

**Simulação da Dinâmica Populacional
do psilídeo-de-concha, *Glycaspis
brimblecombei* (Hemiptera:
Psyllidae) e Identificação de
Estratégias para a Criação
Laboratorial de seu Parasitóide
Psyllaephagus bliteus
(Hymenoptera: Encyrtidae)**

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 49

Simulação da Dinâmica Populacional do psílideo-de- concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e Identificação de Estratégias para a Criação Laboratorial de seu Parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)

Maria Conceição Peres Young Pessoa
Luiz Alexandre Nogueira de Sá
Juliana Y. Kodaira
Carlos F. Wilcken
Gilberto Ribeiro de Almeida

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3311-2700 Fax: (19) 3311-2640
sac@cnpma.embrapa.br
www.cnpma.embrapa.br

Comitê de Publicação da Unidade

Presidente: *Ariovaldo Luchiarí Júnior*

Secretária-Executivo: *Luiz Antônio S. Melo*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecária: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Membros: *Ladislau Araújo Skorupa, Heloisa Ferreira Filizola, Adriana M. M. Pires, Emília Hamada e Cláudio M. Jonsson*

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Editoração Eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

1ª edição eletrônica

(2008)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no seu todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Simulação da dinâmica populacional do psílídeo-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e identificação de estratégias para a criação laboratorial de seu parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)/ Maria Conceição Peres Young Pessoa, Luiz Alexandre Nogueira de Sá, Juliana Y. Kodaira, Carlos F. Wilcken, Gilberto Ribeiro de Almeida. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008.

32 p. – (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; 49).

1. Inseto - Controle biológico. 2. Inseto - Criação massal. 3. Praga de planta. 4. Modelo matemático I. Pessoa, Maria Conceição Peres Young. II. Sá, Luiz Alexandre Nogueira de. III. Kodaira, Juliana Y. IV. Wilcken, Carlos F. V. Almeida, Gilberto Ribeiro de. VI. Título. VII. Série.

CDD 632.7

© Embrapa 2008

Sumário

Resumo	05
Abstract	07
Introdução	09
Material e Métodos	12
Resultados e Discussão	14
Conclusões	30
Referências	31

Simulação da Dinâmica Populacional do psilídeo de concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e Identificação de Estratégias para a Criação Laboratorial de seu Parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)

*Maria Conceição Peres Young Pessoa*¹

*Luiz Alexandre Nogueira de Sá*²

*Juliana Y. Kodaira*³

*Carlos F. Wilcken*⁴

*Gilberto Ribeiro de Almeida*⁵

Resumo

O inseto-praga do eucalipto “psilídeo-de-concha”, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae), vem causando grande preocupação ao setor florestal brasileiro, principalmente em áreas com *Eucalyptus camaldulensis*, mais susceptível ao ataque. Estratégias voltadas ao controle químico do inseto ainda apresentam custos elevados e problemas relacionados ao registro de produtos autorizados para uso por empresas certificadas internacionalmente, o que tornam as estratégias de controle biológico promissoras em curto prazo. O parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae), que parasita preferencialmente as ninfas de 3º e 4º instares do psilídeo, vêm sendo uma estratégia de controle disponível no momento, demandando criação massal em laboratório para liberações em áreas infestadas. Entretanto,

¹Matemática Aplicada, PhD. em Engenharia Elétrica, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. young@cnpma.embrapa.br

²Engenheiro Agrônomo, Doutor em Entomologia, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. lans@cnpma.embrapa.br

³Estagiária PIBIC/CNPq, graduanda IMECC/UNICAMP, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP.

⁴Dr. em Entomologia, FCA/Unesp campus Botucatu- Coordenador Projeto Profef/IPEF; email:cwilcken@fca.unesp.br

⁵Técnico Agrícola, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. gilberto@cnpma.embrapa.br

em laboratório, ainda é difícil a identificação de períodos mais propícios ao aumento da quantidade de hospedeiro-praga, a partir da disponibilidade de ninfas de tamanhos preferenciais ao parasitismo, considerando a possibilidade de criação de diferentes populações iniciais da praga e de momentos diferenciados à introdução do parasitóide nas gaiolas com plantas infestadas. Este é um dos principais fatores que vem limitando porcentagens maiores de parasitismo. Nesse contexto, as técnicas de simulação de sistemas computacionais seriam de grande auxílio no acompanhamento da dinâmica populacional das diferentes fases de desenvolvimento da praga, ao permitir observar períodos mais favoráveis à liberação do agente biológico nas gaiolas. Este trabalho apresenta considerações sobre o simulador computacional elaborado para acompanhar a dinâmica populacional do psíldeo-de-concha, que permitiu identificar períodos mais propícios ao aumento do hospedeiro-praga em instares preferenciais ao parasitóide, subsidiando estratégias de sua criação em laboratório, para posterior infestação pelo parasitóide em momentos mais adequados. As infestações iniciais mais propícias ao aumento do hospedeiro-praga foram encontradas nas proporções de 20 fêmeas: 80 machos e 60 fêmeas: 40 machos. Estas resultaram em populações de 286,61 e de 215,0 ninfas de 3º e 4º instares, respectivamente, ambas encontradas no 18º dia pós-infestação dos adultos da praga nas gaiolas de criação. Observou-se também a presença de ninfas preferenciais entre o 16º e 21º dias pós-infestação das plantas no interior das gaiolas.

Mathematical-Modelling Simulation of the Red-Gum Lerp Psyllid *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) Populational Dynamic and Strategy Identification Towards Laboratory Rearing of its Parasitoid *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)

Abstract

The red-gum lerp psyllid (or “psilídeo-de-concha” as called by Brazilian farmers), *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae), has causing troubles to Brazilian forest sector where *Eucalyptus camaldulensis* – more susceptible to psyllid attack – have been planted. Chemical strategies to pest control have shown higher costs and problems associated to product registered for use on eucalyptus forests causing worries to environmental certified companies. Considering the presented aspects, the biological control strategies become promising at brief term. *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae), an internal parasitoid that parasites mainly third and fourth-instars of red-gum lerp psyllid nymphs, has been mentioned as a strategy available to red-gum lerp psyllid control in Brazil, and demands both a red-gum psyllid and parasitoid massal laboratory rearings in order to be released on infested fields. In despite of that, it has been difficult to identify at laboratory conditions the propitious periods to the enhancement of parasitism index considering both the pest and parasite population, taking into account the pest preference for specific nymph ages. Computer simulation techniques would be useful to follow the pest populational dynamic in accordance with its different development phases considering also the initial parasitoid population inside the sleeve cage. This work presents considerations about the mathematical-modeling simulator specially developed to follow the red-gum-lerp psyllid populational dynamic, which the reached results permit to identify the most propitious periods where the total amount of third and fourth-instars psyllid nymphs are increasing in order to promote the enhancement of *P. bliteus* parasitism levels. It intends to aid also

an extra-information to support the parasitoid release inside the cages infested with pest-adults, at laboratory conditions, considering different levels of initial pest population. More adequate levels of initial infestations to reach the enhancement of host-pest were found to 20 females: 80 males and also to 60 females: 40 males. These infestations result in a 3rd and 4th nymph populations of 286.61 and 215.0, respectively, both found on 18th day after pest-adult-infestations into the sleeve cage. It was also observed the presence of preferential nymphs at 16th and 21st days after pest-adult-infestation on the plants into the cage.

Keywords: mathematical-modeling simulation, red-gum-lerp psyllid, *Psyllaephagus bliteus*, forest.

Introdução

O “psilídeo-de-concha”, *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae), é um inseto de hábito sugador de 1 a 2 milímetros de comprimento, que se caracteriza por alimentar-se apenas de eucalipto, o que vem causando grande preocupação ao setor florestal nacional e internacional, frente às experiências de danos já vividas em países como Austrália, Estados Unidos, México e Chile (WILCKEN et al., 2003; SÁ; WILCKEN, 2004; FIRMINO, 2004). Entre os danos mais comuns causados pelo inseto citam-se enrolamento e deformação do limbo foliar, desfolha e secamento de ponteiros, indução do aparecimento de fumagina, descoloração das folhas, redução da área fotossintética das plantas, redução no crescimento das árvores, entre outros, podendo levar as árvores à morte (FIRMINO, 2004).

Seu ciclo de vida é dividido em três fases de desenvolvimento: ovo, ninfa e adulto, sendo a fase de ninfa dividida em cinco ínstares, com reprodução sexuada (FERREIRA FILHO, 2005; FIRMINO, 2004; SÁ; WILCKEN, 2004). A infestação é facilmente reconhecida pelas coberturas protetoras formadas por ceras e açúcares, chamadas de “conchas”, que as ninfas do inseto formam sobre as folhas de eucalipto. As ninfas desenvolvem-se sob essas conchas até a fase adulta (FIRMINO, 2004).

O controle químico é pouco estudado e a utilização de inseticidas sistêmicos, os mais adequados, apresenta custo elevado e causam impactos negativos ao meio ambiente e ao homem (FIRMINO, 2004; WILCKEN et al., 2003). Acrescenta-se que muitos dos produtos disponíveis não estão registrados para o controle do inseto em eucalipto, dificultando o uso dessa opção de controle pelas empresas que possuem certificação ambiental, com reconhecimento internacional. O controle biológico torna-se, assim, uma das alternativas para o controle da praga em curto prazo.

Possuindo vários inimigos naturais, a melhor opção encontrada para teste como agente de controle biológico, até o momento, foi o parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae), por ser específico e ter uma relação de dependência com a população da praga (FIRMINO, 2004). Por essa razão, os estudos bioecológicos desse parasitóide são fundamentais para a correta definição de estratégias de controle e de criação dessas populações em laboratório.

O parasitóide é uma vespa, de tamanho próximo ao da praga, que apresenta

reprodução sexuada e assexuada. Seu ciclo é dividido em quatro fases de desenvolvimento: ovo, larva, pupa e adulto. Os ovos são depositados internamente ao abdômen das ninfas de terceiro e quarto instares do psílídeo, preferencialmente, causando sua mortalidade durante esse estágio de desenvolvimento do parasitóide (DAANE et al., 2005). Percebe-se, portanto, que a entrada do parasitóide em momentos de pouca presença de ninfas de tamanhos preferenciais ao parasitismo pode ser um fator limitante à criação laboratorial.

Acrescenta-se que o processo de criação da praga em laboratório, para conseqüentemente disponibilizá-la à criação do parasitóide que será liberado para o seu controle, é trabalhosa, demandando recursos financeiros e humanos. A sala de criação da praga é climatizada e simula as condições em que os insetos apresentam maior taxa de desenvolvimento (25 ± 2 °C, fotoperíodo de 12/12 horas e umidade relativa de $60 \pm 10\%$). Os insetos são mantidos em gaiolas de criação, de dimensões $80 \times 40 \times 44$ cm³, confeccionadas em madeira e revestidas com tecido tipo "voil". No interior da gaiola é colocado um vaso com uma planta de *Eucalyptus camaldulensis* de aproximadamente 50 cm de altura. Cada planta é infestada com adultos da praga, coletados de outras gaiolas de criação já estabelecidas. A infestação é feita a cada dois dias e após 22 dias da infestação é iniciada uma nova coleta dos adultos. Para a criação do parasitóide é utilizada o mesmo tipo de gaiola, porém ela já se encontra infestada com psílídeos de terceiro e quarto instares, ou seja, em estágios preferenciais ao parasitismo. O protocolo atual de criação estabelece que devem ser liberados dez casais de *P. bliteus*, previamente acasalados, por gaiola. Tanto para a sala de criação da praga como para a do parasitóide são observadas diariamente a temperatura e a umidade, bem como mantidas a irrigação das plantas nas gaiolas. A experiência de trato diário das gaiolas aponta que a presença de quantidades maiores que 300 indivíduos da praga em seu interior causam a mortalidade da planta e, conseqüentemente, inviabilizam a manutenção da criação (Comunicação pessoal Prof. Carlos Wilcken – FCA/UNESP Campus Botucatu).

Nesse sentido, a identificação dos períodos de ocorrência de maior quantidade de ninfas da praga, em instares preferenciais ao parasitismo, concomitantemente a identificação da proporção sexual e quantidade dos casais do parasitóide para entrada nesse período identificado, poderia constituir-se em fator de maior aproveitamento dos recursos laboratoriais para a criação. Assim, as técnicas que favoreçam o uso de enfoque sistêmico no problema mostram-se oportunas à avaliação.

Pessoa et al. (2003) apontaram o uso da modelagem conceitual como base para o enfoque sistêmico diante das vantagens alcançadas pela sua organização, estruturação lógica e objetiva das informações detalhadas sobre o assunto estudado, além da identificação do fluxo de inter-relações e influências entre as principais variáveis que passam a representar o foco da elaboração do modelo. A aplicação de modelos conceituais em algumas áreas do conhecimento, inclusive na avaliação de impacto ambiental, também foram relatadas pelos mesmos autores. Maiores detalhes sobre modelagem matemática e simulação de sistemas podem ser encontrados em Pessoa et al. (1997) e em Pessoa & Scramin (2004), onde, resumidamente, enfatizaram que *“um modelo matemático descreve o sistema por meio de linguagem matemática”* e que *“A modelagem matemática é o processo de desenvolvimento (elaboração) dessa forma de representação, que pode ser feita por meio de operadores lógicos, funções, equações ou intervalos matemáticos (aberto ou fechado), entre outros”*. Percebe-se, portanto, que em se tratando de desenvolvimento de um simulador, o processo de simulação demanda além do processo de modelagem matemática (um ou mais modelos matemáticos, dependendo do caso), também o processo necessário para operacionalizar o/os modelo/os e sobre ele/s testar cenários alternativos para o sistema idealizado. Assim, a simulação incorpora o desenvolvimento de códigos de programação computacional que implementam os modelos, as interfaces de entrada/saída e busca/recuperação de dados, além do estabelecimento das hipóteses a serem testadas por simulação (cenários). Dessa forma, o uso de enfoque sistêmico seria uma ferramenta a mais na identificação de períodos mais propícios à presença de ninfas de terceiro e quarto instares do psilídeo, bem como na identificação da quantidade de adultos da praga a serem inseridos inicialmente nas gaiolas de criação, de modo a assegurar a capacidade de suporte da planta presente no seu interior. Contribuiria, portanto, no acompanhamento da dinâmica populacional das diferentes fases de desenvolvimento da praga, ao permitirem observar períodos favoráveis a liberação do agente biológico nas gaiolas. Algumas citações que tratam da aplicação de técnicas de modelagem matemática no contexto de simulação de sistemas aplicadas à avaliação da dinâmica de pragas e doenças das culturas agrícolas, já são encontradas para o nosso país. Nesse contexto, citam-se aquelas de avaliação da dinâmica populacional do **bicudo do algodoeiro** sob estratégias de Manejo Integrado de pragas (PESSOA, 1994), assim como as de modelagem matemática e simulação aplicadas às da **lagarta da soja**, proposta para as condições brasileiras por Gazzoni et al. (1998) e no exterior por Wilkerson et al. (1986), da larva-minadora-da-folha-do-citros (TERNES & YANG, 2002) e da vassoura-de-bruxa do cacauzeiro (SGRILLO & SGRILLO, 2003), entre outras.

Este trabalho apresenta resultados obtidos a partir da simulação computacional da dinâmica populacional do psilídeo-de-concha que permitiu identificar períodos mais propícios ao aumento do número de hospedeiro-praga em instares preferenciais ao parasitóide, subsidiando estratégia de sua liberação nas gaiolas de criação em laboratório.

Material e Métodos

Informações sobre o inseto-praga e interações com o parasitóide em condições de laboratório foram levantadas junto às publicações do projeto "Monitoramento da praga exótica psilídeo-de-concha *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) – conhecido por "psilídeo-de-concha" - e de seu parasitóide exótico *Psyllaephagus bliteus* no controle biológico desta praga em florestas de eucalipto nos estados de São Paulo e Minas Gerais", do Laboratório de Quarentena "Costa Lima" da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna/SP e da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista Campus Botucatu (FAC/Unesp).

A FCA/Unesp também disponibilizou teses recentes (FIRMINO, 2004; FERREIRA FILHO, 2005) contendo a descrição das fases de desenvolvimento do psilídeo e preferências do parasitóide, que juntamente com os dados das criações de *G. brimblecombei* do Laboratório de Controle Biológico de Pragas Florestais da FCA/Unesp campus Botucatu e do Laboratório de Quarentena "Costa Lima" da Embrapa Meio Ambiente, permitiram identificar os aspectos biológicos mais importantes à representação conceitual do inseto – modelagem conceitual - visando sua posterior descrição em linguagem matemática para desenvolvimento do simulador computacional da dinâmica populacional da praga.

O modelo conceitual dos principais estágios de desenvolvimento da praga foi elaborado de forma compartimentalizada e integrada em esquema gráfico, de modo a subsidiar as posteriores etapas de modelagem matemática, de definição do simulador e de sua posterior codificação na linguagem de programação escolhida. Nesse modelo foram identificadas as viabilidades e longevidades das fases de desenvolvimento do inseto (incluindo instares ninfais), razão sexual e número de ovos/fêmea/dia, considerando aspectos relativos às posturas e instares ninfais de maior interesse para o parasitismo da praga. A partir dele, foi apresentado um modelo matemático

dinâmico-discreto–compartimental (“cohort”) considerando as informações biológicas em condições de laboratório de criação, ou seja, em temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, fotofase de 12 horas e umidade relativa de $60 \pm 10\%$. Neste modelo foram definidos o passo de tempo constante (“um dia”) e as variáveis (ou compartimentos) representando os estágios e instares ninfais associados ao ciclo de desenvolvimento da praga. Os estádios ninfais incorporados favorecem uma posterior identificação dos períodos mais propícios ao aparecimento de ninfas de tamanhos preferenciais ao parasitismo por *P. bliteus* e, assim, subsidiam mais adequadamente as indicações de entrada deste parasitóide nas gaiolas das criações de laboratório com maior chance de elevar os níveis de parasitismo.

Posteriormente, o fluxograma do sistema computacional do simulador foi definido e codificado em linguagem de programação Matlab 7.0.

O formato modular escolhido foi necessário para que futuras modificações possam ser realizadas sem o comprometimento total da estrutura.

Foram determinados os cenários a serem avaliados pelas simulações. Estes representaram a população atualmente utilizada nas criações laboratoriais da praga, bem como outras passíveis de avaliar diferentes quantidades iniciais de fêmeas e de machos do psíldeo, assim como períodos de tempo maiores que aqueles investigados até então em condições de laboratório. Os cenários gerados tiveram as seguintes liberações iniciais de adultos nas gaiolas de criação simuladas:

- a) cenário (20,30,30) – 20 fêmeas, 30 machos para período de simulação de 30 dias;
- b) cenário (20,80,30) – 20 fêmeas, 80 machos para período de simulação de 30 dias;
- c) cenário (40,60,30) – 40 fêmeas, 60 machos para período de simulação de 30 dias;
- d) cenário (60,40,30) – 60 fêmeas, 40 machos para período de simulação de 30 dias;
- e) cenário (60,90,30) – 60 fêmeas, 90 machos para período de simulação de 30 dias;

Simulação da Dinâmica Populacional do psílídeo-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e Identificação de Estratégias para a Criação Laboratorial de seu Parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)

f) cenário (80,20,30) – 80 fêmeas, 30 machos para período de simulação de 30 dias;

g) cenário (40,60,120) – 40 fêmeas, 60 machos para período de simulação de 120 dias;

Diante dos gráficos e informações quantificadas por compartimentos, obtidas como resposta de cada simulação realizada, tornou-se possível analisar a dinâmica populacional do psílídeo, a partir das diferentes quantidades de populações iniciais fornecidas como cenário de entrada. Assim, ao término de cada simulação, o número máximo de adultos gerados foi confrontado com a capacidade de suporte das plantas no interior das gaiolas de criação (capacidade de no máximo 300 indivíduos por gaiola (Prof. Carlos Wilcken-FCA-UNESP/Botucatu - comunicação pessoal)). A análise dos gráficos viabilizados pelo simulador, em função da entrada de dados, possibilitou identificar períodos de maior disponibilidade de quantidade de ninfas de instares 3 e 4, subsidiando também a identificação do intervalo de maior presença dessas populações. Aquelas de maior potencial para subsidiar estratégias de criações, com maior chance de elevar as porcentagens de parasitismo, foram identificadas.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos, ou seja, as etapas de desenvolvimento do simulador e os resultados por ele disponibilizados pelos cenários identificados até o momento são apresentados e discutidos a seguir.

Modelo conceitual

O modelo conceitual contemplando aspectos relacionados aos principais estágios de desenvolvimento da praga, considerando informações levantadas em condições de laboratório dentro de gaiolas com plantas de *Eucalyptus camaldulensis* e sob condições controladas de temperatura média de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e UR $60 \pm 10\%$, é apresentado na **Fig. 1**.

Nele estão também representadas as durações das fases de desenvolvimento (em dias) e as respectivas viabilidades em porcentagens. A razão sexual de *G. brimblecombei* está especificada no modelo conceitual por R_{SG} .

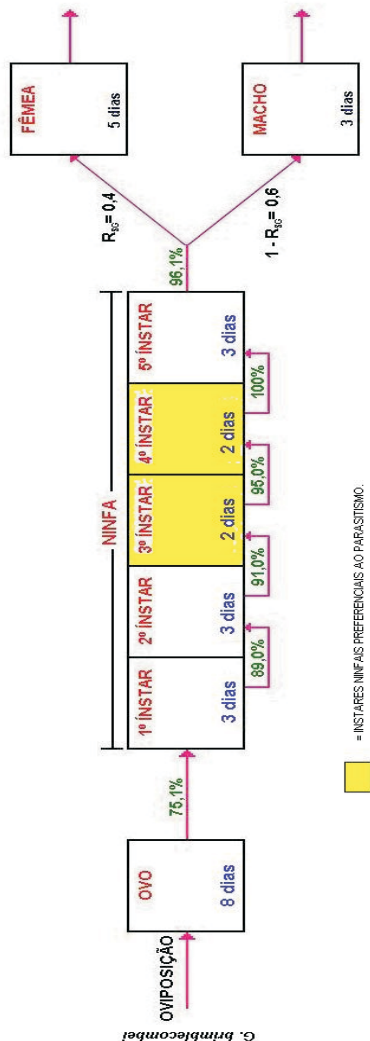


Fig. 1. Modelo conceitual dos aspectos biológicos relacionados aos principais estágios de desenvolvimento do inseto-praga *Glycaspis brimblecombei*, incluindo instares ninfais preferenciais ao parasitismo por *P. bliteus*.

Modelo matemático

As equações representativas desse modelo conceitual, contemplando as principais fases de desenvolvimento do psíldeo, são apresentadas a seguir.

Equações:

$$oG(t+1) = oG(t) + noG(t+1) - oG_{lgoG}(t);$$

$$n1G(t+1) = n1G(t) + oG_{lgoG}(t) * voG - n1G_{lgn1G}(t);$$

$$n2G(t+1) = n2G(t) + n1G_{lgn1G}(t) * vn1G - n2G_{lgn2G}(t);$$

$$n3G(t+1) = n3G(t) + n2G_{lgn2G}(t) * vn2G - n3G_{lgn3G}(t);$$

$$n4G(t+1) = n4G(t) + n3G_{lgn3G}(t) * vn3G - n4G_{lgn4G}(t);$$

$$n5G(t+1) = n5G(t) + n4G_{lgn4G}(t) * vn4G - n5G_{lgn5G}(t);$$

$$fG(t+1) = fG(t) + n5G_{lgn5G}(t) * vn5G * rG - nfG_{lfg}(t);$$

$$mG(t+1) = mG(t) + n5G_{lgn5G}(t) * vn5G * (1 - rG) - nmG_{lmg}(t);$$

onde:

oG = quantidade de ovos do psíldeo;

noG = quantidade de novos ovos;

oG_{lgoG} = quantidade de ovos de psíldeo que saíram da fase de ovo;

voG = viabilidade de ovos;

niG = quantidade de ninfas no ínstar i ($i = 1$ a 5);

$vniG$ = viabilidade de ninfas no ínstar i ($i = 1$ a 5);

$niG_{lgniG}(t)$ = quantidade de ninfas no ínstar i que saíram do ínstar/fase;

fG = quantidade de fêmeas;

nfG_{igfG} = quantidade de fêmeas no ínstar i que saíram da fase;

mG = quantidade de machos;

nfG_{igfG} = quantidade de fêmeas no ínstar i que saíram da fase;

lgoG = longevidade da fase de ovo;

lgniG = longevidade da fase de ninfa no ínstar i (i = 1 a 5);

lgfG = longevidade de fêmeas;

lmgG = longevidade de machos;

t = tempo (em dias), variando de 0 a (t_{simul} - 1), onde t_{simul} é o tempo total de simulação definido pelo usuário;

Para efeito da modelagem matemática também foram considerados as seguintes informações biológicas:

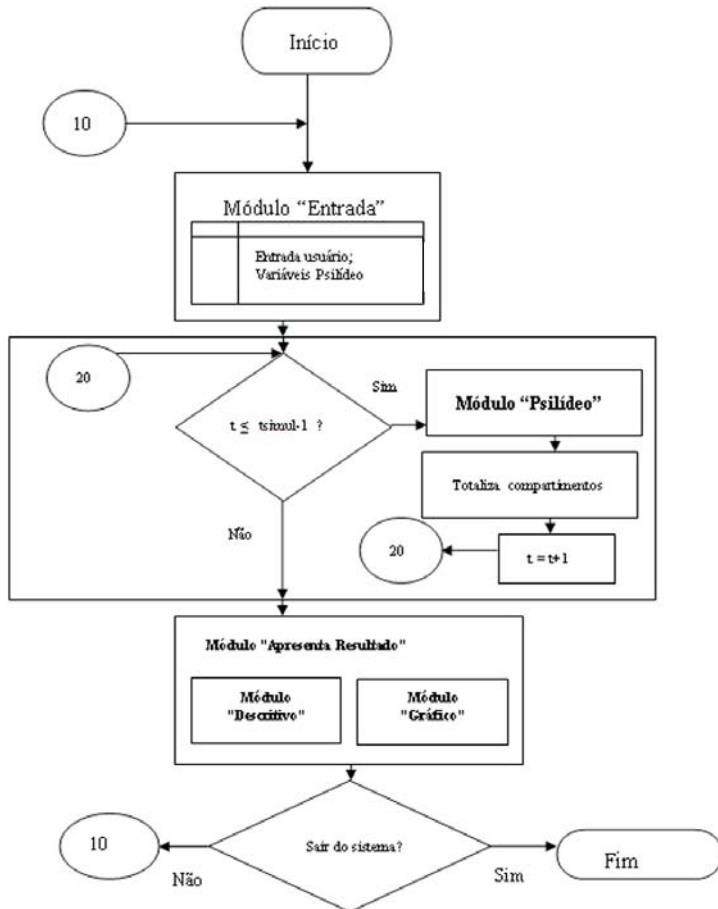
- a) a quantidade de ovos depositados por uma fêmea por dia é de 31,7, conforme determinado por Firmino(2004);
- b) a razão sexual é de 0,4 (Firmino, 2004);
- c) o número de posturas por fêmea é de 3,2 (Firmino, 2004);
- d) a longevidade natural das fases de desenvolvimentos dá-se em conformidade ao determinado por Firmino (2004), expostas na Fig. 1;
- e) a viabilidade natural das fases de desenvolvimento dá-se em conformidade àquelas determinadas por Firmino (2004), expostas na Fig. 1;
- f) a quantidade de novos ovos depositados pela fêmea depende da probabilidade desta encontrar um macho (estimada, pelas quantidades de insetos adultos existentes nessas fases no momento de tempo considerado);

Simulação da Dinâmica Populacional do psilídeo-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e Identificação de Estratégias para a Criação Laboratorial de seu Parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)

g) a mortalidade natural das fases (e ínstares de desenvolvimento) considera as informações de viabilidade e longevidades desses estágios/ínstares;

h) todas as informações do ciclo de vida do inseto consideram as características de criação do inseto em gaiolas de criação mantidas em condições de laboratório em temperatura, umidade e fotofase já relatadas;

Fluxograma do simulador desenvolvido



A entrada de um cenário específico a ser simulado, ou seja, a informação de quantidades de fêmeas e de machos do psílídeo e do número de dias a simular (fornecidos pelo usuário), foi elaborada de modo a ser registrada internamente no módulo “Entrada de dados”. A partir de então, o programa dá início a investigação da dinâmica populacional temporal do inseto, a ser controlada pelo módulo “Controle de tempo”, onde para cada dia simulado (passo mínimo de tempo definido), é acionado o módulo “Modelo Psílídeo”. Este módulo foi elaborado contemplando as equações-a-diferenças do modelo matemático desenvolvido para o inseto, bem como as demais considerações biológicas para seu funcionamento, apresentadas pelo modelo matemático proposto, viabilizando como resultado a informação quantitativa de indivíduos presentes em cada compartimento representativo do seu ciclo de vida para cada instante de tempo simulado. Acrescenta-se que os indivíduos de um mesmo compartimento são aqui diferenciados por geração, utilizando-se vetores e variáveis auxiliares, de modo a possibilitar o acompanhamento de uma mesma geração desde o seu nascimento até a sua morte (“cohort”). Neste módulo também são introduzidos no sistema os novos nascimentos e contabilizada a mortalidade ocorrida em função da viabilidade da fase, para a retirada desses indivíduos de seus respectivos compartimentos, bem como atualizados todos os compartimentos em função da ocorrência de mudança de fase ou de instar de desenvolvimento. Posteriormente, todas as quantidades totais desses indivíduos são quantificadas e armazenadas. Ao término do tempo de simulação, dá-se a saída do módulo “Controle” e a entrada no módulo “Apresenta Resultado”. Neste, todas as informações obtidas são apresentadas na forma de texto e na forma gráfica conforme, já citado anteriormente, viabilizando o acompanhamento de todo o período simulado; nos módulos descritivo (quantitativo por compartimento) e módulo gráfico. Neste, três Figuras são disponibilizadas automaticamente, a saber:

- a) “Estágios de desenvolvimento do psílídeo”, onde são apresentadas as quantidades de ovos, ninfas, fêmeas e machos existentes durante o período simulado;
- b) “Total de adultos do psílídeo-de-concha”, onde são apresentadas as quantidades de fêmeas, machos e total de adultos existentes durante o período simulado;
- c) “Quantidade de ninfas do psílídeo”, onde são apresentadas as quantidades total de ninfas, ninfas de terceiro instares e ninfas de quarto instares existentes durante o período simulado;

Findo este módulo, a simulação dá-se por terminada. O programa computacional que implementou o fluxograma apresentado foi elaborado em linguagem MatLab 7.0 (KODAIRA et al., 2007).

Resultados obtidos nos cenários simulados

Os resultados obtidos dos cenários simulados para o período de 30 dias são apresentados na **Tabela 1** e nos gráficos do tempo *versus* quantidade de indivíduos, apresentados nas **Figs. 2 a 7**.

Tabela 1. Dinâmica da população de psílideo-de-concha em função de adultos introduzidos na gaiola – identificação de momentos mais pertinentes a introdução do *P. bliteus* em função da maior quantidade de ninfas preferenciais ao parasitismo.

Quantidade de dias simulados	Número inicial de fêmeas introduzidas na gaiola	Número inicial de machos introduzidos na gaiola	Maiores quantidades de ninfas em instares 3 e 4 após a introdução	Maiores quantidades de fêmeas e machos após introdução	Maior quantidade total de ninfas em instares 3 e 4 e período de existência de ninfas em tamanhos preferenciais
30	20	30	109,31 e 51,92 aos 18 dias	59,87 e 89,81 aos 25 dias	161,23 aos 18 dias após introdução Período: 16 a 21 dias após introdução
30	20	80	194,3 e 92,3 aos 18 dias	106,4 e 159,7 aos 25 dias	286,6 aos 18 dias após introdução Período: 16 a 21 dias após introdução
30	40	60	218,6 e 108,3 aos 18 dias	119,8 e 179,6 aos 25 dias	322,5 aos 18 dias após introdução Período: 16 a 21 dias após introdução
30	60	40	145,7 e 69,2 aos 18 dias	79,8 e 119,8 aos 25 dias	215,0 aos 18 dias após introdução Período: 16 a 21 dias após introdução
30	60	90	327,9 e 155,8 aos 18 dias	179,6 e 269,4 aos 25 dias	483,7 aos 18 dias após introdução Período: 16 a 21 dias após introdução
30	80	20	48,58 e 23,07 aos 18 dias	26,61 e 39,92 aos 25 dias	71,65 aos 18 dias após introdução Período: 16 a 21 dias após introdução

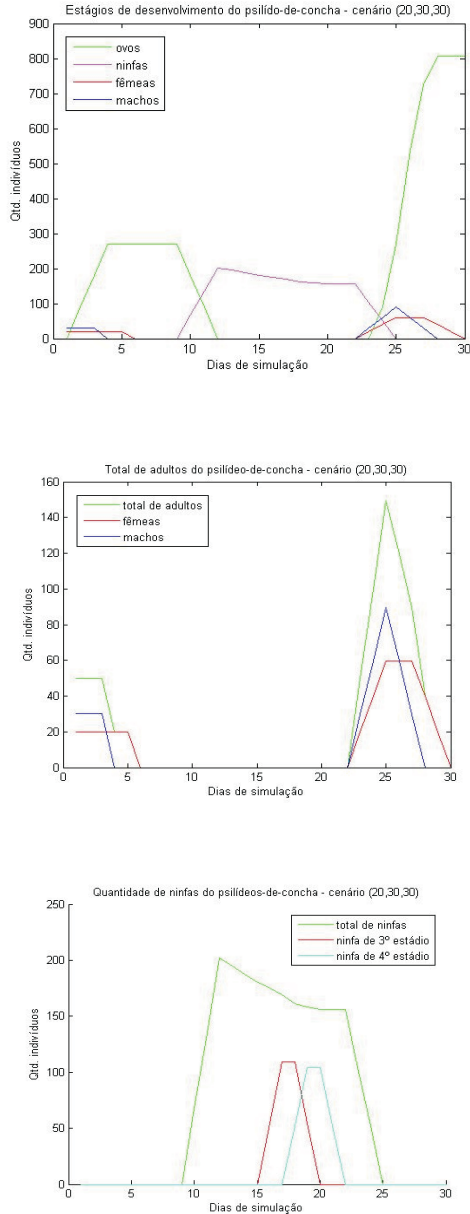


Fig. 2. Dinâmica populacional do psíldeo-de-concha considerando liberação inicial de 20 fêmeas e 30 machos para o período de 30 dias de simulação (cenário (20,30,30)).

Simulação da Dinâmica Populacional do psílido-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e Identificação de Estratégias para a Criação Laboratorial de seu Parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)

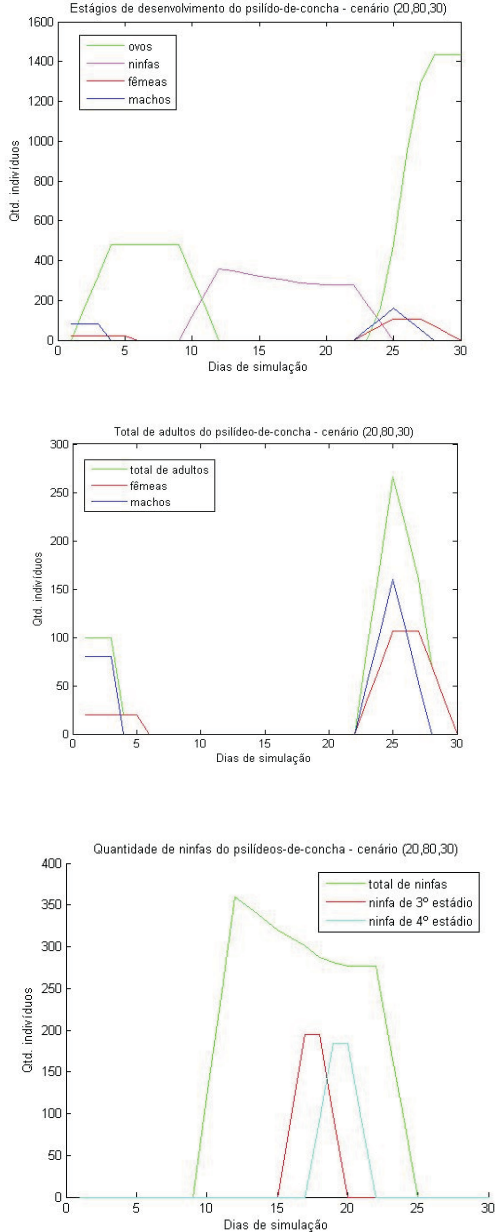


Fig. 3. Dinâmica populacional do psílido-de-concha considerando liberação inicial de 20 fêmeas e 80 machos para o período de 30 dias de simulação (cenário (20,80,30)).

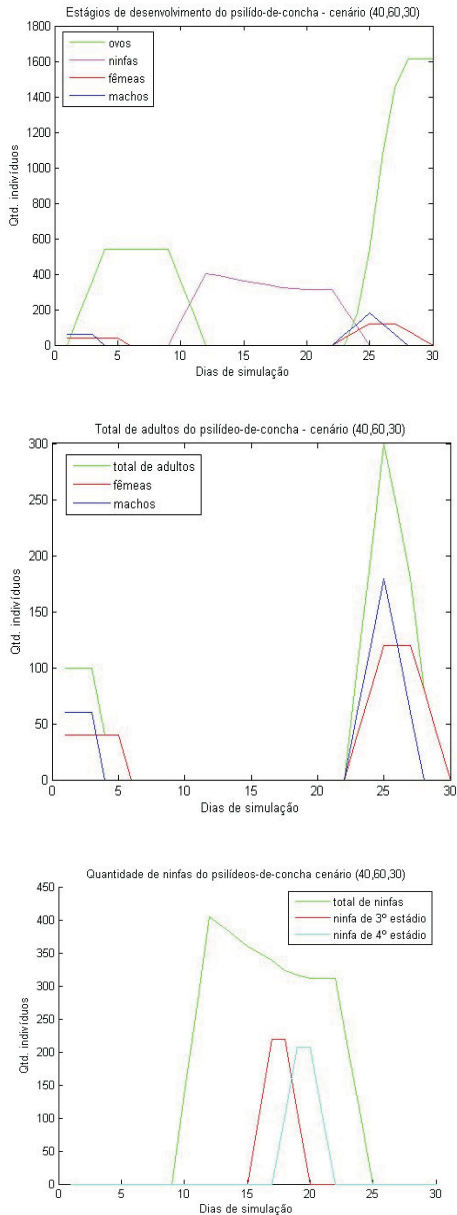


Fig. 4. Dinâmica populacional do psíldeo-de-concha considerando liberação inicial de 40 fêmeas e 60 machos para o período de 30 dias de simulação (cenário (40,60,30)).

Simulação da Dinâmica Populacional do psíldeo-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e Identificação de Estratégias para a Criação Laboratorial de seu Parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)

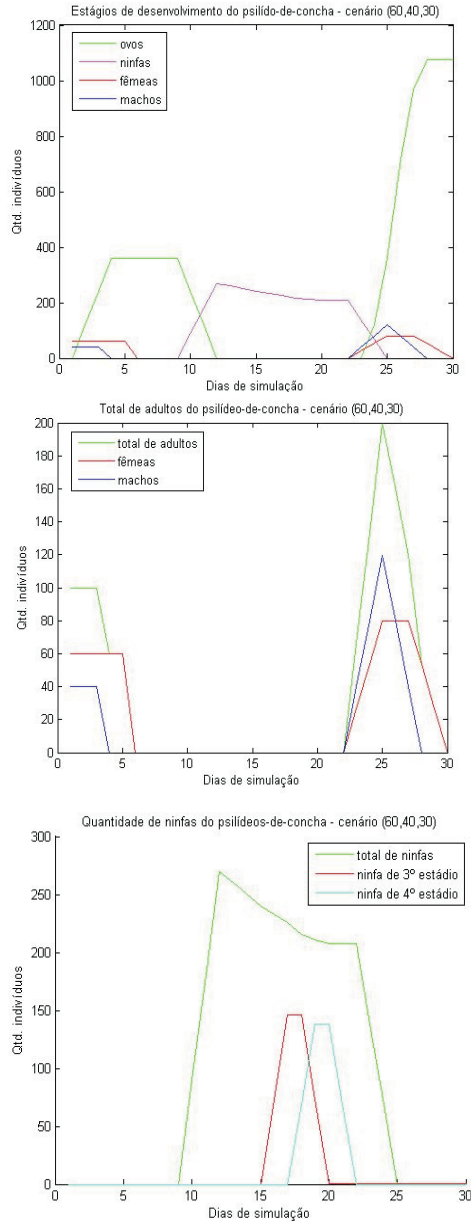


Fig. 5. Dinâmica populacional do psíldeo-de-concha considerando liberação inicial de 60 fêmeas e 40 machos para o período de 30 dias de simulação (cenário (60,40,30)).

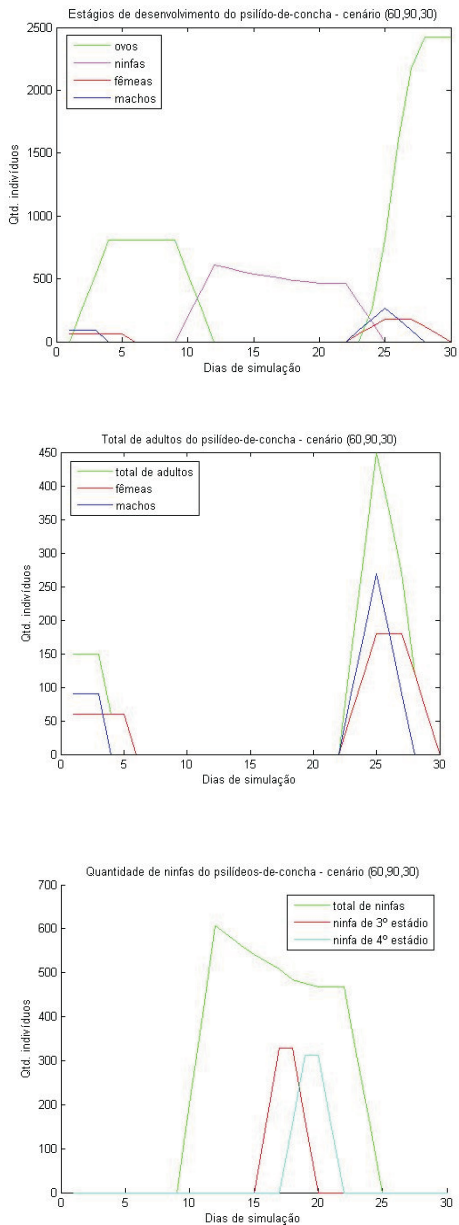


Fig. 6. Dinâmica populacional do psílido-de-concha considerando liberação inicial de 60 fêmeas e 90 machos para o período de 30 dias de simulação (cenário (60,90,30)).

Simulação da Dinâmica Populacional do psilídeo-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e Identificação de Estratégias para a Criação Laboratorial de seu Parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae)

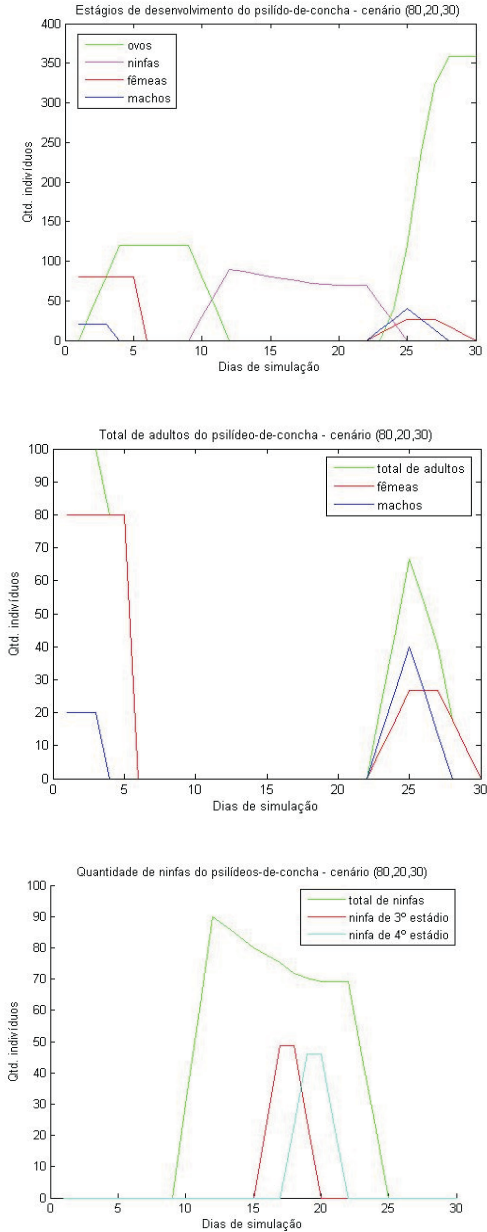


Fig. 7. Dinâmica populacional do psilídeo-de-concha considerando liberação inicial de 80 fêmeas e 20 machos para o período de 30 dias de simulação (cenário (80,20,30)).

Observa-se que foram simulados cenários com valores proporcionais à razão sexual da espécie, ou seja, 2 fêmeas : 3 machos, assim como outros cenários com razão sexual de 1 fêmea : 4 machos, 4 fêmeas: 1 macho e 3 fêmeas: 2 machos.

A análise dos resultados obtidos (**Tabela 1 e Figuras 2 a 7**) possibilitaram evidenciar que os cenários de entrada (20,80,30), correspondente a entrada de 20 fêmeas: 80 machos (razão sexual de 1 fêmea: 4 machos) para um período de simulação de 30 dias, e para o cenário (60,40,30), correspondente a razão sexual 3 fêmeas: 2 machos, obtiveram as maiores quantidades de ninfas preferenciais ao parasitismo (3^o e 4^o instares) que foram compatíveis com a capacidade de suporte das plantas no interior das gaiolas.

Para os cenários com entradas proporcionais à razão sexual do psíldeo verificou-se que para os cenários (40,60,30) e (60,90,30) as quantidades resultantes de ninfas preferenciais ao parasitismo foram superiores a 300 indivíduos por gaiola. Assim sendo, mesmo tendo atingido os maiores valores de produção de ninfas preferenciais, a saber, de 322,5 e 483,7 no 18^o dia após a entrada dos adultos, esses cenários não apresentam condições para manter as plantas em capacidade de alimentação desse total de indivíduos. Dessa forma, essas populações iniciais nas condições simuladas, não subsidiariam a manutenção adequada da criação da praga em condições controladas.

Para o cenários (20,30,30) observou-se uma das menores produções de ninfas preferenciais, a saber de 161,2 indivíduos no 18^o dia após a entrada dos adultos na gaiola, quando comparado aos demais cenários. Esta população obtida de ninfas subestima a capacidade de criação do inseto nas gaiolas.

Observou-se que a melhor introdução de adultos do parasitóide nas gaiolas de criação da praga, em condições de laboratório, ocorreu nos cenários (60,40,30), ou seja na proporção 60 fêmeas:40 machos (razão sexual na proporção de 3/2), e (20,80,30), este na proporção de razão sexual de 1 fêmea : 4 machos. Para o cenários (60,40,30) observou-se a produção 215,0 de ninfas preferenciais no 18^o dia após a entrada dos adultos na gaiola, enquanto no cenário (20,80,30) atingiu-se a produção de 286,6 ninfas preferências na mesma data. Para as condições biológicas simuladas o cenário (20,80,30) ainda apresentou maior quantidade de ninfas preferenciais que aquela apresentada no (60, 40, 30).

Acrescenta-se que o período de presença de ninfas de tamanhos preferenciais em todos os cenários simulados ocorreu entre os 16 e 21 dias de infestação, com a maior quantidade desses indivíduos ocorrendo no 18º dia pós infestação das gaiolas.

Posteriormente, um cenário específico foi gerado visando observar as fases de desenvolvimento da praga para um período de quatro meses (120 dias) sem restrição da capacidade de suporte de alimentação, ou seja, de modo a observar a dinâmica populacional da praga sem limitantes de fonte alimentar e de formas de manejo. Os resultados são apresentados graficamente a seguir (**Fig. 8**).

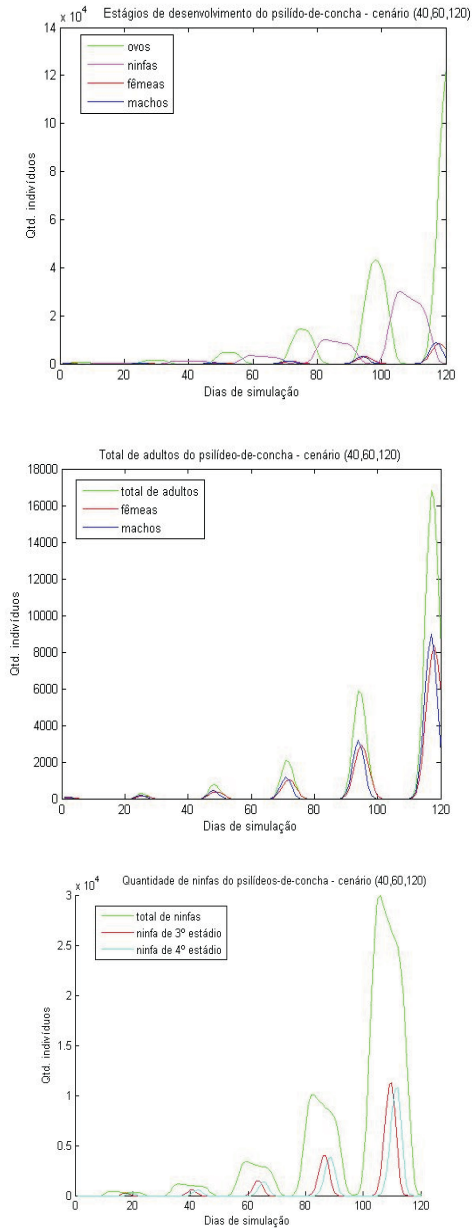


Fig. 8. inâmica populacional do psíldeo-de-concha, sem controle, considerando liberação inicial de 40 fêmeas e 60 machos para o período de 120 dias de simulação (cenário (40,60,120)).

Os resultados obtidos para o cenário de infestação inicial de 40 fêmeas e 60 machos do psíldeo para o período de 120 dias de simulação, apontam que a praga, apesar do pequeno potencial inicial de infestação e de geração de adultos, apresentaria tendência potencial a um desenvolvimento populacional de rápido e acelerado crescimento exponencial ao longo do tempo simulado, indicando que a praga efetivamente necessita de controle via manejo.

Conclusões

O simulador da dinâmica do psíldeo-de-concha possibilitou a simulação de sete cenários diferenciados para identificar períodos mais propícios ao aumento do hospedeiro-praga em instares preferenciais ao parasitóide e avaliação do comportamento da praga sem limitantes de fonte alimentar e de formas de manejo.

As quantidades iniciais mais propícias ao aumento das quantidades de indivíduos de hospedeiro-praga, para as condições biológicas simuladas, foram encontradas para as populações de 20 fêmeas: 80 machos e de 60 fêmeas: 40 machos. As maiores quantidades de ninfas, preferenciais estiveram presentes no 18º dia após a infestação das gaiolas com os adultos da praga em ambos cenários.

Observou-se a presença de hospedeiros-pragas preferenciais ao parasitismo (ninfas de 3º e 4º instares) no período do 16º ao 21º dia após a infestação dos adultos do psíldeo nas gaiolas.

O cenário populacional simulando a quantidade de adultos usualmente utilizadas nas criações de laboratório, a saber 40 fêmeas: 60 machos, para um período de simulação de 30 dias, permitiu observar que a capacidade de suporte da gaiola seria atingida no 18º dia após a introdução dos adultos (322,5 ninfas preferenciais), não conseguindo, portanto, manter a criação nessas condições.

Referências

DAANE, K. M.; SIME, K. R.; DAHLSTEN, D. L.; ANDREWS-JR., J. W.; ZUPARKO, R. L. The biology of *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the red gum lerp psyllid (Hemiptera: Psylloidea). **Biological Control**, v. 32, p. 228-235, 2005.

FERREIRA FILHO, P. J. Estudo de populações do psilídeo de concha *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae) e de seu parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae) em floresta de *Eucalyptus camaldulensis* por dois métodos de amostragem. 2005. 93 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Botucatu.

FIRMINO, D. C. **Biologia do Psilídeo-de-concha *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae) em diferentes espécies de eucalipto e em diferentes temperaturas.** 2004. 49 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Botucatu.

GAZZONI, D. L.; PEDROSO JUNIOR, M.; GARAGORRY, F.; MOSCARDI, F. Mathematical simulation model of the velvetbean caterpillar. I. Description of the model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 385-396, 1998.

KODAIRA, J. Y.; SÁ, L. A. N.; PESSOA, M. C. P. Y. **Desenvolvimento de modelos matemáticos para o estudo da dinâmica populacional do psilídeo-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae), em *Eucalyptus camaldulensis* por controle biológico pelo parasitóide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae) – Estudo de caso em condições de laboratório.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 35 p. (Relatório de Estágio Supervisionado, PIBIC/CNPQ).

PESSOA, M. C. P. Y. **Simulação e Inteligência artificial aplicadas ao estudo da dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman) na região de Campinas, SP.** 1994. 132 p. Tese (Doutorado) – UNICAMP - Faculdade de Engenharia Elétrica, Campinas.

PESSOA, M. C. P. Y.; LUCHIARI JR., A.; FERNANDES, E. N.; LIMA, M. A. de. **Principais modelos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas.** Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997. 83 p. (Embrapa-CNPMA. Documentos, 8).

PESSOA, M. C. P. Y.; FERRAZ, J. M. G.; GATTAZ, N. C.; LIMA, M. A. de. Subsídios para a escolha de indicadores de sustentabilidade. In: MARQUES, J. F.; SKORUPA, L. A.; FERRAZ, J. M. G. (Ed.). **Indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p. 37-58.

PESSOA, M. C. P. Y.; SCRAMIN, S. Modelagem matemática e simulação da exposição do ambiente à aplicação de agrotóxicos: apoio à avaliação de risco ambiental. In: SILVA, C.M.M. de S.; FAY, E.F. (Ed.) **Agrotóxicos e meio ambiente**. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 310-364.

SÁ, L. A. N. de; WILCKEN, C. F. **Nova praga exótica no ecossistema florestal**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 3 p. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 18).

SGRILLO, R. B.; SGRILLO, K. R. P. A. Modelo para simulação da evolução da vassoura-de-bruxa do cacaueteiro na Bahia: validação do modelo. **Agrotropica**, v. 15, n.1, p. 25-32, 2003.

TERNES, S.; YANG, H. M. **Um modelo determinístico para avaliação do controle biológico de pragas de citros**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. 25 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 3).

WILCKEN, C. F.; COUTO, E. B. do; ORLATO, C.; FERREIRA FILHO, P. J.; FIRMINO, D. C. **Ocorrência do psilídeo-de-concha (*Glycaspis brimblecombei*) (Hemiptera: Psyllidae) em florestas de eucalipto no Brasil**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2003. (IPEF. Circular Técnica, 201).

WILKERSON, G. G.; MISHOE, J. W.; STIMAC, J. L. Modeling velvetbean caterpillar (Lepidoptera: Noctuidae) populations in soybeans. **Environmental Entomology**, v. 15, n. 4, p. 809-816, 1986.



Meio Ambiente

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

