

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**O que o futuro nos reserva? Efeito das mudanças
climáticas sobre a dinâmica populacional de pragas
agrícolas no Estado do Espírito Santo**

Fernanda de Freitas Gomes

Vitória, ES
Janeiro, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**O que o futuro nos reserva? Efeito das mudanças
climáticas sobre a dinâmica populacional de pragas
agrícolas no Estado do Espírito Santo**

Fernanda de Freitas Gomes

Orientador: Francisco Candido Cardoso Barreto

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Ciências Biológicas (Biologia Animal) da Universidade
Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a
obtenção do grau de Mestre em Biologia Animal**

**Vitória, ES
Janeiro, 2013**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família por estarem sempre presentes e compreenderem todas as etapas para que este trabalho fosse possível.

Ao meu orientador Francisco Barreto, que desde o início sempre me apoiou, acolhendo-me em seu laboratório antes mesmo que este estivesse fisicamente estabelecido. Pelas suas palavras de incentivo e por todo conhecimento que pude adquirir graças a essa oportunidade dada por ele. Pela amizade e convivência durante essa etapa.

Aos membros do Laboratório de Simulação e Modelagem Ecológica (Simulacrum), que acompanharam de perto esse projeto e me ajudaram bastante, cada um da sua maneira e em uma etapa diferente.

Aos meus amigos, que mesmo não entendo muito bem o motivo pelo qual escolhi trabalhar nessa área, sempre me apoiaram e aliviavam a tensão com momentos de descontração.

Ao Eduardo, que sempre me ajudou da melhor maneira que podia e fez os slides de Power Point mais belos que qualquer apresentação minha jamais teve na vida. Mas não só pelos slides, também pelas conversas, compreensão e conselhos que sempre me ajudaram muito.

Ao Victor, que foi um dos alicerces nessa jornada. Não só por ser da minha turma e ter passado pelos mesmos processos que eu, mas principalmente por ter se mostrado um grande amigo em todos os momentos em que precisei.

Ao meu namorado Vinicius, pelo amor, carinho, paciência e compreensão quando mais precisei. Sempre me ajudando no que podia e oferecendo palavras de conforto.

Aos membros da banca que, dedicando parte de seu precioso tempo, aceitaram avaliar este trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Ciência do Espírito Santo pela concessão da bolsa de mestrado.

Obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	02
LISTA DE FIGURAS.....	03
RESUMO.....	05
ABSTRACT	07
INTRODUÇÃO	08
MATERIAIS E MÉTODOS	12
RESULTADOS	15
DISCUSSÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
REFERÊNCIAS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
ANEXOS.....	36
ANEXO I – TABELAS	36
ANEXO II - SIMULAÇÕES EM LIGUAGEM S-PLUS.	38
Código em linguagem S-Plus utilizado na simulação de <i>T. absoluta</i>	38
Código em linguagem S-Plus utilizado na simulação de <i>S. cerealella</i>.....	40
Código em linguagem S-Plus utilizado na simulação de <i>T. pretiosum</i>.....	42
Código em linguagem S-Plus utilizado na simulação de <i>T. acacioi</i>.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela 1. Médias de Temperatura e Desvio Padrão para o estado do Espírito Santo no Presente, anos de 2020, 2050 e 2080.	17
Tabela 2 – Resultados do Teste de Wilcoxon	26
Tabela 3 - Tabela de vida de <i>Tuta absoluta</i>/Fontes: ¹Medeiros et al.2009; ²Desneux et al.2010; *Calculado com base nos dados obtidos.....	36
Tabela 4 -Tabela de vida de <i>Trichogramma pretiosum</i>. Fontes: ¹Pratissoli & Parra, 2000; ²Pratissoli et al., 2006; ³Calvin et al.,1984; ⁴Bleicher & Parra, 1990.....	36
Tabela 5 - Tabela de vida de <i>Sitotroga cerealella</i> Fontes: ¹ Hansen et al., 2004; ²Fleurat-Lessard et al., 2005.	37
Tabela 6 - Tabela de vida de <i>Trichogramma acacioi</i>. Fontes: Pratissoli et al., 2004; ²Pratissoli et al., 2005.....	37

LISTA DE FIGURAS

Gráfico 1 - Projeção do tempo de desenvolvimento de <i>Tuta absoluta</i> e <i>Trichogramma pretiosum</i> para o Presente, 2020, 2050 e 2080.	15
Gráfico 2 - Gráfico 2. Projeção do tempo de desenvolvimento de <i>Sitotroga cerealella</i> e <i>Trichogramma acacioi</i> para o Presente, 2020, 2050 e 2080.	16
Gráfico 3 - Gráfico 3. Projeção do número absoluto de indivíduos de <i>T. absoluta</i> para o Presente, 2020, 2050 e 2080.	17
Gráfico 4 - Gráfico 4. Projeção do número absoluto de indivíduos de <i>T. pretiosum</i> para o Presente, 2020, 2050 e 2080.	18
Gráfico 5 - Projeção do número absoluto de indivíduos de <i>S. cerealella</i> para o Presente, 2020, 2050 e 2080.	18
Gráfico 6 - Projeção do número absoluto de indivíduos de <i>T. acacioi</i> para o Presente, 2020, 2050 e 2080.	19
Gráfico 7 - Projeção do número absoluto de indivíduos de <i>T. absoluta</i> para o Presente e ano de 2080.	19
Gráfico 8 - Projeção do número absoluto de indivíduos de <i>S. cerealella</i> para o Presente e ano de 2080.	20
Gráfico 9 - Projeção do número absoluto de indivíduos de <i>T. pretiosum</i> para o Presente e ano de 2080.	20
Gráfico 10 - Projeção do número absoluto de indivíduos de <i>T. acacioi</i> para o Presente e ano de 2080.	21
Gráfico 11 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de <i>T. absoluta</i> e <i>T. pretiosum</i> para o Presente.	22
Gráfico 12 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de <i>S. cerealella</i> e <i>T. acacioi</i> para o Presente.	22
Gráfico 13 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de <i>T. absoluta</i> e <i>T. pretiosum</i> para o ano de 2020.	23
Gráfico 14 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de <i>T. absoluta</i> e <i>T. pretiosum</i> para o ano de 2050.	23
Gráfico 15 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de <i>T. absoluta</i> e <i>T. pretiosum</i> para o ano de 2080.	24

Gráfico 16 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de <i>S. cerealella</i> e <i>T. acacioi</i> para o ano de 2020.	24
Gráfico 17 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de <i>S. cerealella</i> e <i>T. acacioi</i> para o ano de 2050.	25
Gráfico 18 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de <i>S. cerealella</i> e <i>T. acacioi</i> para o ano de 2080.	25

RESUMO

As alterações atribuídas ao aquecimento global são um dos maiores problemas enfrentados pelas espécies atuais em nosso planeta, sendo a temperatura um fator que influencia nos insetos em suas taxas de crescimento, desenvolvimento e tamanho corporal, conseqüentemente influenciando direta ou indiretamente sua sobrevivência, reprodução e movimento. Conforme a temperatura aumenta, o tempo de desenvolvimento diminui progressivamente. Com base nesse conceito, uma abordagem comum para modelar os efeitos da temperatura sobre o desenvolvimento de insetos é converter o seu tempo de desenvolvimento através do uso de Graus-dia. Utilizando-se dados sobre as médias de temperaturas mensais como variáveis independentes, podemos examinar a variação de atributos fisiológicos de organismos vivos através de modelos matemáticos. Hospedeiros e parasitóides possuem uma relação refinada de acoplamento fisiológico, de maneira que com a mudança de temperatura, a eficiência no controle de pragas por parte do parasitóide pode ser comprometida. Estudos avaliando o impacto da temperatura na biologia de *Trichogramma* podem ajudar a aumentar o estabelecimento e eficácia desses inimigos naturais em ecossistemas agrícolas. Dessa forma, um aumento esperado da temperatura do Espírito Santo, onde o agronegócio corresponde a 80% da atividade econômica, pode causar desestabilizações entre as dinâmicas populacionais de insetos causadores de danos em lavouras e às espécies de vespas parasitóides que as regulam. As espécies *Tuta absoluta*, *Sitotroga cerealella*, *Trichogramma pretiosum* e *Trichogramma acacioi* foram escolhidas com o objetivo de simular como as mudanças climáticas afetam a dinâmica populacional desses insetos para o presente, 2020, 2050 e 2080. Através de dados biológicos dessas espécies, foram gerados perfis do tempo fisiológico, comprovando a calibragem fisiológica entre o sistema Hospedeiro-Parasitóide; e simulações de dinâmica populacional projetando o presente e futuro. Tratando-se do Espírito Santo, é previsto que ocorra um aumento da temperatura em 2080 variando de 0,1 a 0,8°C em relação ao presente. *T. absoluta* e seu parasitóide *T. pretiosum* possuem um padrão entre suas densidades populacionais durante o presente, porém, para o futuro, a sincronia entre as densidades populacionais se perdem. Para *S. cerealella* e *T. acacioi*, não é possível identificar um padrão entre as populações de hospedeiro e parasitóide visto que a população de *S. cerealella* não sofre influência da

temperatura. As evidências do presente trabalho mostram que as variações de temperatura causaram efeito maior sobre as populações dos parasitóides do que as de hospedeiros.

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

ABSTRACT

The changes attributed to global warming are one of the biggest problems faced by current species on our planet, and temperature is a factor that influences the insects in their rates of growth, development and body size, thus directly or indirectly influencing their survival, reproduction and movement. As temperature increases, the development time decreases progressively. Based on this concept, a common approach for modeling the effects of temperature on development of insects is converting development time by using Degree-Days. Using average monthly temperatures data as independent variables, we can examine the variation in physiological attributes of living organisms by using mathematical models. Hosts and parasitoids have a refined coupling physiological relationship, in order that, if temperature changes, the efficiency of pest control by the parasitoid may be compromised. Studies evaluating the impact of temperature on the biology of *Trichogramma* can help increase the establishment and effectiveness of these natural enemies in agricultural ecosystems. Thus, an expected increase in temperature in the state of the Espírito Santo, where agribusiness accounts for 80% of economic activity, can cause destabilization among the population dynamics of insects that cause damage to crops and species of parasitoid wasps that regulate them. The species *Tuta absoluta*, *Sitotroga cerealella*, *Trichogramma pretiosum* e *Trichogramma acacioi* were chosen to simulate how changes in climate affect the population dynamics of these insects to the present, 2020, 2050 and 2080. Using biological data of these species, were generated physiological time models, proving the physiological calibration between the system Host-Parasitoid; and population dynamics simulations projecting the present and future. In the case of Espírito Santo, is expected to occur an increase in temperature in 2080 ranged from 0,1 to 0,8°C comparing to present. *T. absoluta* and its parasitoid *T. pretiosum* have a pattern among their population densities in the present, but, for the future, the synchrony between the population densities is lost. To *S. cerealella* and *T. acacioi*, it is not possible to identify a pattern between hosts and parasitoids populations, since the population of *S. cerealella* is not influenced by temperature. The evidence of this study show that variations in temperature caused greater effect on populations of parasitoids than hosts.

INTRODUÇÃO

As alterações atribuídas ao aquecimento global são um dos maiores problemas enfrentados pelas espécies atuais em nosso planeta (Thuiller, 2007). Devido à magnitude e abrangência em que as mudanças nos padrões de temperatura e de precipitação global atuam, são previstos grandes impactos à biodiversidade, como a diminuição de áreas adequadas à ocorrência ou permanência de determinadas espécies, causando um provável aumento na frequência de extinções (Barnosky, et al. 2011), ou aumento da área de ocorrência de outras, o que aumentaria a probabilidade de surgimento ou disseminação de espécies invasoras (Prach e Walker, 2011).

Os insetos respondem de forma rápida a mudanças nas condições climáticas, sendo a temperatura um fator que influencia em suas taxas de crescimento (ganhos em massa), nas suas taxas de desenvolvimento (progressão através de estágios de vida) e sobre o tamanho corporal final, o que pode conseqüentemente influenciar direta ou indiretamente sua sobrevivência, reprodução e movimento (Speight, et al. 2008). Conforme a temperatura aumenta, o tempo de desenvolvimento diminui progressivamente até que a temperatura torne-se alta o suficiente para afetar este crescimento e desenvolvimento negativamente. Com esse aumento de temperatura, o tempo necessário para o desenvolvimento diminui, mas o calor necessário para completar o desenvolvimento é aproximadamente o mesmo (Wilson e Barnett, 1983).

Tais variações de temperatura experimentadas durante o tempo de vida do organismo podem ser resumidas em um único valor de grande utilidade para compreensão de certos processos de desenvolvimento, o número de “graus-dia”, que, em última instância, mede o “tempo fisiológico” de crescimento dos organismos combinando o tempo e a temperatura ambiente. Graus-dia acumulados representam o número de graus, acima de uma determinada temperatura, que o organismo necessita para seu desenvolvimento (Higley, 1987).

Segundo Melo et al., 2006, o cálculo dos graus-dia leva em conta o fato de cada organismo apresentar seu crescimento dentro de um determinado intervalo de temperaturas (temperatura mínima e temperatura máxima de crescimento). A temperatura mínima, na qual abaixo da mesma nenhum desenvolvimento ocorre, é denominada “Temperatura base inferior de crescimento (*T_b*)” e, a temperatura máxima de crescimento do organismo como “Temperatura base superior de crescimento (*T_{sup}*)”. Dessa forma, entende-se que o

crescimento do organismo ocorre de maneira positiva quando correlacionado com o aumento da temperatura do meio até a temperatura T_{sup} . Estes limiares (T_b e T_{sup}) são determinados experimentalmente e variam de espécie para espécie, assim como o valor da constante térmica (K) do organismo, que nada mais é do que a quantidade de graus-dia acumulados necessários para que o organismo passe de uma fase a outra.

Com base nessas informações, é possível determinar como as mudanças climáticas podem afetar a abundância de populações de insetos medindo como as espécies reagem de forma independente da comunidade no qual são componentes. Segundo Damos e Savopoulou-Soultani (2011), uma abordagem comum para modelar os efeitos da temperatura sobre o desenvolvimento de insetos é converter o seu tempo de desenvolvimento. Esta transformação simples é usada para revelar o tipo de relação entre a temperatura e velocidade de desenvolvimento, permitindo a determinação de dois parâmetros vitais do desenvolvimento, que são a constante térmica e a temperatura base inferior de desenvolvimento. A constante térmica proporciona uma medida alternativa do tempo fisiológico necessário para a conclusão de um processo ou de um acontecimento particular de desenvolvimento.

A determinação das exigências térmicas vitais de insetos específicos fornece evidências para inferir sobre observadas distribuições geográficas e prever dinâmica futura (Damos e Savopoulou-Soultani, 2011). Devido a sua disponibilidade e fácil acesso, dados sobre as médias de temperaturas mensais e anuais são regularmente utilizados como variáveis independentes para examinar através dos modelos a variação de atributos fisiológicos de organismos vivos (Chown e Terblanche, 2006).

Dentre as condições necessárias para obter-se um sistema hospedeiro-parasitóide estável assume-se que a duração do desenvolvimento do parasitóide seja de 0.5 a 1.5 vezes a duração do desenvolvimento do seu hospedeiro, e que o desenvolvimento do juvenil de ambos seja mais longo do que o do adulto. Uma mudança nessas taxas afetaria a dinâmica das interações hospedeiro-parasitóide (Hance, et al., 2007), de maneira que um aumento no tempo de desenvolvimento pode resultar em hospedeiros mais vulneráveis, caso possibilite o encontro entre parasitóide e ínstares do hospedeiro mais propensos ao parasitismo (Sequeira e Mackauer, 1994).

Segundo Thomson et al. (2010), em espécies multivoltinas, temperaturas mais elevadas podem permitir um crescimento no número de gerações por ano devido ao aumento na velocidade de desenvolvimento ou alterações no momento de eclosão dos ovos. Se, devido a uma maior resposta à temperatura, os parasitóides emergirem antes de seus hospedeiros,

uma população muito elevada de parasitóides pode causar diminuição acentuada nos hospedeiros, possibilitando extinção da população de parasitóides. No caso de baixa disponibilidade de hospedeiros ou do mesmo não se encontrar na fase vulnerável ao parasitismo, muitos parasitóides podem morrer antes de se reproduzirem, caracterizando desconexão entre parasitóide e hospedeiro proveniente do aumento da variabilidade climática. Além disso, a variabilidade climática pode influenciar a eficiência no controle de pragas por parte do parasitóide. Dados de campo sugerem que os parasitóides são mais sensíveis à variabilidade climática do que seus hospedeiros, e que este fato está possivelmente relacionado com a maior taxa intrínseca de crescimento populacional mostrada pelos hospedeiros seguida da mortalidade de ambos os grupos.

Dessa forma, entender como as variações de temperatura influenciam nas relações entre hospedeiros e parasitóides é essencial para que o controle biológico torne-se uma alternativa viável e eficiente. Essas interações biológicas entre pragas e seus inimigos naturais em meio agrícola podem ser usadas como estratégias para reduzir o uso de inseticidas (Ghini e Bettiol, 2000).

Tanto a temperatura quanto a espécie do hospedeiro podem impactar a capacidade de voo, parasitismo, longevidade, viabilidade e razão sexual dos parasitóides (Gutierrez, et al., 2007; Pandey e Tripathi, 2008). Espécies de parasitóides de ovos do gênero *Trichogramma*, por exemplo, podem controlar insetos praga em diferentes agrossistemas (Pratissoli et al., 2005a; Bueno et al., 2008; Faria et al., 2008). Visto que a temperatura pode modificar a dinâmica populacional dessas espécies e seu papel nas estratégias de controle biológico (Pratissoli et al., 2005b), estudos avaliando o impacto da temperatura na biologia de *Trichogramma* podem ajudar a aumentar o estabelecimento e eficácia desses inimigos naturais em ecossistemas agrícolas (Zilahi-Balogh et al., 2007).

No Espírito Santo, o agronegócio responde por cerca de 30% do PIB estadual e absorve aproximadamente 40% da população economicamente ativa, da qual 28% estão diretamente ligadas à produção. É a mais dinâmica atividade econômica para cerca 80% dos municípios capixabas¹. Dessa forma, um aumento esperado da temperatura do Espírito Santo pode causar desestabilizações entre as dinâmicas populacionais de insetos causadores de danos em lavouras e às espécies de vespas parasitóides que as regulam. Se esse pressuposto

¹ (em: <<http://www.incapr.es.gov.br/pedeag/diagnostico02>>. Acesso em: 05 janeiro 2013).

teórico se cumpre, é possível que no futuro ocorra um aumento da probabilidade de surtos populacionais de insetos praga. Entender como essas mudanças afetam a população de parasitóides é de importância fundamental e aplicada, especialmente quando prevendo surtos de pragas ou usando parasitóides em programas de controle biológico (Hance et. al., 2007).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar como as mudanças climáticas afetam a dinâmica populacional de duas pragas agrícolas e seus parasitóides, de acordo com as mudanças climáticas previstas para o estado do Espírito Santo no futuro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Escolha das espécies – Foram escolhidas espécies que ocorrem no estado do Espírito Santo, bem representadas na literatura e com vasto registro de dados biológicos essenciais para os inputs das simulações. São elas duas pragas agrícolas, a traça do tomateiro *Tuta absoluta* Meyrick 1917 (Lepidoptera: Gelechiidae), e a traça dos cereais *Sitotroga cerealella* Oliver 1789 (Lepidoptera: Gelechiidae). Como parasitóides dessas pragas, foram utilizadas duas espécies de *Trichogramma* (*Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 e *T. acacioi* Brun, Moraes & Soares, 1984). Espécies de *Trichogramma* estão entre os inimigos naturais mais utilizados e criados em todo o mundo, possuindo uma grande quantidade de estudos. Todos os anos, espécimes são liberados em mais de 16 milhões de hectares de culturas anuais e perenes (Hassan 1997). No mundo todo, 28 espécies de *Trichogramma* são liberados em 28 culturas (Hassan 1988). Estes estão entre os insetos mais estudados, com vários livros publicados sobre a sua eficiência no controle biológico (Wajnberg e Hassan 1994, Parra e Zucchi 1997).

Dados Biológicos – Foram utilizados dados provenientes de tabelas de vida obtidas de artigos científicos, através de extensa revisão bibliográfica realizada na base de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os parâmetros biológicos dos hospedeiros e parasitóides selecionados foram tabulados em planilhas eletrônicas (Anexo I), sendo eles: intervalo de idade (X); número de indivíduos de uma coorte vivos no início de cada intervalo de idade (nx); proporção de indivíduos sobreviventes no início de cada intervalo de idade (lx); número de indivíduos de uma coorte que morreram durante um intervalo de idade X até $X+1$ (dx); taxa finita de mortalidade durante o intervalo de idade de X até $X+1$ (qx); taxa finita de sobrevivência durante o intervalo de idade de X até $X+1$ (px); fecundidade (f); viabilidade dos estágios (%); duração média de geração (T); taxa de reprodução líquida (R_0); razão infinitesimal de aumento (r_m); razão finita de crescimento (λ); limiar térmico mínimo (T_0) e máximo (T_{max}) de desenvolvimento (expresso em °C); constante térmica (GD) (expressa em graus-dia). Quando não disponíveis, a fertilidade foi calculada com base em Gotelli (2009) e o cálculo de GD foi baseado na equação $K = H(T_0 - T_t)$ proposta por Gullan and Cranston (2005), onde K é a constante térmica expressa em graus-dia, H é o tempo de desenvolvimento, T é a temperatura do ambiente, T_t é a temperatura mínima do limiar de desenvolvimento.

Variáveis ambientais – Para as projeções atuais foram extraídas as médias das temperaturas mensais, em graus Celsius, sob a resolução espacial máxima de 30 segundos ($0,93 \times 0,93 = 0,86$ km no equador) (Tabela 1). Para as projeções futuras, foi selecionado o cenário de emissões A2A (resolução espacial de 30 segundos) para os anos 2020, 2050 e 2080 (Tabela 1), proveniente do Modelo de Circulação Geral HaDCM3, desenvolvido pelo Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Gordon et al., 2000). Este é um cenário pessimista, descrevendo um planeta altamente heterogêneo, com economias regionalmente orientadas. As principais forças motrizes são uma alta taxa de crescimento da população, aumento da utilização de energia, mudanças no uso da terra e mudança tecnológica lenta (Nakicenovic and Swart, 2000). Todas as camadas foram produzidas por Hijmans e colaboradores (2005), disponíveis pelo Worldclim em <http://www.worldclim.org>. Os dados climáticos de ambas as projeções foram extraídos através do programa Quantum GIS (QGIS) versão 1.8.0 “Lisboa” (Quantum GIS Development Team, 2012), que consiste em um software SIG livre.

Projeções do Presente e Futuro – Os dados compõem as tabelas de vida obtidas (Anexo I) foram manipulados em tabelas eletrônicas. Os dados biológicos utilizados nas projeções foram padronizados para todas as espécies nos estágios de ovo, larva e adulto. As tabelas foram padronizadas segundo Gotelli (2009), onde T representa a média do tempo de desenvolvimento (dias); R_0 representa a taxa de reprodução líquida (número de fêmeas geradas por fêmeas); r é a taxa infinitesimal de crescimento (indivíduo/indivíduo*tempo); λ como taxa de incremento finita (razão do tamanho da população entre dois intervalos de tempo); P_x como probabilidade de sobrevivência. T_b representa a temperatura base ($^{\circ}\text{C}$) e GD como constante térmica (graus-dia) (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

O perfil de tempo fisiológico foi gerado baseado na equação proposta por Gullan and Cranston (2005), e representado graficamente para ambas as espécies individualmente e em conjunto (sistema Hospedeiro-Parasitóide). O propósito foi calibrar os dados biológicos, verificando a existência de sincronia entre o tempo fisiológico dos hospedeiros e parasitóides, visto que os dados foram obtidos de diferentes fontes (Gráficos 1 e 2).

As simulações de dinâmica populacional, projeções do presente e dos cenários futuros foram desenvolvidas com auxílio de software específico, utilizando uma plataforma de simulação baseada na linguagem S-Plus, disponíveis no Anexo II. As fórmulas utilizadas nas simulações foram baseadas em Caswell (1989).

O perfil do número absoluto de indivíduos das populações de hospedeiros e parasitóides foi traçado para o presente, anos de 2020, 2050 e 2080, sendo todos representados graficamente (Gráficos 3 – 10). A partir dos gráficos individuais, foram gerados gráficos para as espécies em conjunto, compondo o sistema Hospedeiro-Parasitóide (Gráficos 11 – 18).

Análise estatística – Para testar se a variação observada entre as simulações de dinâmica populacional para o presente e o futuro foi diferente do acaso, foi aplicado um teste de comparação de médias. Como os dados referem-se ao número absoluto de indivíduos, foi aplicado o teste de Shapiro-wilk para verificar a normalidade dos dados. Foi adotado o teste de Wilcoxon (Tabela 2) como alternativa ao teste t, visto que todas as variáveis são não-normais ($p > 0.05$).

RESULTADOS

Projeções do Tempo de desenvolvimento – Através dos dados obtidos nas tabelas de vida, inseridos na equação proposta por Gullan and Cranston (2005), foram obtidas projeções do tempo fisiológico de cada uma das espécies de hospedeiro *T. absoluta* Meyrick e *S. cerealella* Oliver, e parasitóides *T. pretiosum* Riley e *T. acacioi* Brun, Moraes & Soares para o presente, 2020, 2050 e 2080 (Gráficos 1 e 2).

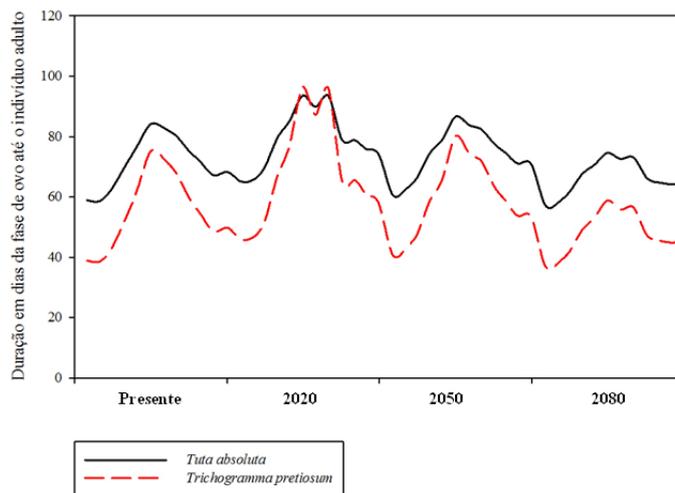


Gráfico 1 - Projeção do tempo de desenvolvimento de *Tuta absoluta* e *Trichogramma pretiosum* para o Presente, 2020, 2050 e 2080.

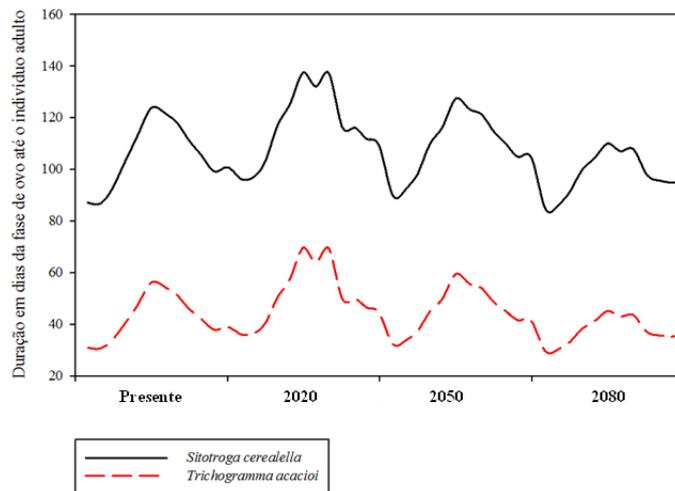


Gráfico 2 - Gráfico 2. Projeção do tempo de desenvolvimento de *Sitotroga cerealella* e *Trichogramma acacioi* para o Presente, 2020, 2050 e 2080.

Projeções do Presente e Futuro - Através das médias de temperatura do Presente e anos de 2020, 2050 e 2080 (Tabela 1), foram geradas 16 projeções do número absoluto de indivíduos para cada uma das espécies de hospedeiro *T. absoluta* Meyrick e *S. cerealella* Oliver, e parasitóides *T. pretiosum* Riley e *T. acacioi* Brun, Moraes & Soares. O Presente, ano de 2020, 2050 e 2080 foram representados em conjunto nos Gráficos 3 – 6.

Meses	Presente	2020	DP 2020	2050	DP 2050	2080	DP 2080
Janeiro	15.8	15	14.6	15.5	16.1	16	16.6
Fevereiro	15.8	15	15.6	15.4	16.0	15.9	16.6
Março	15.3	14.6	15.2	14.9	15.5	15.5	16.1
Abril	14.6	13.8	14.4	14.2	14.8	14.8	15.4
Mai	14	13.4	14.0	13.8	14.4	14.5	15.1
Junho	13.5	12.9	13.5	13.3	13.9	14.2	14.8
Julho	13.6	13.1	13.7	13.5	14.0	14.4	14.9
Agosto	13.8	13	13.5	13.6	14.1	14.3	14.9
Setembro	14.1	13.8	14.4	13.9	14.5	14.9	15.5
Outubro	14.5	13.8	14.4	14.2	14.8	15.1	15.7
Novembro	14.9	14.1	14.7	14.5	15.1	15.2	15.8
Dezembro	14.7	14.3	14.8	14.5	15.1	15.1	15.7

Tabela 1 - Tabela 1. Médias de Temperatura e Desvio Padrão para o estado do Espírito Santo no Presente, anos de 2020, 2050 e 2080.

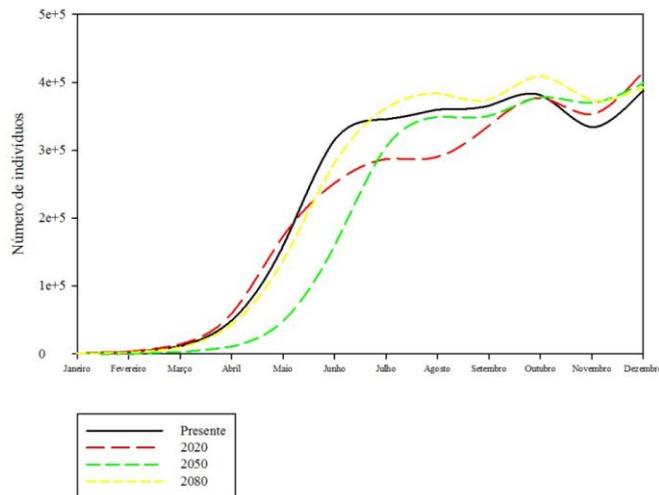


Gráfico 3 - Gráfico 3. Projeção do número absoluto de indivíduos de T. absoluta para o Presente, 2020, 2050 e 2080.

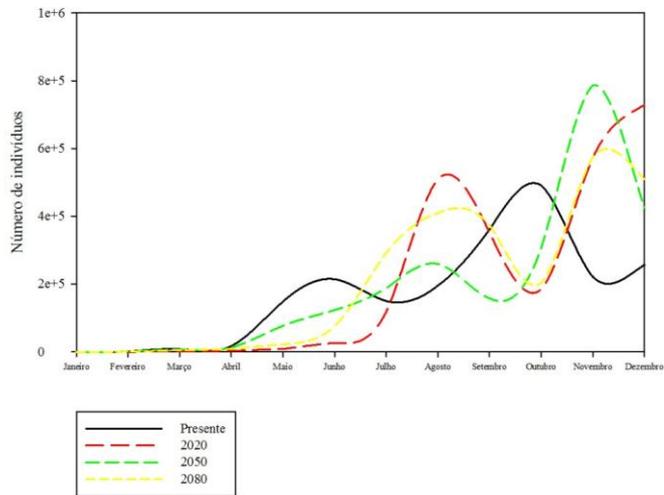


Gráfico 4 - Gráfico 4. Projeção do número absoluto de indivíduos de *T. pretiosum* para o Presente, 2020, 2050 e 2080.

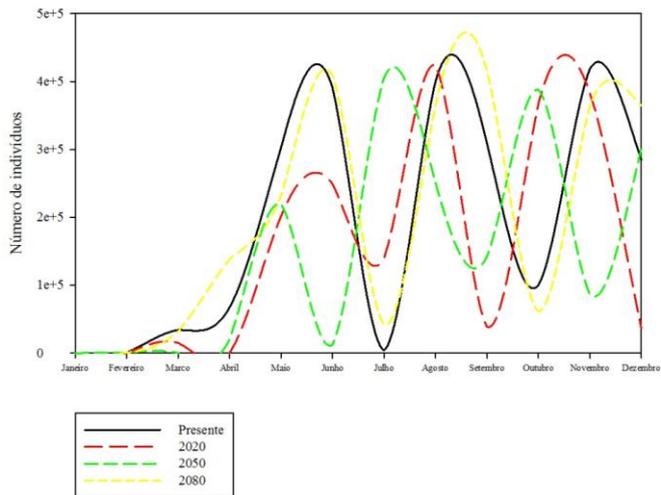


Gráfico 5 - Projeção do número absoluto de indivíduos de *S. cerealella* para o Presente, 2020, 2050 e 2080.

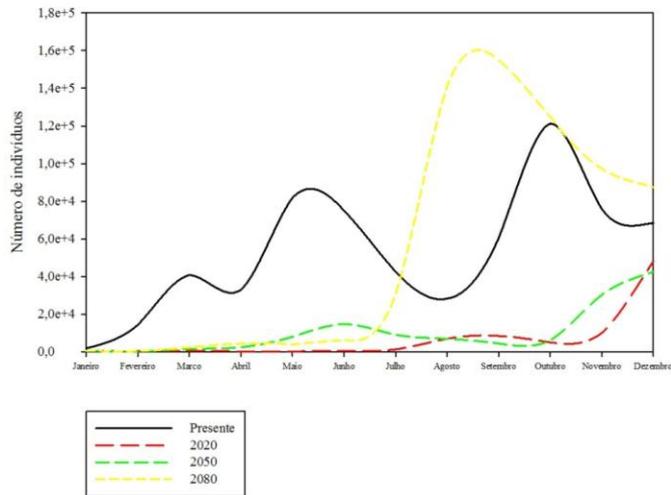


Gráfico 6 - Projeção do número absoluto de indivíduos de *T. acacioi* para o Presente, 2020, 2050 e 2080.

O Presente e ano de 2080 foram representados simultaneamente em um gráfico para cada uma das espécies (quatro gráficos no total), a fim de melhor visualização das diferenças entre esses anos (Gráficos 7 – 10).

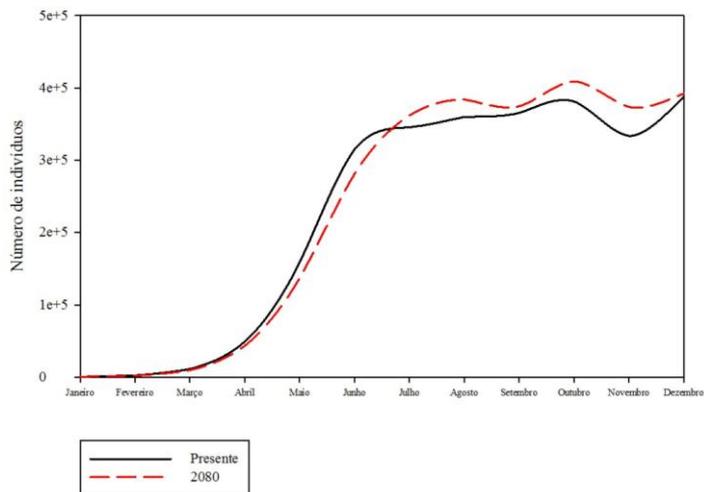


Gráfico 7 - Projeção do número absoluto de indivíduos de *T. absoluta* para o Presente e ano de 2080.

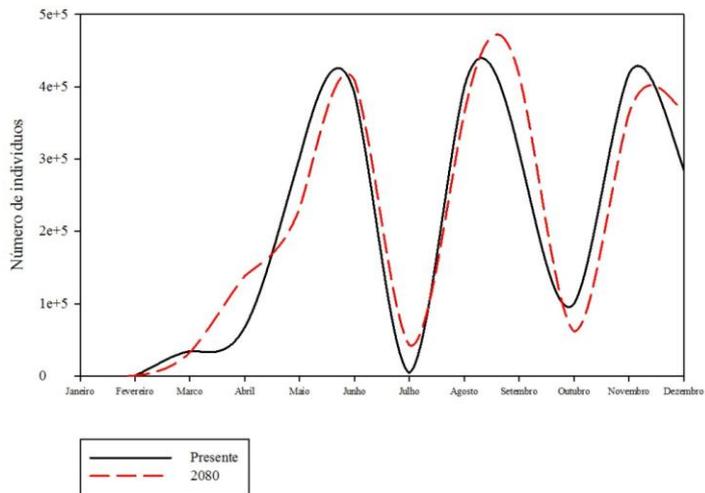


Gráfico 8 - Projeção do número absoluto de indivíduos de *S. cerealella* para o Presente e ano de 2080.

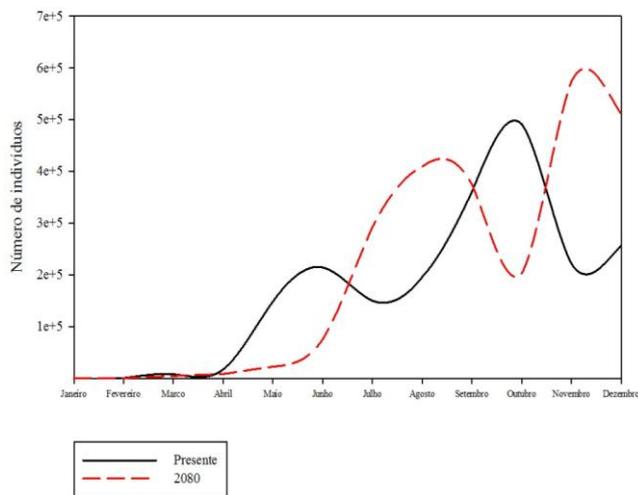


Gráfico 9 - Projeção do número absoluto de indivíduos de *T. pretiosum* para o Presente e ano de 2080.

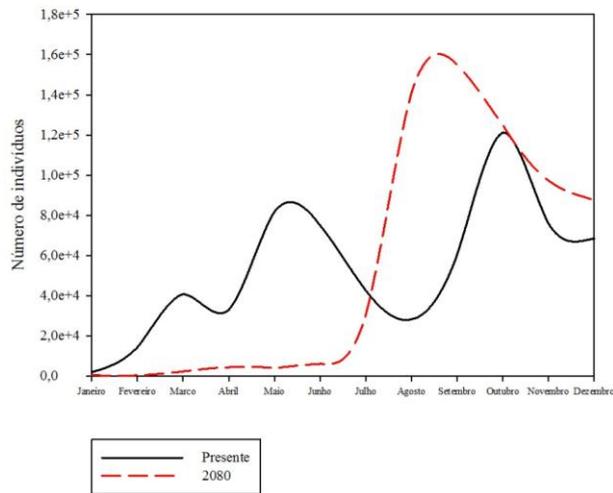


Gráfico 10 - Projeção do número absoluto de indivíduos de *T. acacioi* para o Presente e ano de 2080.

Para comparar as densidades populacionais entre hospedeiros e parasitóides, foram gerados 2 gráficos a partir das projeções individuais, onde é possível visualizar em conjunto o número absoluto de indivíduos para o presente, compondo o sistema Parasitóide-Hospedeiro entre *Tuta absoluta* Meyrick e *Trichogramma pretiosum* Riley; e *Sitotroga cerealella* Oliver e *T. acacioi* Brun, Moraes & Soares (Gráficos 11 e 12).

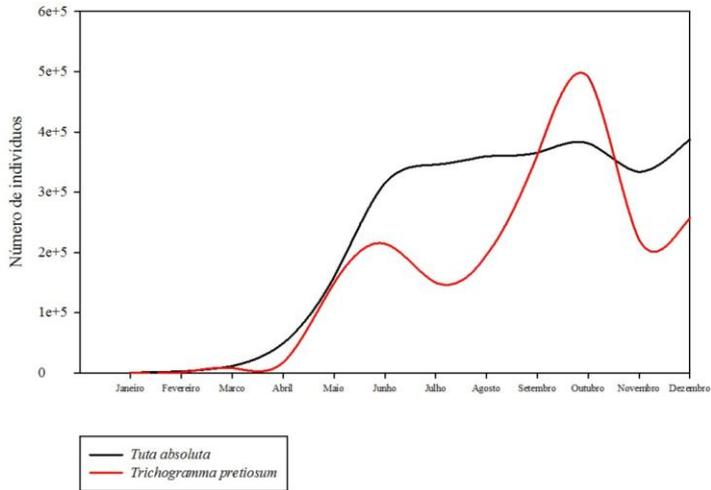


Gráfico 11 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *T. absoluta* e *T. pretiosum* para o Presente

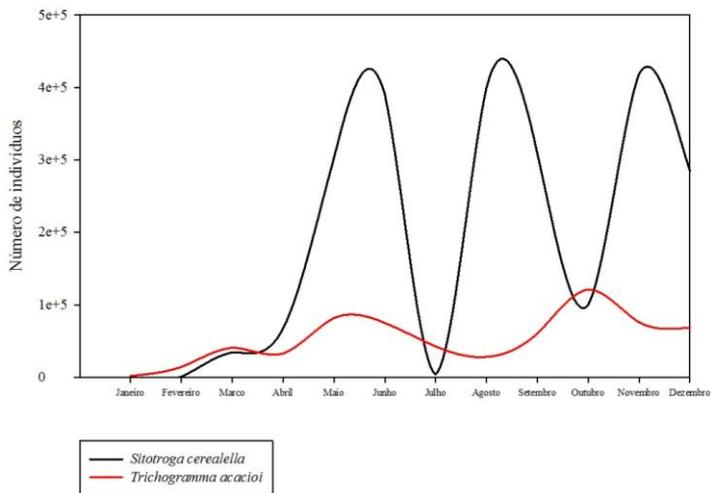


Gráfico 12 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *S. cerealella* e *T. acacioi* para o Presente.

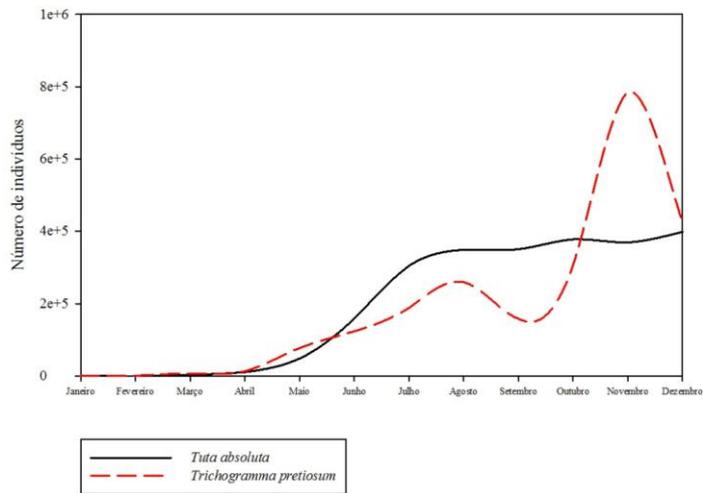


Gráfico 13 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *T. absoluta* e *T. pretiosum* para o ano de 2020.

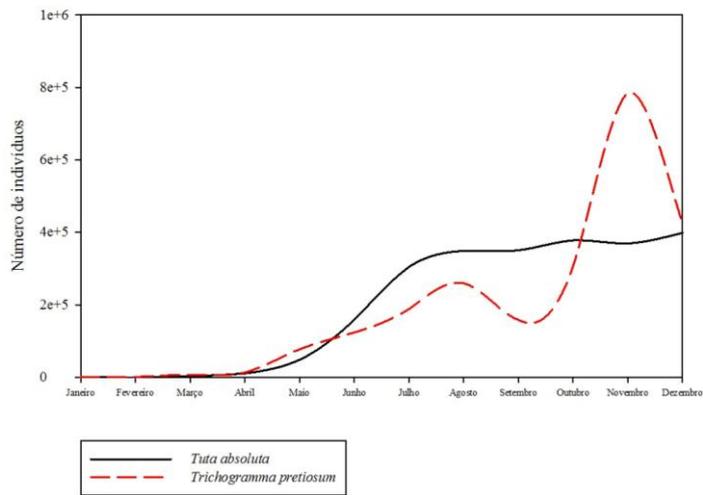


Gráfico 14 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *T. absoluta* e *T. pretiosum* para o ano de 2050.

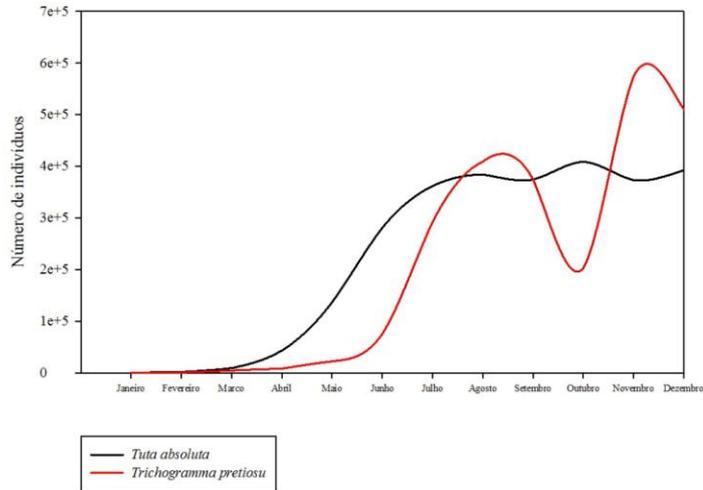


Gráfico 15 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *T. absoluta* e *T. pretiosum* para o ano de 2080.

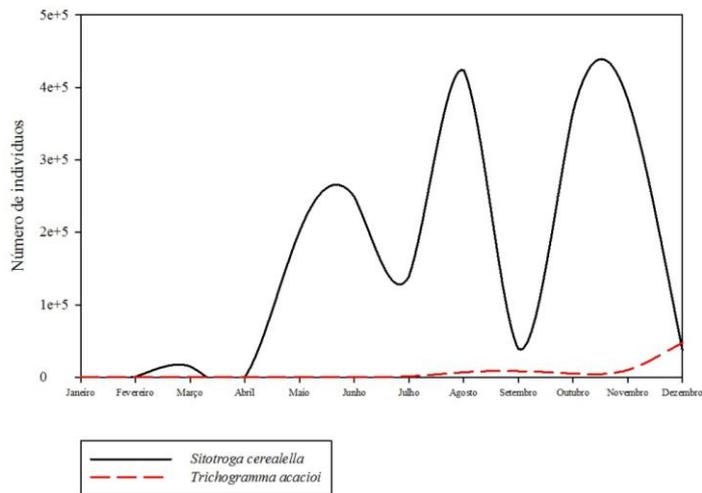


Gráfico 16 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *S. cerealella* e *T. acacioi* para o ano de 2020.

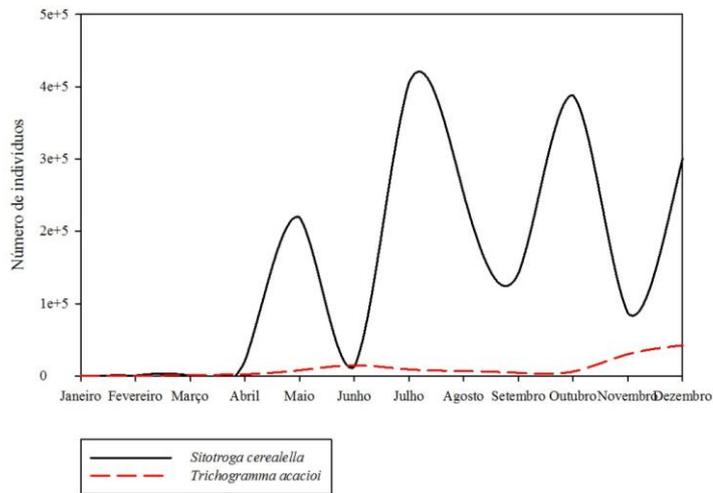


Gráfico 17 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *S. cerealella* e *T. acacioi* para o ano de 2050.

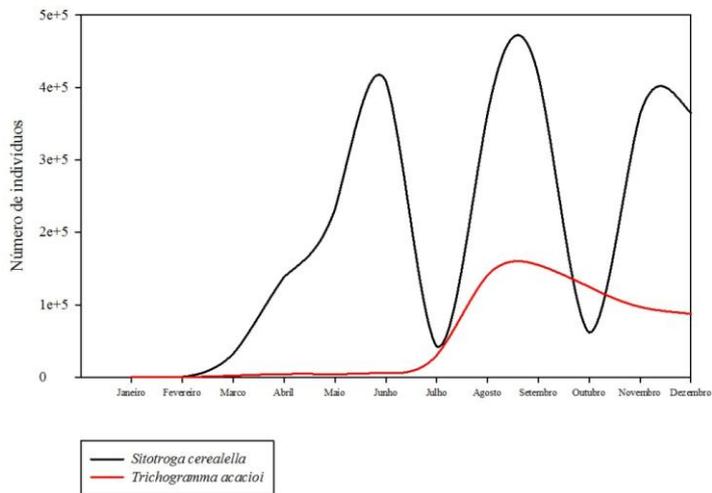


Gráfico 18 - Projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *S. cerealella* e *T. acacioi* para o ano de 2080.

Para testar se as variações entre as populações representando o presente e o futuro foram diferentes do acaso, foi realizado o teste de Wilcoxon, que consiste em um método não-paramétrico para comparação de duas amostras pareadas (Tabela 2).

	W	P-valor
Tuta absoluta	82559	0.0000000246
Sitotroga cerelella	64996	0.5571000000
Trichogramma pretiosum	52034	0.0000000004
Trichogramma acacioi	72695.5	0.0318000000

Tabela 2 – Resultados do Teste de Wilcoxon

DISCUSSÃO

Insetos estão adaptados a específicas variações de temperatura e a temperatura é frequentemente o fator ambiental mais prejudicial influenciando suas populações e distribuição (Damos & Savopoulou-Soultani, 2011).

Segundo Hance et al. (2006), o desenvolvimento de insetos e sua sobrevivência estão intimamente ligados à temperatura atmosférica. Esses organismos têm evoluído de uma diversidade de adaptações morfológicas, fisiológicas e comportamentais, que por sua vez evoluíram dentro de um intervalo de condições climáticas, onde novas ocorrências de condições extremas constituem um desafio para estes organismos.

Diferenças nas curvas de performance térmica de hospedeiros e parasitóides podem influenciar o desenvolvimento de ambas as espécies e os resultados das interações populacionais. Se ambas as curvas não se sobrepõem diretamente, o curso do parasitismo pode ser fortemente influenciado pela temperatura e particularmente pela forma como a temperatura varia entre sua amplitude operatória. Durante o processo evolutivo, parasitóides desenvolveram uma série de estratégias para otimizar o parasitismo, sendo uma delas a sincronização do tempo fisiológico, onde espera-se que o tempo de desenvolvimento do parasitóide esteja sempre abaixo e calibrado com o de seu hospedeiro. Quando os parasitóides emergem mais cedo, a população de hospedeiros é exposta por completo a um número relativamente grande de parasitóides adultos em estado de busca, sendo consideravelmente reduzida. Os poucos hospedeiros que sobrevivem produzem apenas uma pequena geração seguinte e, como resultado, a população de parasitóides cai para níveis muito baixos, tornando-se eventualmente extinta. A população de hospedeiros então aumenta rapidamente na ausência de regulação (Hance, 2007).

Por a temperatura ser um dos fatores chave na biologia de insetos, a compreensão de seu efeito sobre o desenvolvimento desses organismos auxilia a descrever e prever a distribuição e abundância de insetos em qualquer localidade. Visto que o cálculo do tempo fisiológico em simulações para campo orientadas por temperatura está relacionado com a área escolhida, a definição das temperaturas é um pré-requisito para predições fenológicas precisas (Damos & Savopoulou-Soultani, 2011).

Tratando-se do Espírito Santo, de acordo com a tabela 1, as médias de temperatura mensal diminuem quando comparadas com o Presente. Entre o Presente e 2020 há uma queda

prevista nessas médias entre 0,3 a 0,8°C. Já entre 2020 e 2050, ocorre um aumento da temperatura entre 0,1 a 0,6°C; e entre 2050 e 2080, o aumento de temperatura previsto varia entre 0,5 a 1°C

No Gráfico 1 podemos observar que mesmo em anos diferentes, a curva representando o desenvolvimento de *T. absoluta* e seu parasitóide *T. pretiosum* possuem um certo padrão, com a exceção do ano de 2020. Como em 2020 e 2050, as médias mensais de temperatura para o Espírito Santo caem, no ano de 2020, nos meses mais frios do ano (Junho, Julho e Agosto), o tempo de desenvolvimento do parasitóide ultrapassa o de seu hospedeiro, algo que não deveria acontecer visto que o parasitóide deve possuir um tempo de desenvolvimento menor do que o seu hospedeiro. Isso possivelmente ocorre porque *T. pretiosum* possui a Temperatura base de 12,78°C (Pratissoli et al., 2005a) quando parasitando *T. absoluta*, que possui sua temperatura base de 8°C (Abolmaaty et al., 2010). Dessa forma, o desenvolvimento do parasitóide sofre maior desaceleração do que o do hospedeiro por possuir uma Temperatura base mais elevada. Já no ano de 2050, apesar de haver uma queda de temperatura quando comparado ao Presente, a curva do parasitóide não chega a ultrapassar a de seu hospedeiro.

No Gráfico 2, podemos detectar nas curvas do hospedeiro e do parasitóide o padrão citada para o Gráfico 1. As curvas de desenvolvimento do parasitóide se mantêm abaixo das curvas do hospedeiro. Mesmo durante o ano de 2020, o desenvolvimento de *T. acacioi*, apesar de desacelerado, não ultrapassa o de *S. cerealella*. Quando parasitando *S. cerealella*, *T. acacioi* possui a Temperatura base de 10,67°C (Pratissoli et al., 2005b). Diferentemente do Gráfico 1, levando em consideração a Temperatura base de *S. cerealella* de 10°C (Weaver & Throne, 1994), é possível que quanto mais próxima a Temperatura base do parasitóide é de seu hospedeiro, maior é o sucesso do parasitismo (lembrando que a Temperatura base do parasitóide deve ser sempre acima do seu hospedeiro).

T. absoluta – Ao observarmos os gráficos representado a espécie (Gráficos 3 e 7), observamos que as curvas para *T. absoluta*, comparando as densidades populacionais do presente e do futuro, indicam uma dessincronização entre as mesmas, representando um desalinhamento temporal da população futura em relação ao presente.

Comparando a projeção do número absoluto de indivíduos de *T. absoluta* para o Presente com suas projeções futuras (Gráfico 3), observamos que no ano mais discrepante, no caso 2020, a população começa a crescer conforme o Presente, porém o crescimento é mais lento. Em 2050 também ocorre uma desaceleração do crescimento populacional. A população

nesse ano demora cerca de um mês a mais para atingir valores semelhantes aos do Presente. Em 2080, a curva de crescimento populacional apresenta padrão semelhante ao Presente, de maneira que aparentam desenvolverem-se quase juntas.

As diversas curvas populacionais representadas nos gráficos caracterizam um elevado número de gerações por ano. Como *T. absoluta* é uma espécie multivoltina e possui um crescimento populacional rápido, deve ser tratada como uma espécie *r* estrategista (Pereyra and Sánchez, 2006). Esse rápido crescimento da população, elevado potencial de dispersão no ambiente e expressa resistência a inseticidas (Desneux et al., 2010), classificam *T. absoluta* como a ameaça mais séria para a produção mundial de tomate (Toševski et al., 2011).

Quando observamos todas as datas em conjunto no Gráfico 3, é nítida a desaceleração do desenvolvimento causada pelo decréscimo de temperatura em 2020 e 2050. A partir do momento em que o desenvolvimento dos indivíduos é diminuído, consequentemente a população atinge seus níveis de densidade normal com certo atraso. Quando pensamos em um retardo no desenvolvimento, automaticamente associamos ao tempo de geração. Esse retardo no tempo fisiológico aumenta a duração de uma geração, diminuindo o número de gerações por ano. Dessa forma, pode-se concluir que *T. absoluta* sofre influência da temperatura em seu desenvolvimento e, consequentemente, em sua densidade populacional.

T. pretiosum – Ao compararmos a projeção do Presente com as dos anos futuros (Gráfico 4), observamos um retardo do crescimento populacional para todos os anos. Os anos de 2020 e 2050 apresentaram curvas mais desproporcionais ao presente, provavelmente devido à diminuição da média da temperatura mensal nessas datas. Já para 2080, apesar da população apresentar um número de indivíduos maior em relação ao Presente, as curvas nesse ano apresentam-se relativamente proporcionais a esta data. A densidade populacional em 2080 aumenta, porém as gerações projetam-se com certo retardo temporal. Apesar desse retardo, as gerações em 2080 parecem surgir em um intervalo de tempo mais curto do que no Presente. Esse encurtamento do intervalo entre gerações significa que o parasitóide está atingindo a fase adulta mais rápido, caracterizando aceleração do desenvolvimento e, acarretando em um número maior de gerações por ano.

T. absoluta e *T. pretiosum* – Observando a projeção conjunta do número absoluto de indivíduos de *T. absoluta* e *T. pretiosum* para o Presente (Gráfico 11), apesar das curvas apresentarem-se de maneira diferente, é possível notar que os aumentos populacionais na curva do parasitóide coincidem com aumentos populacionais na curva do hospedeiro.

Analisando os gráficos para o futuro (Gráficos 13, 14 e 15), observamos que em 2020, a sincronia entre as densidades populacionais se perdem. O aumento populacional do parasitóide se dá durante o intervalo do aumento populacional do hospedeiro. Essas projeções intercaladas entre as densidades populacionais pode indicar que o parasitóide irá emergir durante uma época no qual não achará oferta de hospedeiro significativa. Em 2050, as curvas do futuro não apresentam sincronia com o Presente. A densidade do parasitóide começa a crescer de maneira desproporcional a do hospedeiro, mantendo sua curva abaixo deste. Ao final do ano, ocorre um aumento desproporcional do parasitóide. Não é possível detectar um padrão nas curvas em questão. Já em 2080, as curvas assemelham-se ao Presente, porém, ao final do ano, os aumentos populacionais do parasitóide projetam-se durante intervalos entre os aumentos populacionais do hospedeiro, caracterizando o mesmo problema relatando anteriormente para o ano de 2020.

Os parasitóides tentam otimizar o uso do hospedeiro desenvolvendo diversas estratégias visando a sincronização fisiológica ao desenvolvimento do mesmo, dentre elas a adequação do próprio tempo fisiológico ao do hospedeiro. Em teoria, nesse tipo de acoplamento fisiológico entre parasitóide-hospedeiro, o padrão de curvas no qual deveríamos encontrar o equilíbrio no mundo real consistiria em curvas na população de parasitóides condizendo com curvas das populações do hospedeiro. Como as espécies de *Trichogramma* são parasitóides de ovos, o número de adultos do parasitóide deve aparecer sutilmente logo após um pico na densidade de adultos do hospedeiro, quase que em conjunto. Esse padrão é observado no presente, porém se perde no futuro (Gráfico 15).

S. cerealella – De acordo com o teste de Wilcoxon, as variações observadas entre as populações *S. cerealella* para o presente e futuro ocorrem ao acaso, apesar de ser possível identificar no Gráfico 5 um padrão semelhante ao encontrado para *T. absoluta*. Dessa forma, não é possível afirmar que essas variações populacionais são decorrentes da mudança de temperatura.

T. acacioi – É possível detectar nas projeções futuras desta espécie (Gráfico 6) que o padrão existente no presente é perdido. O crescimento populacional em 2020 e 2050 é desacelerado, de maneira que as populações atingem níveis muito mais baixos do que o presente. No ano de 2080, a população demora a crescer, porém, quando a temperatura começa a aumentar a partir de Julho, a população atinge um nível muito elevado, superando o presente. De acordo com o Gráfico 10, é possível notar que, apesar do número de indivíduos

ser maior em 2080, o número de gerações por ano também é diminuído em relação ao presente.

S. cerealella e *T. acacioi* – De acordo com a projeção conjunta representada no Gráfico 12, não é possível identificar um padrão entre as populações de hospedeiro e parasitóide visto que a população de *S. cerealella* não sofre influência da temperatura.

Dessa forma, considerando as mudanças climáticas previstas para o estado do Espírito Santo, as variações de temperatura causaram efeito maior sobre as populações dos parasitóides do que as de hospedeiros. Tratando-se dos sistemas Hospedeiro-Parasitóide do presente estudo, era esperado que esse efeito da temperatura sobre a performance térmica dos parasitóides fosse maior do que em seus hospedeiros, visto que os parasitóides possuem uma tolerância térmica menor. Além disso, espécies de *Trichogramma* são parasitóides generalistas, apresentando resposta mais complexa às mudanças climáticas devido a elevada gama de associações hospedeiro-parasitóide.

O sistema hospedeiro-parasitóide encontra-se em um processo contínuo de pressão seletiva, sofrendo alterações sempre. Essa associação requer um sofisticado grau de sincronia fisiológica entre as espécies em questão. Ao simularmos o futuro dessas populações, descrevemos parte dessas interações, relatando de maneira eficiente o comportamento de populações de insetos pragas. Portanto, diante dos resultados apresentados no presente estudo, modelos dirigidos por temperatura demonstram ser uma importante ferramenta com alta aplicabilidade no controle biológico.

REFERÊNCIAS

- BARNOSKY, A. D.; MATZKE, N.; TOMIYA, S.; et al. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, v.471, n.7336, p.51-57, 2011.
- BLEICHER, E.; PARRA, J. R. P. Espécies de *Trichogramma* parasitóides de *Alabama argillacea*. III. Determinação das exigências térmicas de três populações. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.25, n.2, p.215-219, 1990.
- BUENO, A. F.; BUENO, R. C. O. F.; PARRA, J. R. P.; VIEIRA, S. S. Effects of pesticides used in soybean crop to the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. *Ciência Rural*, v.38 n.6, p.1495-1503, 2008.
- CALVIN, D. D.; et al. Impact of environmental factors on *Trichogramma pretiosum* reared on Southwestern corn borer eggs. *Environmental Entomology*, v.13, n.3, p.774-780, 1984.
- CASWELL, H. *Matrix Population Models*. Construction, Analysis, And Interpretation. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates Inc., 1989. 328 p.
- CHOWN, S. L.; TERBLANCHE, J. S. Physiological Diversity in Insects: Ecological and Evolutionary Contexts. *Adv In Insect Phys*, v.33, p.50-152, 2009.
- DAMOS, P.; SAVOPOULOU-SOULTANI, M. Temperature-Driven Models for Insect Development and Vital Thermal Requirements, *Psyche*, v.2012, 13p., 2012.
- DESNEUX, N.; WAJNBERG, E.; WYCKHUYS, K. A. G., BURGIO, G.; ARPAIA, S.; NARVÁEZ-VASQUEZ, C. A., GONZÁLEZ-CABRERA, J.; CATALÁN RUESCAS, D.; TABONE, E.; FRANDON, J.; PIZZOL, J.; PONCET, C.; CABELLO, T.; URBANEJA, A. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, v.83, p.197-215, 2010.
- FARIA, C. A.; TORRES, J. B.; FERNANDES, A. M. V.; FARIA, A. M. I. Parasitism of *Tuta absoluta* in tomato plants by *Trichogramma pretiosum* Riley in response to host density and plant structures. *Ciência rural* v.38, n.6, p.1504-1509, 2008.
- FLEURAT-LESSARD, F.; NDIAYE, A.; KNIGHT, J. D. *Stored Malting Barley: Management Of Quality Using An Expert System*. Paris, France: INRA, 2005. ISBN:9782738011794.
- GHINI, R.; BETTIOL, W. Proteção de plantas na agricultura sustentável. *Cadernos de Ciência e Tecnologia* v.17, n.1, p.61-70, 2000.
- GORDON, C., et al. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*, v.16, p.147-168, 2000.
- GOTELLI, N. J. *Ecologia*, 4ª ed. Londrina, Planta, p.289. 2009.
- GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. Insect Development and Life Histories. *In: The Insects: an outline of entomology*. 3rd ed., Blackwell Publishing, p.141-176, 2005.

- GUTIÉRREZ, A. P.; DAANE, K. M.; PONTI, L.; WALTON, V. M.; ELLIS, C. K. Prospective evaluation of the biological control of vine mealybug: refuge effects and climate. *Journal of Applied Ecology*, v.45, n.2, p.524-536, 2008.
- HANCE, T.; et al. The impact of fluctuating thermal regimes on the survival of a cold-exposed parasitic wasp, *Aphidius colemani*. *Physiological entomology*, v.31, n.3, p. 234-240, 2006.
- HANCE, T.; BAAREN, J.; VERNON, P.; BOIVIN, G. Impact of Extreme Temperatures on Parasitoids in a Climate Change Perspective. *Annual Review of Entomology*, v.52, p.107-126, 2007.
- HANSEN, L. S.; SKOVGARD, H.; HELL, K. Life Table Study of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae), a Strain from West Africa. *Journal of Economic Entomology*, v.97, n.4, p.1484-1490, 2004.
- HASSAN, S.A. (ed.) 1988. *Trichogramma* News. v.4. Federal Research Center for Agriculture and Forestry. Braunschweig, 32p.
- HASSAN A. S. Seleção de espécies de *Trichogramma* para o uso em programas de controle biológico. In: PARRA JRP; ZUCCHI RA (eds). *Trichogramma e o controle biológico aplicado*. Piracicaba: FEALQ. p. 183-206, 1997.
- HIGLEY, L.; WNDY, W. *Using Degree Days in an Integrated Pest Management Program*. Iowa State University, 1987.
- HIJMANS, R. J., et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, v.25, p.1965-1978. 2005.
- MEDEIROS, M. A. de; et al. Padrão de oviposição e tabela de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae). *Rev. Bras. entomol.*, São Paulo, v. 53, n. 3. 2009. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0085-56262009000300021&lng=en&nrm=iso>. access on 04 Mar. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262009000300021>> 19 de junho de 2012.
- MELO, L. A. M. P. de; TENENTE, R. C. V; OLIVEIRA, M. R. V. de O. *Cálculo de graus-dia acumulados para subsidiar ações de gerenciamento de risco de pragas*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. (Comunicado Técnico - ISSN 9192-0099).
- NAKICENOVIC, N., SWARD, R.. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2000. 612p.
- PANDEY, A. K.; TRIPATHI, C. P. M. Effect of temperature on the development, fecundity, progeny sex ratio and life-table of *Campoletis chlorideae*, an endolarval parasitoid of the pod borer, *Helicoverpa armigera*. *BioControl*, v.53, p.461-471, 2008.
- PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. *Trichogramma e o controle biológico aplicado*. FEALQ, Piracicaba, 324p, 1997.
- PEREYRA, P. C.; SANCHEZ, N. E. Effect of two solanaceous plants on developmental and population parameters of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotrop. Entomol.*, v.35, n.5, 2006. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2006000500016&lng=en&nrm=iso> 10 de janeiro de 2013.

Formatado: Português (Brasil)

Formatado: Português (Brasil)

- PRACH, K.; WALKER, L. R. Four opportunities for studies of ecological succession. *Trends in Ecology & Evolution*, v.26, n.3, p.119-123, 2011.
- PRATISSOLI, D.; PARRA, J. R. P. Desenvolvimento e exigências térmicas de *Trichogramma pretiosum* Riley criado em duas traças do tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.7, p.1281-1288, 2000.
- PRATISSOLI, D. Fertility life table of *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma acacioi* on eggs of *Anagasta kuehniella* at different temperatures. *Pesq. agropec. bras.*, v.39, n. 2, 2004.
- PRATISSOLI, D.; THULER R. T.; ANDRADE, G. S.; ZANOTTI, L. C. M.; SILVA, A. F. Estimativa de *Trichogramma pretiosum* para controle de *Tuta absoluta* em tomateiro estaqueado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.7, p.715-718, 2005a.
- PRATISSOLI, D. Thermal requirements of *Trichogramma pretiosum* and *T. acacioi* (Hym.: Trichogrammatidae), parasitoids of the avocado defoliator *Nipteria panacea* (Lep.: Geometridae), in eggs of two alternative hosts. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.48, n.4, p.523-529, 2005b.
- PRATISSOLI, D.; et al. Biologia e exigências térmicas de cinco linhagens de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) criadas em ovos de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Cienc. Rural, Santa Maria*, v. 36, n.6, 2006.
- Quantum GIS Development Team. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>. 2012.
- SEQUEIRA, R.; MACKAUER, M. Variation in selected life history parameters of the parasitoid wasp, *Aphidius ervi* – influence of host developmental stage. *Entomol. Exp. Appl.*, v.71, p.15-22, 1994.
- SPEIGHT, M. R.; HUNTER, M. D.; WATT, A. D.. *Ecology of insects: concepts and applications*. Wiley-Blackwell. 1999. 628 p.
- THOMPSON, L. J.; MACFADYEN, S.; HOFFMANN, A. A. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, v.52, p.296–306, 2010.
- THULLER, W. Biodiversity: Climate change and the ecologist. *Nature*, v.448, p.550-552, 2007.
- TOSEVSKI, I.; JOVIC, J.; MITROVIC, M.; CVRKOVIC, T.; KRSTIC, O.; KRNJAJIC, S. *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera, Gelechiidae): a New Pest of Tomato in Serbia. *Pestic. Phytomed*, v.23, n.3, p197-204, 2011.
- WAJNBERG, E.; HASSAN, S. A. Intra-population genetic variation in *Trichogramma*. In: Wajnberg E, Hassan SA (eds) Biological control with egg parasitoids. *CAB International, Wallingford*, pp 245–271, 1994.
- WEAVER, D. K.; THRONE, J. E. Life history data for *Sitotroga cerealella* (Oliver) (Lepidoptera: Gelechiidae) in farm-stored corn and the importance of suboptimal environmental conditions in insect population modelling for bulk commodities. In *Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-Product Protection*, ed. E. Highley, E. J. Wright, H. J. Banks and B. R. Champ. p. 599-603. Canberra, 1994.

- WILSON, L.T.; BARNETT. W. W. Degree-days: an aid in crop and pest management. *California Agriculture*, v.37, p.4-7, 1983.
- ZILAH-BALOGH, G. M. G.; SHIPP, J. L.; CLOUTIER, C.; BRODEUR, J. Predation by *Neoseiulus cucumeris* on the western flower thrips, and its oviposition on greenhouse cucumber under winter vs. summer conditions in a temperate climate. *Biological Control*, v.40, n.2, p.160-167, 2007.

ANEXOS

ANEXO I – TABELAS

X'	nx'	lx'	dx'	qx'	px'	f^*
Ovo	107.0	1.0000	23.00	0.2150	107.0119	0
Larva	84.0	0.7850	31.00	0.3690	84.01887	0
Pupa	53.0	0.4953	14.00	0.2642	53.02564	0
Adulto	39.0	0.3645	39.00	1.0000	0	2.74

	$K(GD)^2$	T (dias) ¹
Ovo-Larva	103.8 ± 1.4	4.50
Larva-Pupa	238.5 ± 0.5	14.00
Pupa-Adulto	117.3 ± 5.3	8.00
Ovo-Adulto	453.6 ± 3.9	26.50

Tabela 3 - Tabela de vida de *Tuta absoluta*/Fontes: ¹Medeiros et al.2009; ²Desneux et al.2010; *Calculado com base nos dados obtidos.

X'	nx'	R_o'	r_m'	λ'	px^*	f^*	$K(GD)^{*1,2,3,4}$	$T(dias)^1$
Ovo-Adulto	14.00	59.82	0.31	1.36	0.136	4.50	186.40	13.32

Tabela 4 -Tabela de vida de *Trichogramma pretiosum*. Fontes: ¹Pratissoli & Parra, 2000; ²Pratissoli et al., 2006; ³Calvin et al.,1984; ⁴Bleicher & Parra, 1990.

X^t	nx^t	lx^*	dx^*	qx^*	px^*	f^t
Ovo	150.0	1.00	59	0.39	150.01	0
Larva	92	0.61	36	0.24	91.52	0
Pupa	56	0.37	22	0.15	55.84	0
Adulto	34	0.23	34	0.23	0.00	29.6

	$K(GD)^2$	Duração (dias) ^t
Ovo-Larva	-	6.36 ± 0.05
Larva-Pupa-Adulto	-	42.19 ± 0.87
Ovo-Adulto	680	48.62 ± 0.88

Tabela 5 - Tabela de vida de *Sitotroga cerealella*. Fontes: ¹Hansen et al., 2004; ²Fleurat-Lessard et al., 2005.

X^t	nx	R_{o^t}	r_m^t	λ^t	px^t	f^*	$K(GD)^2$	T (dias) ^t
Ovo-Adulto	30.00	43.98	0.34	1.411	0.610	4.00	158.50	10.99

Tabela 6 - Tabela de vida de *Trichogramma acacioi*. Fontes: Pratissoli et al., 2004; ²Pratissoli et al., 2005b.

ANEXO II - SIMULAÇÕES EM LIGUAGEM S-PLUS.

Código em linguagem S-Plus utilizado na simulação de *T. absoluta**.

```

function ecopop1
diames=[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
M=[zeros(100,1) ones(100,1) zeros(100,1)];F=[zeros(100,1) ones(100,1) zeros(100,1)];
GD=[103.8,383.64,453.6];
GDMES=[15.8,15.83,15.29,14.55,13.96,13.49,13.57,13.75,14.13,14.47,14.86,14.75];
fecund=2.74;
rs=0.5;
D=[(1-0.21)^(20/GD(1)), 1000000, 100000]
result=[];
for ano=1:5
  for mes=1:12
    for dia=1:diames(mes)
      M(:,1)=M(:,1)+1;
      F(:,1)=F(:,1)+1;
      M(:,3)=M(:,3)+ GDMES(mes);
      F(:,3)=F(:,3)+ GDMES(mes);
      M=M(M(:,3)<GD(3),:);
      F=F(F(:,3)<GD(3),:);
      M(M(:,3)>GD(M(:,2))',2)=M(M(:,3)>GD(M(:,2))',2)+1;
      F(F(:,3)>GD(F(:,2))',2)=F(F(:,3)>GD(F(:,2))',2)+1;
      m=length(M(M(:,2)==3));
      f=length(F(F(:,2)==3));
      if m*f>0
        fec=f*fecund;
        M=[M;zeros(floor(rs*fec),1) ones(floor(rs*fec),1) zeros(floor(rs*fec),1)];
        F=[F;zeros(floor((1-rs)*fec),1) ones(floor((1-rs)*fec),1) zeros(floor((1-rs)*fec),1)];
      end
      POPM=[length(M(M(:,2)==1)),length(M(M(:,2)==2)),length(M(M(:,2)==3))];
      POPF=[length(F(F(:,2)==1)),length(F(F(:,2)==2)),length(F(F(:,2)==3))];
      POPTOT=POPM+POPF;
      RM=rand(length(M(:,1)),1);
      RF=rand(length(F(:,1)),1);
    end
  end
end

```

```

if POPM(1)>0,
    M(M(:,2)==1 & RM(:,1)>D(1),3)=GD(3)+1;
end
if POPF(1)>0
    F((F(:,2)==1) & RF(:,1)>D(1),3)=GD(3)+1;
end
if POPM(2)>0,
    M((M(:,2)==2) & RM(:,1)>(1-(POPM(2)+POPM(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPF(2)>0
    F((F(:,2)==2) & RF(:,1)>(1-(POPF(2)+POPF(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPM(3)>0
    M((M(:,2)==3) & RM(:,1)>(1-(POPM(2)+POPM(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPF(3)>0
    F((F(:,2)==3) & RF(:,1)>(1-(POPF(2)+POPF(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
result=[result; [dia,mes,ano,POPTOT]];
end
end
ano
end
filename='Tabsolutapresente.xls'
dlmwrite(filename,result,'delimiter','t');

```

Código em linguagem S-Plus utilizado na simulação de *S. cerealella.**

```

function ecopop1
diames=[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
M=[zeros(100,1) ones(100,1) zeros(100,1)];F=[zeros(100,1) ones(100,1) zeros(100,1)];
GD=[180,580,680];
GDMES=[15.8,15.83,15.29,14.55,13.96,13.49,13.57,13.75,14.13,14.47,14.86,14.75];
fecund=12;
rs=0.5;
D=[(1-0.39)^(20/GD(1)), 1000000, 100000]
result=[];
for ano=1:5
  for mes=1:12
    for dia=1:diames(mes)
      M(:,1)=M(:,1)+1;
      F(:,1)=F(:,1)+1;
      M(:,3)=M(:,3)+ GDMES(mes);
      F(:,3)=F(:,3)+ GDMES(mes);
      M=M(M(:,3)<GD(3),:);
      F=F(F(:,3)<GD(3),:);
      M(M(:,3)>GD(M(:,2))',2)=M(M(:,3)>GD(M(:,2))',2)+1;
      F(F(:,3)>GD(F(:,2))',2)=F(F(:,3)>GD(F(:,2))',2)+1;
      m=length(M(M(:,2)==3));
      f=length(F(F(:,2)==3));
      if m*f>0
        fec=f*fecund;
        M=[M;zeros(floor(rs*fec),1) ones(floor(rs*fec),1) zeros(floor(rs*fec),1)];
        F=[F;zeros(floor((1-rs)*fec),1) ones(floor((1-rs)*fec),1) zeros(floor((1-rs)*fec),1)];
      end
      POPM=[length(M(M(:,2)==1)),length(M(M(:,2)==2)),length(M(M(:,2)==3))];
      POPF=[length(F(F(:,2)==1)),length(F(F(:,2)==2)),length(F(F(:,2)==3))];
      POPTOT=POPM+POPF;
      RM=rand(length(M(:,1)),1);
      RF=rand(length(F(:,1)),1);
      if POPM(1)>0,
        M(M(:,2)==1 & RM(:,1)>D(1),3)=GD(3)+1;
      end
    end
  end
end

```

```
if POPF(1)>0
    F((F(:,2)==1) & RF(:,1)>D(1),3)=GD(3)+1;
end
if POPM(2)>0,
    M((M(:,2)==2) & RM(:,1)>(1-(POPM(2)+POPM(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPF(2)>0
    F((F(:,2)==2) & RF(:,1)>(1-(POPF(2)+POPF(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPM(3)>0
    M((M(:,2)==3) & RM(:,1)>(1-(POPM(2)+POPM(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPF(3)>0
    F((F(:,2)==3) & RF(:,1)>(1-(POPF(2)+POPF(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
result=[result; [dia,mes,ano,POPTOT]];
end
end
ano
end
filename='Screelellapresente.xls'
dlmwrite(filename,result,'delimiter','t');
```

Código em linguagem S-Plus utilizado na simulação de *T. pretiosum**

```

function ecopop1

diames=[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
M=[zeros(100,1) ones(100,1) zeros(100,1)];F=[zeros(100,1) ones(100,1) zeros(100,1)];
GD=[66.4,166.4,186.4];
GDMES=[15.8,15.83,15.29,14.55,13.96,13.49,13.57,13.75,14.13,14.47,14.86,14.75];
fecund=4.5;
rs=0.5;
D=[(1-0.31)^(20/GD(1)), 1000000, 100000]
result=[];
for ano=1:5
  for mes=1:12
    for dia=1:diames(mes)
      M(:,1)=M(:,1)+1;
      F(:,1)=F(:,1)+1;
      M(:,3)=M(:,3)+ GDMES(mes);
      F(:,3)=F(:,3)+ GDMES(mes);
      M=M(M(:,3)<GD(3),:);
      F=F(F(:,3)<GD(3),:);
      M(M(:,3)>GD(M(:,2))',2)=M(M(:,3)>GD(M(:,2))',2)+1;
      F(F(:,3)>GD(F(:,2))',2)=F(F(:,3)>GD(F(:,2))',2)+1;
      m=length(M(M(:,2)==3));
      f=length(F(F(:,2)==3));
      if m*f>0
        fec=f*fecund;
        M=[M;zeros(floor(rs*fec),1) ones(floor(rs*fec),1) zeros(floor(rs*fec),1)];
        F=[F;zeros(floor((1-rs)*fec),1) ones(floor((1-rs)*fec),1) zeros(floor((1-rs)*fec),1)];
      end
      POPM=[length(M(M(:,2)==1)),length(M(M(:,2)==2)),length(M(M(:,2)==3))];
      POPF=[length(F(F(:,2)==1)),length(F(F(:,2)==2)),length(F(F(:,2)==3))];
      POPTOT=POPM+POPF;
      RM=rand(length(M(:,1)),1);
      RF=rand(length(F(:,1)),1);
      if POPM(1)>0,
        M(M(:,2)==1 & RM(:,1)>D(1),3)=GD(3)+1;

```

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

```

end
if POPF(1)>0
    F((F(:,2)==1) & RF(:,1)>D(1),3)=GD(3)+1;
end
    if POPM(2)>0,
        M((M(:,2)==2) & RM(:,1)>(1-(POPM(2)+POPM(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
    end
if POPF(2)>0
    F((F(:,2)==2) & RF(:,1)>(1-(POPF(2)+POPF(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
    if POPM(3)>0
        M((M(:,2)==3) & RM(:,1)>(1-(POPM(2)+POPM(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
    end
end
if POPF(3)>0
    F((F(:,2)==3) & RF(:,1)>(1-(POPF(2)+POPF(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
    end
    result=[result; [dia,mes,ano,POPTOT]];
end
end
ano
end
filename='TpretiosumPresente.xls'
dlmwrite(filename,result,'delimiter','t');

```

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Código em linguagem S-Plus utilizado na simulação de *T. acacioi**.

```

function ecopop1

diames=[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
M=[zeros(100,1) ones(100,1) zeros(100,1)];F=[zeros(100,1) ones(100,1) zeros(100,1)];
GD=[58.5,138.5,158.5];
GDMES=[15.8,15.83,15.29,14.55,13.96,13.49,13.57,13.75,14.13,14.47,14.86,14.75];
fecund=4;
rs=0.5;
D=[(1-0.39)^(20/GD(1)), 1000000, 100000]
result=[];
for ano=1:5
  for mes=1:12
    for dia=1:diames(mes)
      M(:,1)=M(:,1)+1;
      F(:,1)=F(:,1)+1;
      M(:,3)=M(:,3)+ GDMES(mes);
      F(:,3)=F(:,3)+ GDMES(mes);
      M=M(M(:,3)<GD(3),:);
      F=F(F(:,3)<GD(3),:);
      M(M(:,3)>GD(M(:,2))',2)=M(M(:,3)>GD(M(:,2))',2)+1;
      F(F(:,3)>GD(F(:,2))',2)=F(F(:,3)>GD(F(:,2))',2)+1;
      m=length(M(M(:,2)==3));
      f=length(F(F(:,2)==3));
      if m*f>0
        fec=f*fecund;
        M=[M;zeros(floor(rs*fec),1) ones(floor(rs*fec),1) zeros(floor(rs*fec),1)];
        F=[F;zeros(floor((1-rs)*fec),1) ones(floor((1-rs)*fec),1) zeros(floor((1-rs)*fec),1)];
      end
      POPM=[length(M(M(:,2)==1)),length(M(M(:,2)==2)),length(M(M(:,2)==3))];
      POPF=[length(F(F(:,2)==1)),length(F(F(:,2)==2)),length(F(F(:,2)==3))];
      POPTOT=POPM+POPF;

      RM=rand(length(M(:,1)),1);
      RF=rand(length(F(:,1)),1);
      if POPM(1)>0,
        M(M(:,2)==1 & RM(:,1)>D(1),3)=GD(3)+1;
    end
  end
end

```

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

```

end
if POPF(1)>0
    F((F(:,2)==1) & RF(:,1)>D(1),3)=GD(3)+1;
end
if POPM(2)>0,
    M((M(:,2)==2) & RM(:,1)>(1-(POPM(2)+POPM(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPF(2)>0
    F((F(:,2)==2) & RF(:,1)>(1-(POPF(2)+POPF(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPM(3)>0
    M((M(:,2)==3) & RM(:,1)>(1-(POPM(2)+POPM(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
if POPF(3)>0
    F((F(:,2)==3) & RF(:,1)>(1-(POPF(2)+POPF(3))/D(2)),3)=GD(3)+1;
end
result=[result; [dia,mes,ano,POPTOT]];
end
%result=[result; [dia,mes,ano,POPTOT]];
end
ano
end
filename='TacacoiPresente.xls'
dlmwrite(filename,result,'delimiter','\t');

```

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

*Os dados para GD mudaram conforme as médias de temperatura mensal para cada ano.