



CAPÍTULO 13

CONDIÇÕES TÉRMICAS MOLDAM A RESPOSTA FUNCIONAL E NUMÉRICA DE PARASITOIDES

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.21825090913>

Silvestre Santos Carvalho

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia
Recife-PE
<https://lattes.cnpq.br/2439192008745891>
0009-0003-3979-0628

Christian Sherley Araújo da Silva-Torres

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia
Recife-PE
<https://lattes.cnpq.br/6987761145766931>
Orcid: 0000-0002-2364-5421

RESUMO: A resposta funcional de insetos parasitoides, que descreve a taxa de parasitismo em função da densidade do hospedeiro, e a resposta numérica, que expressa o crescimento populacional de parasitoides em relação à disponibilidade de hospedeiros, são parâmetros essenciais para avaliar a eficiência de agentes de controle biológico. A compreensão dessas respostas permite prever o desempenho de inimigos naturais em diferentes cenários, contribuindo para o planejamento e o sucesso de programas de controle biológico. Entre os fatores que modulam essas respostas, a temperatura se destaca como um dos principais elementos abióticos, influenciando diretamente processos fisiológicos, comportamentais e reprodutivos dos parasitoides. Variações térmicas podem alterar a taxa de ataque, a capacidade de busca, o tempo de desenvolvimento e a fecundidade, comprometendo ou potencializando a eficácia do inimigo natural. Dessa forma, estudos que considerem o efeito da temperatura sobre as respostas funcional e numérica de parasitoides são fundamentais para otimizar estratégias de manejo e prever a performance desses inimigos naturais em condições de campo.

PALAVRAS-CHAVE: Parasitoides, Controle Biológico, Temperatura, Inimigos Naturais.

Thermal conditions shape the functional and numerical response of parasitoids

ABSTRACT: The functional response of insect parasitoids describes the parasitism rate in relation to host density, while the numerical response expresses parasitoid population growth based on host availability; both are essential parameters for evaluating the efficacy of biological control agents. Understanding these responses allows the prediction of the natural enemies' performance in different settings, contributing to the planning and success of biological control programs. Among the factors that modulate those responses, the temperature is the most important abiotic element, directly affecting the physiology, behavior, and reproduction of parasitoids. Thermal variations can alter the attack rate, the searching capacity, the developmental time, and the fecundity of parasitoids, either compromising or boosting the efficacy of the natural enemy. Thus, studies that consider the possible effects of the temperature on the functional and numerical responses of parasitoids are fundamental to optimizing pest management strategies and foreseeing the performance of the natural enemies under field conditions.

KEYWORDS: Parasitoids, Biological Control, Temperature, Natural Enemies.

INTRODUÇÃO

O controle biológico é uma estratégia eficaz e sustentável dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP), baseada na ação de inimigos naturais, como predadores, parasitoides e patógenos, para regular populações de pragas em cultivos agrícolas e evitar prejuízo econômico para o produtor (MIRANDA et al., 2023). Essa prática contribui para o equilíbrio ecológico de áreas cultivadas e para a redução do uso de agrotóxicos, sendo uma alternativa de manejo sustentável. Essa abordagem contribui para a preservação dos ecossistemas e manutenção da biodiversidade (FONTES & VALADARES-INGLIS, 2020).

Embora o uso do controle biológico seja antigo, datando do século III na China, quando formigas predadoras eram empregadas em pomares de citros para manejo de pragas (BATISTA FILHO, 1989), no Brasil o primeiro caso de sucesso foi com a introdução de parasitoides exóticos, *Prospaltella (Encarsia) berlesei* Howard (Hymenoptera: Aphelinidae), no programa de controle biológico clássico da cochonilha-do-pessegueiro, *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni Tozzetti) (Hemiptera: Diaspididae), em 1921 no Rio Grande do SUL (PARRA et al., 2002).

O parasitismo em insetos foi inicialmente descrito por Lu Dian, em 1069, ao relatar moscas da família Tachinidae parasitando o bicho-da-seda *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). No entanto, o primeiro registro chinês contendo uma descrição correta do ciclo de vida de um parasitoide surgiu apenas em 1704 (FONTES & VALADARES-INGLIS, 2020), mais de seis séculos após a primeira observação. Esse longo intervalo evidencia a complexidade envolvida na compreensão desse tipo de interação biológica. Além disso, a utilização de insetos parasitoides consolidou-se como uma ferramenta eficaz de manejo a partir da década de 1980, com o início das liberações aumentativas em diferentes culturas agrícolas. Entre os exemplos mais relevantes estão o uso de *Cotesia flavipes* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae) para o controle de *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) na cana-de-açúcar, *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para o controle de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) no tomate, *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para o controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no milho e *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae) para o controle de *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) na soja (MONDIN, 2022).

Muitas espécies de parasitoides destacam-se pelo papel essencial no controle biológico de pragas agrícolas, tais como: o parasitoide *Aphytis hispanicus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae), o qual parasita a cochonilha *Parlatoria cinerea* (Targioni Tozzetti) (Hemiptera: Diaspididae) em citros; *Proacrasis coffeae* (Waterston) (Hymenoptera: Aphelinidae) que ataca o bicho-mineiro-do-cafeeiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae); *Prorops nasuta* Waterston (Hymenoptera: Bethylidae) parasita a broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae); *Campoletis sonorensis* (Cameron) (Hymenoptera: Ichneumonidae) atua sobre as lagartas *Heliothis virescens* (Fabricius) e *Heliothis zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) em algodão e tomate; e *Apanteles glomeratus* (Linnaeus) (Hymenoptera: Braconidae) é eficaz contra o curuquerê-da-couve *Ascia monuste* (Cramer) (Lepidoptera: Pieridae). Esses exemplos evidenciam a ampla aplicação dos parasitoides como agentes de controle biológico em diferentes culturas (GRAVENA, 1992).

Os insetos parasitoides são aqueles que vivem sobre ou dentro do hospedeiro, e podem ser classificados de acordo com a fase de desenvolvimento do hospedeiro que atacam (ex. ovo, larva, pupa ou adulto), bem como sua estratégia de vida (ex. idiobionte e cenobionte), e seu nível de especialização no hospedeiro (ex. especialistas e generalistas) (PARRA et al., 2002). Dessa forma, podemos ter diferentes espécies de parasitoides para controlar a mesma praga, a depender do seu estágio de vida, e isso é bastante favorável para o manejo, visto que se uma fase da praga escapar ao controle, as fases subsequentes podem ser controladas por outras espécies de

parasitoides, que parasitam o mesmo hospedeiro, a exemplo da broca-da-cana-de-açúcar, *D. saccharalis* que pode ser controlada na fase de ovo por *Trichogramma galloii* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), na fase de larva por *C. flavipes*, e na fase de pupa por *Tetrastichus howardi* (Ogloblin) (Hymenoptera: Encyrtidae) (BOTELHO et al., 1999; PEREIRA et al., 2015; MOLTER et al., 2023).

Um dos principais objetivos de estudos ecológicos básicos com parasitoides é identificar os atributos que conferem maior eficácia a essas espécies como agentes de biocontrole, possibilitando compreender os fatores determinantes de seu sucesso e, consequentemente, ampliar seu uso em programas de manejo integrado de pragas. Esses estudos contribuem para o aprimoramento e seleção de agentes no controle biológico clássico e aumentativo, consequentemente aumentando as chances de sucesso do programa (FERNÁNDEZ-ARHEX & CORLEY, 2003). Ademais, se faz necessário considerar uma série de fatores, entre eles as características biológicas dos agentes de controle e as condições ambientais, para que o controle biológico seja eficiente numa dada área. Nesse sentido, a avaliação da eficiência de parasitoides pode ser conduzida de forma prática por meio de dois parâmetros fundamentais: a resposta funcional (RF) e a resposta numérica (RN). A RF refere-se à capacidade de um inimigo natural de ajustar sua taxa de parasitismo ou predação em função do aumento da densidade de hospedeiros ou presas, enquanto a RN descreve a variação no crescimento populacional do parasitoide em resposta à disponibilidade de hospedeiros (VIEIRA, 1995). Esses parâmetros são amplamente utilizados para prever o desempenho de agentes de controle biológico em diferentes agroecossistemas. Por exemplo, Wiedenmann & Smith (2024) demonstram a relevância da avaliação conjunta da RF e RN para compreender a eficiência de *C. flavipes* no controle biológico de *D. saccharalis*. A resposta funcional, mostrou que *C. flavipes* mantém uma taxa constante de parasitismo mesmo em diferentes densidades do hospedeiro. Essa característica sugere uma capacidade estável de busca e ataque em condições naturais, sem saturação do parasitoide frente ao aumento da disponibilidade de hospedeiros. Além disso, a resposta numérica, representada pelo número médio de descendentes produzidos por hospedeiro parasitado e pela razão sexual favorável às fêmeas, evidenciou o potencial reprodutivo e a eficiência da espécie. Dessa forma, a análise conjunta dessas respostas é essencial para prever a dinâmica populacional do parasitoide e otimizar programas de controle biológico.

Também é possível destacar a relevância desses parâmetros a partir do estudo de Aguirre et al. (2024), que evidenciram como a análise conjunta da resposta funcional e da produção de ovos é fundamental para compreender o sucesso reprodutivo de *Anagyrus cachamai* Noyes & Schauf e *Anagyrus lapachosus* Noyes & Schauf (Hymenoptera: Encyrtidae) no controle biológico de *Hypogeococcus* sp. (Hemiptera: Pseudococcidae). A resposta funcional do tipo III observada nesses

parasitoides sugere que a eficiência de ataque depende não apenas da densidade do hospedeiro, mas também da experiência prévia da fêmea, refletindo processos de aprendizado associativo e memória de longo prazo. Entretanto, apesar de ambos os parasitoides serem sinovigênicos, a produção de ovos apresentou padrões distintos: em *A. cachamai*, a taxa de oviposição diminuiu com o aumento da idade da fêmea, enquanto em *A. lapachosus* essa taxa aumentou à medida que a fêmea envelheceu.

Embora a resposta funcional frequentemente receba maior atenção, Aguirre et al. (2024) expandem seu conceito ao incorporar a dinâmica de produção de ovos e a limitação de recursos reprodutivos (*egg limitation*). Esse enfoque mostra que o número de hospedeiros atacados não é determinado apenas pela experiência da fêmea, mas também pelo número de ovos disponíveis para oviposição. Ou seja, para estimar com precisão o potencial de controle de um parasitoide em campo, é essencial considerar não apenas a taxa de ataque, mas também a capacidade de gerar descendentes viáveis por hospedeiro.

Além disso, fatores ambientais podem modificar essas respostas, sendo a temperatura um dos elementos abióticos mais influentes (SANTANA et al., 2021). Temperaturas mais altas podem aumentar o metabolismo dos parasitoides, favorecendo a atividade de busca e o parasitismo; entretanto, temperaturas extremas, tanto elevadas quanto baixas, podem reduzir seu desempenho. Tais variações afetam diretamente a duração do desenvolvimento, a longevidade dos adultos, a taxa de reprodução e, consequentemente, a eficácia dos agentes de controle biológico no manejo de pragas (FERNANDES, 2018).

RESPOSTA COMPORTAMENTAL E RESPOSTA REPRODUTIVA DE INIMIGOS NATURAIS

A resposta funcional (RF), conforme proposta por Holling (1959), é uma resposta comportamental que expressa o número de presas ou hospedeiros consumidos por unidade de tempo em função de sua densidade ou abundância, fornecendo indicadores que permitem estimar e comparar o potencial de sucesso de predadores e parasitoides. Estudos de RF possibilitam determinar variáveis-chave, como a habilidade de busca, o tempo de manipulação e as taxas intrínsecas de ataque, em um intervalo específico de tempo e espaço (FARIA et al., 2000; CLEMENTE et al., 2024). Essas informações são essenciais para compreender o papel ecológico de um inimigo natural e para subsidiar estratégias mais eficientes de manejo integrado de pragas.

Holling (1959) classificou as respostas funcionais de predadores e parasitoides em três tipos. Na resposta do Tipo I, o consumo ou parasitismo aumenta linearmente com a densidade da presa/hospedeiro até atingir um platô, sem considerar o tempo de busca ou de manuseio da presa. Na resposta do Tipo II, a taxa de consumo cresce

de forma decrescente/desacelerada, como uma hipérbole, devido ao tempo de processamento, saciação ou limitações de ovos, resultando na saturação da curva com o aumento da densidade da presa. Já na resposta do Tipo III, a curva é sigmóide, com uma rápida elevação do consumo/parasitismo em densidades intermediárias e estabilização em altas densidades, refletindo a capacidade de adaptação do predador/parasitoide às condições de oferta de alimento, bem como a saciação ou limitações de ovos.

As consequências associadas a cada tipo de resposta funcional diferem significativamente. Na resposta do tipo I, a taxa de ataque dos predadores permanece constante, independentemente da densidade do hospedeiro ou presa. Já a resposta do tipo II apresenta predação ou parasitismo com dependência inversa da densidade, ou seja, a taxa de ataque diminui à medida que a densidade do hospedeiro aumenta. Por sua vez, a resposta funcional do tipo III caracteriza-se pela dependência direta da densidade em baixas abundâncias de presas, conferindo potencial estabilizador às interações predador-presa e hospedeiro-parasitoide aumentando a capacidade do inimigo natural de regular a população da praga alvo. Ademais, Holling não apenas classificou padrões de consumo, mas também forneceu modelos matemáticos que são base para muitos estudos sobre interações ecológicas. A resposta funcional ajuda a explicar como predadores regulam populações de presas e os fatores comportamentais envolvidos, como a eficiência de busca e manuseio (HOLLING, 1959; JESCHKE et al., 2002).

Nesse contexto, a resposta funcional é um conceito fundamental para entender o papel dos parasitóides no controle biológico de praga. De acordo com Santana et al. (2021), a resposta funcional de um parasitóide expressa a taxa de ataque em diferentes densidades do hospedeiro, sendo determinante para definir sua eficiência na redução populacional da praga. Portanto, a classificação da resposta funcional nos tipos I, II e III, tem sido aplicada para caracterizar os parasitóides.

A resposta funcional do tipo II é predominante na maioria das espécies de parasitóides, caracterizando-se por uma diminuição gradual da taxa de parasitismo à medida que a densidade de hospedeiros aumenta (TAZEROUNI et al., 2019). Exemplos incluem *Trichogramma pintoi* Voegele & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) (TONGA et al., 2024), *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) sobre *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) (SULE et al., 2014) e *T. pretiosum* atacando ovos de *Trichoplusia ni* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (MILANEZ et al., 2018). De acordo com Khan (2016), parasitóides com resposta funcional do tipo II e III geralmente mostram mais resultados no controle biológico, pois apresentam taxas de ataque que saturam ou aumentam conforme a densidade do hospedeiro, respectivamente. Isso implica que parasitóides que apresentam uma resposta do tipo III, por exemplo,

podem estabilizar a população da praga ao aumentar seu consumo em altas densidades.

Embora menos frequente, a resposta funcional do tipo III também tem sido registrada em alguns parasitoides. A resposta funcional do tipo III apresenta um papel estabilizador em sistemas hospedeiro-parasitoide, como aqueles descritos pelo modelo de Nicholson-Bailey. Dessa forma, qualquer parasitoide que manifeste esse tipo de resposta possui potencial para regular de maneira eficaz a população do hospedeiro, contribuindo para o equilíbrio dinâmico entre os dois níveis tróficos (FERNÁNDEZ-ARHEX & CORLEY 2003; TAZEROUNI et al. 2019). Estudos recentes, como os realizados por pesquisadores do PROIMI-CONICET na Argentina, revelaram que certas espécies nativas de parasitoides, como *Ganaspis pelleranoi* (Brethes) (Hymenoptera: Encyrtidae), apresentam respostas funcionais do tipo III, o que sugere maior capacidade para controlar densidades elevadas de hospedeiros. Por outro lado, espécies como *Coptera haywardi* (Ogloblin) (Hymenoptera: Diapriidae) exibem resposta tipo II, com taxas de ataque se estabilizando em densidades altas, ainda adequadas para manejo biológico (NÚÑEZ-CAMPERO, 2025).

O tempo de busca e o tempo de manipulação são parâmetros críticos para entender uma resposta funcional em parasitoides, pois determinam a rapidez e eficiência com que o parasitóide consegue localizar, atacar, manipular e parasitar os hospedeiros. Esses fatores são extremamente usados para comparação específica e selecionados como mais promissores para o controle biológico (FERNÁNDEZ-ARHEX & CORLEY, 2003). O tipo de resposta funcional dos parasitoides e os valores de seus parâmetros, incluindo a eficiência de busca (a) e o tempo de manipulação (Th), são fatores determinantes para o sucesso em programas de controle biológico. A eficiência de busca e o tempo de manuseio exercem influência direta sobre a habilidade do parasitoide de explorar seu ambiente e maximizar o número de hospedeiros parasitados em um determinado intervalo temporal (TAZEROUNI et al. 2019). Tempos de manipulação reduzidos combinados com alta eficiência de busca permitem um aumento substancial na taxa de parasitismo, evidenciando a importância desses parâmetros na avaliação do desempenho ecológico dos agentes de controle. Esses parâmetros permitem comparar os desempenhos dos parasitoides sob diferentes condições experimentais, considerando variações do hospedeiro (espécie, tamanho e estágio), das condições ambientais (temperatura, umidade relativa e planta hospedeira) e do contexto de parasitismo (laboratório, semi-campo e campo). Compreender esses fatores é essencial, pois possibilita identificar variáveis que podem ser manipuladas para otimizar a eficiência do agente e incrementar a eficácia do controle biológico (FARIA, 2000).

Entretanto, a resposta funcional isoladamente não explica completamente os insucessos ou êxitos observados em programas de controle biológico. Além disso,

não há uma relação clara entre a forma da curva e o sucesso no controle, assim outros aspectos do comportamento do parasitoide merecem mais atenção para entender e prever o sucesso desses insetos como agentes de controle. Falhas, em um sentido amplo, estão frequentemente associadas a fatores operacionais, tais como o momento e a taxa de liberação, a qualidade e a quantidade de parasitoides disponibilizados, bem como eventos climáticos adversos. Além disso, o conceito de sucesso no controle biológico pode variar, dependendo dos níveis de supressão populacional alcançados e da escala espacial em que o programa é implementado (FERNÁNDEZ-ARHEX & CORLEY 2003).

Por sua vez, a resposta numérica é um parâmetro essencial para avaliar o crescimento populacional de parasitoides em relação à densidade do hospedeiro. Ela relaciona o número de descendentes produzidos do parasitoide em função da disponibilidade do hospedeiro (ZANUNCIO et al., 2013). Dessa forma, a resposta numérica é uma resposta reprodutiva do parasitoide. Essa resposta pode se manifestar através do aumento da taxa reprodutiva ou do deslocamento agregacional dos parasitoides para áreas com alta densidade de hospedeiros, apresentando geralmente um atraso temporal devido ao ciclo de reprodução (SOLOMON, 1949; HASSELL, 1978).

Embora tenha recebido menos atenção em estudos em comparação com a resposta funcional, essa métrica é fundamental para determinar o potencial de um agente de controle biológico em controlar a praga e se estabelecer no ambiente após liberação. Para o desenvolvimento de modelos de interação entre hospedeiro e parasitoide, bem como para a implementação de programas de criação em massa de parasitoides, é imprescindível dispor de dados biológicos básicos sobre essas espécies (ZANUNCIO et al., 2013). Por exemplo, *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando ovos de *E. kuehniella* apresenta um aumento na produção de descendentes à medida que a densidade de ovos aumenta, caracterizando uma resposta numérica positiva (GHAEMMAGHAM et al. 2022). De forma semelhante, *T. radiata*, parasitoide de *D. citri*, também apresenta incremento na produção de descendentes com o aumento da densidade de hospedeiros, evidenciando uma resposta numérica positiva (BERTOLLA, 2016).

A densidade de hospedeiros parasitados está intimamente ligada à capacidade das fêmeas de parasitoides de superar o sistema imunológico do hospedeiro, que frequentemente reage de forma imediata, principalmente por meio da produção de hemócitos capazes de encapsular os ovos do parasitoide, tornando-os inviáveis (SILVA et al., 2021). Essa resposta imune estabelece uma correlação direta com a densidade de parasitismo observada: mesmo que o parasitoide seja eficiente na oviposição, se os ovos forem encapsulados e inviabilizados, o parasitismo não se traduz em controle efetivo da praga, influenciando tanto a resposta funcional quanto a resposta numérica do parasitoide.

A principal diferença entre a resposta funcional e a numérica está em seus focos: enquanto a primeira examina mudanças na taxa de consumo individual do parasitoide, a segunda observa as mudanças populacionais do mesmo. Ambas respostas são fundamentais para compreender a dinâmica parasitoide-hospedeiro e os mecanismos que mantêm o equilíbrio ecológico (TURCHIN, 2003; BEGON et al., 2006), e conhecer as adaptações comportamentais dos inimigos naturais em altas e, principalmente, baixas densidades das pragas-alvos, sendo possível retardar ou até mesmo evitar um dano econômico utilizando-se estratégias baseadas nas adaptações dos agentes de controle biológico às diferentes densidades das pragas (SAMPAIO et al., 2001).

Finalmente, compreender tanto as respostas funcionais quanto as numéricas é vital para aplicações práticas em manejo ambiental e controle biológico. Pesquisas atuais continuam a aprimorar esses conceitos, incorporando aspectos como aprendizagem e complexidade trófica para melhorar previsões sobre a estabilidade dos ecossistemas (ABRAMS, 2000; KŘIVAN & DIEHL, 2005).

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA RF E RN DE INIMIGOS NATURAIS

A temperatura exerce papel fundamental na biologia dos insetos, influenciando diretamente seu desenvolvimento, sobrevivência e reprodução e, consequentemente, sua dinâmica populacional. Quando expostos a condições próximas dos limites térmicos mínimos ou máximos de tolerância, os insetos tendem a apresentar efeitos negativos em seu desempenho biológico. É importante considerar que diante do aumento de temperatura global os insetos para sobreviver e ter um bom desempenho reprodutivo precisam se adaptar a essas novas condições, e se tratando de controle biológico, essas mudanças climáticas podem refletir em uma pior eficiência dos inimigos naturais nos agroecossistemas (CARMO et al., 2024).

De acordo com Lemes (2024), a temperatura constitui o principal fator que afeta a eficiência dos inimigos naturais, influenciando diretamente a duração do desenvolvimento embrionário. Esse fator pode acelerar ou retardar o desenvolvimento, conforme a exposição a altas ou baixas temperaturas, respectivamente, podendo até mesmo inviabilizar o desenvolvimento dos embriões em condições extremas de frio.

Diversos autores sugerem que as variações de temperatura podem reduzir a reprodução de insetos ao afetarem negativamente a gametogênese masculina, ocasionando redução do volume testicular, da produção e da viabilidade espermática. Esses efeitos foram observados em diferentes ordens, como *Diptera* (WANG et al., 2022), *Coleoptera* (SALES et al., 2021) e *Hymenoptera* (NGUYEN et al., 2016; PINO et al., 2013). Em geral, o estresse térmico elevado compromete a integridade dos

testículos e a espermatogênese, podendo levar à esterilidade parcial ou total dos machos, o que impacta diretamente a taxa reprodutiva das populações. Além disso, temperaturas elevadas podem modificar o ambiente celular, provocando a desnaturação de proteínas, o que, por sua vez, ocasiona danos à molécula de DNA ou às enzimas. Esses efeitos acarretam a formação de substâncias tóxicas que culminam na morte do inseto (RODRIGUES et al., 2004).

Inimigos naturais criados em insetários são cuidadosamente produzidos sob condições ambientais controladas, visando à maximização da produção (número de indivíduos férteis) no menor tempo possível (RAMALHO ET AL., 2012; DINDO & DE CLERCQ, 2019; BITTAU et al., 2021; PARRA & COELHO JR., 2022;). Entretanto, quando esses inimigos naturais forem liberados em campo, eles irão encontrar condições de temperatura variáveis e distintas daquelas das biofábricas e essas variações podem afetar sua eficiência de controle da praga alvo, tanto do ponto de vista da resposta funcional (ex. número de hospedeiros parasitados ou presas consumidas) como da resposta numérica (ex. capacidade reprodutiva e de estabelecimento) do inimigo natural após liberação.

Nesse contexto, em condições de laboratório, é possível avaliar de forma controlada o impacto de diferentes temperaturas sobre esses organismos, permitindo a obtenção de variáveis ecológicas essenciais para a compreensão de sua dinâmica populacional, como a razão finita de crescimento (λ) e a taxa líquida reprodutiva (r), as quais são parâmetros da tabela de vida de fertilidade que refletem o potencial reprodutivo das espécies naquelas condições (OLIVERIA et al., 2021; KHAN et al., 2022; PEREIRA et al., 2023)

Temperaturas mais altas podem aumentar o metabolismo dos inimigos naturais, favorecendo a atividade de busca e o parasitismo; entretanto, condições térmicas extremas, tanto elevadas quanto baixas, podem comprometer seu desempenho (FERNANDES, 2018; CARMO et al., 2024). Tais variações influenciam diretamente a duração do desenvolvimento, a longevidade dos adultos, a taxa de reprodução e, consequentemente, a eficácia dos agentes de controle biológico no manejo de pragas (FERNANDES, 2018). Por exemplo, no controle de *S. frugiperda*, Yan et al. (2021) observaram que *T. howardi* completou seu ciclo em diferentes temperaturas (18, 22, 26, 30 e 34 °C). No entanto, a maior taxa de parasitismo (72,67%) e a maior taxa líquida de reprodução (R_0 : 56,35) desse parasitoide foram registradas apenas a 26 °C. Em outro estudo, ovos de *T. pretiosum* submetidos a temperaturas extremas, como 17 °C e 30 °C, apresentaram baixa viabilidade, indicando que tanto temperaturas baixas quanto elevadas comprometem a sobrevivência inicial do parasitoide e, consequentemente, sua eficácia como agente de controle biológico. Por outro lado, temperaturas intermediárias, como 25 °C e 28 °C, favoreceram o desenvolvimento embrionário e a eclosão das larvas, mantendo maior viabilidade. Esses resultados

reforçam que existe uma faixa ótima de temperatura para o crescimento e a atividade de *T. pretiosum*, evidenciando a importância de avaliar cuidadosamente a influência térmica nas respostas funcional e numérica, pois ela pode determinar o sucesso de programas de controle biológico em condições reais de campo (PRATISSOLI & PARRA 2000).

Menon et al. (2002) estudando o parasitoide *Anisopteromalus calandrae* (Howard) (Hymenoptera: Pteromalidae) de *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae), demonstraram que o comportamento desse inimigo natural pode ser significativamente influenciado pelo regime de temperatura e pela densidade de hospedeiros disponíveis. Os autores observaram que a taxa de busca aumentou tanto com o incremento da temperatura quanto com a elevação da densidade do hospedeiro. A 35 °C, por exemplo, o número máximo de larvas parasitadas chegou a 15 em um período de 24 horas, enquanto a 20 °C esse valor foi reduzido para apenas duas larvas parasitadas no mesmo intervalo de tempo.

Visando avaliar a influência da temperatura na formação de múmias de *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) parasitadas por *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae), Rodrigues et al. (2004) observaram que as taxas de parasitismo variaram conforme a temperatura: 76% a 15°C, 68% a 20°C, 65% a 25°C e 40% a 30°C. Esses resultados indicam que temperaturas mais baixas favoreceram maior eficiência do parasitoide, enquanto condições mais elevadas reduziram significativamente o sucesso de parasitismo, ressaltando a importância de se considerar a influência térmica na avaliação da eficácia de agentes de controle biológico.

Em outro estudo avaliando a taxa de parasitismo em função da temperatura, observou-se que o parasitoide *T. howardi* foi capaz de parasitar em todas as temperaturas testadas (18, 22, 26, 30 e 34°C). Entretanto, a taxa de parasitismo apresentou aumento com a elevação da temperatura, alcançando o máximo a 26°C, seguida de declínio com temperaturas superiores. A menor taxa de parasitismo foi registrada a 18°C, faixa na qual também se verificou a menor emergência dos parasitoides (YAN 2021). Esses resultados indicam que temperaturas fora da faixa ideal (mais altas ou mais baixas) são desfavoráveis à atividade de *T. howardi*, evidenciando a importância de se considerar a influência térmica na eficiência de parasitoides em programas de controle biológico.

Embora as maiores taxas de parasitismo estejam associadas a temperaturas intermediárias, como 25°C, é possível notar que alguns insetos podem apresentar desempenho superior em condições mais frias, reforçando a relevância de sua utilização em épocas do ano com temperaturas mais baixas. Isso é particularmente relevante porque demonstra que a temperatura exerce efeitos distintos sobre a

sobrevivência e a capacidade de parasitismo de parasitoides. Em outras palavras, condições mais quentes podem maximizar a eficiência de parasitismo em curto prazo, enquanto temperaturas mais baixas prolongam a longevidade, mas reduzem drasticamente o potencial de controle biológico (SKOVGÅRD & NACHMAN, 2016). Assim, compreender essa dualidade é essencial para o uso estratégico de parasitoides em programas de manejo integrado, uma vez que o sucesso do controle dependerá da compatibilidade entre a biologia do inimigo natural e as condições térmicas do ambiente de cultivo.

Dessa forma, a influência da temperatura pode ser explorada como ferramenta preditiva das interações entre inimigos naturais e seus hospedeiros-praga, além de auxiliar na definição das condições ideais para a criação massal desses agentes de controle em condições controladas. viabilizando por exemplo, o planejamento de estratégias voltadas tanto para a aceleração ou retardamento do desenvolvimento quanto para o armazenamento prolongado dos inimigos naturais em condições de temperatura reduzida. Por exemplo, fêmeas adultas de *A. calandrae* podem sobreviver por mais de três meses a temperaturas de 15 °C, mesmo na ausência de hospedeiros. Contudo, nessas condições mais baixas, o potencial reprodutivo do parasitoide é reduzido a zero, o que limita sua contribuição para o controle populacional da praga. Isso indica que, embora temperaturas amenas favoreçam a longevidade do agente, não necessariamente garantem sua eficácia reprodutiva ou de controle.

Estudos com os parasitoides *Lariophagus testaceipes* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae) e *T. howardi* evidenciam que faixas térmicas intermediárias favorecem a viabilidade e a atividade de parasitismo, enquanto temperaturas extremas, tanto baixas quanto elevadas, comprometem o sucesso reprodutivo e o desempenho desses inimigos naturais. Logo, no controle biológico a influência da temperatura adquire importância prática, pois as liberações em campo só serão eficazes se os indivíduos produzidos em laboratório estiverem adaptados às condições ambientais da região de uso. Nesse contexto, estudos apontam que os inimigos naturais podem ser aclimatados à condições próximas as do local de liberação (campo ou telado) antes de soltura, visando garantir a sua sobrevivência e o sucesso de programas de controle biológico em ambientes naturais (CABRAL, 2021; CARMO et al., 2024).

Malinski et al., (2024) destacam que o sucesso dos parasitoides está ligado a mecanismos fisiológicos associados ao seu desenvolvimento e ao de seus hospedeiros, os quais podem ser comprometidos por eventos de alta temperatura. Condições extremas reduzem a sobrevivência, a atividade das fêmeas e o sucesso na oviposição, além de afetarem o desempenho da prole — incluindo desenvolvimento, emergência e sobrevivência — por meio de efeitos transgeracionais. Por exemplo, Valls et al. (2020) identificaram que *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Braconidae), que ataca o pulgão-da-ervilha *Acyrthosiphon pisum* (Harris) (Hemiptera: Aphididae),

apresenta redução no número de múmias produzidas quando exposta a um choque térmico de 38°C, em comparação ao controle sem tratamento. Esse efeito indica que o estresse térmico compromete o desempenho do parasitoide.

Outro ponto relevante são os limites térmicos do parasitóide e do hospedeiro, Shah et al. (2025) Verificou que os limites térmicos superiores dos parasitoides adultos foram menores que os das lagartas hospedeiras. Isso significa que, em ambientes mais quentes, os parasitoides são mais suscetíveis à mortalidade térmica ou à redução de atividade, enquanto o hospedeiro ainda se mantém ativo. Assim, aumentos súbitos de temperatura podem reduzir a sobrevivência e o desempenho dos inimigos naturais, limitando o controle biológico em situações de calor extremo. Por outro lado, Shah et al. (2025) ao simular as condições térmicas reais das folhas na copa dos álamos, observaram que o aquecimento climático pode beneficiar os parasitoides. Isso sugere que, em microambientes específicos, como o interior das galerias foliares, as temperaturas extremas podem ser amortecidas, proporcionando microclimas favoráveis aos parasitoides. Portanto, mesmo que o parasitóide apresente limites térmicos mais baixos em laboratório, o ambiente natural pode oferecer refúgios térmicos que mantêm sua atividade e eficácia de parasitismo.

CONCLUSÃO

A temperatura exerce influência determinante sobre o desenvolvimento, a sobrevivência, o comportamento e, consequentemente, a eficiência de parasitoides utilizados no controle biológico de pragas. Esses efeitos podem ser explicados pelos impactos fisiológicos da temperatura sobre processos celulares e metabólicos, incluindo a desnaturação de proteínas e alterações enzimáticas que afetam diretamente a sobrevivência e a taxa de parasitismo.

A compreensão das exigências térmicas de cada espécie permite não apenas otimizar a criação massal em laboratório, mas também determinar a melhor época e condições para liberação em campo, aumentando a eficiência do controle biológico. Assim, integrar o conhecimento sobre respostas funcionais e numéricas dos agentes de controle com fatores abióticos, como a temperatura, é essencial para a adoção de estratégias de manejo mais precisas, sustentáveis e eficazes, contribuindo para a redução do uso de agroquímicos e para o equilíbrio ecológico nos agroecossistemas.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, P. A. The evolution of predator-prey interactions: theory and evidence. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 31, p. 79–105, 2000.

AGUIRRE, M., LOGARZO, G., TRIAPITSYN, S., DÍAZ-SOLTERO, H., HIGHT, S., BRUZZONE, O. A. Effect of egg production dynamics on the functional response of two parasitoids. *PLoS ONE*, v. 19, n. 3, p. e0283916–e0283916, 8 mar. 2024.

BATISTA FILHO, A. **Controle biológico e o manejo integrado de pragas**. Biológico, São Paulo, v. 55, p. 35-36, 1989.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology: From Individuals to Ecosystems**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.

BERTOLLA, P. V. **Respostas funcional e numérica de Tamarixia radiata (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae) com vistas ao controle de Diaphorina citri Kuwayama, 1907 (Hemiptera: Liviidae)**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agronômica), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 2016, 30 p.

BITTAU, B.; DINDO, M. L.; BURGIO, G.; SABBATINIPEVERIERI, G.; HOELMER, K. A.; ROVERSI, P. F.; MASETTI, A. Implementing mass rearing of *Trissolcus japonicus* (Hymenoptera: Scelionidae) on coldstored host eggs. *Insects*, v. 12, n. 9, art. 840, 2021.

BOTELHO, P. S. M., PARRA, J. R. P., CHAGAS NETO, J. F. Das, OLIVEIRA, C.P.B. **Associação do parasitóide de ovos Trichogramma galloii Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e do parasitóide larval Cotesia flavipes (Cam.) (Hymenoptera: Braconidae) no controle de Diatraea saccharalis, (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar**. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, v. 28, n. 3, p. 491–496, 1999..

CABRAL, E. de O. Qualidade de população de campo do parasitoide *Cotesia flavipes* Cameron, 1891 (Hymenoptera: Braconidae). Dissertação (Mestrado) – Universidade de Franca, Franca, 2021. 52 p.

CARMO, E. B. S., SILVA-TORRES, C. S. A., TORRES, J. B. Reproductive response of the predator *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) to temperatures outside their ideal thermal range. *Bulletin of Entomological Research*, v. 114, n.5, p. 691–698, 2024.

CLEMENTE, G.; TOLEDO, J.; PÉREZ-LACHAUD, G.; VALLE-MORA, J. F.; LIEDO, P.; MONTOYA, P. Functional response and mutual interference in the parasitoid *Coptera haywardi* (Ogloblin) (Hymenoptera: Diapriidae) attacking *Anastrepha ludens* (Loew) (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, v. 114, p. 22–29, 2024.

DINDO, M. L.; REZAEI, M.; DE CLERCQ, P. Improvements in the rearing of the tachinid parasitoid *Exorista larvarum* (Diptera: Tachinidae): Influence of adult food on female longevity and reproduction capacity. *Journal of Insect Science*, v. 19, n. 2, p. 6, 2019.

FARIA, C. A.; TORRES, J. B.; FARIAS, A. M. I. Resposta funcional de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando ovos de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): efeito da idade do hospedeiro. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, v. 29, p. 85–93, 2000.

FERNANDES, E. C. Aspectos bioecológicos de parasitoides (Hymenoptera) da mosca-dos-mediterrâneo (Diptera: Tephritidae). Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018. 92 p.

FERNÁNDEZ-ARHEX, V.; CORLEY, J. C. A resposta funcional de parasitoides e suas implicações para o controle biológico. *Biocontrol Science and Technology*, v. 13, n. 4, p. 403–413, 2003.

FONTES, E. M. G. & VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília: Embrapa, 2020.

GHAEMMAGHAM, E.; FATHIPOUR, Y.; BAGHERI, A.; TALEBI, A. A.; REDDY, G. V. P. Changes in Functional and Numerical Responses of the Parasitoid Wasp *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Over 45 Generations of Rearing on *Ephestia kuhniella*. *Annals of the Entomological Society of America*, v. 115, n. 4, p. 326–335, 2022.

GRAVENA, S. **Controle Biológico no Manejo Integrado de Pragas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.27, s/n, p.281-299, 1992.

HASSELL, M. P. *The Dynamics of Arthropod Predator-Prey Systems*. Princeton: Princeton University Press, 1978.

HOLLING, C. S. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European Pine Sawfly. *The Canadian Entomologist*, v. 91, p. 293–320, 1959.

JESCHKE, J. M.; KOPP, M.; TOLLRIAN, R. Predator functional responses: discriminating between handling and digesting prey. *Ecological Monographs*, v. 72, n. 1, p. 95–112, 2002.

KHAN, J.; KHAN, A.; AHMED, N.; ALHAG, S. K.; ALMADI, A. A.; SAYED, S.; ALAM, P.; ULLAH, F. Age and stagespecific life table parameters of *Harmonia dimidiata* (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) at different temperatures. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 32, p. 10, 2022.

KHAN, M. A. Z.; LIANG, Q.; MUÑOZ SAN MARTIN, M.; LIU, T.-X. Effect of temperature on functional response of *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Florida Entomologist*, v. 99, n. 4, p. 696702, 2016.

KŘIVAN, V.; DIEHL, S. Adaptive foraging and population dynamics in predator-prey systems. *Theoretical Population Biology*, v. 67, n. 3, p. 257–269, 2005.

LEMES, I. G. Influência da temperatura no desenvolvimento de bicho-liceiro *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2024. 20 p.

MALINSKI, K. H.; MOORE, M. E.; KINGSOLVER, J. G. Heat stress and host-parasitoid interactions: lessons and opportunities in a changing climate. *Current Opinion in Insect Science*, v. 64, p. 101225–101225, 25 jun. 2024.

MENON, A.; FLINN, P. W.; DOVER, B. A. Influence of temperature on the functional response of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae), a parasitoid of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Stored Products Research*, v. 38, n. 5, p. 463–469, 2002.

MILANEZ, A. M.; CARVALHO, J. DE R.; LIMA, V. L. S.; PRATISSOLI, D. **Functional response of *Trichogramma pretiosum* on *Trichoplusia ni* eggs at different temperatures and egg densities.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 5, p. 641–645, 2018.

MIRANDA, H. R. N.; SOUSA, E. S. B.; SANTANA, G. de G. Controle biológico: combate de pragas de forma sustentável na fase vegetativa do milho. *Facit Business and Technology Journal*, v. 2, p. 328–342, 2023.

MOLTER, A., BEZERRA, J. I. M., RAFIKOVA, E., NAVA, D. E., RAFIKOV, M. Dynamics and biological control of the sugarcane borer with two parasitoids. *Ecological Modelling*, v. 481, p. 110371–110371, 5 abr. 2023.

MONDIN, M. Biológicos na agricultura. Piracicaba, SP: Pecege Editora, 2022.

NGUYEN, T. M.; MATHER, N. E.; BULL, J. C. Effects of heat stress on male fertility in the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Insect Physiology*, v. 95, p. 1–9, 2016.

NÚÑEZ-CAMPERO, S. R., SUÁREZ, L. D .C., MELLO, F. R. G., CANCINO, J., MONTOYA, P., OVRUSKI, S. M. Insights into the Functional Responses of Four Neotropical-Native Parasitoids to Enhance Their Role as Biocontrol Agents Against *Anastrepha fraterculus* Pest Populations. *Insects*, v. 16, n. 9, p. 1-14, 2025

OLIVEIRA, C. M.; TORRES, C. S. A.; TORRES, J. B.; SILVA, G. S. Estimation of population growth for two species of lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) under different temperatures. *Biocontrol Science and Technology*, v. 31, n. 8, p. 825838, 2021.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÉA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. (org.). **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. 609 p. ISBN 85-204-1554-7.

PARRA, J. R. P.; COELHO JÚNIOR, A. Insect rearing techniques for biological control programs, a component of sustainable agriculture in Brazil. **Insects**, v. 13, n. 1, art. 105, 2022.

PEREIRA, F. F., KASSAB, S. O., CALADO, V. R. F., VARGAS, E. L., OLIVEIRA, H. N. DE, ZANUNCIO, J. C. Parasitism and emergence of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) larvae, pupae and adults. **Florida Entomologist**, p. 377–380, 2015.

PEREIRA, F. P.; DINIZ, A. J. F.; PARRA, J. R. P. Fertility life table, thermal requirements, and ecological zoning of *Anthonomus grandis grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) in Brazil. **Insects**, v. 14, n. 7, art. 582, 2023.

PINO, A.; DE LA PEÑA, E.; MINGUELA, M. Heat stress affects male reproduction in a parasitoid wasp. **Journal of Thermal Biology**, v. 38, p. 101–107, 2013.

PRATISSOLI, D. & PARRA, J. R. P. Desenvolvimento e exigências térmicas de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) criados em ovos de *Tuta absoluta* (Meyrick) e *Phthorimaea operculella* (Zeller). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2153–2160, 2000.

RAMALHO, D. G.; VIEL, S. R.; VACARI, A. M.; DE BORTOLI, S. A.; LOPES, M. M.; LAURENTIS, V. L.; VEIGA, A. C. P. Criteria for optimization of mass rearing of the parasitoid *Cotesia flavipes* in the laboratory. **Journal of Research in Biology**, v. 2, n. 5, 2012.

RODRIGUES, S. M. M.; BUENO, V. H. P.; SAMPAIO, M. V.; SOGLIA, M. C. de M. Influência da temperatura no desenvolvimento e parasitismo de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) em *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 3, p. 341–346, 2004.

SALES, K.; VASUDEVAN, K.; GOMEZ-GONZALEZ, N. E. Experimental heatwaves compromise sperm function and cause transgenerational damage in a model insect. **Nature Communications**, v. 12, p. 6823, 2021. DOI: 10.1038/s41467-021-27067-5

SAMPAIO, M. V.; BUENO, V. H. P.; PÉREZ-MALUF, R. Parasitismo de *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) em diferentes densidades de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 30, p. 81–87, 2001.

SANTANA, M. L. G.; TEIXEIRA, V. W.; GUEDES, C. A.; CRUZ, G. S.; TEIXEIRA, C. S.; TEIXEIRA, Á. A. C.; MELO, J. W. S.; FRANÇA, S. M. de. **Resposta funcional em inimigos naturais e sua aplicação no manejo integrado de pragas**. Atena Editora, 2021. ISBN 978-65-5983-558-4.

SHAH, A. A.; Hamant, E.; Rubalcaba, J. G.; Larkin, B.; Forbes, A. A.; Woods, H. A. Contrasting effects of climate warming on hosts and parasitoids: insights from Rocky Mountain aspen leaf miners and their parasitoids. **Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences**, v. 292, 2025.

SILVA, A. L. R. **Resposta Funcional De *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) Sobre A Moscadas-Frutas *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)**. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia), Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2021, 45p.

SKOVGÅRD, H. & NACHMAN, G. Temperature- and Age-Dependent Survival, Development, and Oviposition Rates of the Pupal Parasitoid *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae). **Environmental Entomology**, v. 45, n. 4, p. 1063–1075, 2016.

SOLOMON, M. E. The natural control of animal populations. **Journal of Animal Ecology**, v. 18, n. 1, p. 1–35, 1949.

SULE, H.; MUHAMAD, R.; OMAR, D.; HEE, A.K-W. Parasitism rate, host stage preference and functional response of *Tamarixia radiata* on *Diaphorina citri*. **Int. J. Agric. Biol.**, v. 16, n. 4, p. 783–788, 2014.

TAZEROUNI, Z.; TALEBI, A. A.; REZAEI, M. Resposta funcional dos parasitóides: seu impacto no controle biológico. In: DONNELLY, E. (Ed.). Parasitóides: Biologia, Comportamento e Ecologia. Nova Iorque: Nova Inc., 2019. p. 35–58.

TONĞA, A.; Erkek, M.; Ali, J.; Fathipour, Y.; Özder, N. A comparative approach for life history and functional response demonstrates similar survival strategies for *Trichogramma evanescens* and *T. pintoi*. **Pest Management Science**, v. 80, n. 11, p. 5630–5639, 2024.

TURCHIN, Peter. **Complex Population Dynamics: A Theoretical/Empirical Synthesis**. Princeton; Oxford: Princeton University Press, 2003.

VALLS, A.; KRAL-O'BRIEN K.; KOPCO, J.; HARMON, J. P. Timing alters how a heat shock affects a host-parasitoid interaction. **Journal of Thermal Biology**, v. 90, p. 102596–102596, 15 abr. 2020.

VIEIRA, G. F. Resposta funcional e numérica de *Scymnus (Pullus) argentinicus* (Weise, 1906) (Coleoptera: Coccinellidae) a diferentes densidades do pulgão verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Homoptera: Aphididae). Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995. 69 p.

WANG, X.; ZHAO, X.; LI, Y. Impacts of non-lethal high-temperature stress on the development and reproductive organs of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). **Insects**, v. 13, n. 1, p. 74, 2022.

WIEDENMANN, R. N.; SMITH, J. W. J. Functional response of the parasite *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) at low densities of the host *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae). **Environmental entomology**, v. 22, n. 4, p. 849–858, 2024.

YAN, S.; SU, H.; LYU, B.; LU, H.; TANG, J.; ZHUO, C. de Z.; YANG, F. Effects of temperature and supplementary food on the development and fecundity of the Eulophid parasitoid *Tetrastichus howardi* on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). International Journal of Pest Management, v. 70, p. 146–157, 2021.

ZANUNCIO, J. C.; NETO, F. da C. M.; TAVARES, W. de S.; CRUZ, I.; LEITE, G. L. D.; SERRÃO, J. E. Functional and numerical responses and reproduction of *Campoletis flavicincta* parasitizing *Spodoptera frugiperda* caterpillars. *Acta Scientiarum Agronomia*, v. 35, p. 419–426, 2013.