagri. 1995.** Normas técnicas para o cultivo de pessegueiro em Santa Catarina. Florianópolis, Epagri, 38p.
- Epagri. 1996.** Normas técnicas para o cultivo de ameixeira em Santa Catarina. Florianópolis, Epagri, 39p.
- Fernandes, W.D., M.E.M. Habid. 1992.** Flutuação populacional de *Pectinophora gossypiella* (Saunders, 1843) (Lepidoptera: Gelechiidae) em lavoura de algodão submetida ao controle químico convencional. *Revta. Agric.* 67: 67-75.

- Fielding, D. J., M. A. Brusven. 1990.** Historical analysis of grasshopper (Orthoptera: Acrididae) population responses to climate in southern Idaho, 1950-1980. *Environ. Entomol.* 19: 1786-1791.
- Forno, H., P. Arretz, R.H. Gonzales. 1975.** Sex pheromone in the detection and evaluation of the oriental fruit moth in Chile. *Plant Prot. Bull.* 23: 4-11.
- Gallo, D., O. Nakano, S. Silveira Neto, R.P.L. Carvalho, G.C. Batista, E. Berti Filho, J.R.P. Parra, R.A. Zucchi, S.B. Alves, J.D. Vendramin. 1988.** Manual de entomologia agrícola. São Paulo:Agropecuária Ceres. 649p.
- Garziano, V., G. Viggiani. 1981.** Four years of observations on the flight and control of *Cydia molesta* (Busk) and of *Anarsia lineatella* (Zell.) in peach orchards in Campania by means of synthetic pheromone traps. *Ann. Fac. Sci. Agr. Univ. Studi Napoli Port.* 15: 93-110.
- Grelmann, E.O. 1991.** Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera - Olethreutidae) em Pelotas, RS. Pelotas:UFPel. 43p. (Tese de mestrado).
- Grover, J.P., D. McKee, S. Young, H.C.J. Godfray, P. Turchin. 2000.** Periodic dynamics in *Daphnia* populations: biological interactions and external forcing. *Ecology* 81: 2781-2789.
- Halley, J.M. 1996.** Ecology, evolution and 1/f-noise. *Trends Ecol. Evol.* 11: 33-37.
- Henson, S.M. 2000.** Multiple attractors and resonance in periodically forced population models. *Physica D* 140: 33-49.
- Hickel, E.R. 1993.** Pragas do pessegueiro e ameixeira e seu controle no Estado de Santa Catarina. Florianópolis:EPAGRI. 45p.
- Hickel, E.R.; Ducroquet, J.P.H.J. 1998.** Monitoramento e controle da grafolita ou mariposa oriental no Alto Vale do Rio do Peixe. *Agropec. Catarinense* 11: 8-11.
- Kauffman, S.A. 1993.** The origins of order: self-organization and selection in evolution. New York: Oxford University Press, 709p.
- Knell, R.J. 1998.** Generation cycles. *Trends Ecol. Evol.* 15: 186-190.
- Lapenna, V., M. Macchiato, L. Telesca. 1998.** $1/f^{\beta}$ fluctuations and self-similarity in earthquake dynamics: observational evidences in southern Italy. *Phys. Earth Planet. Int.* 106: 115-127.
- Liebhold, A., J. Elkinton, D. Williams, R.-M. Muzika. 2000.** What causes outbreaks of the gypsy moth in North America? *Popul. Ecol.* 42: 257-266.
- Lischke, H., N. Blago. 1990.** A model to simulate the population dynamics of the codling moth (*Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae)): development and male moth flight. *Acta Hort.* 276: 43-52.
- Lloyd, A.L., R.M. May. 1999.** Synchronicity, chaos and population cycles: spatial coherence in an uncertain world. *Trends Ecol. Evol.* 14: 417-418.
- Logan, J.A., J.C. Allen. 1992.** Nonlinear dynamics and chaos in insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 37: 455-477.

- Miramontes, O., P. Rohani. 1998.** Intrinsically generated coloured noise in laboratory populations. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 265: 785-792.
- Olsen, L.F., W.M. Schaffer. 1990.** Chaos versus noisy periodicity: alternative hypothesis for childhood epidemics. *Science* 249: 499-504.
- Perruso, J. C., P. C. R. Cassino. 1993.** Flutuação populacional de *Selenaspidus articulatus* (Morg.) (Hemiptera: Diaspididae) em *Citrus sinensis* (L.) no Estado do Rio de Janeiro. *An. Soc. Entomol. Brasil* 22: 401-104.
- Petchey, O.L. 2000.** Environmental colour affects aspects of single-species population dynamics. *Proc. R. Soc. Lond. B* 267: 747-754.
- Phillips, J.H.H. 1973.** Monitoring for oriental fruit moth with synthetic sex pheromone. *Environ. Entomol.* 2: 1039-1042.
- Rai, V., W.M. Schaffer. 2001.** Chaos in ecology. *Chaos, Sol. Frac.* 12: 197-203.
- Ralphs, M.H., W.A. Jones. 2000.** Population cycles of the larkspur mirid (Heteroptera: Miridae). *J. Entomol. Sci.* 35: 483-489.
- Rhodes, C.J., R.M. Anderson. 1996.** Power laws governing epidemics in isolated populations. *Nature* 381: 600-602.
- Rice, R.E., W.W. Barnett, D.L. Flaherty, W.J. Bentley, R.A. Jones. 1982.** Monitoring and modeling oriental fruit moth in California. *Cal. Agric.* 36: 11-12.
- Roelofs, W.L.; A. Comeau, R. Selle. 1969.** Sex pheromone in the oriental fruit moth. *Nature* 224: 723.
- Ruohomäki, K., M. Tanhuanpää, M.P. Ayres, P. Kaitaniemi, T. Tammaru, E. Haukioja. 2000.** Causes of cyclicity of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera, Geometridae): grandiose theory and tedious practice. *Popul. Ecol.* 42: 211-223.
- Salles, L.A.B. 1984.** *Grafolita (Grapholita molesta)* bioecologia e controle. Pelotas: EMBRAPA/CNPFT, 16p.
- Silveira Neto, S., A.A.C.M. Precetti, A.J.B.P. Braz, P.E.T. Santos. 1981.** Flutuação populacional de *Grapholita molesta* (Busk) (Lep., Olethreutidae) em pessegueiro e nectarina com o uso de feromônio sexual sintético. *An. Soc. Entomol. Brasil* 10: 43-49.
- Skokov, V.N., A.V. Reshetnikov, V.P. Koverda, A.V. Vinogradov. 2000.** Self-organized criticality and 1/f-noise at interacting nonequilibrium phase transitions. *Physica A* 293: 1-12.
- Solé, R.V., S.C. Manrubia, M. Benton, S. Kauffman, P. Bak. 1999.** Criticality and scaling in evolutionary ecology. *Trends Ecol. Evol.* 14: 156-160.
- Stanley, H.E., L.A.N. Amaral, P. Gopikrishnan, V. Plerou. 2000.** Scale invariance and universality of economic fluctuations. *Physica A* 283: 31-41.
- Sun, P., X.B. Yang. 1999.** Deterministic property changes in population models under random error perturbations. *Ecol. Model.* 119: 239-247.
- Tan, K.H., M. Serit. 1994.** Adult population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera:

Tephritidae) in relation to host phenology and weather in two villages of Penang Island, Malaysia. *Environ. Entomol.* 23: 217-225.

Turchin, P., S.P. Ellner. 2000. Living on the edge of chaos. *Ecology* 81: 3099-3116.

Turchin, P., P. L. Lorio Jr., A. D. Taylor, R. F. Billings. 1991. Why do populations of southern pine beetles (Coleoptera: Scolytidae) fluctuate? *Eviron. Entomol.* 20: 401-409.

Voss, R.F., J. Clarke. 1978. “1/f noise” in music: music from 1/f noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 63: 258-263.

White, A., R.G. Bowers, M. Begon. 1996. Red/blue chaotic power spectra. *Nature* 381: 198.

**Previsão da atividade de vôo de *Grapholita molesta* (Busk)
em pomares de pessegueiro e ameixeira, através do ajuste entre
captura de adultos em armadilhas de feromônio e acumulação de calor**

Eduardo R. Hickel¹, Evaldo F. Vilela²
Og F.F. DeSouza², Octavio Miramontes³

Resumo - Um modelo simulatório da atividade de vôo de *Grapholita molesta* foi estabelecido com base na captura de machos em armadilhas de feromônio, instaladas em pomares de pessegueiro e ameixeira, no período de 1994 a 1999. A função Weibull foi utilizada para ajustar a porcentagem de coleta de mariposas acumulada em função da acumulação de calor em graus-dia após o biofix. As previsões obtidas com a função foram comparadas com os dados de monitoramento da praga na safra 2001/02 no mesmo local. Para o primeiro vôo de mariposas (geração pós-diapausa), as previsões para coleta de 50% dos indivíduos ficaram adiantadas em $1,0 \pm 0,11$ dias, enquanto que para o segundo vôo (primeira geração estival) este adiantamento foi de $5,6 \pm 0,13$ dias. O refinamento dos parâmetros do ajuste, pela adição dos dados de monitoramento da safra 2001/02, não alterou o resultado para previsão de 50% de captura para o primeiro vôo, porém reduziu o adiantamento da mesma previsão para o segundo vôo para $5,0 \pm 0,11$ dias. Esta persistência de adiantamento foi devido ao retardo na ocorrência do pico de captura de mariposas no segundo vôo, em relação aos dados acumulados de 1994 a 1999.

Palavras-chave: Insecta, Tortricidae, modelagem, graus-dia, *Prunus*

¹ Epagri/Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Biologia Animal, 36570-000, Viçosa, MG, e-mail: ehickel@epagri.rct-sc.br. Bolsista do CNPq.

² Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Biologia Animal, 36570-000, Viçosa, MG..

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Física, Dep. Sistemas Complejos, Ciudad Universitaria, México 01000 D.F.

Forecasting flight activity of *Grapholita molesta* in peach and plum orchards
based on pheromone trap catches and degree-day accumulation

Abstract - A simulation model of the flight activity of *Grapholita molesta* was established based on the data of male captures in pheromone traps, placed in a peach and plum orchards from 1994 to 1999. A Weibull function was used to model cumulative percentage capture as a function of degree-days after biofix. Predictions by the function were evaluated with data sets from the same location, collected in 2001/02 season. For the first flight (overwintered generation) the function predicted 50% catch with an advance of $1,0 \pm 0,11$ days, whereas for the second flight (first season generation) the same prediction occurred with an advance of $5,6 \pm 0,13$ days. The improvement of the model parameters by the addition of monitoring data from 2001/02 season did not change the results for the first flight, but reduced the advance of 50% catch for the second flight to $5,0 \pm 0,11$ days. This persistence advance was caused by a delay in the peak occurrence of the second flight moths, in relation to the 1994/99 dataset.

Keywords: Insecta, Tortricidae, modeling, phenology, *Prunus*

Introdução

A mariposa oriental, *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera:Tortricidae), também denominada grafolita ou broca-dos-ponteiros, é praga chave para o cultivo de pessegueiro e ameixeira no Brasil (Salles 1984, Gallo *et al.* 1988, Hickel 1993). Também incide sobre outras frutíferas, principalmente da família Rosaceae, como macieira, marmeleiro, pereira e nespereira. Amplamente disseminada por todas as regiões produtoras de frutas de clima temperado, esta praga causa perdas expressivas, quer seja na produção ou durante a fase de implantação dos pomares, impedindo o crescimento normal das plantas.

Originária das regiões frias da Ásia, a mariposa oriental entra em diapausa nos períodos hibernais como lagarta de último ínstar, encerrada num casulo tecido em algum abrigo, como fendas nos troncos das árvores. Transcorrido o período adverso de baixas temperaturas, as lagartas retomam o desenvolvimento, empupam e transformam-se em indivíduos adultos, que originarão as novas gerações estivais (Strand 1999). Abaixo de 9°C (em média) cessa o desenvolvimento dos indivíduos, sendo esta a temperatura base para *G. molesta* completar o ciclo biológico (Grelmann 1991). O desenvolvimento das diferentes fases por que passa o inseto está intimamente relacionado com a temperatura ambiente, de tal forma que unidades de acumulação de calor (graus-dia) podem ser computadas para o termo de cada fase (Grelmann 1991, Rice *et al.* 1984). Para completar um ciclo de ovo a adulto são necessários 482 graus-dia em média, sendo este valor adotado para definir o numero de gerações anuais (Grelmann 1991).

A *G. molesta* é hoje um inseto cosmopolita, ocorrendo em vários países onde se cultiva o pessegueiro ou ameixeira. Nos cultivos mais tecnificados, as medidas de controle evoluíram para sistemas de manejo integrado, onde as aplicações de inseticidas foram reduzidas ao mínimo. Isto foi possível, pela adoção de técnicas que empregam o feromônio sexual da espécie tanto para monitoramento, como para controle da praga propriamente dito (Gonzales *et al.* 1990, Charmillot 1991, Anônimo 1991).

Apesar destas tecnologias já estarem consolidadas desde meados da década de setenta (Rice *et al.* 1982), ainda não estão plenamente disponíveis para os fruticultores brasileiros. No sul do Brasil, por exemplo, é prática comum entre os fruticultores aplicar inseticidas para o controle da mariposa oriental de forma preventiva e sistemática, tendo em vista a falta de conhecimento do início de ocorrência da praga (Hickel & Ducroquet 1998).

O uso intensivo de armadilhas de feromônio por parte dos fruticultores poderia ser substituído por sistemas de previsão de ataque, baseados em modelos simulatórios da ocorrência de *G. molesta*, que permitiriam estabelecer os momentos adequados para intervir com medidas mais drásticas de controle (Rice *et al.* 1982, Kocourek *et al.* 1995, Kocourek *et al.* 1996). Assim sendo, a proposta deste artigo é apresentar um modelo para simulação da ocorrência da mariposa oriental em pomares de pessegueiro e ameixeira, baseado no ajuste entre dados de coleta de mariposas em armadilhas de feromônio e dados de acumulação de calor; que possa posteriormente ser aplicado em programas de manejo integrado da praga.

Material e métodos

Para o estabelecimento do ajuste entre a coleta de mariposas e acumulação de calor, foram utilizados registros de captura semanal de adultos de *G. molesta* em armadilhas de feromônio, por um período de cinco safras agrícolas (outubro de 1994 a janeiro de 1999); e registros diários de temperatura máxima e mínima ocorridas no período de monitoramento.

O monitoramento do inseto foi realizado em dois pomares de pessegueiro (P1 e P2) e um de ameixeira (A1). Estes pomares eram de coleção de cultivares da Estação Experimental de Videira, em Videira, SC. O pomar 1 de pessegueiro, com 1,2 ha, continha plantas de segunda brota quando do início do monitoramento e os pomares 2 de pessegueiro e o de ameixeira, com 0,6 ha e 0,8 ha respectivamente, continham plantas em produção. Os tratos culturais e fitossanitários foram executados conforme as recomendações técnicas para as culturas (Epagri 1995, 1996).

A técnica de monitoramento de *G. molesta* empregada foi aquela atualmente preconizada, e consistiu na instalação de armadilhas de feromônio tipo Delta (com 1 dm² de área de coleta) na proporção de uma armadilha por hectare de pomar (Rice *et al.* 1984, Salles 1984, Bertoldi 1988). As armadilhas foram suspensas a 1,60m de altura no interior da copa das árvores e em seu interior foram instalados um contentor de feromônio sexual sintético e dependendo da montagem da armadilha, um cartão adesivo. Os contentores de feromônio foram trocados a cada sete semanas em média e os cartões adesivos ou toda a armadilha quando houve acúmulo de detritos ou deterioração das mesmas (Hickel & Ducroquet 1998).

As armadilhas foram instaladas nos pomares na primeira semana de agosto (excetuando a safra 94/95), a fim de detectar a primeira emergência de adultos, originários das lagartas em diapausa (Rice *et al.* 1984, Hickel & Ducroquet 1998) e permaneceram a campo até a última semana de julho do ano seguinte (excetuando a safra 98/99). A inspeção das armadilhas foi executada uma vez por semana, quando registrou-se e retirou-se do cartão adesivo as mariposas capturadas.

Os registros de temperatura foram obtidos junto ao setor de meteorologia da Estação Experimental de Videira. As temperaturas máxima e mínima diárias foram tomadas às 9:00 h da manhã, em abrigo meteorológico ventilado, instalado cerca de 1,5 Km da área do ensaio em estação meteorológica convencional.

Para cada ciclo de monitoramento (safra agrícola) foi estabelecido o respectivo biofix, ora equivalendo ao início do vôo da geração pós-diapausa, ora equivalendo ao início do vôo da primeira geração estival. O biofix é a data a partir da qual se obtém capturas contínuas de mariposas nas armadilhas de feromônio (Riedl *et al.* 1976, Rice *et al.* 1984, Gargiullo *et al.* 1985, Stinner *et al.* 1988, Cockfield *et al.* 1994a), e foi estabelecido mediante análise dos gráficos de flutuação populacional de *G. molesta* na área do ensaio. A partir do biofix computou-se, em planilha eletrônica, a acumulação de graus-dias pelo método da onda senoidal, através da equação (1), adotando-se 9°C como temperatura limiar para o desenvolvimento do inseto (Grelmann 1991). Quando o biofix foi estabelecido a partir do início do vôo da primeira geração estival, 482 graus-dia foram somados ao cálculo de acumulação de calor.

$$\sum_i^n D^{\circ} = \frac{T_{i_{min}} + T_{i_{max}}}{2} - T_{base} \quad (1)$$

onde: $\sum_i^n D^{\circ}$ - acumulação de calor em graus-dia da data i a n ;

$T_{i_{min}}$ - temperatura mínima na data i ;

$T_{i_{max}}$ - temperatura máxima na data i ;

T_{base} - temperatura limiar para o desenvolvimento do inseto.

O número total de mariposas capturadas em cada período de vôo (equivalente a 482GD) foi calculado e em seguida a porcentagem acumulada de captura em cada leitura no respectivo período de vôo. Estes valores, juntamente com os valores de acumulação de graus dia foram injetados em software estatístico, para a obtenção dos parâmetros do ajuste entre estas duas variáveis. A função Weibull (equação 2) foi adotada como descritor da

distribuição dos insetos completando o ciclo de desenvolvimento em resposta a temperatura (Wagner *et al.* 1984, Cockfield *et al.* 1994a, 1994b, Kim *et al.* 2000), e os parâmetros foram estimados pelo método dos quadrados mínimos.

$$P = 100 \times \left(1 - e^{-\left(\frac{D^\circ}{\mu}\right)^\alpha} \right) \quad (2)$$

onde: **P** – porcentagem de indivíduos capturados;

D° – graus-dia acumulados;

μ e **α** – parâmetros de escala e forma respectivamente.

Este ajuste para previsão foi avaliado na safra 2001/02 confrontando-se as estimativas com os dados de monitoramento da praga nos mesmos pomares e em outros três pomares da Estação Experimental de Videira, a saber, um pomar de pessegueiro em produção (P3), um pomar de ameixeira em produção (A2) e um pomar de seedlings de ameixeira (A3), com plantas de várias idades. Para a diferença entre a porcentagem de coleta de insetos estimada e aquela efetivamente ocorrida foi calculado, em planilha eletrônica, o equivalente em dias para mais (retardo) ou para menos (adiantamento) da previsão. Os registros de monitoramento da safra 2001/02 foram então incorporados à série 1994/99, repetindo-se os procedimentos de obtenção dos parâmetros da função Weibull e validação do ajuste (Cravedi & Mazzoni 1994).

Para efeito de validação do ajuste, foi adotado como referência o momento de acumulação de 50% de mariposas capturadas (Riedl *et al.* 1976, Cockfield *et al.* 1994a), isto porque, nos extremos de acumulação, a função Weibull tende a assintótica aumentando assim a equivalência entre os valores previstos e observados. O momento de 50% de mariposas capturadas também se aproxima, a campo, do período em que estaria ocorrendo o maior pico de captura de mariposas.

Resultados

A flutuação populacional de *G. molesta* ocorrida nos pomares monitorados na safra 2001/02 pode ser visualizada na Fig.1. A data de 9 de agosto de 2001 foi estabelecida como biofix, estendendo-se o ciclo da primeira geração de lagartas (pós-diapausa) até aproximadamente 3 de outubro de 2001. O ciclo de emergência de adultos da primeira geração estival foi considerado encerrado em 16 de novembro de 2001 (964 graus-dia).

A função Weibull produziu curvas características para a ocorrência cumulativa de adultos da geração pós-diapausa e da primeira geração estival (Fig. 2). Os valores de porcentagem cumulativa de coleta, provenientes do monitoramento 2001/02, seguem o mesmo padrão das curvas geradas pela função Weibull. Os parâmetros estimados para a função Weibull são apresentados na Tabela 1.

As previsões para 50% de coleta acumulada pela função Weibull ficaram adiantadas em $1,0 \pm 0,11$ dias para a geração pós-diapausa (primeiro vôo) e $5,6 \pm 0,13$ dias para a primeira geração estival (segundo vôo) (Tabela 2). O refinamento dos parâmetros do ajuste, pela adição dos dados de monitoramento da safra 2001/02, não alterou o resultado para previsão de 50% de captura para o primeiro vôo, porém reduziu o adiantamento da mesma previsão para o segundo vôo para $5,0 \pm 0,11$ dias (Tabela 2).

Discussão

O controle eficaz de *G. molesta* nos pomares é obtido com a eliminação das lagartas antes da penetração destas nos ponteiros ou nos frutos e com a supressão das primeiras gerações após a diapausa (Audemard *et al.* 1992, Zeki 1996, Strand 1999). Para atender a primeira condição, as medidas de controle devem atingir os adultos, ou no mais tardar os ovos da praga, sendo aplicadas no curto intervalo de tempo entre postura e eclosão das lagartas. A segunda condição é alcançada quando o controle é planejado para atingir as duas primeiras gerações de adultos após o repouso hibernar, principalmente os adultos da primeira geração estival (segundo vôo), que ocorrem de forma mais sincronizada e no período de maior disponibilidade de frutos e brotações em desenvolvimento (Rice *et al.* 1984, Strand 1999).

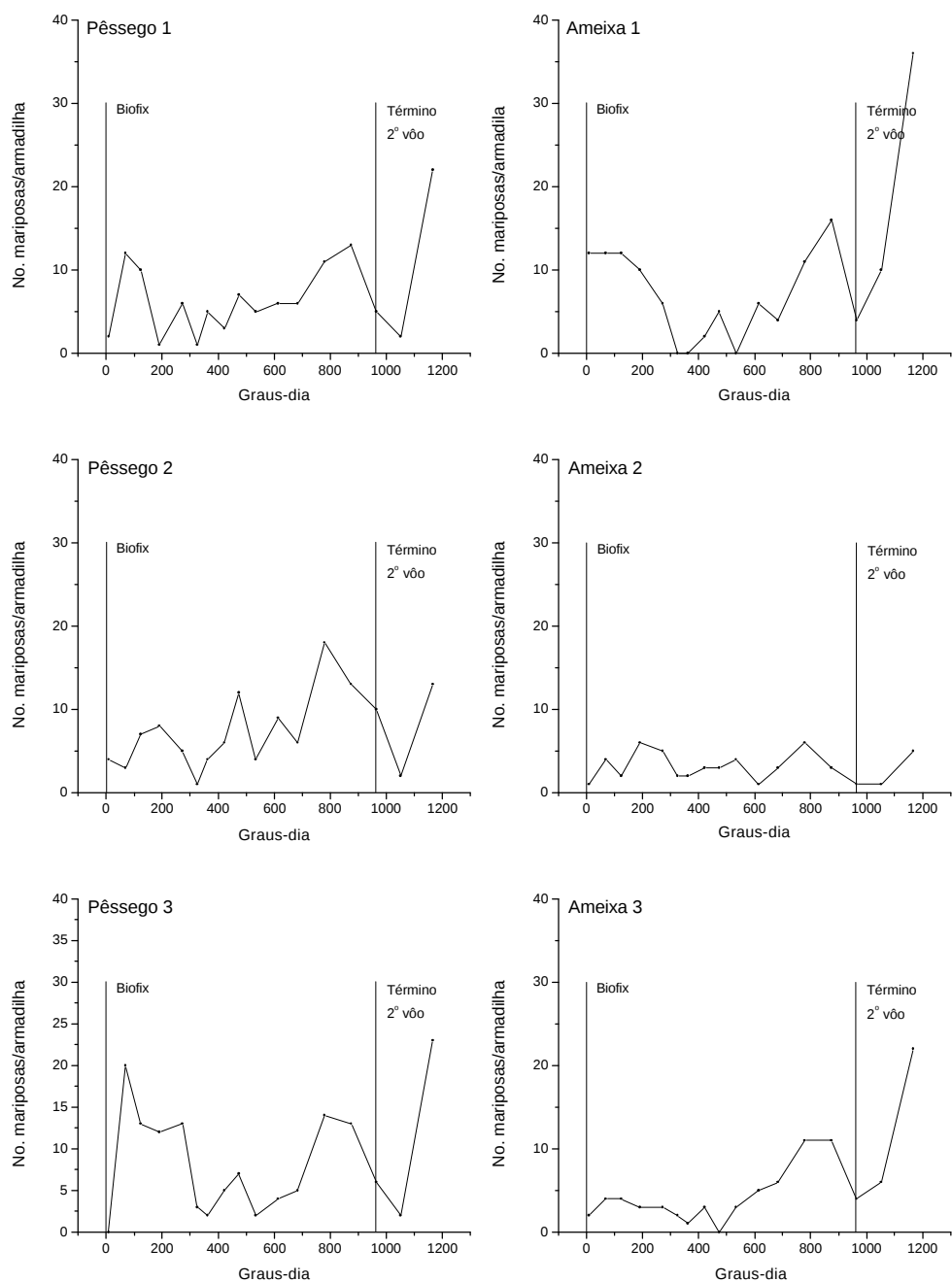


Figura 1. Flutuação populacional de *G. molesta* em pomares de pessegueiro e ameixeira, na safra 2001/02, em Videira, SC. As linhas verticais indicam os momentos de início (biofix) e término do cômputo dos graus-dia.

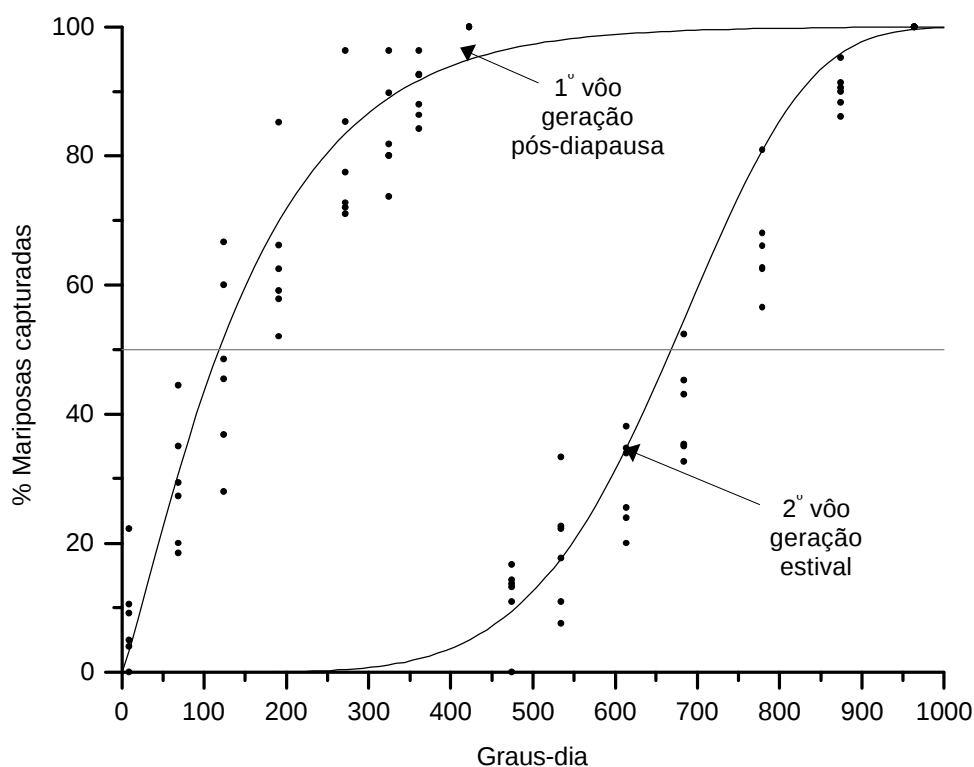


Figura 2. Curvas geradas pela função Weibull para o ajuste entre % cumulativa de mariposas capturadas e graus-dia acumulados. A linha reta assinala 50% de mariposas capturadas.

Ora, um controle de *G. molesta* mais eficaz, notadamente no caso de controle químico, implica em menos repetição de aplicações e na possibilidade do emprego de pesticidas de menor efeito residual. Só estas duas alterações na estratégia de controle de *G. molesta*, já seriam suficientes para reduzir o impacto ambiental das aplicações de inseticidas nos pomares, com todos os benefícios correlatos adivindos (Belding 1999, Strand 1999). O problema crucial é determinar estes momentos chave para controle de *G. molesta*.

A função Weibull, ajustada para ocorrência de *G. molesta* em função dos graus-dia, permitiu prever com boa acuidade os momentos de vôo de mariposas das primeiras gerações estivais e assim pode ser empregada no planejamento do controle de *G. molesta*. Vários outros estudos desta natureza, também empregando a função Weibull (ou algumas variantes), foram bem sucedidos na previsão da atividade de vôo de *Cydia pomonella* (L.) (Larguier 1992) *Sparganothis sulfureana* (Clemens) (Cockfield *et al.* 1994a), *Rhopobota*

naevana (Hübner) (Cockfield *et al.* 1994b), *Spilopota ocellana* (Denis et Schiff.) (McBrien & Judd 1998) (todas Lep.Tortricidae), *Anarsia lineatella* Zell. (Lep.:Gelechiidae) (Kocourek *et al.* 1996), *Carposina sasaki* Matsumura (Lep.:Carposinidae) (Kim *et al.* 2000), entre outras.

Tabela 1. Parâmetros estimados para a função Weibull no ajuste entre porcentagem de coleta de mariposas e acumulação de calor em graus-dia, de acordo com a série temporal de registros.

Série temporal	Geração ou vôo	Parâmetro		r^2	p_{stat}
		μ	α		
94/99	Pós-diapausa	160,2250	1,1543	0,93	< 0,001
	1ª geração estival	704,4798	5,8038	0,89	< 0,001
94/99 + 01/02	Pós-diapausa	162,9181	1,1481	0,92	< 0,001
	1ª geração estival	712,5224	5,6846	0,89	< 0,001

As defasagens nas estimativas para acumulação de 50% de mariposas capturadas (Tabela 2) situaram-se na faixa normalmente reportada em outros estudos, quer envolvendo ajustes entre acumulação de calor e coleta de adultos em armadilhas (Riedl *et al.* 1976, Gargiullo *et al.* 1984, Stinner *et al.* 1988), ou mesmo modelagem fenológica propriamente dita (DeBerardinis *et al.* 1992, Tiso *et al.* 1992). Estas defasagens, em alguns casos, advêm da dificuldade em se estabelecer a data biofix, a partir da qual será iniciada a acumulação de graus-dias (Riedl *et al.* 1976) e em outros, da variabilidade no tempo para termo das fases de desenvolvimento do inseto alvo e de parâmetros preestabelecidos dos modelos (DeBerardinis *et al.* 1992, Tiso *et al.* 1992).

A dificuldade em se estabelecer as datas biofix neste ensaio (Fig. 3) está de acordo com os relatos de que a emergência de adultos originários das lagartas em diapausa é irregular no tempo, ocasionando a ocorrência esparsa de mariposas por um amplo período (Rice *et al.* 1984). Esta mesma característica também foi relatada para *C. pomonella* e dificultou o estabelecimento das datas biofix no estudo de Riedl *et al.* (1976). Não obstante, os melhores ajustes com Weibull, foram conseguidos para o primeiro vôo de *G. molesta*. Ainda assim, há forte dose de subjetividade no estabelecimento das datas biofix, o que pode levar a defasagens nas previsões obtidas com os ajustes ou modelos desenvolvidos (Cravedi & Mazzoni 1994). Talvez a definição das datas biofix com o uso de outras ferramentas analíticas, como a transformada de Fourier, reduza o caráter subjetivo da escolha destas datas, devendo ser tema para novas pesquisas.

Tabela 2. Diferença em dias para mais ou para menos entre os resultados estimados e reais de acumulação de 50% de mariposas capturadas, durante a safra 2001/02, em Videira, SC.

Geração ou vôo	Série temporal	Pomar						Média $\pm$ e.p. ^A
		P1	P2	P3	A1	A2	A3	
Pós-diapausa	94/99	+2	-6	-2	+5	-8	-3	-1,00 $\pm$ 0,11
	94/99 + 01/02	+3	-6	-2	+5	-8	-3	-1,00 $\pm$ 0,11
1ª Geração estival	94/99	-4	-4	-7	-9	-1	-7	-5,67 $\pm$ 0,13
	94/99 + 01/02	-3	-4	-7	-8	-1	-7	-5,00 $\pm$ 0,11

^{A/} erro padrão

Nas regiões de clima temperado, onde as estações anuais são bem definidas, a sincronização de desenvolvimento nos insetos que passam por diapausa hiberna é bem acentuada (Knell 1998, Strand 1999), e isto facilita a percepção das datas biofix. O mesmo já não ocorre nas regiões de clima subtropical, onde a variabilidade climática nas estações anuais é mais acentuada. Nestas regiões, mesmo havendo diapausa hiberna, pode ocorrer menor sincronização entre início e término das fases de desenvolvimento dos insetos, face a instabilidade das condições climáticas, especialmente da temperatura (Greaves *et al.* 1994, Kim *et al.* 2000).

Modelos para previsão de ocorrência de pragas, notadamente lepidópteros prejudiciais aos cultivos, têm sido utilizados em sistemas de alerta aos produtores, para gerar avisos sobre os momentos para se efetuar o controle destas pragas (Welch *et al.* 1978, Mols *et al.* 1992, Kocourek *et al.* 1995, Hayes *et al.* 1997). Por este procedimento, a instalação, verificação e interpretação das armadilhas de feromônio ficam a cargo de uma estação de avisos fitossanitários, responsável direta pela emissão dos alertas. Este sistema tem a vantagem de eliminar a necessidade dos produtores instalarem as armadilhas em seus pomares, com todas as inconveniências resultantes de falhas na verificação e interpretação das coletas (Rice *et al.* 1984). Também é vantajoso quando o comércio de insumos agrícolas não dispõe destas armadilhas para venda aos produtores.

O modelo proposto para simulação da atividade de vôo de *G. molesta* pode ser adotado por estações de avisos fitossanitários, interessadas em atender aos produtores de frutas de caroço do Meio-Oeste catarinense. Embora disponível para uso imediato, ainda faz-se necessário validar o modelo a campo, através da avaliação de danos da praga em pomares onde o controle foi efetuado de acordo com as previsões obtidas com o modelo.

Assim as estimativas para acumulação de 50% de mariposas capturadas poderão ser testadas como indicadores para o controle da praga. É recomendável também, após a validação do modelo, o refinamento constante dos parâmetros (a cada nova safra) para melhorar a concordância entre os eventos previstos e aqueles efetivamente ocorridos (Croft *et al.* 1980).

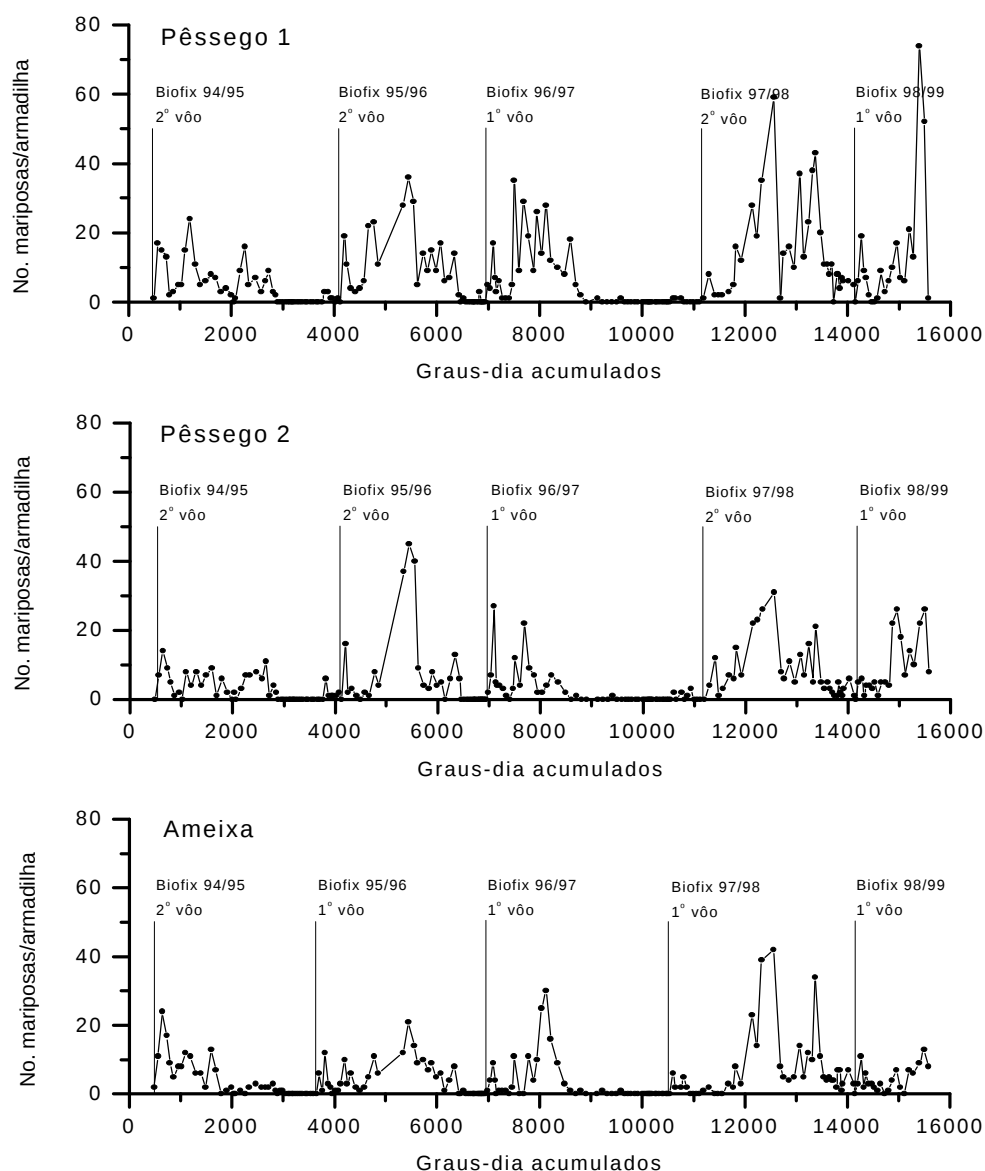


Figura 3. Flutuação populacional de *Grapholita molesta* em pomares de pessegueiro e ameixeira, em Videira, SC, no período de outubro de 1994 a janeiro de 1999. As linhas verticais marcam as datas biofix adotadas.

Literatura Citada

- Anônimo. 1991.** Oriental Fruit Moth: there has been progress. *Dec. Fruit Grower* 41: 326-327.
- Audemard, H., J.P. Gendrier, M. Jeary. 1992.** Risk forecasting and supervised control of the oriental fruit moth *Cydia molesta* Busk in peach orchards. *Acta Phythopathol. Entomol. Hung.* 27: 65-72.
- Belding, R.D. (ed.). 1999.** New Jersey commercial tree fruit production guide. New Brunswick: Rutgers. 139p.
- Bertoldi, L.H.M. 1988.** Flutuação populacional de *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera - Olethreutidae) e alguns aspectos de sua bioecologia em pomar de pessegueiro. Pelotas:UFPel. 48p. (Tese de mestrado).
- Charmillot, P.-J. 1991.** Possibilités et limites des moyens sélectifs de lutte contre les tordeuses des verges. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 23: 363-374.
- Cockfield, S.D., S.L. Butkewich, K.S. Samoil, D.L. Mahr. 1994a.** Forecasting flight activity of *Sparganothis sulfureana* (Lepidoptera:Tortricidae) in cranberries. *J. Econ. Entomol.* 87: 193-196.
- Cockfield, S.D., S.M. Fitzpatrick, K. Patten, D. Henderson, T. Dittl, A. Poole, C. Shanks, D.L. Mahr. 1994b.** Modeling of blackheaded fireworm (Lepidoptera: Tortricidae) oviposition and pheromone-trap catches. *J. Econ. Entomol.* 87: 787-792.
- Cravedi, P., E. Mazzoni. 1994.** Verification of the relation between degree-days and pheromone trap catches of *Lobesia botrana* (Den. et Schiff.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Redia* 77: 109-122.
- Croft, B.A., M.F. Michels, R.E. Rice. 1980.** Validation of a PETE timing model for the oriental fruit moth in Michigan and central California (Lepidoptera: Olethreutidae). *Great Lakes Entomol.* 13: 211-217.
- DeBerardinis E., Tiso, R., A. Butturini, G. Briolini. 1992.** A phenological forecasting model for the apple and pear leaf-roller *Argyrotaenia pulchellana* (Hw.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Boll. Ist. Ent. "G. Grandi" Univ. Bologna* 47: 111-122.
- Epagri. 1995.** Normas técnicas para o cultivo de pessegueiro em Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 38p.

- Epagri. 1996.** Normas técnicas para o cultivo de ameixeira em Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 39p.
- Gallo, D., O. Nakano, S. Silveira Neto, R.P.L. Carvalho, G.C. Batista, E. Berti Filho, J.R.P. Parra, R.A. Zucchi, S.B. Alves, J.D. Vendramin. 1988.** Manual de entomologia agrícola. São Paulo: Agronômica Ceres. 649p.
- Gargiullo, P.M., C.W. Berisford, C.G. Canalos, J.A. Richmond, S.C. Cade. 1984.** Mathematical descriptions of *Rhyacionia frustrana* (Lepidoptera: Tortricidae) cumulative catches in pheromone traps, cumulative eggs hatching, and their use in timing of chemical control. Environ. Entomol. 13: 1681-1685.
- Gargiullo, P.M., C.W. Berisford, J.F. Godbee Jr. 1985.** Prediction of optimal timing for chemical control of the nantucket pine tip moth, *Rhyacionia frustrana* (Comstock) (Lepidoptera: Tortricidae), in the southeastern coastal plain. J. Econ. Entomol. 78: 148-154.
- Greaves, A.J., J.W. Davys, B.W. Dow, A.R. Tomkins, C. Thomson, D.J. Wilson. 1994.** Seasonal temperatures and the phenology of greedy scale populations (Homoptera: Diaspididae) on kiwifruit vines in New Zealand. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 22: 7-16.
- Grelmann, E.O. 1991.** Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera - Olethreutidae) em Pelotas, RS. Pelotas: UFPel. 43p. (Tese de mestrado).
- Gonzales, R.H., G. Barria, T. Curkovic. 1990.** Confusion sexual: un nuevo metodo de control especifico de la grafolita del durazno, *Cydia molesta* (Busk). Revta. Fruticola 11: 43-49.
- Hayes, A., H. Wearing, G. Burnip. 1997.** Working towards model solutions to leafroller control in pipfruit. The Orchardist 70: 60-61.
- Hickel, E.R. 1993.** Pragas do pessegueiro e ameixeira e seu controle no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: EPAGRI. 45p.
- Hickel, E.R., Ducroquet, J.P.H.J. 1998.** Monitoramento e controle da grafolita ou mariposa oriental no Alto Vale do Rio do Peixe. Agropec. Catarinense 11: 8-11.

- Kim, D.-S., J.-H. Lee, M.-S. Yi.** 2000. Spring emergence pattern of *Carposina sasakii* (Lepidoptera:Carposinidae) in apple orchards in Korea and its forecasting models based on degree-days. *Environ. Entomol.* 29: 1188-1198.
- Knell, R.J.** 1998. Generation cycles. *Trends Ecol. Evol.* 15: 186-190.
- Kocourek, F., J. Beránková, I Hrdý.** 1995. A temperature-driven model to simulate the population development of the plum fruit moth, *Cydia funebrana* (Treit.). *Anz. Schädlingsskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz.* 68: 64-68.
- Kocourek, F., J. Beránková, I Hrdý.** 1996. Flight patterns of the peach twig borer, *Anarsia lineatella* Zell. (Lep.,Gelechiidae) in Central Europe as observed using pheromones traps. *Anz. Schädlingsskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz* 69: 84-87.
- Larguier, M.** 1992. Simulation of the emergence of adults of the first generation of *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera:Tortricidae). *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.* 27: 405-411.
- McBrien, H.L., Judd, G.J.R.** 1998. Forecasting emergence, flight, and oviposition of *Spilonota ocellana* (Lepidoptera:Tortricidae), in British Columbia. *Environ. Entomol.* 27: 1411-1417.
- Mols, P.J.M., C.J.H. Bodij, P. de Visser.** 1992. "Gaby" a computerized advisory system for IPM in apple orchards. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.* 27: 461-464.
- Rice, R.E., W.W. Barnett, D.L. Flaherty, W.J. Bentley, R.A. Jones.** 1982. Monitoring and modeling oriental fruit moth in California. *Cal. Agric.* 36: 11-12.
- Rice, R.E., C.V. Weakley, R.A. Jones.** 1984. Using degree-days to determine optimum spray timing for the oriental fruit moth (Lepidoptera:Tortricidae). *J. Econ. Entomol.* 77: 698-700.
- Riedl, H., B.A. Croft, A.J. Howitt.** 1976. Forecasting codling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological-time models. *Can. Entomol.* 108: 449-460.
- Salles, L.A.B.** 1984. *Grafolita (Grapholita molesta)* bioecologia e controle. Pelotas: EMBRAPA/CNPFT, 16p.
- Stinner, R.E., G.C. Rock, J.E. Bacheler.** 1988. Tufted apple budmoth (Lepidoptera: Tortricidae): simulation of postdiapause development and prediction of spring adult emergence in North Carolina. *Environ. Entomol.* 17: 271-274.

- Strand, L.L. (ed.). 1999.** Integrated pest management for stone fruits. Oakland:University of California. 264p.
- Tiso, R., A. Butturini, E. DeBerardinis, G. Briolini. 1992.** A phenological model for the apple and pear leaf-roller *Pandemis cerasana* (Hb.) (lepidoptera:Tortricidae). Boll. Ist. Ent. "G. Grandi" Univ. Bologna 47: 101-110.
- Wagner, T.L., H. Wu, P.J.H. Sharp, R.N. Coulson. 1984.** Modeling distributions of insect development: a literature review and application of the Weibull function. Ann. Entomol. Soc Am. 77: 475-487.
- Welch, S.M., B.A. Croft, J.F. Brunner, M.F. Michels. 1978.** PETE: na extension phenology modelling system for management of multispecies pest complex. Environ. Entomol. 7: 482-494.
- Zeki, C. 1996.** Organization and operation of forecasting and warning systems against pests in Turkey. Bull. OEPP 26: 587-593.

Anexo

Consta na Tabela 1 deste anexo os registros de monitoramento de *G. molesta* em pomares de pessegueiro e ameixeira, executado primeiramente a partir de 07 de outubro de 1994 (primeira leitura) até 12 de janeiro de 1999 (última leitura) e depois, de 09 de agosto de 2001 (primeira leitura) até 01 de fevereiro de 2002 (última leitura), em Videira, SC, bem como o acúmulo de graus-dia em cada data de leitura nas armadilhas de feromônio. Via de regra as leituras obedeceram o intervalo de sete dias entre uma e outra.

Os registros de temperatura dos períodos de monitoramento podem ser requeridos junto a Estação Experimental de Videira da Epagri, situada à Rua João Zardo s/n, Caixa Postal 21, 89560-000, em Videira, SC.

A intenção é disponibilizar estas informações, principalmente as séries temporais de coleta de *G. molesta*, para que as mesmas possam ser utilizadas ou analisadas com ferramentas mais modernas em outros estudos, tal como ocorreu com as séries temporais de Nicholson (Brillinger *et al.* 1980) e de alguns outros autores.

Literatura Citada

BRILLINGER, D.R.; GUCKENHEIMER, J.; GUTTORP, P.; OSTER, G.F. Empirical modelling of population time series data: the case age and density dependent vital rates. *Lectures in Mathematics and Life Science*, v.13, p.65-90, 1980.

Tabela 1. Registros do monitoramento de *G. molesta* nos pomares de pessegueiro e ameixeira e graus-dia acumulados, em Videira, SC.

Semana/ mês/ano	Soma de Graus-dia	Seqüência de leitura	Número de indivíduos capturado		
			Pêssego 1	Pêssego 2	Ameixa
I/out/94	492	1	1	0	2
II	563,2	2	17	7	11
III	645,9	3	15	14	24
IV	730,6	4	13	9	17
I/nov	795,8	5	2	5	9
II	864,8	6	3	1	5
III	960,7	7	5	2	8
IV	1019,5	8	5	0	8
V	1099,4	9	15	8	12
I/dez	1192,4	10	24	4	11
II	1298,4	11	11	8	6
III	1390,8	12	5	4	6
IV	1493,8	13	6	7	2
I/jan/95	1599,6	14	8	9	13
II	1691,3	15	7	1	7
III	1792,5	16	3	6	0
IV	1896,8	17	4	2	1
V	1993,1	18	2	0	2
I/fev	2042,4	19	0	2	0
II	2072,2	20	1	0	0
III	2170,1	21	9	3	1
IV	2262,6	22	16	7	0
I/mar	2334,2	23	5	7	2
II	2465,3	24	7	8	3
III	2577,1	25	3	6	2
IV	2655,8	26	6	11	2
I/abr	2723,8	27	9	1	2
II	2806,2	28	3	4	3
III	2855,7	29	2	2	1
IV	2893	30	0	0	0
I/maio	2948,2	31	0	0	1
II	2996,4	32	0	0	1
III	3051,7	33	0	0	0
IV	3181,2	34	0	0	0
V	3105,2	35	0	0	0
I/jun	3133	36	0	0	0
II	3195,4	37	0	0	0
III	3238	38	0	0	0
IV	3283,4	39	0	0	0

continua

Tabela 1. Continuação

Semana/ mês/ano	Soma de Graus-dia	Seqüência de leitura	Número de indivíduos capturado		
			Pêssego 1	Pêssego 2	Ameixa
I/jul/95	3329,6	40	0	0	0
II	3374,8	41	0	0	0
III	3440,5	42	0	0	0
IV	3472,2	43	0	0	0
I/ago	3547	44	0	0	0
II	3588,9	45	0	0	0
III	3655,7	46	0	0	0
IV	3697,4	47	0	0	6
V	3763,2	48	0	0	1
I/set	3818,4	49	3	6	12
II	3880,8	50	3	1	3
III	3931,3	51	1	1	2
IV	3961,7	52	1	1	0
I/out	4021,4	53	0	1	1
II	4076,6	54	1	2	1
III	4119,6	55	0	0	3
IV	4202,1	56	19	16	10
V	4246,3	57	11	2	3
I/nov	4324,7	58	4	3	6
II	4417,5	59	3	1	2
III	4495,6	60	4	0	1
IV	4578,6	61	6	2	2
I/dez	4665,9	62	22	1	5
II	4772,2	63	23	8	11
III	4851,9	64	11	4	6
I/jan/96	5338	68	28	37	12
II	5442,9	69	36	45	21
I/fev	5551,4	70	29	40	14
II	5623	71	5	9	9
III	5732,9	72	14	4	10
IV	5824,8	73	9	3	7
I/mar	5894,9	74	15	8	9
II	5985,8	75	9	4	5
III	6072,2	76	17	5	6
IV	6149,2	77	6	0	1
I/abr	6243,4	78	7	6	4
II	6342,4	79	14	13	8
III	6429,1	80	2	6	0
IV	6461,5	81	0	0	0
V	6520,2	82	1	0	1

continua

Tabela 1. Continuação

Semana/ mês/ano	Soma de Graus-dia	Seqüência de leitura	Número de indivíduos capturado		
			Pêssego 1	Pêssego 2	Ameixa
I/maio/96	6570,7	83	0	0	0
II	6615,2	84	0	0	0
III	6656,1	85	0	0	0
IV	6702	86	0	0	0
I/jun	6716,1	87	0	0	0
II	6741,9	88	0	0	0
III	6785,2	89	0	0	0
IV	6816,1	90	0	0	0
I/jul	6832,2	91	3	0	0
II	6857,5	92	0	0	0
III	6868,4	93	0	0	0
IV	6887,8	94	0	0	0
V	6909,9	95	0	0	0
I/ago	6938,5	96	0	0	0
II	6982,4	97	5	2	1
III	7036,2	98	4	7	4
IV	7098,6	99	17	27	9
I/set	7134,8	100	7	5	4
II	7151,9	101	3	4	0
III	7207,3	102	6	4	1
IV	7276,3	103	1	3	1
I/out	7337,2	104	1	1	1
II	7406,4	105	1	0	0
III	7464,3	106	5	3	2
IV	7504,6	107	35	12	11
V	7603,4	108	9	4	0
I/nov	7689,2	109	29	22	0
II	7783,6	110	19	9	11
III	7879,9	111	9	7	4
IV	7947,2	112	26	2	10
I/dez	8035,2	113	14	2	25
II	8126,3	114	28	4	30
III	8213	115	12	7	16
IV	8348,9	117	10	5	9
I/jan/97	8490,9	118	8	2	3
II	8600,8	119	18	0	1
III	8705,1	120	5	1	0
IV	8799	121	2	0	1
I/fev	8904,9	122	0	0	0
II	9122,3	124	1	0	0
III	9223,1	125	0	0	1

continua

Tabela 1. Continuação

Semana/ mês/ano	Soma de Graus-dia	Seqüência de leitura	Número de indivíduos capturado		
			Pêssego 1	Pêssego 2	Ameixa
I/mar/97	9319,1	126	0	0	0
II	9409,4	127	0	1	0
III	9500,3	128	0	0	0
IV	9583,6	129	1	0	1
I/abr	9661,9	130	0	0	0
II	9718,2	131	0	0	0
III	9782,2	132	0	0	0
IV	9859,8	133	0	0	0
V	9911,3	134	0	0	0
I/maio	9998,2	135	0	0	0
II	10044,5	136	0	0	0
III	10093,9	137	0	0	0
IV	10115,2	138	0	0	0
I/jun	10140,6	139	0	0	0
II	10159	140	0	0	0
III	10187,2	141	0	0	0
IV	10260,7	142	0	0	0
I/jul	10279,5	143	0	0	0
II	10330,5	144	0	0	0
III	10385,8	145	0	0	0
IV	10420,6	146	0	0	0
V	10468,9	147	0	0	0
I/ago	10499,3	148	0	0	0
II	10535,3	149	0	0	0
III	10600,7	150	1	2	6
IV	10643,5	151	1	0	2
I/set	10757,9	153	1	2	2
II	10812,1	154	0	0	5
III	10870,7	155	0	1	2
IV	10936,2	156	0	3	0
I/out	10993,8	157	0	0	0
II	11055,6	158	0	0	0
III	11111,9	159	0	0	0
IV	11195,1	160	1	0	1
I/nov	11299,9	161	8	4	2
II	11409,5	162	2	12	0
III	11480,4	163	2	1	0
IV	11558,3	164	2	3	0

continua

Tabela 1. Continuação

Semana/ mês/ano	Soma de Graus-dia	Seqüência de leitura	Número de indivíduos capturado		
			Pêssego 1	Pêssego 2	Ameixa
I/dez/97	11679,3	165	3	7	3
II	11777,3	166	5	6	2
III	11820,2	167	16	15	8
IV	11924,4	168	12	7	3
I/jan/98	12144,3	170	28	22	23
II	12232,1	171	19	23	14
III	12329,3	172	35	26	39
I/fev	12563,4	174	59	31	42
II	12690,9	175	1	8	8
III	12749,5	176	14	6	5
IV	12857,7	177	16	11	4
I/mar	12958,8	178	10	5	5
II	13069,3	179	37	13	14
III	13148,8	180	13	7	5
IV	13235,4	181	23	16	12
V	13319,4	182	38	5	10
I/abr	13370,8	183	43	21	34
II	13475,4	184	20	5	11
III	13537,9	185	11	3	5
IV	13599,5	186	11	5	4
I/maio	13639	187	8	3	5
II	13691,5	188	11	2	4
III	13728,4	189	0	1	4
IV	13790,5	190	8	1	2
I/jun	13813,6	191	8	5	7
II	13847,7	192	4	2	7
III	13884,3	193	7	1	1
IV	13909,5	195	6	3	3
I/jul	14016,8	197	6	6	7
II	14121,8	199	5	1	3
I/ago	14147,2	200	0	0	0
II	14196,3	201	6	5	3
III	14263	202	19	6	11
IV	14317,9	203	9	1	2
I/set	14354,9	204	7	4	6
II	14412	205	2	4	3
III	14469,8	206	0	3	3
IV	14518,6	207	0	5	2
V	14580,4	208	1	1	1

continua

Tabela 1. Continuação

Semana/ mês/ano	Soma de Graus-dia	Seqüência de leitura	Número de indivíduos capturado		
			Pêssego 1	Pêssego 2	Ameixa
I/out/98	14643,7	209	9	5	3
II	14727,4	210	3	5	0
III	14799,1	211	6	4	1
IV	14863,4	212	10	22	4
I/nov	14954,9	213	17	26	7
II	15025,5	214	7	18	2
III	15106,8	215	6	7	0
IV	15197,8	216	21	14	7
I/dez	15281,8	217	13	10	6
II	15395,8	218	74	22	9
III	15493,7	219	52	26	13
I/jan/99	15574	227	1	8	8

Safra 2001/2002					
I/ago/01	9,4	1	2	4	12
II	69,2	2	12	3	12
III	124	3	10	7	12
IV	190,8	4	1	8	10
I/set	271,9	5	6	5	6
II	324,9	6	1	1	0
III	361,5	7	5	4	0
IV	422,7	8	3	6	2
I/out	474	9	7	12	5
II	534,5	10	5	4	0
III	613,7	11	6	9	6
IV	683,6	12	6	6	4
I/nov	778,9	13	11	18	11
II	874,6	14	13	13	16
III	964,4	15	5	10	4
IV	1051,3	16	2	2	10
V	1165,8	17	22	13	36
I/dez	1249,0	18	18	17	25
II	1344,2	19	16	44	54
III	1433,6	20	20	18	21
IV	1525,3	21	14	11	16
I/jan/02	1618,1	22	3	15	22
II	1711,3	23	15	16	30
III	1810,1	24	27	15	36
IV	1933,5	25	26	18	56
I/fev	2037,6	26	19	19	44