



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
E DESENVOLVIMENTO RURAL

ESTIMATIVA DA PERFORMANCE TÉRMICA DE *Cycloneda sanguinea* L.
(Coleoptera: Coccinellidae) UTILIZANDO MODELOS LINEARES E NÃO
LINEARES

JÉSSICA KARINA DA SILVA PACHÚ

Araras

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
E DESENVOLVIMENTO RURAL

**ESTIMATIVA DA PERFORMANCE TÉRMICA DE *Cycloneda sanguinea* L.
(Coleoptera: Coccinellidae) UTILIZANDO MODELOS LINEARES E NÃO
LINEARES**

JÉSSICA KARINA DA SILVA PACHÚ

ORIENTADOR: PROF. Dr. FABRÍCIO ROSSI

CO-ORIENTADOR: PROF. Dr. WESLEY A. C. GODOY

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL

Araras

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P116e Pachú, Jéssica Karina da Silva
Estimativa da performance térmica de *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinelidae) utilizando modelos lineares e não lineares / Jéssica Karina da Silva Pachú. -- São Carlos : UFSCar, 2017.
54 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2017.

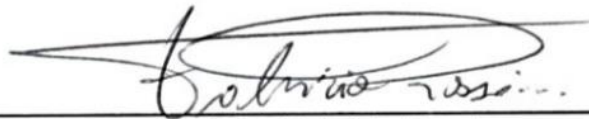
1. Exigências térmicas. 2. Performance. 3. Modelo linear. 4. Modelo não linear. I. Título.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DE

JÉSSICA KARINA DA SILVA PACHÚ

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS, **EM 31 DE JANEIRO DE 2017.**

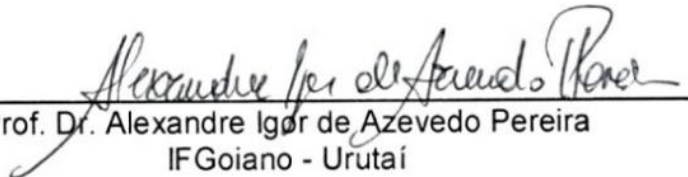
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Fabrício Rossi
USP



Prof. Dr. Ricardo Toshio Fujihara
UFSCar



Prof. Dr. Alexandre Igor de Azevedo Pereira
IFGoiano - Urutaí

Aos meus pais M^a Zélia Claudino e José Pachú, por todo o amor, incentivo, dedicação e investimento, e ao meu melhor amigo e namorado José Bruno Malaquias por todo o apoio, inspiração e amor renovados todos os dias da minha vida, dedico e ofereço.

Agradecimentos

A Deus, por ter me permitido essa conquista.

Ao Programa de Pós-graduação de Agroecologia e Desenvolvimento Rural da UFSCar, pela oportunidade de realização desse curso.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor Fabrício Rossi, pela orientação, apoio e compreensão.

Ao professor Wesley Godoy pela co-orientação, apoio incondicional, amizade e todos os sábios conselhos.

Ao pesquisador Francisco de Sousa Ramalho (Embrapa Algodão) pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento da pesquisa, e os valorosos ensinamentos durante minha vida acadêmica.

A professora Anastácia Fontanetti, por todo incentivo, apoio e disponibilidade, em momentos cruciais.

A todo corpo docente do Departamento de Agroecologia e Desenvolvimento Rural, e a Cris, secretária do Programa pelo apoio em todos os momentos.

A todos os amigos do Laboratório de Ecologia de Insetos da ESALQ/USP, pela amizade, apoio e incentivo, em especial a Bruna Almeida que auxiliou na criação dos insetos.

Aos meus colegas do mestrado, pelos momentos compartilhados.

Agradeço imensamente aos meus pais e avós pelos ensinamentos e amor incondicional.

A toda minha família, que mesmo distante geograficamente sempre se fez presente, pelo apoio emocional, amor e carinho.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Aspectos Biológicos de <i>Cycloneda sanguinea</i>	4
2.2 Joanelhas e o Controle Biológico	5
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Estimativa da performance de larvas e pupas mediante diferentes temperaturas	9
3.2 Estimativa das taxas de desenvolvimento com modelos não lineares	10
3.3 Análise Estatísticas	12
4 RESULTADOS	15
4.1 Estimativa da Performance de larvas e pupas mediante diferentes temperaturas	15
4.2 Estimativa das taxas de desenvolvimento com modelos não lineares	21
5 DISCUSSÃO	28
5.1 Estimativa da Performance de larvas e pupas mediante diferentes temperaturas	28
5.2 Estimativa das taxas de desenvolvimento com modelos não lineares	30
6 CONCLUSÃO.....	34
7 LITERATURA CITADA	35

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Resumo dos resultados da Análise de Variância Multivariada (MANOVA) ¹ para as taxas de desenvolvimento e sobrevivência de <i>Cycloneda sanguinea</i> (Coleoptera: Coccinellidae) em função dos efeitos da temperatura, sexo e do instar desse predador, considerados de forma isolada.....	19
Tabela 2– Valores dos parâmetros e intervalos de confiança (IC 95%) estimados pelos modelos de taxa de desenvolvimento para descrição do desenvolvimento dos estágios de larva e pupa de <i>Cycloneda sanguinea</i> (Coleoptera: Coccinellidae).....	22
Tabela 3- Critérios de avaliação de modelos de regressão não linear descrevendo o efeito da temperatura no tempo de desenvolvimento de <i>Cycloneda sanguinea</i> no estágio de larva.....	25
Tabela 4- Critérios de avaliação de modelos de regressão não linear descrevendo o efeito da temperatura no tempo de desenvolvimento de <i>Cycloneda sanguinea</i> no estágio de pupa.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1- Tempo de desenvolvimento (dias) dos diferentes estádios de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae) em cinco temperaturas constantes (19, 22, 25, 28 e 31°C), fotofase de 12h e umidade relativa de 70±10%.....16
- Figura 2- Taxa de sobrevivência (%) das fases de larva e pupa de *Cycloneda sanguinea* em diferentes temperaturas (19°C, 25°C, 28°C e 31°C). Os dados foram submetidos à distribuição binomial e os dados estimados foram obtidos usando o modelo $P_i = 1 / (1 + \exp(- (b_0 + b_1x + b_2x^2 \dots + b_nx^n)))$, onde P_i = probabilidade de sobrevivência (taxa de sobrevivência) e X = temperatura.....17
- Figura 3- Limiar de temperatura inferior (T_b) para descrever o desenvolvimento imaturo de machos e fêmeas de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae)....18
- Figura 4- Performance estimada para cada estágio larval de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae) em função de diferentes temperaturas (19°C, 25°C, 28°C e 31°C).....20
- Figura 5 – Valores do peso z para avaliação de ajuste de modelos de regressão não linear para descrever a taxa de desenvolvimento de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae) nos estágios de larva e pupa. SM= Sharpe & DeMichele.....26

RESUMO

ESTIMATIVA DA PERFORMANCE TÉRMICA DE *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinellidae) UTILIZANDO MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES

A compreensão do ciclo de vida dos insetos e sua relação com fatores ambientais, como a temperatura é essencial para otimização de programas de controle de pragas. Todavia, são incipientes as informações que consideram as taxas de sobrevivência e desenvolvimento de insetos de forma conjunta. A apreciação dessas taxas de forma concomitante pode revelar a performance em termos de viabilidade e velocidade de desenvolvimento em uma determinada condição ambiental. A taxa de desenvolvimento dos insetos é frequentemente estimada utilizando modelos baseados em graus-dias, entretanto, modelos não lineares têm se mostrado mais adequados nas estimativas dessas taxas por serem mais realísticos e ainda fornecerem temperaturas máximas e ótimas de desenvolvimento. Mediante isto, o presente estudo estimou a máxima performance de *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinellidae) em função da temperatura utilizando um modelo linear, e descreveu a relação entre taxas de desenvolvimento desse predador e a temperatura utilizando modelos não lineares. A máxima performance foi estimada por meio da derivada de uma equação logística. Os melhores modelos para descrição das taxas de desenvolvimento da fase larval nas diferentes temperaturas são os modelos de Analytis e Brière, enquanto que Sharpe & DeMichele e Brière são mais adequados para a fase de pupa de *C. sanguinea*. Para os machos, a temperatura estimada que ocasiona a máxima performance foi de 31°C para o 1º e 2º instar, para o terceiro e quarto estádios a temperatura prevista foi de 28,9 e 27,3°C, respectivamente. Com relação as fêmeas, a temperatura que favoreceu a máxima taxa de desenvolvimento e de sobrevivência foi 31°C para os três primeiros instares e de 27°C para 4º instar. Foi evidenciado que além do efeito de dependência da temperatura a performance varia conforme estágio de desenvolvimento e sexo dos indivíduos. Com essas informações será possível fundamentar melhor programas de multiplicação e liberação de *C. sanguinea*, controlando de forma acurada a velocidade de desenvolvimento em laboratório ou ainda programando as épocas mais favoráveis para sua liberação no campo.

Palavras-chave: exigências térmicas, performance, modelo linear, modelo não lineares.

ABSTRACT

Thermal Requeriments of *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinellidae) Using Linear and Nonlinear Models

Understanding the life cycle of insects and their relation to environmental factors such as temperature is essential for the optimization of pest control programs. However, information that considers insect survival and development rates together is incipient. The assessment of these rates concomitantly may reveal the performance in terms of viability and speed of development in a given environmental condition. The insect development rate is often estimated using degree-day-based models, however, nonlinear models have been shown to be more adequate in estimating these rates because they are more realistic and still provide maximum and optimal development temperatures. Thus, the present study estimated the maximum performance of *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinellidae) as a function of temperature using a linear model, and described the relationship between predator developmental rates and temperature using nonlinear models. The maximum performance was estimated by derivative of the logistic equation. The best models for describing larval phase development rates at different temperatures are the Analytis and Brière models, while Sharpe & DeMichele and Brière are more suitable for the pupa stage of *C. sanguinea*. For males the estimated temperature that caused the maximum performance was 31°C for the 1st and 2nd instar, for the third and fourth instars the predicted temperature is 28.9 and 27.3°C, respectively. Regarding the females, the temperature that favored the maximum rate of development and survival was 31°C for the first three instars and 27°C to 4th instar. It was evidenced that besides the effect of temperature dependence the performance of the individuals varies according to stage of development and sex of the individuals. With this information it will be possible to better base the multiplication and release programs of *C. sanguinea*, accurately controlling the speed of development in the laboratory or even scheduling the most favorable times for its release.

Keywords: thermal requirements, performance, linear model, nonlinear model.

1 INTRODUÇÃO

O controle de pragas utilizando insetos benéficos, como coccinelídeos, tem sido evidenciado por ser de grande importância na utilização racional de insumos e na condução das culturas agrícolas dentro de um contexto de sustentabilidade econômica, ecológica e social, premissas do controle biológico (ALMEIDA, 2001). A espécie *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus) (Coleoptera: Coccinellidae) é uma das espécies afidófagas mais abundantes entre os coccinelídeos nos agroecossistemas brasileiros (SOUSA, 2004; FARIA et al., 2006

O tamanho da espécie de joaninha, bem como a especificidade trófica e, principalmente, as condições térmicas influenciam a duração do ciclo de desenvolvimento desse predador (COSTA LIMA, 1953; IPERTI et al., 1977; IPERTI, 1999). Insetos e outros organismos são dependentes da temperatura para o desenvolvimento. Nesse cenário, o conhecimento da biologia de um inseto é de fundamental importância para se desenvolver estratégias de manejo eficientes e produção econômica de predadores em laboratório (PARRA et al., 2009).

Vários modelos empíricos e biofísicos podem descrever a taxa de desenvolvimento de um inseto em função da temperatura, e auxiliar na previsão de ocorrência de insetos no campo e na determinação da melhor

época para controlá-los (MEDEIROS et al., 2003). A taxa de desenvolvimento corresponde ao tempo de desenvolvimento de um determinado organismo e pode ser adequada a modelos lineares e não lineares quando os dados são considerados em termos diários. O completo desenvolvimento é considerado quando a soma das taxas de desenvolvimento é igual a 1 (AGHDAM et al., 2009). Portanto, nesses modelos, a integral da função da taxa de desenvolvimento de um organismo ao longo do tempo pode ser utilizada para simular o desenvolvimento de um organismo exposto a diferentes temperaturas (ARBAB et al., 2006).

Estudos de variações na taxa de desenvolvimento de insetos permitem uma visão integrada das características biológicas e condições ambientais adequadas tanto de insetos-praga como de seus inimigos naturais e de suas interações. A taxa de desenvolvimento de um inseto predador é frequentemente estimada utilizando modelos baseados em graus-dias por permitir estimar os valores de limite térmico inferior de desenvolvimento ou temperatura base (T_b) e a constante térmica (K). Entretanto, os modelos lineares existentes não são capazes de estimar os limiares máximos das curvas de desenvolvimento por serem derivados da equação da reta. Por outro lado, os modelos não lineares têm se mostrado mais adequados nas estimativas dessas taxas por serem mais realísticos e ainda fornecerem estimativas de temperaturas máximas e ótimas para o desenvolvimento dos insetos (KONTODIMAS et al., 2004; MALAQUIAS et al., 2014). A estrutura algébrica e a combinação de suas constantes permitem uma melhor descrição de trajetórias curvilíneas como, por exemplo, nas estimativas de desenvolvimento relatadas para o pulgão-da-erva-doce, *Hyadaphis foeniculi* (Hemiptera: Aphididae) (MALAQUIAS et al., 2014).

No que diz respeito a um modelo não-linear que descreve a taxa de desenvolvimento dependente da temperatura, a atividade e a desnaturação da enzima a uma temperatura particular deve ser considerada (SHI et al., 2010; SHI et al., 2011). Isto pode ser facilmente estimado pelo modelo biofísico de Sharpe & DeMichele. Embora a relação linear é muitas vezes violada, os modelos não lineares construídos para estimar as taxas de desenvolvimento também devem envolver tal relação linear (SHI et al., 2010). Por esse motivo a

primeira hipótese desse estudo é que modelos como o de Sharpe & DeMichele são eficazes para proporcionar estimativas acuradas das taxas de desenvolvimento de *C. sanguinea*, tanto por ser um dos modelos mais robustos para descrever respostas não lineares envolvendo taxas de desenvolvimento dos insetos em temperaturas extremas constantes (altas e baixas) mediante a incorporação de parâmetros biofísicos, quanto por descrever uma relação linear em temperaturas intermediárias (WAGNER et al., 1984). Uma segunda hipótese do trabalho é que há modelos mais adequados para descrever o desenvolvimento de larvas e outros para pupas.

A estimativa da faixa de temperatura que proporciona a máxima sobrevivência e desenvolvimento de forma simultânea, a qual denominamos de máxima performance no presente estudo, viabiliza a obtenção do número de indivíduos desejados e a otimização dos sistemas de conservação, multiplicação e liberação desse predador. Aliado a isto, a terceira hipótese do estudo é que a performance dos insetos terá uma relação de dependência da temperatura bem como do instar e do sexo dos insetos.

Apesar da importância de *C. sanguinea* em termos de regulação de populações de insetos-praga, surpreendentemente informações sobre o desempenho térmico desse coccinélídeo ainda são consideradas incipientes. Mediante a necessidade de compreensão da interferência de fatores ambientais na dinâmica populacional de *C. sanguinea* para o desenvolvimento de táticas apropriadas ao manejo integrado de pragas, especialmente de afídeos, e sabendo-se que isso poderá auxiliar na previsão de ocorrência dos insetos no campo, na determinação da melhor época para liberá-los, podendo também controlar as taxas de desenvolvimento do predador, o presente estudo teve como objetivo descrever com uso de funções linear e não lineares a relação envolvendo as taxas de desenvolvimento de *C. sanguinea* conforme diferentes temperaturas (16, 19, 22, 25, 28, 31 e 34 °C), e sua máxima performance térmica em termos de sobrevivência e desenvolvimento analisadas de forma conjunta.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aspectos Biológicos de *Cycloneda sanguinea*

A ordem Coleoptera, com mais de 300 mil espécies catalogadas, constitui o maior agrupamento de insetos. Encontra-se subdividida em quatro subordens, destacando-se Polyphaga, que inclui os insetos predadores da família Coccinellidae, com mais de 6.000 espécies descritas, sendo 1.310 espécies da região Neotropical, e destas, 325 presentes no Brasil (CORRÊA, 2008).

Os coccinélídeos são insetos holometabólicos, isto é, apresentam metamorfose completa, o que significa que eles se desenvolvem a partir de um ovo, passando pelos estágios de larva e pupa, até se tornarem adultos. Quando completamente desenvolvida, a larva escolhe um lugar apropriado para sofrer a metamorfose e prende-se pelo abdome à superfície de um suporte, ficando a pupa aí presa e encoberta parcialmente pela última exúvia larval (COSTA LIMA, 1953).

A duração de seu ciclo de desenvolvimento varia de menos de duas semanas até dois meses, sendo influenciada pelo tamanho da espécie, das condições térmicas e de sua especificidade trófica (COSTA LIMA, 1953; IPERTI et al., 1977; IPERTI, 1999). Reproduzem-se em diferentes habitats, mostrando-se também possuidores de muitos e diferentes tipos de comportamento (COSTA LIMA, 1953). A postura geralmente é exofítica, isto é, os ovos são colocados sobre as plantas (COSTA LIMA, 1953). Os ovos podem

ser elípticos ou alongados, com uma coloração inicialmente variando do amarelo ao vermelho-alaranjado, escurecendo um pouco antes da eclosão das larvas, e são colocados isoladamente ou em massas (grupos), unidos uns aos outros (COSTA LIMA, 1953; HAGEN, 1962; HODEK, 1973; IPERTI, 1999).

Esses predadores afidófagos são de grande importância, pois exercem papel significativo no controle de diversas pragas, tais como: pulgões, cochonilhas, moscas-branca, ácaros e outros insetos de pequeno porte (IPERTI, 1999; OMKAR; PERVEZ, 2005). As larvas e adultos apresentam, entre as características positivas, uma grande atividade de busca pelo alimento, ocupam todos os ambientes de suas presas e são muito vorazes (HODEK, 1973). Em épocas de diminuição ou falta das principais presas, os coccinélídeos podem se alimentar de néctar, pólen, “honeydew”, ou a combinação de vários alimentos como estes, que podem propiciar a permanência destes insetos nestes ambientes, mesmo em épocas de entressafra (GUERREIRO et al. 2002).

Dentre as espécies de insetos predadores, destaca-se a joaninha *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Coccinellidae), comumente observada em várias culturas. Os aspectos relacionados à biologia desse inimigo natural foram estudados por Santos e Pinto (1981), verificando um período médio para a fase larval de 9,3 dias, 3,4 dias para pupa e a longevidade média de aproximadamente 63 dias. Cada larva desse predador pode consumir até 200 pulgões/dia e os adultos predam uma média de 20 pulgões /dia (GRAVENA, 1983).

A ocorrência natural de larvas e adultos de coccinélídeos durante o período de infestação dos pulgões nas diferentes culturas diminui suas populações e reduz os danos provocados pelos mesmos (SANTOS, 1992). As larvas alimentam-se de pulgões, ingerindo o líquido do corpo e deixando o tegumento como resíduo, enquanto o adulto devora totalmente o pulgão sem deixar vestígios.

2.2 Joaninhas e o Controle Biológico

O controle biológico permite redução na dependência de pesticidas, acarretando menor contaminação do solo, água, fauna e do próprio homem,

além da diminuição dos custos de produção (GRAVENA, 2003). Os coccinelídeos são os predadores que apresentam as maiores interações com esse tipo de manejo (OBRYCK; KING, 1998). Dentre esse grupo de insetos, destaca-se a espécie *C. sanguinea*, uma das espécies afidófagas mais abundantes entre os coccinelídeos nos agroecossistemas brasileiros.

O controle biológico utiliza predadores de ocorrência natural no combate a diversas pragas. O fato da maioria dos coccinelídeos preda representantes de hemípteros os tornam agentes de controle biológico bem conhecidos e com vários casos de sucesso descritos na literatura (MAGRO et al., 2010). O primeiro relato da utilização de coccinelídeos no controle de pragas se deu por volta de 1889, quando a joaninha *Rodolia cardinalis* (Coleoptera: Coccinellidae) foi importada da Austrália para controlar a cochonilha *Icerya purchasi* (Hemiptera: Margarodidae), praga que estava dizimando os plantios de citros da Califórnia – EUA. O sucesso no controle desta praga por *R. cardinalis* foi tão grande, que até nos dias atuais este evento é considerado como o marco do controle biológico clássico no mundo, devido, principalmente, aos efeitos científicos, econômicos e políticos sem precedentes.

A partir desta primeira utilização, a joaninha *R. cardinalis* foi introduzida em mais de 33 países, obtendo sucesso no controle biológico de *I. purchasi*. No Brasil, por exemplo, cita-se como um manejo de sucesso o caso de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), que foi importada do Chile para o controle de *Planococcus citri* (Risso) (Hemiptera: Pseudococcidae), conhecida como cochonilha-branca-dos-citros (GRAVENA, 2008).

O sucesso da produção comercial de agentes biológicos e do controle biológico depende basicamente de três fatores: A seleção de um organismo benéfico, seu uso eficiente e sua qualidade superior. Caso um desses fatores não atinja um potencial mínimo necessário o controle biológico será ineficaz (VAN LENTEREN, 2000). Programas de criação de insetos tem passado, ao longo dos anos, por marcantes e consideráveis mudanças, essas criações podem ser classificadas quanto ao seu tamanho em três categorias: a) criações em pequena escala; b) criações de médio porte; c) criações massais. A despeito de particularidades das diversas definições disponíveis na literatura,

criações massais servem de suporte a programas de controle biológico e a outros métodos de controle, fazendo com que estes se consolidem como parte fundamental do manejo de pragas (PARRA, 2009). Diversos fatores devem ser levados em consideração nas criações massais de insetos e dentre eles a temperatura representa um papel de grande importância. A temperatura influencia diretamente o desenvolvimento e o comportamento dos insetos. Nesse sentido, compreender o efeito da temperatura na biologia do inseto é essencial para obter uma produção de insetos maior e de qualidade, no menor tempo possível.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em condições de laboratório, com predadores individualizados em placas de Petri após a eclosão das larvas, até a emergência dos adultos, sendo mantidos em câmaras climatizadas, do tipo BOD, a temperaturas constantes de 16, 19, 22, 25, 28, 31 e 34 °C, fotofase de 12h e umidade relativa de 70±10% no Laboratório de Ecologia de Insetos e Entomologia Florestal do Departamento de Entomologia e Acarologia (LEA), ESALQ/USP. Foram utilizados no estudo espécimes de *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Coccinellidae) provenientes de uma criação estabelecida no LEA, alimentadas com ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae) e uma mistura de levedura de cerveja e mel na proporção de 2:1.

Foram avaliados o desenvolvimento das fases de larva e pupa em intervalos de 24 horas e registrados os dados de duração de cada ínstar e de toda fase jovem. O período de duração de cada instar foi determinado de acordo com a produção da exúvia, enquanto o tempo de duração de toda fase jovem foi quantificado pelo intervalo de tempo compreendido desde o desenvolvimento embrionário até a emergência dos adultos. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso. Para cada temperatura foram

utilizadas quatro repetições, sendo cada parcela constituída de 30 insetos, machos e fêmeas totalizando 120 insetos por temperatura.

3.1 Estimativa da performance de larvas e pupas mediante diferentes temperaturas

Um modelo de análise de covariância foi usado para testar a significância dos efeitos dos blocos e dividir os tratamentos em dois efeitos principais (temperatura e sexo) e a interação temperatura *versus* sexo na duração de desenvolvimento dentro de cada estágio. As análises foram conduzidas aplicando-se o procedimento MIXED (SAS Institute, 2009), no qual foi incluso DSCALE, produzindo os valores de F . Para atendimento desse procedimento os dados de duração do desenvolvimento foram transformados pelo método de potência ótima Box-Cox. Curvas de regressão foram geradas mediante significância dos efeitos da análise de covariância.

Para as análises estatísticas da sobrevivência dos insetos, em cada temperatura, foi utilizado um modelo de regressão logística, onde foi calculada a probabilidade de indivíduos sobreviventes durante a fase larval e de pupa, adequando à distribuição de probabilidade binomial. Curvas de regressão foram geradas com os dados de sobrevivência para a fase de larva e pupa utilizando o PROC GENMOD (SAS Institute, 2009).

A temperatura limiar do desenvolvimento (T_b) e a constante térmica para cada fase de desenvolvimento e para toda fase jovem foram estimadas pelo método da hipérbole (HADDAD et al. 1999). Para corrigir a não linearidade na transformação do tempo de desenvolvimento em taxa (LOGAN et al., 1976), as taxas médias de desenvolvimento foram calculadas utilizando-se o seguinte modelo:

$$r(T) = 1,0/e^{\{\sum \ln(di)/n\}}$$

onde $r(T)$ é a taxa de desenvolvimento, di são as observações individuais de tempo de desenvolvimento em dias e n é o número de observações realizadas. A temperatura base (T_b) e a constante térmica (k (graus dias)) para cada estágio e sexo foram estimados pelo método da hipérbole (HADDAD et al., 1999).

Para testar o efeito da temperatura, instar e sexo nas taxas de sobrevivência e de desenvolvimento de forma simultânea, foi utilizada a análise de variância multivariada. Para atendimento dos pré-requisitos da análise de variância multivariada (Manova), ou seja, distribuição normal multivariada e homocedasticidade das matrizes de variância e covariância, os dados foram transformados utilizando-se o método de Box-Cox, sendo a Manova foi realizada por meio do Proc GLM do SAS (SAS INSTITUTE, 2009).

A performance (rP) dos insetos foi calculada pelo produto entre as taxas de desenvolvimento (rD) e sobrevivência (rS) dentro de cada repetição (j) e de cada temperatura (T_i) e ponderando o valor máximo da taxa de performance (${}_{\max}rP$) observada no intervalo total de T_{ij} . Modelos do tipo binomial ou quasibinomial foram ajustados para fase de larva e pupa de *C. sanguinea*. O ajuste do modelo foi confirmado utilizando-se gráfico meio normal (DEMÉTRIO et al., 2014). A máxima performance foi estimada por meio da derivada da equação logística: $rP/{}_{\max}rP = \exp(\beta x_{n+1}) / (1 + \exp(\beta x_{n+1}))$.

3.2 Estimativa das taxas de desenvolvimento com modelos não lineares

Os modelos desenvolvidos por Analytis, Brière, Davidson, Lactin, Lamb, Logan, Sharpe & DeMichele e Stinner foram ajustados aos dados experimentalmente obtidos no presente estudo.

O modelo de Davidson, também conhecido por modelo logístico, foi utilizado para a obtenção da taxa de desenvolvimento, conforme equação abaixo:

$$r(T) = k / (1 + e^{(a-bT)})$$

A constante k expressa no modelo de Davidson define o limite superior da curva sigmóide e T é a temperatura no ambiente da câmara, a é o valor que define o ponto na linha de regressão em relação à abscissa, enquanto b é a inclinação da trajetória da curva (DAVIDSON, 1942)

Com os modelos de Logan e Lactin é possível estimar a constante que define a taxa de desenvolvimento à temperatura ótima (ρ). A taxa de

desenvolvimento pode ser estimada pela função desenvolvida por Logan, pela seguinte equação:

$$r(T) = \psi \cdot \left[e^{\rho \cdot T} - e \left(\rho \cdot T_L - \frac{T_L - T}{\Delta T} \right) \right].$$

O parâmetro ψ é a máxima taxa de desenvolvimento, T_L é a temperatura máxima letal em graus Celcius e ΔT a variação de temperatura na qual o colapso fisiológico (decorrente da degradação térmica), torna-se influência dominante (LOGAN, 1976).

Resultante da modificação do modelo não linear proposto por Logan *et al.* (1976) na equação abaixo, Lactin excluiu ψ e incorporou o γ , que por sua vez faz a curva interceptar a abscissa, o que permite estimar a temperatura base (LACTIN *et al.*, 1995)

$$r(T) = e^{\rho \cdot T} - e \left(\rho \cdot T_L - \frac{T_L - T}{\Delta T} \right) + \gamma$$

O modelo de Sharpe & DeMichele considera diversos parâmetros biofísicos associados ao desempenho térmico do inseto (SHARPE; DEMICHELE 1977, modificado por SCHOOLFIELD *et al.* 1981). Para o presente estudo foi adotada uma adaptação ao modelo Sharpe & DeMichele, expressa na seguinte fórmula (ARBAB *et al.*, 2006):

$$r(T) = T \cdot \frac{e \left(a - \frac{b}{T} \right)}{1 + e \left(c - \frac{d}{T} \right) + e \left(f - \frac{g}{T} \right)}$$

Sendo que T é a temperatura em graus Kelvin, e a , b , c , d , f e g são constantes empíricas.

Os limiares térmicos são estimados pelos parâmetros T_{min} e T_{max} no modelo de Analytis, os quais correspondem ao limiar térmico mínimo e máximo, respectivamente (ANALYTIS *et al.* 1977). a , n e m são constantes nesse modelo, portanto, a taxa de desenvolvimento pode ser estimada pela seguinte fórmula:

$$r(T) = a \cdot (T - T_{min})^n \cdot (T_{max} - T)^m$$

No modelo de Lamb os parâmetros $T_{\sigma L}$ e $T_{\sigma H}$ fazem a curva interceptar, sendo que $T_{\sigma L}$ é utilizado quando $T < T_m$, e $T_{\sigma H}$ é um parâmetro que faz a curva interceptar quando $T > T_m$, R_m e T_m expressos no modelo por Lamb são dados pela equação de Taylor (LAMB et al., 1992), então a taxa de desenvolvimento para esse modelo é estimada por:

$$r(T) = \frac{R_m \cdot e \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{T - T_m}{T_{\sigma L}} \right)^2 \right] \text{ if } T \leq T_m}{R_m - e \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{T - T_m}{T_{\sigma H}} \right)^2 \right] \text{ if } T > T_m}$$

A seguinte equação sigmoide foi desenvolvida por Stinner:

$$r(T) = \frac{c}{(1 + e^{k_1 + k_2 T'})}$$

Sendo que c é $(1/t_{\max}) \times (e^{k_1 + k_2 T_{\max}})$ (assíntota), k_1 e k_2 são constantes empíricas e $T'=T$, para $T < T_{\max}$ e $T'=2 \times T_{\max} - T$, para $T > T_{\max}$ (STINNER et al., 1974)

E, finalmente, considerando o modelo de *Brière*, o limiar térmico inferior (T_o) e limiar térmico superior (T_L), juntamente com a constante a , podem ser estimados pela seguinte equação:

$$r(T) = a \cdot T \cdot (T - T_o) \cdot \sqrt{T_L - T}$$

3.3 Análise Estatísticas

Os parâmetros dos modelos lineares foram estimados utilizando o Procedimento NLIN do SAS (method= marquardt) (SAS, 2000). O coeficiente de determinação (R^2) dos modelos não lineares foi calculado mediante o uso da soma dos quadrados não correlacionada ao invés da soma dos quadrados do total. Foram utilizados como outros indicadores para comparação de modelos não lineares, tais como, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC), critério de informação de Akaike corrigido ($AICC$) e peso de Akaike:

$$L = -\frac{N}{2} \ln\left(\frac{RSS}{N}\right).$$

$$AIC = -2L + 2K.$$

$$BIC = -2L + K \ln(N).$$

$$AICC = -2L + 2KN/(N-K-1).$$

Sendo que K é o número de parâmetros, incluindo o erro e L indica o valor de log da máxima verossimilhança. L pode ser obtido a partir de N e RSS , correspondendo, respectivamente, ao número amostral e soma de quadrados do resíduo:

Dados os modelos candidatos, foi possível selecionar os melhores comparando o valor do seu peso de Akaike (w_j). Em geral, o modelo com maior peso Akaike é o melhor. Quando há modelos candidatos S , o peso Akaike do modelo j th é:

$$w_j = \frac{\exp(-(1/2)\Delta_j)}{\sum_{k=1}^S \exp(-(1/2)\Delta_k)},$$

Onde $\Delta_j = AICC_j - \min(AICC)$, $j = 1, 2, 3, \dots, S$ e $\min(AICC)$ indica o valor mínimo de $AICC$ em todos S modelos candidatos. Neste trabalho, foi utilizado o peso z como um indicador de referência (SHI et al., 2010), que integra os indicadores acima mencionados para selecionar o melhor modelo:

$$z_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^S D_j},$$

Onde D_i é a média ponderada dos indicadores padronizados, $i=1, 2, 3, \dots, S$ e D_j pode ser calculado usando a seguinte fórmula:

$$D_i = \frac{1}{5} \left(\frac{|R_i^2 - \min(R^2)|}{\max(R^2) - \min(R^2)} + \frac{|R_{adj,i}^2 - \min(R_{adj}^2)|}{\max(R_{adj}^2) - \min(R_{adj}^2)} \right. \\ \left. + \frac{|AIC_i - \max(AIC)|}{\max(AIC) - \min(AIC)} + \frac{|BIC_i - \max(BIC)|}{\max(BIC) - \min(BIC)} \right. \\ \left. + \frac{|AICC_i - \max(AICC)|}{\max(AICC) - \min(AICC)} \right),$$

Em que o $\max(x)$ representa o valor máximo x em todas os modelos candidatos S , x_i denota o valor x do modelo candidato e $i=1, 2, 3, \dots, S$.

4 RESULTADOS

4.1 Estimativa da Performance de larvas e pupas mediante diferentes temperaturas

Não houve desenvolvimento de *C. sanguinea* nas temperaturas avaliadas de 16 e 34°C, todavia temperaturas entre 19 e 31°C permitiram o desenvolvimento da espécie na fase de larva e pupa. A temperatura afetou significativamente o padrão de duração de desenvolvimento de larvas ($Pr > 0,0001$) e pupas ($Pr < 0,0001$) de *C. sanguinea*. Por outro lado, não houve efeito do sexo (larvas ($gl = 1,25$, $F = 1,9963$, $Pr > F = 0,1691$) e pupas ($gl = 1,25$, $F = 0,5507$, $Pr > F = 0,4644$)) ou da interação entre temperatura versus sexo para ambas as fases (larvas: $gl = 4,27$, $F = 2,6268$, $Pr > F = 0,0565$; e pupas: $gl = 4,27$, $F = 0,8439$, $Pr > F = 0,5097$). Portanto, os dados de machos e fêmeas foram somados e analisados conjuntamente.

As curvas da duração de desenvolvimento geradas revelaram que as temperaturas mais altas proporcionam menor duração da fase larval e de pupa, sendo a menor duração dessas fases observadas na temperatura de 31°C, enquanto que a temperatura de 19°C foi a que ocasionou uma maior duração no desenvolvimento de ambas as fases (Figura 1).

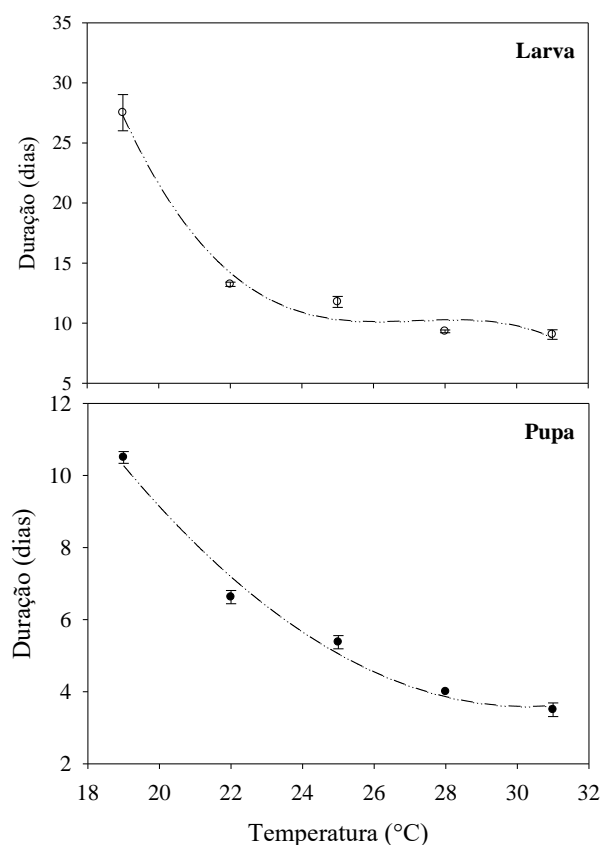


Figura 1. Tempo de desenvolvimento (dias) dos diferentes estádios de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae) em cinco temperaturas constantes (19, 22, 25, 28 e 31°C), fotofase de 12h e umidade relativa de 70±10%.

O padrão de sobrevivência de larvas de *C. sanguinea* foi descrito pelas seguintes equações: $\exp(-24,7815+1,9326x-0,0365x^2)/1+\exp(-24,7815+1,9326x-0,0365x^2)$ para larvas e $\exp(-22,0143+1,7254x-0,0325x^2)/1+\exp(-22,0143+1,7254x-0,0325x^2)$ para pupas. Analisando as equações, bem como as curvas de sobrevivência, é possível observar um padrão de resposta muito similar entre os dois estágios (Figura 2). As curvas de sobrevivência geradas confirmaram que as maiores probabilidades de sobrevivência para o predador *C. sanguinea* foram encontradas entre 26 e 28°C para fase larval e de pupa.

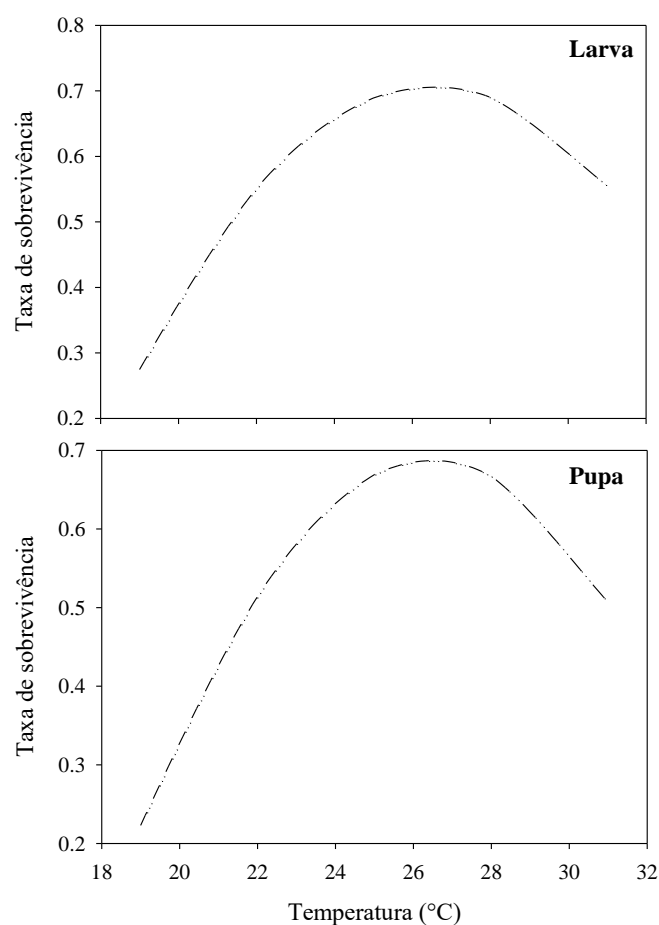


Figura 2. Taxa de sobrevivência (%) das fases de larva e pupa de *Cycloneda sanguinea* em diferentes temperaturas (19°C, 25°C, 28°C e 31°C). Os dados foram submetidos à distribuição binomial e os dados estimados foram obtidos usando o modelo $P_i = 1 / (1 + \exp(- (b_0 + b_1x + b_2x^2 \dots + b_nx^n)))$, onde P_i = probabilidade de sobrevivência (taxa de sobrevivência) e X = temperatura.

Os valores da temperatura base (T_b) e a constante térmica (k) para o *C. sanguinea* determinados pelo método da hipérbole diferiu entre os instares e o sexo de *C. sanguinea*, sendo encontrados os maiores valores para machos em relação às fêmeas em todos os instares, com exceção do último estágio de desenvolvimento da fase larval (Figura 3). Todavia, conforme sobreposição dos intervalos de confiança a menor (T_b) registrada foi para fêmeas do primeiro instar em relação aos demais estágios do mesmo sexo ou relação aos machos.

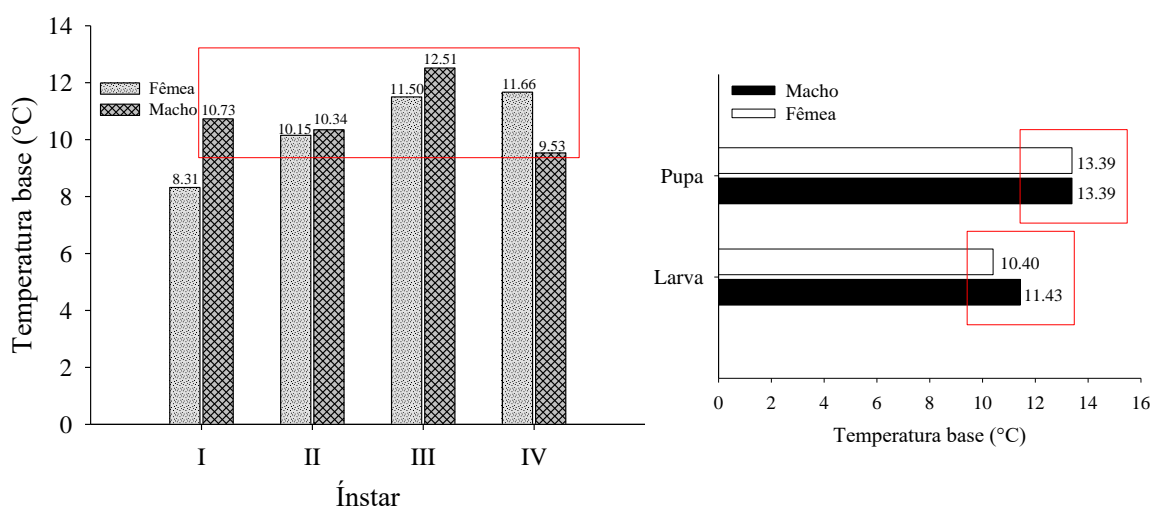


Figura 3. Limiar de temperatura inferior (T_b) para descrever o desenvolvimento imaturo de machos e fêmeas de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae).

Verificou-se diferença quanto o limiar térmico inferior entre larva e pupa, sendo de 10,40°C para fase larval das fêmeas enquanto que para machos foi de 11,43 °C e de 13,39°C para machos e fêmeas na fase de pupa (Figura 3). A constante térmica (K) obtida para o período de larva de ambos os sexos foi de 166,67 graus dias e de 66,67 e 50,07 graus dias para macho e fêmea, respectivamente, da fase de pupa.

Considerando os seguintes testes estatísticos multivariados Wilks' Lambda, Pillai's Trace e Hotelling-Lawley Trace, houve efeito significativo nas variáveis taxas de desenvolvimento e sobrevivência em função dos fatores isolados temperatura ($df= 4$; $Pr > F < 0,05$), sexo ($df= 1$; $Pr > F < 0,05$) e instar ($df= 3$; $Pr > F < 0,05$), como também as seguintes interações temperatura *versus* sexo *versus* instar ($df= 12$; $Pr > F < 0,05$), interação sexo *versus* instar ($df= 3$; $Pr > F < 0,05$) e interação temperatura *versus* instar ($df= 12$; $Pr > F < 0,05$) (Tabela 1). Todavia, a interação temperatura *versus* sexo ($df= 4$; $Pr > F < 0,05$) não foi significativa (Tabela 1). Portanto, a análise de variância multivariada reforçou a importância de considerar de forma simultânea as taxas de desenvolvimento e sobrevivência mediante condições térmicas e dependência do sexo, bem como do estágio do inseto.

Tabela 1. Resumo dos resultados da Análise de Variância Multivariada (MANOVA)¹ para as taxas de desenvolvimento e sobrevivência de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae) em função dos efeitos da temperatura, sexo e do instar desse predador, considerados de forma isolada ou sob interação, utilizando-se os testes estatísticos multivariados de Wilks' Lambda, Pillai's Trace e Hotelling-Lawley Trace.

<i>Fonte de variação</i>	<i>GL</i>	<i>Wilks' Lambda</i>	<i>Pillai's Trace</i>	<i>Hotelling-Lawley Trace</i>	<i>Pr > F</i>
Temperatura	4	0,1360	0,8639	6,3514	< 0,0001
Sexo	1	0,9527	0,0472	0,0495	= 0,0176
Ístar	3	0,2330	0,7669	3,2908	< 0,0001
Bloco	3	0,9666	0,0333	0,0345	= 0,2628
Temperatura x Sexo	4	0,9553	0,0446	0,0467	= 0,2496
Temperatura x Ístar	12	0,6866	0,0664	0,0712	= 0,0443
Sexo x Ístar	3	0,9335	0,0664	0,0712	= 0,0443
Temperatura x Sexo x Instar	12	0,7532	0,2467	0,3275	= 0,0006

¹Os dados foram transformados de acordo com o método de potência ótima Box-Cox para atendimento do pré-requisito da MANOVA.

De acordo com as curvas produzidas por meio da análise dos dados, a temperatura estimada que ocasiona a máxima performance para os machos de *C. sanguinea* foi 31,0°C para o segundo instar, enquanto que para o terceiro e quarto estádios a temperatura prevista foi de 28,9 e 27,3°C, respectivamente. Com relação às fêmeas a temperatura que favoreceu a máxima taxa de desenvolvimento e de sobrevivência foi 31,0°C para os três primeiros instares e de 27,0°C para 4° instar. Em comparação às fêmeas, nos dois primeiros estádios, os machos responderam de forma mais intensa a temperatura, enquanto que no terceiro instar houve sobreposição das curvas de ambos os sexos, diferente do quarto estádio onde as fêmeas responderam mais intensamente (Figura 4).

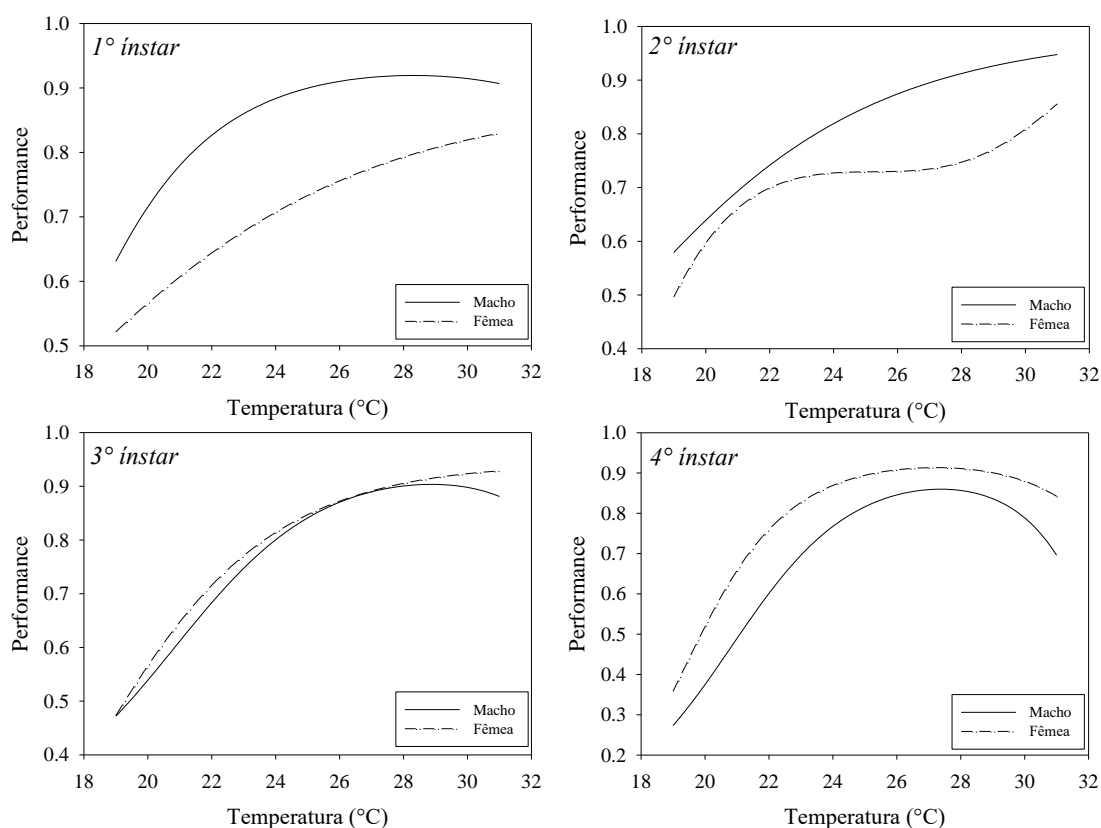


Figura 4. Performance estimada para cada estágio larval de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae) em função de diferentes temperaturas (19°C, 25°C, 28°C e 31°C).

4.2 Estimativa das taxas de desenvolvimento com modelos não lineares

As maiores taxas de desenvolvimento foram concentradas na temperatura de 28°C para larvas (Figura 1) e no intervalo compreendido entre 28-31°C para pupas (Figura 2), sendo que os valores preditos para a temperatura ótima de desenvolvimento (T_{opt}) foram de 28°C para fase de larva e 29°C para fase de pupa, pelo modelo de Sharpe & DeMichele. O modelo de Lactin superestimou esse valor, com predição de 33°C para larva e pupa. Valor semelhante foi estimado pelo modelo de Logan, enquanto que o modelo Brière estimou o valor de 27°C para fase larval e 28°C para fase pupal. O valor estimado pelo modelo Analytis foi de 28°C para ambas as fases de desenvolvimento (Tabela 2).

Para o limite térmico superior (T_{max}) as estimativas variaram de 31 a 34°C tanto para larva quanto para fase de pupa, sendo os maiores valores obtidos com os modelos de Logan e Analytis (Tabela 2). O modelo de Brière estimou o limite térmico inferior (T_{min}) em 15°C para larva e pupa. Esse limiar foi de 16°C para ambas as fases conforme estimativa dada pelos modelos de Lactin e Analytis (Tabela 2).

Quando comparados os modelos entre si, é possível observar variação quanto às estimativas dos limites térmicos inferior e superior. Quanto ao limiar térmico inferior foi observada maior variabilidade quanto à estimativa do modelo de Brière, a qual é revelada pelos valores dos intervalos de confiança. A T_{min} estimada pelo modelo Analytis foi de 16°C para larva e pupa. Além disso, foi observada baixíssima variabilidade medida pelos intervalos de confiança. Mediante os intervalos de confiança para o limite térmico superior percebeu-se que os modelos de Logan e Lactin proporcionaram estimativas próximas entre si, sendo de aproximadamente 34°C para larva e pupa.

Tabela 2– Valores dos parâmetros e intervalos de confiança (IC 95%) estimados pelos modelos de taxa de desenvolvimento para descrição do desenvolvimento dos estágios de larva e pupa de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae).

<i>Modelo</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Larva</i>	<i>Pupa</i>
(1) - Logistic (Davidson)	K	0,0700	0,15710
	A	86,6234	26,96260
	B	4,5671	1,4410
	C	0,0562	10 x 10 ⁻⁶
(2) – Stinner	a ₁	16,1229	1225,7000
	b ₁	-0,4783	-36,3300
	T _{opt}		
	A	-255,5000	-416,9000
(3) - Sharpe & DeMichele	B	-75256,800	-124759,0000
	C	-291,000	-447,5000
	D	-88271,900	-136092,0000
	F	99,9999	99,9900
	g	169583,0000	169583,0000
	t _{opt}	28,2400	29,3600

Continua...

Continuação...

<i>Modelo</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Larva</i>	<i>Pupa</i>
(4) - Logan-6	Ψ	0,0123	0,0229
	$T_L(=t_{max})$	34,2241 (34,17-34,27)	34,0273 (34,2000-34,0300)
	ΔT	0,0580	0,0072
	P	0,0688	0,0765
	t_{opt}	33,8500	33,9500
(5) – Lamb	T_m	31,0000	31,0000
	$T_{\sigma L}$	8,5265	8,2998
	R_m	0,1022	0,2351
	$T_{\sigma H}$	0,6982	0,6703
	P	-1,0636	-1,1404
(6) – Lactin-2	$T_L(=t_{min})$	34,1465 (34,0900-34,1900)	34,145 (34,09-34,19)
	ΔT	0,0653	0,0922
	Λ	0,00512	0,0107
	t_{min}	16,0000	16,0000
	t_{opt}	33,6200	33,5100

Continuação...

<i>Modelo</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Larva</i>	<i>Pupa</i>
(7) – Brière	a	167 x 10 ⁻⁶	322 x 10 ⁻⁶
	T _o (=t _{min})	15,9278 (14,2500-17,6000)	15,5388 (13,5400-17,5200)
	T _L (=t _{max})	31,8656 (31,1400-32,5900)	32,5784 (31,2600-33,8900)
	t _{opt}	27,5100	28,2100
(8) – Analytis	a	0,0079	0,0176
	t _{min}	16,0000 (15,8800-16,1100)	16,0000 (15,9700-16,0200)
	t _{max}	34,0000 (33,9900-34,0000)	34,0000 (33,9900-34,0000)
	n	0,7345	0,7144
	m	0,3696	0,3999
	t _{opt}	28,4700	27,5800

Não houve ajuste satisfatório para as fases de larva e pupa dos modelos Davidson ($R^2_{larva}= 0,15212$, $R^2_{pupa}= 0,318972$) e Stinner ($R^2_{larva}= 0,15212$, $R^2_{pupa}= 0,318972$), por isso os modelos foram excluídos das análises. Para as taxas de desenvolvimento da fase de larva os maiores valores de R^2 e R^2_{adj} ($> 0,9000$) e menores valores de AIC , $AICC$ e BIC foram observados nos modelos de Analytis, Brière e Sharpe & DeMichele (Tabela 3). O peso de Akaike calculado revelou que os melhores modelos para descrever as taxas de desenvolvimento da fase larval do predador nas diferentes temperaturas são os modelos de Analytis e Brière (Tabela 3). A vantagem da utilização desses modelos em relação aos demais pode ser comparada mediante os valores do peso z expressos na Figura 3.

Tabela 3 Critérios de avaliação de modelos de regressão não linear descrevendo o efeito da temperatura no tempo de desenvolvimento de *Cycloneda sanguinea* no estágio de larva.

<i>Modelo</i>	R^2	R^2_{adj}	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	<i>AICC</i>	W_j
Logan	0,6445	0,5637	-236,0082	-229,3472	-233,2809	0,0000
Sharpe & DeMichele	0,9624	0,9492	-292,8910	-285,5656	-289,2910	0,0000
Analytis	0,9896	0,9867	-322,9432	-324,9500	-328,9432	0,6560
Lactin	0,7398	0,6807	-244,7699	-238,1089	-241,0427	0,0000
Lamb	0,8198	0,7884	-257,0265	-251,6977	-255,2874	0,0000
Brière	0,9875	0,9853	-331,6522	-326,3234	-329,9131	0,3440

R^2 = coeficiente de determinação; R^2_{adj} = coeficiente de determinação ajustado; *AIC*= critério de avaliação de Akaike; *BIC*= critério de informação Bayesiano; *AICC*= critério de informação de Akaike corrigido; W_j = peso w .

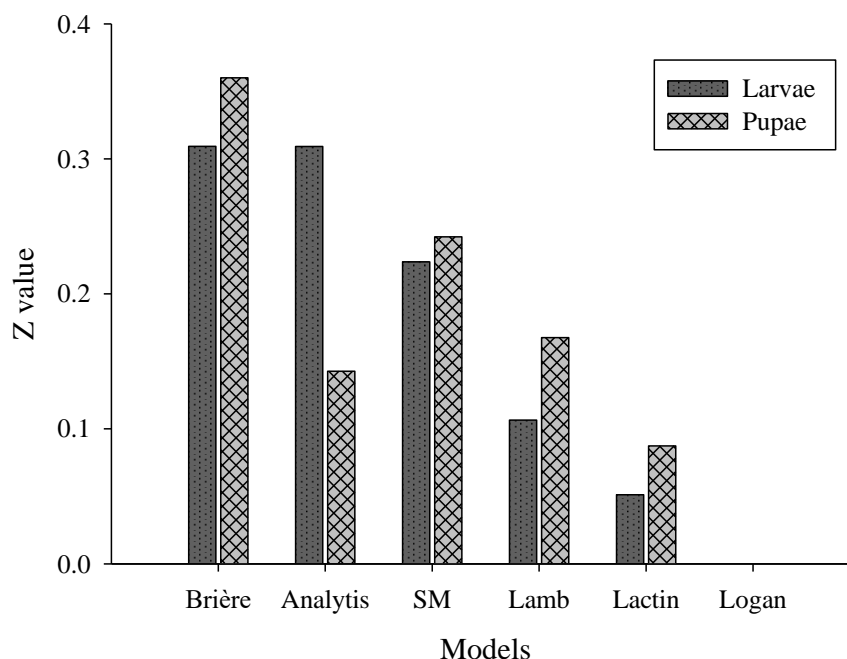


Figura 5 – Valores do peso z para avaliação de ajuste de modelos de regressão não linear para descrever a taxa de desenvolvimento de *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae) nos estágios de larva e pupa. SM= Sharpe & DeMichele.

Analisando a fase de pupa, constatou-se que as menores variabilidades medidas pelos valores de R^2 e R^2_{adj} foram registradas quando foram utilizados os modelos de Sharpe & DeMichele e Brière (Tabela 4).

Tabela 4- Critérios de avaliação de modelos de regressão não linear descrevendo o efeito da temperatura no tempo de desenvolvimento de *Cycloneda sanguinea* no estágio de pupa.

Modelo	R^2	R^2_{adj}	AIC	BIC	AICC	W_j
Logan	0,7565	0,7012	-202,8253	-196,1642	-200,0980	0,0000
Sharpe & DeMichele	0,9614	0,9479	-250,3887	-241,0632	-244,7887	0,0000
Analytis	0,8991	0,8703	-225,4989	-217,5056	-221,4989	0,0000
Lactin	0,8452	0,8100	-215,5094	-208,8984	-212,7822	0,0000
Lamb	0,9050	0,8885	-231,1903	-225,8615	-229,4512	0,0000
Brière	0,9873	0,9850	-287,4159	-282,0871	-285,6768	1,0000

R^2 = coeficiente de determinação; R^2_{adj} = coeficiente de determinação ajustado; AIC= critério de avaliação de Akaike; BIC= critério de informação Bayesiano; AICC= critério de informação de Akaike corrigido; W_j = peso w.

Os maiores valores do peso z reforçam o bom ajuste desses modelos para estimativas das taxas de desenvolvimento da fase de pupa de *C. sanguinea* (Figura 5).

Valores não realísticos da temperatura ótima (T_{opt}) foram estimados pelos modelos de Logan e Lactin, para larva e pupa respectivamente, pois esses valores estimados foram próximos à temperatura letal, ou seja, 33°C. O modelo de Brière e Sharpe & DeMichele foram mais realísticos para estimativa de T_{opt} , ficando entre 27 e 29°C para fase de larva e pupa, respectivamente.

5 DISCUSSÃO

5.1 Estimativa da Performance de larvas e pupas mediante diferentes temperaturas

Em animais ectotérmicos a taxa metabólica aumenta proporcionalmente com a temperatura (DILLON et al., 2010), e os processos bioquímicos sob tais condições são acelerados (NEVEN, 2000). Verificou-se que o tempo de desenvolvimento da fase larval e de pupa de *C. sanguinea* foi reduzido quando mantidas em temperaturas mais altas, sendo a menor duração dessas fases observadas na temperatura de 31°C. Dados encontrados na literatura para *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera Coccinellidae), relatam um limite térmico superior que varia entre 30°C e 35° C (MICHAUD, 2002). Todavia, no presente estudo não ocorreu desenvolvimento dessas fases quando a temperatura foi de 34°C, isto sugere que essa temperatura muito elevada prejudica o funcionamento eficiente dos processos metabólicos de *C. sanguinea*. Enquanto que as temperaturas mais baixas ocasionaram uma maior duração de desenvolvimento em função da temperatura, sendo esta em aproximadamente 19°C para ambas as fases. Estudos com *H. axyridis*, evidenciam que o limite térmico inferior para essa joaninha varia de 9,3°C

(SOARES et al., 2003) a 13,3°C (HODEK, 1996), diferindo dos nossos resultados observados, onde a temperatura de 16°C não proporcionou desenvolvimento de *C. sanguinea*. Silva e Barbosa (1984), verificaram que larvas de *Zagreus bimaculosus* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) submetidas à temperatura de 25°C completaram o desenvolvimento em aproximadamente 13,5 dias, resultado semelhante obtido no presente estudo para mesma temperatura.

A temperatura estimada que ocasiona a máxima performance em machos desse predador foi 31°C para o 2º instar, para o terceiro e quarto estádios a temperatura prevista foi de 28,9 e 27,3°C, respectivamente. Com relação às fêmeas a temperatura que favoreceu a máxima taxa de desenvolvimento e de sobrevivência foi 31°C para os três primeiros instares e de 27°C para o 4º instar. De acordo com Santa-Cecília et al., (2001), durante o quarto estádio, as larvas de coccinélídeos necessitam de maiores quantidades de nutrientes para o desenvolvimento pupal e diferenciação em adultos. Deste modo, está tolerância adaptativa quanto à redução na temperatura pode ser uma estratégia para prolongar o seu desenvolvimento, haja vista que o rápido desenvolvimento não é suficiente para as larvas armazenarem nutrientes que são essenciais para o gasto energético durante a ecdise, resultando na redução da sobrevivência. Em comparação às fêmeas, nos dois primeiros estádios, os machos tendem a responder de forma mais intensa a temperatura, enquanto que no terceiro instar houve sobreposição das curvas de ambos os sexos, diferente do quarto estádio em que as fêmeas responderam mais intensamente.

De forma geral verificou-se que a (T_b) foi de 10,40°C para fase larval das fêmeas, enquanto que para machos foi de 11,43 °C e de 13,39°C para pupa. A constante térmica (K) obtida para o período de larva de ambos sexos foi de 166,67 graus dias e de 66,67 e 50,07 graus dias para macho e fêmea, respectivamente, da fase de pupa. De acordo com Santos (2013) os adultos de *C. sanguinea* emergem mais cedo do que os de *H. axyridis* e *H. convergens*, portanto esta espécie deve ser favorecida quando compete com outras espécies por presa. Deve-se enfatizar que esta característica biológica de *C. sanguinea* aumenta o número de gerações por ano e favorece a adaptação aos

agroecossistemas brasileiros, uma vez que é considerado um dos principais insetos predadores de afídeos no algodão, cana-de-açúcar, citros, manga, soja e sorgo (VELOSO et al., 1995).

As curvas de sobrevivência geradas confirmaram que as maiores probabilidades de sobrevivência para o predador *C. sanguinea* foram encontradas entre 26 e 28°C para a fase larval e de pupa, respectivamente. Nosso estudo mostra que a máxima performance do predador *C. sanguinea* está na faixa de temperatura de 26 a 31°C, indicando sua capacidade de predação em uma ampla gama de temperatura. Portanto, além do efeito de dependência da temperatura, a performance dos indivíduos varia conforme estágio de desenvolvimento, bem como de acordo com o sexo dos indivíduos.

5.2 Estimativa das taxas de desenvolvimento com modelos não lineares

Valores não realísticos da temperatura ótima (T_{opt}) foram estimados pelos modelos de Logan e Lactin, para larva e pupa, respectivamente, pois esses valores estimados são próximos à temperatura letal, ou seja, 33°C. Os modelos de Brière e Sharpe & DeMichele foram mais realísticos para estimativa de T_{opt} com 27 e 29°C para fase de larva e pupa, respectivamente. Essa faixa de temperatura é similar à constatada em outras espécies de joaninha (BUTCHER et al., 1971).

A temperatura base estimada pelo modelo Lactin foi de 16°C para ambas as fases (larva e pupa) de *C. sanguinea*, resultado também observado pelo modelo Analytis. O modelo de Brière estimou o limite térmico inferior (T_{min}) em 15°C para larva e pupa. Em grande parte dos casos o modelo de Lactin-2 descreve bem a taxa de desenvolvimento dos insetos, especialmente quando as temperaturas são próximas à temperatura base (LACTIN et al., 1995). O modelo de Lactin foi o que melhor descreveu o parâmetro T_{min} para outro coccinelídeo, *Stethorus punctillum* Weise (Coleoptera: Coccinellidae) (ROY et al., 2002). O modelo de Lactin pode ser superior para estimar limiares de temperatura em comparação com outros modelos não lineares, sendo que para algumas espécies de joaninhas o modelo Lactin foi o ideal para estimar o limite inferior térmico (KONTODIMAS et al., 2004). Apesar da estimativa com precisão do limiar inferior de desenvolvimento ser considerada uma tarefa difícil (SHI et al., 2011), alguns modelos não lineares, como Brière são considerados

boas ferramentas para estimativa de temperaturas ótimas e do limiar térmico superior (PAPANIKOLAOU et al., 2013). Todavia, há casos em que podem providenciar valores estimados não realísticos de T_{min} (ROY et al., 2002). Isto foi constatado em *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), pois o modelo Brière falhou para estimar corretamente a temperatura inferior de *B. cockerelli*, apesar de juntamente com o modelo de Lactin estimar com precisão o limite superior de desenvolvimento de *B. cockerelli* (TRAN et al., 2012). Em *Adalia bipunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) o limite inferior para a fase de ovo após ser submetida a regime de alimento artificial, foi estimado em 8,87 e 9,18°C pelos modelos Brière e linear, respectivamente, no entanto, o modelo Lactin previu esse limiar em 14,79°C. Embora os dados experimentais revelassem que a temperatura de 35°C foi letal para todos os estágios de desenvolvimento, o limite superior estimado pelas equações de Brière e Lactin foi maior do que este valor, portanto não satisfazendo o critério de alta precisão do modelo (JALALI et al., 2012).

Verificando os intervalos de confiança associados aos parâmetros que estimam os limiares térmicos do desenvolvimento para larva e pupa de *C. sanguinea*, percebe-se que existe uma maior variabilidade para os intervalos de confiança estimados pelo modelo de Brière para larva e pupa, muito embora esse critério deva ser visto de forma cautelosa, pois a estimativa de intervalos de confiança que incorporam todos os componentes relevantes de variação é muitas vezes uma parte mais instável e difícil dessas análises, e os diferentes pacotes ou procedimentos estatísticos usam diferentes abordagens, pois quase todas essas informações envolvem um processo iterativo (BOLKER et al., 2013).

Dentre todos os modelos avaliados, apenas o modelo logístico de Davidson e Stinner não se ajustou aos dados referentes à taxa de desenvolvimento das fases de larva e pupa do predador *C. sanguinea*. Apesar de ser amplamente utilizado, a falta de ajuste destes modelos também foi documentada em outras espécies, como *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Heteroptera: Pentatomidae) (MEDEIROS et al., 2003), *Alabama argillacea* (Huebner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae) (MEDEIROS et al., 2004) e *Maladera matrida* (Coleoptera: Scarabaeidae) (HARARI et al., 1998).

Para os demais modelos utilizados encontraram-se elevados valores de R^2 para fase de larva e pupa, sendo que para os modelos Analytis, Briere e Sharpe & DeMichele tais valores de R^2 foram próximos ou superiores a 0,90. Bons ajustes do modelo de Sharpe & DeMichele foram encontrados em *A. argillacea* (BRIÈRE et al., 1998) e para o seu predador *P. nigrispinus* (MEDEIROS et al., 2003), e também relatados para o parasitoide *Bracon vulgaris* Ashmead (Hymenoptera: Braconidae) (RAMALHO et al., 2009). Altos valores de R^2 para o modelo Brière foram encontrados para descrição das taxas de desenvolvimento de *Eriopis conexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) (DUARTE et al., 2009) e *B. cockerelli* (TRAN et al., 2012).

No presente trabalho além dos valores do coeficiente de regressão não linear (R^2), e R^2 ajustado, foram considerados o critério de informação de Akaike (*AIC*), critério de informação de Akaike corrigido (*AICC*) e de informação Bayesiano de Schwarz (*BIC*), como considerados em outros estudos (AGHDAM et al., 2006; ROY et al., 2002; PAPANIKOLAOU et al., 2013). O R^2 ajustado, *AIC*, *BIC* e *AICC* consideram a complexidade de um modelo ao adicionar os parâmetros a ele (SHI et al., 2010). Analisando de uma forma geral, percebe-se que menores valores dos critérios de informação e maiores valores do peso z foram observados nos modelos de Analytis, Brière e Sharpe & DeMichele, enquanto que para a fase de pupa os melhores ajustes foram revelados pelos modelos de Sharpe & DeMichele e Brière, reforçando as duas primeiras hipóteses apresentadas no presente trabalho. As taxas de desenvolvimento mais próximas daquelas observadas para as fases de larva e de pupa foram as estimadas pelo modelo de Sharpe e DeMichele e Brière.

A adoção dos modelos não lineares de Analytis, Brière e Sharpe & DeMichele são importantes ferramentas para melhor elucidação da relação envolvendo temperatura e taxas de desenvolvimento de ambas as fases de larva e pupa de *C. sanguinea*, e assim fornecer subsídio para a obtenção do número de indivíduos desejados para sua utilização, otimizando o sistema de conservação, multiplicação e liberação do predador. As trajetórias das curvas desses modelos revelam que as taxas de desenvolvimento entre os intervalos de 19-27°C e 29-32°C para larva são inferiores em relação aos intervalos compreendidos entre 27-29°C. Enquanto que as maiores taxas de

desenvolvimento do estágio de pupa podem ser obtidas entre 28-31°C, fora destes dois últimos intervalos é nítida a redução do desenvolvimento da fase de pupa de *C. sanguinea*. De posse desse resultado é possível, com a utilização dos modelos não lineares, estimar a velocidade de desenvolvimento do inseto, e com isso prever o número de dias necessários para que se complete o seu desenvolvimento, possibilitando assim o aperfeiçoamento de diferentes processos de produção em grande escala. Além disso, os modelos podem ser úteis para previsão de picos populacionais em agroecossistemas (LEWIS et al., 2015).

6 CONCLUSÃO

- i-* A máxima performance dos indivíduos de *Cycloneda sanguinea*, que apresentou-se dependente da temperatura, varia também conforme o estágio de desenvolvimento, bem como de acordo com o sexo desse predador.
- ii-* Os modelos de Analytis, Brière e Sharpe & DeMichele foram os que melhor descreveram as taxas de desenvolvimento da fase larval de *C. sanguinea*, enquanto que para a fase de pupa os melhores ajustes foram obtidos somente com os modelos de Sharpe & DeMichele e Brière.
- iii-* A T_{opt} . estimada pelos modelos que melhor se ajustaram variou entre 27-28°C para larva e 28-29°C para pupa.
- iv-* Para ambas as fases de desenvolvimento, as estimativas mais realísticas de limites térmicos mínimo e máximo foram de aproximadamente 16°C e 34°C, respectivamente.

7 LITERATURA CITADA

- AGHDAM, H. R.; FATHIPOUR, Y.; RADJABI, G.; REZAPANAH, M. Temperature-dependent development and temperature thresholds of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. **Environ Entomol** 38: 885-895, 2009.
- AGHDAM, H. R.; FATHIPOUR, Y.; KONTODIMAS, D. C. Evaluation of non-linear models to describe development and fertility of codling moth at constant temperatures. **Entomol Hell** 20:3–16, 2011.
- ALMEIDA, S. G, **Crise Socioambiental e Conversão Ecológica da Agricultura Brasileira**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 180p, 2001.
- ANALYTIS, S. Über die Relation zwischen biologischer Entwicklung und Temperatur bei phytopathogenen Pilzen. **J Phytopathol** 90:64–76, 1977.
- ARBAB, A.; KONTODIMAS, D. C.; SAHRAGARD, A. Estimating development of *Aphis pomi* (DeGeer) (Homoptera: Aphididae) using linear and nonlinear models. **Environ Entomol** 35: 1208-1215, 2006.
- BUTCHER, J. W.; SNIDER, R.; SNIDER, R. J. Bioecology of edaphic Collembola and Acarina. **Annu. Rev. Entomol** 16:249 – 288, 1971.
- BRIÈRE, J.F.; PRACROS, P. Comparison of temperature-dependent growth models with the development of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). **Environ Entomol** 27:94-101, 1998.

BOLKER, B. M.; GARDNER, B.; MAUNDER, M.; BERGM, C. W.; BROOKS, M.; COMITA, L.; CRONE, E.; CUBAYNES S.; DAVIES T.; VALPINE, P.; FORD, J.; GIMENEZ, O; KERY, M.; KIM, E. J.; CODY, C. L.; MAGNUSSON A.; MARTELL, S.; NASH, J.; NIELSEN, A.; REGETZ, J.; SKAUG, H.; KIPKIN, E. Strategies for fitting nonlinear ecological models in R, AD Model Builder, and Bugs. **Methods Ecol Evol** 4:501–512, 2013.

CORRÊA, G. H. Estudo de seis gêneros Neotropicais de Chilocorini e revisão de *Harpasus Mulsant*, 1850 (Coleoptera, Coccinellidae, Chilocorinae). *Curitiba: UFPR. Dissertação de mestrado*. Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2008.

COSTA LIMA, A. M. Família Coccinellidae. In: COSTA LIMA, A. **Insetos do Brasil**. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 8º Tomo, Capítulo 77- Coleópteros, 2ª Parte, p. 283-303, 1953.

DAVIDSON, J. On the speed of development of insect eggs at constant temperatures. **Aust J Exp Biol Med Sci** 20:233-239, 1942.

DEMÉTRIO, C. G. B.; HINDE, J.; MORAL, R. A. Models for overdispersed data in entomology. In Godoy, W. A. C. and Ferreira, C. P. (Eds.) **Ecological modelling applied to entomology**. Springer, 2014

DILLON, M. E.; WANG, G.; HUEY, R. B. Global metabolic impacts of recent climate warming. **Nature** 467: 704-707, 2010.

DUARTE, H. W.; POLANIA, I. Z. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo de *Eriopis connexa connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae). **rev.udcaactual.divulg.cient**, vol.12, n.2, pp.135-145, 2009.

FARIA, M.R.; LUNDGREN, J. G; FONTES, E. M. G.; FERNANDES, O. A.; SCHMIDT, F.; TUAT, N. V.; ANDOW D. A. Assessing the effects of Bt cotton on generalist arthropod predators. In: Hilbeck, A.; Andow, D. A.; Fontes, E.M.G. (Ed.). **Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms: Methodologies for Assessing Bt Cotton in Brazil**. Cambridge: CABI, p. 175-199, 2006.

GUERREIRO, J. C.; SILVA, R. A.; BUSOLI, A. C.; BERTI FILHO, E. Coccinélídeos predadores que ocorrem no estágio inicial da cultura do algodoeiro em Jaboticabal, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 77, n. 1, p.161-168, 2002.

GRAVENA, S. O controle biológico na cultura algodoeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.104, p.3-15, 1983.

GRAVENA, S. O pulgão e a morte súbita dos citros. **Coopercitrus Informativo Agropecuário**, v.17, n.197, p.26, 2003.

HADDAD, M. L.; PARRA, J. R. P.; MORAES, R. C. B. **Métodos para estimar os limites térmicos inferiores e superiores de desenvolvimento de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 29p, 1999.

HAGEN, K. S. Biology and ecology of predaceous Coccinellidae. **Annu. Rev. Entomol.** Palo Alto, v. 7, p. 289-326, 1962.

HARARI, A. R; BEN-YAKIR, D.; CHEN, M.; ROSEN, D. Temperature-dependent developmental models for predicting the phenology of *Maladera matrida* (Coleoptera: Scarabaeidae). **Environ Entomol** 27:1220–1228, 1998.

HODEK, I. **Biology of Coccinellidae**. Prague: Academic of Sciences. 260 p, 1973.

HODEK, I. **Food relationships**. In: HODEK, I.; HONEK, A. Ecology of Coccinellidae. Dordrecht: Kluwer Academic, p.143-238, 1996.

IPERTI, G. Biodiversity of predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. **Agric. Ecosyst. Environ** v. 74, p. 323-342, 1999.

IPERTI, G.; KATSOYANNOS, P.; LAUDEHO, Y. Etude comparative de l'anatomie des coccinelles aphidiphages et coccidiphages et appartenance d' *Exochomus quadripustulatus* L. à l'un de ces groupes entomophages (Coleoptera: Coccinellidae). **Annales de la Societe Entomologique de France (NS)**, v. 13, n. 3, p. 427-437, 1977.

JALALI, A. M.; TIRRYL L.; ARBAB, A.; De Clere, P. Temperature-dependent development of the two-spotted ladybeetle, *Adalia bipunctata*, on the green peach aphid, *Myzus persicae*, and a factitious food under constant temperatures. **J Insect Sci** 10:1-14, 2010.

KONTODIMAS D. C.; ELIOPOULOS P. A.; STATHAS G. J.; ECONOMOU L. P. Comparative temperature-dependent development of *Nephus includens* (Kirsch) and *Nephus bsignatus* (Boheman) (Coleoptera: Coccinellidae) preying on *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae): Evaluation of a linear and various nonlinear models using specific criteria. **Environ Entomol** 33: 1-11, 2004.

LACTIN, D. J.; HOLLIDAY, N. J.; JOHNSON, D. L.; CRAIAGEN, R. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. **Environ Entomol** 24:68-75, 1995.

LAMB, R. J. Developmental rate of *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae) at low temperatures: implications for estimating rate parameters for insects. **Environ Entomol** 21:10–19, 1992.

LEWIS, O. M.; MICHELS G. J.; PIERSON, E. A.; HEINZ, M. A predictive degree day model for the development of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) infesting *Solanum tuberosum*. **Environ Entomol** 44:1201-1209, 2015.

LOGAN, J. A, WOLLKIND, D. J.; HOYT, S. C.; TANIGOSHI, L. K. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. **Environ Entomol** 5:1133-1140, 1976.

MALAQUIAS J. B.; RAMALHO F. S.; LIRA A. C. S.; OLIVEIRA F. Q.; FERNANDES F. S.; ZANUNCIO J. C and GODOY W. A. C. Estimating the development of the fennel aphid, *Hyadaphis foeniculi* (Passerini) (Hemiptera: Aphididae), using non-linear models. **Pest Manag Sci** 10:1002/ps.3845, 2014.

MAGRO, A.; LECOMPTE, E.; MAGNE, F.; HEMPTINNE, J. L.; CROUAU-ROY, B. Phylogeny of ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae): Are the subfamilies monophyletic? **Molecular Phylogenetics and Evolution** 54:833–848, 2010.

MICHAUD, J. Invasion of the Florida citrus ecosystem by *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) and asymmetric competition with a native species, *Cycloneda sanguinea*. **Environ. Entomol.** 31: 827-835, 2002.

MEDEIROS, R.S.; RAMALHO, F. S.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Estimative of *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) development time nonlinear models. **Neotrop Entomol** 33:141-148, 2003

MEDEIROS, R. S, RAMALHO, F. S, ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Estimate of *Alabama argillacea* (Huebner) (Lepidoptera: Noctuidae) development with nonlinear models. **Braz J Biol** 63:589-598, 2004.

NEVEN, I. G. Physiological responses of insect to heat. **Postharvest Biol. Technol.** 21: 103-111, 2000.

OBRYCKI, J. J.; KRING, T. J. Predaceous Coccinellidae in biological control. **Annu. Rev. Entomol** , Palo Alto, v. 43, p. 295-321, 1998.

OLIVEIRA, E. E. Aspectos biológicos do predador *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera, Coccinellidae) alimentado com *Tetranychus evansi* (Acari, Tetranychidae) e *Macrosiphum euphorbiae* (Homoptera, Aphididae). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 33-39, 2005.

OMKAR; PERVEZ, A. Ecology of two spotted ladybird, *Adalia bipunctata* review. **J Appl Entomol**, Berlin, v.129, n. 9, p. 465-474, 2005.

PAPANIKOLAOU, N. E.; MILONAS, P. G.; KONTODIMAS, D. C, DEMIRIS, N.; MATSINOS, Y. G. Temperature-dependent development, survival, longevity, and fecundity of *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). **Ann Entomol Soc Am** 106: 228-234, 2013.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. Controle biológico: terminologia, p. 1-16. **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo, Manole, 609 p. 2009.

RAMALHO, F. S.; WANDERLEY, P. A.; MALAQUIAS, J. B.; RODRIGUES, K. C. V.; SOUZA, J. V. S.; ZANUNCIO, J. C. Temperature-dependent development rates of *Bracon vulgaris*, a parasitoid of boll weevil. **Phytoparasitica** 37:17-25, 2009.

ROY, M. L.; BRODEUR, J.; CLOUTIER, C. Relationship between temperatures and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acari Tetranychidae). **Environ Entomol** 31:177-187, 2002.

SANTA-CECÍLIA, L. V. C.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. R.; TÔRRES, R. M. S.; NASCIMENTO, F. R. Aspectos biológicos e consumo alimentar de larvas de *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Coccinellidae) alimentadas com *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae). **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, p.1273-1278, 2001.

SANTOS, T. S. Aspectos morfológicos e efeito da temperatura sobre a biologia de *Scymnus (Pullus) argentinus* (Weise, 1906) (Coleoptera: Coccinellidae) alimentados com pulgão verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Homoptera: Aphididae). Dissertação de Mestrado. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 105 p, 1992.

SANTOS, L. C.; SANTOS-CIVIDANES, T. M.; CIVIDANES, F. J.; MATOS, S. T. S. Biological aspects of *Harmonia axyridis* in comparison with *Cycloneda sanguinea* and *Hippodamia convergens*. **Pesq agropec bras** vol.48, n.11, pp.1419-1425, 2013.

SAS Institute Inc. **SAS user's guide: statistics**. Cary. 2000.

SAS Institute Inc. **SAS user's guide: statistics**. Cary. 2009.

SILVA, C. C. A.; BARBOSA, S. M. L. Ciclo biológico de *Zagreus bimaculosus* (Muls) (Coleoptera: Coccinellidae), um predador da cochonilha da palma forrageira *Diaspis echinocacti* (Bouché 1833). Maceió/AL, Epeal, Brazil, 1984.

SCHOOFIELD, R. M.; SHARPE, P. J. H.; MAGNUSON, C. E. Non-linear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. **J Theor Biol** 88:719-731, 1981.

SOARES, A. O.; CODERRE, D.; SCHANDERL, H. Effect of temperature and intraspecific allometry on predation by two phenotypes of *Harmonia axyridis*

Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). **Environ Entomology**, College Park, v. 32, n. 5, p. 939-944, 2003.

Shi, P.; Ge, F. A comparison of different thermal performance functions describing temperature-dependent development rates. **J Theor Biol** 35:225–231, 2010.

SHI, P.; GE, F.; SUN, Y.; CHEN, C. A simple model for describing the effect of temperature on insect developmental rate. **J Asia Pac. Entomol** 14: 15–20, 2011.

STINNER, R. E.; GUITIERREZ, A. P.; BUTLER, G. D. An algorithm for temperature-dependent growth rate simulation. **Can Entomol** 106:519-524, 1974.

TRAN, L. T.; WORNER, S. P.; HALE, R. J.; TEULON, D. A. J. Estimating development rate and thermal requirements of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) reared on potato and tomato by using linear and nonlinear models. **Environ Entomol** 41: 1190-1198, 2012.

VAN LENTEREN, J. C. Measures of success in biological control of arthropods by augmentation of natural enemies. In **Measures of success in biological control** GURR G, WRATTEN S. Eds. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic. pp.77–103, 2000.

VELOSO, V. R. S.; NAVES, R. V.; NASCIMENTO, J. L.; FERNANDES, P.M.; GARCIA, A. H. Aspectos biológicos de *Cycloneda sanguinea* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae). **Pesq Agropec Trop** v.25, p.123-127, 1995.

WAGNER, T. L.; WU, H.; SHARPE, P. H. H; SCHOOFIELD, R. M.; COULSON, R. N. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. **Ann Entomol Soc Am** 77:208-225, 1984.