

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**MODELOS DE PREVISÃO DE OCORRÊNCIA DE ADULTOS
DE *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera:
Crambidae) EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)**

Éllen Rimkevicius Carbognin

Bióloga

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MODELOS DE PREVISÃO DE OCORRÊNCIA DE ADULTOS
DE *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera:
Crambidae) EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)**

Éllen Rimkevicius Carbognin

Orientador: Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Cláudia Pio Ferreira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola)

2016

Carbognin, Éllen Rimkevicius
C264m Modelos de previsão de ocorrência de adultos de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) / Éllen Rimkevicius Carbognin. – –
Jaboticabal, 2016
vii, 68 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: Odair Aparecido Fernandes
Banca examinadora: Leila Luci Dinardo-Miranda, Daniel Júnior de
Andrade
Bibliografia

1. Broca-da-cana. 2. Dinâmica populacional. 3. Graus-dia. I. Título.
II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 595.7:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ÉLLEN RIMKEVICIUS CARBOGNIN - Nascida em 13 de Abril de 1987, na cidade de São Paulo - SP, filha de Ana Elisa Rimkevicius e Mário Carbognin. Ingressou em 2008 na Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal onde obteve os títulos de Bacharel e Licenciada em Ciências Biológicas nos anos de 2011 e 2013, respectivamente. Ingressou e atuou como estagiária em entomologia no Laboratório de Ecologia de Insetos nos anos de 2008 e 2009 sob orientação do Prof. Dr. Francisco Jorge Cividanes e Dr^a. Terezinha Monteiro dos Santos-Cividanes onde foi bolsista de iniciação científica e Treinamento Técnico I da FAPESP em projeto de controle biológico conservativo e efeito de Nim (*Azadirachta indica*) sobre inimigos naturais (Coleoptera: Coccinelidae) e pulgões da espécie *Aphis gossypii*. De 2010 a 2012 atuou como estagiária e monitora do laboratório de Biossistemática, Biologia e Ecologia Molecular de Neurópteros sob orientação do Prof. Dr. Sérgio de Freitas onde esteve envolvida com criação massal de crisopídeos e estudos taxonômicos da espécie *Chrysoperla externa*. Em 2014, ingressou no mestrado em Agronomia (Entomologia Agrícola) pela mesma universidade, sob orientação do Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes onde desenvolveu trabalhos com o objetivo de verificar a dinâmica populacional de *Diatraea saccharalis*, os fatores climáticos responsáveis por esta bem como desenvolver um modelo de previsão de ocorrência para esta espécie em campo, a fim de serem adotados não somente os métodos de controle corretos, mas, também, no momento adequado.

*“Porque eu sou do tamanho do que eu vejo. E não, do tamanho da minha altura...”
...e o que eu vejo são meus sonhos.*

(Alberto Caeiro /Fernando Pessoa)

Às pessoas mais importantes da minha vida, minha família.

*Aos meus pais Ana Elisa Rimkevicius e Mário Carbognin,
Avós Eny Peranovich e Pietras Rimkevicius
e irmãos Allan, Rafael, Paola e Lorenzo.*

DEDICO

*Ao meu noivo Antonio Roveri Neto,
Pela nossa história que a cada dia se desenha de forma mais linda.
Pelo carinho, amor, e tudo o que representa na minha vida.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Odair Aparecido Fernandes, pelos grandes ensinamentos e pela oportunidade de passar pela experiência da pós-graduação que me trouxe crescimento profissional e pessoal e que levarei comigo por toda a vida;

À minha querida co-orientadora Prof.^a Cláudia Pio Ferreira, pelo imenso prazer em tê-la fazendo parte deste trabalho;

À Sumitomo Chemical e FMC, pelo suporte financeiro; em especial ao Rodrigo Bueno (Sumitomo) que acompanhou cada etapa deste trabalho;

Aos membros da banca examinadora, a pesquisadora Leila Luci Dinardo-Miranda e ao Prof. Daniel Junior de Andrade pela participação e sugestões;

Às equipes de monitoramento e técnicos das Usinas dos grupos Raízen, São Martinho e Jalles Machado, em especial às unidades Univalem, Gasa, Barra, São Martinho, Otávio Lage, Jalles Machado e Nova Fronteira Bioenergia sem as quais este trabalho não teria se concretizado;

À Teresinha Roveri e Domingos Brefer, pelo imenso carinho;

Aos meus queridos Wagner e Cecília Mendes, pela amizade;

O meu agradecimento em nome da família do querido professor Sérgio de Freitas, que sempre me incentivou;

Aos amigos do “eterno” laboratório de Biossistemática, Biologia e Ecologia Molecular de Neurópteros. Tempos bons jamais são apagados;

Aos amigos e colegas do laboratório de Ecologia Aplicada da UNESP em nome do respeito e carinho que tenho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES);

Ao programa de pós-graduação em Entomologia Agrícola e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP pela oportunidade de ingressar e concluir este trabalho;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Aspectos biológicos e ecológicos de <i>Diatraea saccharalis</i>	3
2.2. Importância de <i>Diatraea saccharalis</i> para a cultura da cana-de-açúcar.....	4
2.3. Controle biológico de <i>Diatraea saccharalis</i>	6
2.4. Modelos matemáticos.....	8
2.4.1. Uso do Modelo linear de graus-dia.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Localidades.....	15
3.2. Amostragem de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i>	16
3.3. Análise estatística.....	16
3.3.1. Análise de dados climáticos.....	16
3.4. Construção de modelos de previsão de ocorrência.....	17
3.4.1. Modelo em graus-dia.....	18
3.4.2. Modelo em equações de diferenças.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Flutuação populacional de <i>Diatraea saccharalis</i>	21
4.2. Modelo matemático baseados em graus-dia.....	34
4.3. Modelo matemático em equações de diferenças.....	37
4.4. Implicações dos modelos matemáticos.....	43
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS.....	45

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Localidades e características da cana-de-açúcar (variedade e corte) utilizadas para avaliação de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i>	15
Tabela 2. Número total de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados em armadilhas de feromônio sexual em cana-de-açúcar.....	21
Tabela 3. Comparação dos fatores climáticos (precipitação, temperatura e umidade relativa do ar) entre as safras.....	27
Tabela 4. Média semanal de coleta de <i>Diatraea saccharalis</i> e dos parâmetros meteorológicos nas diferentes localidades.....	28
Tabela 5. Coeficientes de correlação (r) entre número de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados semanalmente e parâmetros meteorológicos.....	31
Tabela 6. Análise de regressão múltipla de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados em armadilhas de feromônio sexual e parâmetros meteorológicos.....	33
Tabela 7. Datas observadas e calculadas em graus-dia de incidência de adultos.....	36
Tabela 8. Médias de Parâmetros estimados na simulação do modelo em equações de diferenças para a espécie <i>Diatraea saccharalis</i>	38

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1a. Flutuação populacional de machos adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Valparaíso-SP na safra 2013/2014.....	22
Figura 1b. Flutuação populacional de machos adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Valparaíso-SP na safra 2014/2015.....	22
Figura 1c. Flutuação populacional de machos adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Quirinópolis-GO na safra 2013/2014.....	22
Figura 1d. Flutuação populacional de machos adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Quirinópolis-GO na safra 2014/2015.....	22
Figura 1e. Flutuação populacional de machos adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Pradópolis-SP (Área 1) na safra 2013/2014.....	23
Figura 1f. Flutuação populacional de machos adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Pradópolis-SP (Área 1) na safra 2014/2015.....	23
Figura 1g. Flutuação populacional de machos adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Pradópolis-SP (Área 2) na safra 2013/2014.....	23
Figura 1h. Flutuação populacional de machos adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Pradópolis-SP (Área 2) na safra 2014/2015.....	23
Figura 2. Flutuação populacional de <i>Diatraea saccharalis</i> em cana-de-açúcar na safra 2013/2014, em Pradópolis, Valparaíso-SP e Quirinópolis-GO (cada ponto representa o número total acumulado mensal de adultos capturados em quatro armadilhas).....	25

Figura 3.	Flutuação populacional de <i>Diatraea saccharalis</i> em cana-de-açúcar na safra 2014/2015, em Pradópolis, Valparaíso-SP e Quirinópolis-GO (cada ponto representa o número total acumulado mensal de adultos capturados em quatro armadilhas).....	26
Figura 4.	Adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados em armadilha em função da umidade relativa do ar (%).....	29
Figura 5.	Curvas de flutuação populacional de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados em Valparaíso-SP (Safr 2013/2014) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) / PE = pico esperado.....	39
Figura 6.	Curvas de flutuação populacional de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados em Valparaíso-SP (Safr 2014/2015) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) / PE = pico esperado.....	39
Figura 7.	Curvas de flutuação populacional de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados em Quirinópolis-GO (Safr 2013/2014) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) / PE = pico esperado.....	40
Figura 8.	Curvas de flutuação populacional de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados em Quirinópolis-GO (Safr 2014/2015) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) / PE = pico esperado.....	40
Figura 9.	Curvas de flutuação populacional de adultos de <i>Diatraea saccharalis</i> capturados em Pradópolis-SP (Safr 2013/2014) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) (Área 1) / PE = pico esperado.....	41

- Figura 10.** Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Pradópolis-SP (Safrá 2013/2014) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) (Área 2) / PE = pico esperado..... 41
- Figura 11.** Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Pradópolis-SP (Safrá 2014/2015) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) (Área 1) / PE = pico esperado..... 42
- Figura 12.** Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Pradópolis-SP (Safrá 2014/2015) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) (Área 2) / PE = pico esperado..... 42

MODELOS DE PREVISÃO DE OCORRÊNCIA DE ADULTOS DE *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)

RESUMO – A broca-da-cana, *Diatraea saccharalis*, é considerada uma das principais pragas da cana-de-açúcar e tem causado sérios prejuízos em novas fronteiras agrícolas brasileiras que abrangem o oeste do estado de São Paulo e a região centro-oeste do país. Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica populacional de adultos de *D. saccharalis* em diferentes regiões canavieiras e sua relação com os fatores meteorológicos, bem como estabelecer modelo de previsão de ocorrência com base em graus-dia e equações de diferenças. Os adultos foram avaliados semanalmente durante duas safras (2013/2014 e 2014/2015) em cultivos localizados nos estados de São Paulo (Pradópolis e Valparaíso) e Goiás (Quirinópolis). Em cada localidade foram utilizados um ou dois talhões de 25 ha, próximos (< 2 km) a estações climáticas. Em uma área central (1 a 1,5 ha) de cada talhão foram instaladas quatro armadilhas delta contendo fêmeas virgens e piso colante para captura dos adultos. O número de adultos coletados e os dados climáticos foram submetidos à análise de regressão múltipla e correlação. Modelos matemáticos baseados em graus-dia e equações de diferenças foram elaborados. Verificou-se maior ocorrência de adultos no período das chuvas, principalmente, de janeiro a abril. Não houve correlação entre os fatores climáticos e a flutuação populacional; com exceção de Quirinópolis, onde a umidade foi fator abiótico limitante para o crescimento populacional desta espécie. Os modelos de graus-dia e de equações de diferenças se complementam e mostraram eficácia na previsão tanto para a época de ocorrência da praga, bem como do número de insetos na semana seguinte.

Palavras-chave: broca-da-cana, regulação populacional, parâmetro meteorológico, graus-dia, modelos matemáticos

**FORECASTING MODELS OF *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794)
(LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) ADULT OCCURRENCE IN SUGARCANE
(*Saccharum* spp.)**

ABSTRACT – The sugarcane borer, *Diatraea saccharalis*, is considered one of the main pest of sugarcane and has caused serious losses in new Brazilian agricultural frontiers including the western region of São Paulo state and the Midwest region of the country. Thus, this study aimed to assess the population dynamics of *D. saccharalis* adults in different sugarcane regions and its relationship with meteorological factors, as well as to establish a forecasting model based on degree days and difference equations. The adults were evaluated weekly for two growing seasons (2013/2014 and 2014/2015) in areas located in the states of São Paulo (Pradópolis and Valparaíso) and Goiás (Quirinópolis). In each location we used one or two plots of 25 ha, near (<2 km) to meteorological stations. In a central area (1 to 1.5 ha) of each block, four delta traps with virgin females and sticky floor were installed to capture adults. The number of collected adults and weather data were submitted to analysis of multiple regression and correlation. Mathematical models based on degree days and difference equations were developed. A higher occurrence of adults was observed during the rainy season, mainly from January to April. There was no correlation between climatic factors and population dynamics; except for Quirinópolis where the relative humidity was a limiting abiotic factor for population growth of this species. Models of degree days and difference equations are complementary and have shown effectiveness in forecasting both the time of occurrence of the pest as well as the number of adults in the next week.

Key-words: sugarcane borer, population regulation, meteorological parameters, degree-day, mathematical models

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) é considerada, atualmente, uma das principais pragas da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) (Família: Poaceae). Ela se destaca devido ao dano econômico que acarreta nesta cultura em consequência de seu modo de alimentação na fase jovem, pois, ao abrir galerias no colmo da planta, a larva ocasiona perda de matéria prima e favorece a ocorrência de microrganismos, o que reflete, posteriormente, nos aspectos quantitativos e qualitativos do açúcar e etanol produzidos (DINARDO-MIRANDA, 2008; ROSSATO JÚNIOR et al., 2013).

O controle desta praga é realizado geralmente pela liberação do parasitoide larval *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae) (LIMA et al., 2011). Para tanto, a amostragem da infestação de larvas de *D. saccharalis* no interior do colmo é necessária para a tomada de decisão de controle, uma vez que o parasitoide realiza oviposição apenas em larvas de 3º a 5º ínstaes, ou seja, quando estas larvas já estão no interior da planta. Assim, embora este programa de controle biológico seja bem conhecido e eficiente, parte da produção de cana-de-açúcar é comprometida, pois somente as larvas que estão no interior do colmo e que já causaram galerias são controladas pelo parasitoide.

Outros agentes de controle biológico, tais como a bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillaceae) (MACEDO et al., 2012) e o parasitoide de ovos *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) são também utilizados, porém, em menor escala para o controle desta praga (PARRA et al., 2002a). Todavia, a utilização destes agentes está condicionada ao aprimoramento do atual sistema de monitoramento da praga, uma vez que a observação de ovos e larvas de 1º e 2º ínstaes, localizados nas folhas, é extremamente difícil e laborioso.

Não obstante, conjuntamente com a expansão da cana-de-açúcar para o oeste do estado de São Paulo e áreas da região centro-oeste, iniciaram-se os relatos de elevadas infestações desta praga. Desta forma, a ampliação das estratégias de controle ecologicamente aceitáveis, tais como, o controle biológico, tornam-se necessárias. Mas, para tanto, a liberação (ou aplicação) inundativa de qualquer agente de controle deve estar lastreada por informações precisas da

ocorrência deste inseto no campo. Isto garante a eficiência de controle, pois o inimigo natural é utilizado no momento em que a fase alvo da praga está presente.

Desta forma, diante da escassez de informações sobre a dinâmica populacional, bem como da necessidade de aprimoramento dos atuais sistemas de monitoramento da broca-da-cana, que podem levar a melhorias como redução de custos e da necessidade de mão de obra e permitir que se amplie a utilização de inimigos naturais além de *C. flavipes* que o presente trabalho teve por objetivo determinar e comparar a dinâmica populacional de adultos de *D. saccharalis* nas áreas tradicionais e de expansão da fronteira agrícola relacionando esta dinâmica aos parâmetros meteorológicos e desenvolver modelos matemáticos de previsão de ocorrência de adultos de *D. saccharalis* de forma a facilitar a tomada de decisão para utilização do controle biológico inundativo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos biológicos e ecológicos de *Diatraea saccharalis*

A espécie *D. saccharalis* possui provável origem nas Américas Central e do Sul, sendo encontrada no hemisfério ocidental, especialmente, onde estão inseridas as plantações de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). É uma das principais pragas desta cultura (TERAN et al., 1983), embora venha sendo tratada, recentemente, como uma séria ameaça para a cultura do milho (FIGUEIREDO et al., 2010). No Brasil, ocorrem apenas três dentre as vinte e uma espécies pertencentes ao gênero *Diatraea*; no entanto, para a agricultura brasileira são de importância somente *D. saccharalis* e *D. flavipennella* (PINTO et al., 2009).

Trata-se de uma mariposa com aproximadamente 2,5 cm de envergadura e asas anteriores e posteriores de cor amarelo-palha e branca, respectivamente. Seus ovos, cujo período de desenvolvimento embrionário varia de 4 a 12 dias, são postos durante a noite na face inferior das folhas e de forma imbricada com sobreposição parcial. Estes ovos possuem coloração amarelada e, escurecem conforme o embrião se desenvolve. As larvas recém-eclodidas se alimentam, primeiramente, do parênquima da folha raspando-as até que atinjam o 2º ou 3º ínstar (PINTO et al., 2009). Posteriormente, perfuram o colmo e se alimentam formando galerias de forma ascendente em direção ao ponto de crescimento da planta. Muitas vezes, estas lagartas formam a galeria de modo circular, o que enfraquece o entrenó e facilita sua quebra pelo vento (BOTELHO; MACEDO, 2002).

As larvas permanecem no colmo até o 5º ínstar, cuja duração varia entre 20 e 79 dias e, deste modo, pode haver cinco gerações anuais. No último ínstar, as lagartas atingem de 2,2 a 2,5 cm de comprimento e então fazem um orifício, antes de empuparem, cobrindo-o com fios de seda e serragem para que a saída do adulto seja facilitada após a emergência (TERAN et al., 1983; PINTO et al., 2009).

Alguns autores como Melo e Parra (1988b) estimaram o número de gerações possíveis para a espécie *D. saccharalis* por meio de estudos de exigência térmica em laboratório para as seguintes temperaturas: 20º, 22º, 25º, 30º e 32ºC. Concluíram que no estado de São Paulo, ocorrem cinco gerações anuais e sendo a

última geração, a que ocorre a partir do mês de abril, a de maior duração, provavelmente, devido a queda de temperatura que se inicia neste período. Estes mesmos autores relatam a necessidade de estudos, pois outros fatores, além da temperatura-base inferior tais como a temperatura-base superior ou a presença de predadores e parasitoides podem influenciar no desenvolvimento e número de gerações desta praga.

2.2.Importância de *Diatraea saccharalis* para a cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta semi-perene, pertencente à família Poaceae cujo gênero *Saccharum* é o mais utilizado atualmente e reúne híbridos de diversas espécies (MING et al., 2006). Apesar de bem adaptada na maior parte do nosso país, esta cultura necessita de condições climáticas específicas, tais como um período úmido e quente para crescimento, seguido de um período frio e seco para a maturação dos colmos e enriquecimento da sacarose (BRUNINI, 2008).

O Brasil se destaca mundialmente com a cultura de cana-de-açúcar. Estima-se a produção na safra 2015/2016 de 658,5 milhões de toneladas em uma área estimada em aproximadamente nove milhões de hectares. O Brasil é, também, o primeiro país na produção de açúcar e etanol com 34,61 milhões de toneladas e 29,21 bilhões de litros, respectivamente. A previsão para os próximos anos é de expansão neste setor, principalmente, na região centro-sul onde o estado de São Paulo se destaca como o maior produtor (52,0%) seguido pelos estados de Goiás (10,1%), Minas Gerais (9,0%), Mato Grosso do Sul (7,5%) e Paraná (6,6%) (CONAB, 2015).

Apesar de o Brasil ocupar posição de destaque na produção e comercialização dos derivados desta cultura, os índices de crescimento poderiam ser ainda maiores uma vez que diversos insetos-praga como brocas, cigarrinhas e besouros atacam a planta (PINTO et al., 2009) causando danos diretos e indiretos, o que reduz em grande parte a sua produtividade.

As perdas econômicas causadas pela espécie *D. saccharalis* são elevadas em decorrência da diminuição de produtividade ao atacarem a planta de cana-de-açúcar em todas as fases de seu desenvolvimento. Os sintomas mais comuns são:

redução do peso da planta e do teor de sacarose, quebra do colmo pelo vento por estes tornarem-se secos e menores, aumento de perfilhamento, enraizamento aéreo dos colmos, destruição da gema apical, em decorrência do ataque na região de crescimento, causando o sintoma conhecido por coração morto, e o favorecimento da ocorrência de patógenos como bactérias e fungos (BOTELHO; MACEDO, 2002; DINARDO-MIRANDA, 2008).

Dentre estes microrganismos, destacam-se as espécies *Colletotricum falcatum* (Went, 1893) e *Fusarium moniliforme* (Sheldon, 1904) que causam a chamada “podridão vermelha” e fazem a inversão da sacarose presente no colmo em levulose e glicose que não são capazes de cristalizar, prejudicando portanto a qualidade da matéria obtida (BOTELHO; MACEDO, 2002; ROSSATO JÚNIOR et al., 2013).

É possível, segundo Gallo et al. (2002), estimar a intensidade de infestação da broca, por meio da coleta e avaliação de 100 colmos por talhão a fim de verificar a quantidade total de internódios e de internódios brocados conforme a fórmula:

$$\text{Intensidade de infestação (II)} = \frac{100 \times (\text{n}^\circ \text{de internódios brocados})}{\text{n}^\circ \text{total de internódios}}$$

Estudos realizados por Precetti et al. (1988) mostraram que 1% de intensidade de infestação da broca gera prejuízos de 0,20% de álcool, 0,25% de açúcar e 0,77% no peso do colmo (TCH). Já Arrigoni (2002) destaca que os prejuízos causados para 1% em intensidade de infestação podem ser ainda maiores com perda de 1,50% para a produtividade de colmos, 0,28% para etanol e 0,49% para açúcar.

Rossato Júnior (2012) também avaliou a intensidade de infestação (II) ao estudar o impacto que este inseto causa na qualidade da matéria-prima, açúcar e etanol para a cultura de cana-de-açúcar e observou que níveis elevados de intensidade de infestação (19,01% e 25,77%) causaram aumento de compostos fenólicos no caldo extraído bem como de fibra no colmo.

2.3. Controle biológico de *Diatraea saccharalis*

O controle biológico é um fenômeno natural que consiste na regulação de espécies por inimigos naturais, sendo importante em programas de manejo integrado de pragas (MIP). Essa técnica de controle consiste em três tipos: o clássico com a introdução de parasitoides ou predadores; natural preservando aqueles inimigos que ocorrem, naturalmente, no agroecossistema e o aplicado que trata, basicamente, de liberações de inimigos que foram multiplicados massalmente em laboratórios (PARRA et al., 2002b).

Segundo Cruz (2002), as formas de liberações de agentes de controle podem ser classificadas em inoculativas e inundativas e se referem à frequência e finalidade da liberação do agente natural.

As liberações inoculativas buscam introduzir um inimigo natural em uma área onde este organismo deixou de existir, provavelmente, por condições adversas do ambiente. Espera-se que o controle das pragas seja realizado pelas gerações dos insetos introduzidos. E por fim, as liberações inundativas têm por objetivo diminuir a incidência do inseto-alvo, liberando inimigos naturais de forma abundante.

O controle biológico é um método utilizado em muitas partes do mundo, sendo o Brasil um dos países em que se tem um dos programas de liberações de insetos mais bem estabelecidos, atualmente, com o exemplo da utilização de *C. flavipes* a fim de parasitar e diminuir a incidência de *D. saccharalis* (LIMA et al., 2011).

As liberações do braconídeo *C. flavipes* para o controle de *D. saccharalis* iniciaram-se no estado de São Paulo no ano de 1977 e é responsável, nos dias de hoje, por cerca de 80% do parasitismo desta espécie em relação aos demais organismos. É um método alternativo ao uso de inseticidas químicos, já que estes não conseguem atingir a broca-da-cana por esta ficar no interior do colmo a maior parte de sua vida (BOTELHO, 1992; CRUZ et al., 2011).

Muitos estudos vêm sendo realizados para aprimorar este método de controle (BOTELHO; MACEDO, 2002). Dinardo-Miranda et al. (2011) estudaram a distribuição espacial de *D. saccharalis* com o propósito de estabelecer o melhor método de amostragem e, conseqüentemente, aumentar as chances de sucesso do

programa de manejo, haja vista que a liberação de agentes de controle como o endoparasitoide *C. flavipes*, deve ser feita em função do nível de infestação de pragas encontradas no campo. Por conta disto, os autores ressaltam a importância de se realizar um monitoramento eficiente, que leve em consideração a distribuição agregada desta espécie e respeite a amostragem de pelo menos seis pontos por hectare.

O gênero *Trichogramma* destaca-se, também, como um dos principais parasitoides de ovos na cultura da cana-de-açúcar (PARRA et al., 2002a). Lima Filho e Lima (2001) avaliaram o parasitismo deste micro-himenóptero sobre os ovos de *D. saccharalis* infestados artificialmente em campo e verificaram que as massas de ovos deste inseto-praga apresentaram 93,3% de parasitismo. Os autores observaram, também, que o parasitismo foi realizado exclusivamente por espécies deste gênero.

Já Botelho et al. (1999) verificaram que uma liberação de *C. flavipes* associada à três liberações do parasitoide *T. galloi* apresentou maior eficiência no controle de *D. saccharalis* reduzindo a infestação desta praga em cerca de 60%.

Os parasitoides são os principais inimigos naturais responsáveis pela morte de herbívoros holometábolos em comparação aos predadores e patógenos (HAWKINS et al., 1997). Segundo Botelho e Macedo (2002), estes artrópodes podem apresentar, muitas vezes, eficiência de controle acima de 80%. Além disso, é preciso lembrar-se da influência que o clima exerce no controle deste inseto, principalmente, na fase de ovo, tornando-os inviáveis em más condições de temperatura e umidade.

Um microrganismo entomopatogênico também importante, embora pouco utilizado, é a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), juntamente com suas variedades (ex.: *B.t. moritai*, *B.t. kurstaki*, *B.t. israelenses*, *B.t. japonensis*, *B.t. sandiego*). Este microrganismo possui um cristal proteico que quando dissolvido em meio alcalino torna-se tóxico ao inseto. Os insetos, primeiramente, perdem o apetite e logo depois sofrem regurgitação, diarreia, paralisia e, por fim, morrem. As formulações comerciais mais comuns desta bactéria são o Dipel® e Thuricide® contendo por cada grama de produto 25 bilhões de esporos (DEQUECH, 2000; GALLO et al., 2002).

Recentemente, trabalhos preliminares têm sido realizados com a espécie *Tetrastichus howardi* (Olliff, 1893) (Hymenoptera: Eulophidae), inimigo natural das fases larvais e pupais de *D. saccharalis* e ganhado destaque como um promissor agente de controle (CANA ONLINE, 2015; VARGAS et al., 2011).

Estudos realizados por Costa (2013) verificaram a capacidade de *T. howardi*, *C. flavipes* bem como as duas espécies em interação em localizar e parasitar lagartas de 3º ínstar de *D. saccharalis*. O parasitismo ocorrido foi de, respectivamente, 100, 67 e 99% para *C. flavipes*, *T. howardi* e para as duas espécies interagindo. Ressaltou-se que *T. howardi* possui atributos como maior longevidade, alta capacidade de multiplicação e de parasitismo, não somente em larvas como, também, em pupas que o favore para ser utilizado em programas de controle biológico, juntamente, com *C. flavipes*.

2.4. Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos são considerados uma forma de representar um sistema real (RAVINDRAN et al., 1987). Descrevem, de acordo com um objetivo pré-estabelecido (JONES, 1989), os processos que ocorrem em um determinado ambiente por meio de fórmulas matemáticas (SMERAGE, 1985). Considera-se sistema real o conjunto formado de elementos interconectados cujo comportamento não se dá somente entre os elementos que o constitui, mas, também, sobre a natureza e o modo desta interconexão.

Os modelos são como abstrações da realidade (HANNON; RUTH, 2001). Tais abstrações consistem em analisar um sistema e extrair a essência dele para, posteriormente, descrevê-lo e representá-lo por meio de equações matemáticas (LIMA et al., 2009). Portanto, de modo geral, segundo Hannon e Ruth (2001), um bom modelo é capaz de perceber que mudanças em seus componentes podem afetam o restante do sistema, além de prever o futuro da dinâmica e formular questões sobre o sistema e verificar a aplicabilidade dos princípios descobertos.

Há alguns anos, esforços para desenvolver modelos que descrevam a atividade dos insetos têm ganhado destaque. Estes organismos possuem propriedades como a alta taxa de crescimento que os tornam potenciais agentes

para entender fenômenos da natureza, tal como o aquecimento global. Além disso, se tornam objetos de estudos por serem pragas de algumas culturas, interferindo, portanto, na atividade econômica humana (SCHOWALTER, 2006). Desta forma Sutherst e Maywald (1985) desenvolveram um software denominado CLIMEX para prever a distribuição de espécies de acordo com a mudança climática, bem como prever o risco de novas espécies chegarem a áreas de agricultura.

A modelagem, como citada, é utilizada em sistemas de agricultura. Por meio dela é possível estabelecer relações complexas de campo, testar hipóteses, reformular designs experimentais (MCKINION, 1992), entender dinâmicas populacionais de pragas e inimigos naturais (SMERAGE, 1985, GUTIERREZ, 1996), simular relação entre fatores externos do meio ambiente (abióticos) e internos dos diferentes organismos (bióticos) (SCOMPARIN, 2009), ou ainda, utilizá-la como ferramenta nas tomadas de decisões de manejo. Uma combinação de fatores pode estar agregada na elaboração desses modelos tais como os biológicos, físicos ou até mesmo os econômicos (JONES, 1989) e, considerando variáveis qualitativas e quantitativas (LIMEIRA, 2010).

Uma das variáveis mais importantes a ser considerada na modelagem é a temperatura, pois afeta sobremaneira a dinâmica populacional de muitos organismos como, por exemplo, os insetos, que são organismos ectotérmicos (HADDAD e PARRA, 1984). Além da dinâmica populacional, as atividades metabólicas, em geral, também se elevam com o aumento da temperatura. Sabe-se que a taxa de desenvolvimento destes organismos são dependentes da temperatura, no entanto, algumas espécies que vivem em ambientes extremos são capazes de regular a temperatura corpórea em alguns graus através de respostas comportamentais ou fisiológicas (SCHOWALTER, 2006).

Tal influência foi verificada por Fabre et al. (2006), que utilizaram um modelo para simular a dinâmica populacional de afídeos da espécie *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae) e observaram a relação do aumento do número de indivíduos em função da temperatura. Outros fatores, também, são citados na literatura como primordiais na adaptação fisiológica dos insetos, tais como o fotoperíodo e o termoperíodo.

Leite (2010) avaliou a influência do termoperíodo sobre o inseto *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Hemiptera: Aphididae) e os inimigos-naturais *Ceraeochrysa cubana* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) e *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). Verificou que a temperatura flutuante afeta as três espécies. Em *A. gossypii* a temperatura alterou o padrão de duração dos ínstaes, longevidade, fase ninfal e ciclo biológico. O mesmo ocorreu para a duração dos ínstaes, fase larval, pré-pupa, pupa e emergência de adultos de *C. cubana*, e observou que as temperaturas de 26° e 30°C são as mais adequadas para a manutenção deste inseto. Já para *C. externa*, as temperaturas que proporcionaram maior viabilidade foram 21° e 27°C, sendo esta espécie prejudicada quando exposta a temperaturas superiores a estas.

Já Ambrosano et al. (1996) desenvolveram um modelo matemático para a simulação do controle de *D. saccharalis* por *T. galloi* levando em consideração a dinâmica existente entre esses dois organismos e o meio ambiente. Segundo os autores, trata-se de um modelo compartimental e determinístico em que são considerados todos os fatores que podem influenciar a dinâmica broca-parasitoide-ambiente. Foram sugeridas hipóteses, sendo estas transformadas em equações matemáticas e transferidas a um programa de computador. Posteriormente, realizaram-se duas validações, uma validação qualitativa para verificar se o que estava ocorrendo em campo era o mesmo verificado no modelo e uma quantitativa, a fim de comparar os dados observados com aqueles obtidos da simulação. Concluíram que o modelo pode ser utilizado para que haja o controle da broca-da-cana pelo parasitoide.

Como mencionado anteriormente, o fotoperíodo é um outro fator relacionado ao ambiente e que interfere diretamente na biologia e ciclo biológico dos insetos, afetando a longevidade e fertilidade destes organismos. Os insetos conseguem reconhecer, perfeitamente, a sazonalidade fotoperiódica por possuírem ritmos circadianos, ou seja, reconhecerem de tempos em tempos a mudança no ambiente. Alguns deles necessitam, tal como as plantas, de um determinado número de horas de sol e de escuro para completar seu desenvolvimento; no entanto, sem as condições adequadas a eclosão de ovos pode ser prejudicada ou mesmo determinar a diapausa nos insetos (GULLAN; CRANSTON, 2012; RODRIGUES, 2004).

Parra et al. (1983) determinaram o efeito do fotoperíodo para o desenvolvimento de larvas, pupas e adultos de *D. saccharalis*. Verificaram que o fotoperíodo está extremamente relacionado à temperatura, principalmente em baixas temperaturas. Observaram, também, que a fase larval é mais afetada pelo fotoperíodo que a fase pupal e em temperaturas mais elevadas a fotofase de 12 horas apresentou melhores resultados quanto ao encurtamento do período larval e adultos mais bem formados.

Desta forma, muitos modelos procuram entender a relação existente entre organismos e o meio em que vivem e, no atual contexto em que estamos inseridos, de promoção de um meio ambiente mais sustentável, destaca-se a importância e necessidade de tomadas de decisões cada vez mais racionais. Higley e Pedigo (1996) ressaltaram essa importância de melhorar as decisões de manejo por meio, por exemplo, do conceito de nível de dano econômico. Este conceito aborda critérios econômicos e biológicos de pragas e hospedeiros e parte da premissa de que alguns níveis de insetos são toleráveis, o que reflete, consequentemente, nas decisões de controle destes indivíduos.

Segundo Ainseba et al. (2011), a previsão de ocorrência de populações de insetos é usualmente realizada através de monitoramentos por meio de armadilhas, feromônio ou contagem visual de ovos e fases jovens. No entanto, esse tipo de técnica possui desvantagens, pois, não informam o tamanho real da população em campo e nem mesmo a idade dos insetos encontrados. Os modelos matemáticos podem, portanto, auxiliar, no entendimento e conhecimento deste tipo de informação. Assim, desenvolveram o modelo LBM (*Lobesia botrana* model) para a espécie de mariposa *Lobesia botrana* (Denis e Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera: Tortricidae), bastante frequente em videiras na Europa. Trata-se de um modelo de dinâmica populacional o qual prevê o tempo de ciclo de vida, baseando-se nos quatro estágios de vida desta (ovo, larva, fêmeas e machos adultos). Favorece, também, o entendimento do tamanho e flutuação desta população bem como o comportamento de oviposição e danos causados na cultura pelas larvas ao considerar fatores como a temperatura, umidade do ar, variedade da cultura e condições biológicas destes insetos.

2.4.1. Uso do Modelo linear de graus-dia

Um modelo bastante conhecido é o de graus-dia, o qual é definido como a quantidade de calor acumulada durante o dia e favorável ao crescimento do organismo. O total de graus-dia é obtido pela subtração da temperatura-base de desenvolvimento do organismo pela temperatura média diária (BRUNINI et al. 1976).

Este modelo apresenta, implicitamente, a relação direta que existe entre o desenvolvimento de animais pecilotérmicos e plantas com o clima sendo, portanto, muito utilizado como uma ferramenta em estudos de ecologia, manejo e previsão de pragas, estudos de insetos em geral, ciências e fenologia de plantas (HIGLEY et al., 1986).

O requerimento térmico necessário ao desenvolvimento dos insetos foi proposto por Réaumur por meio da constante térmica (K). Esta constante, expressa em graus-dia (GD), revela que o tempo de desenvolvimento relacionado à temperatura é constante (SILVEIRA-NETO et al., 1976):

$$K = D \cdot (T - T_b)$$

onde:

K = constante térmica;

D = duração do tempo de desenvolvimento;

T = temperatura do ambiente;

T_b = temperatura base

Segundo Haddad et al. (1999), devido ao fato dos insetos dependerem da temperatura para se desenvolverem, é necessário considerar a temperatura base abaixo do qual o inseto não se desenvolve. Desta forma, estudos de laboratório com temperaturas constantes são necessários para a determinação dos limites térmicos inferior e superior dos insetos.

Um exemplo da aplicação deste tipo de modelo foi utilizado por Cividanes e Carvalho (2000) para a previsão de ocorrência de ninfas e adultos do percevejo da soja *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) (Hemiptera: Pentatomidae). Observaram

que, em decorrência dos métodos de amostragem, o modelo previu de forma mais apurada o surgimento de adultos quando comparados com o surgimento de ninfas e, podem ser considerados na validação do modelo de previsão de ocorrência.

Já Ávila et al. (2002) determinaram a exigência térmica de *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae) em condições de campo a fim de prever a ocorrência deste inseto. Para isto, utilizaram as temperaturas médias do solo e do ar no modelo de graus-dia obtido anteriormente em laboratório. Verificaram que a constante térmica obtida nas condições de campo foi menor em relação àquela obtida em laboratório. Desta forma, houve diferença entre a previsão esperada e a observada, além de que o modelo de graus-dia mostrou-se melhor quando se fez o uso da temperatura média estimada do solo em relação à temperatura do ar.

Geremias (2013) utilizou este modelo com o objetivo de determinar a faixa ótima de temperatura e constante térmica para a espécie *D. saccharalis* em condições de laboratório e, posteriormente em campo, a fim de, validar o modelo obtido. Segundo esse autor, as constantes térmicas obtidas em laboratório por meio deste modelo podem ser utilizadas em estudos de campo desde que os dados de temperatura tenham a sua origem bem estabelecida. Em seu trabalho os dados climáticos foram obtidos de três diferentes formas: através de estações convencionais, automáticas e data logger. As estações automáticas foram as mais adequadas, pois não superestimaram ou subestimaram os dados de temperatura tal como fizeram as estações convencionais e o data logger, respectivamente.

Albergaria e Cividanes (2002) determinaram o limite térmico inferior bem como a constante térmica de *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) criando este inseto em soja *Glycine max* (L.) Merrill. Os resultados para as fases de ovo, ninfa e adulto foram respectivamente: 11,1°C (98,8 graus-dia), 6,8°C (383,8 graus-dia) e 8,3°C (472,6 graus-dia). Tais dados permitem inferir o número de possíveis gerações para esta espécie por meio do uso de graus-dia.

Estudo semelhante foi feito por Nava et al. (2005) que utilizaram, igualmente, o modelo baseado em graus-dia para estimar o número de gerações da espécie *Stenoma catenifer* Walsingham, 1912 (Lepidoptera: Elachistidae), conhecida, popularmente, como broca-do-abacate. Estes autores determinaram as exigências térmicas deste inseto em laboratório e verificaram a flutuação populacional por meio

de coletas de campo. Os dados climáticos foram obtidos de estações meteorológicas. Dessa forma, os resultados obtidos para o limiar térmico inferior de desenvolvimento, bem como a constante térmica (K) foram: 9,1°C (82,3 graus-dia /ovo), 8,3°C (398,4 graus-dia/lagarta), 10,1°C (164,7 graus-dia/pupa) e 8,9°C (644,5 graus-dia/período ovo-adulto). Já o número de gerações anuais e por ciclo de produção do abacateiro foram, respectivamente, de 7,8 e 5,1.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localidades

O trabalho foi realizado em áreas comerciais de cana-de-açúcar durante as safras 2013/2014 e 2014/2015 pertencentes a três usinas sucroalcooleiras sendo, duas destas localizadas no estado de São Paulo (Valparaíso e Pradópolis) e uma no estado de Goiás (Quirinópolis) (Tabela 1). Talhões de 25 ha foram selecionados para avaliação da infestação, sendo que se adotou apenas um talhão nos municípios de Valparaíso e Quirinópolis, enquanto que para o município de Pradópolis foram selecionados dois talhões.

As variedades adotadas foram as mais representativas dentre aquelas cultivadas em cada localidade (Tabela 1). Em cada talhão uma área entre 1 e 1,5 ha na parte central foi utilizada para avaliação da infestação por meio de armadilhas. Os talhões estavam localizados próximos (< 2 km) de estações climáticas para obtenção dos dados meteorológicos e isentos de aplicações de inseticidas e/ou liberações de inimigos naturais.

Tabela 1. Localidades e características da cana-de-açúcar (variedade e corte) utilizadas para avaliação de adultos de *Diatraea saccharalis*.

Localidade	Área	Safra	Coordenadas	Variedade	Corte
Valparaíso – SP	1	2013/2014	21°21'42.77"S/50°58'18.35"O	RB867515	1º
Valparaíso – SP	1	2014/2015	21°21'42.77"S/50°58'18.35"O	RB867515	2º
Pradópolis – SP	1	2013/2014	21°20'11.39"S/48°6'42.65"O	CTC7	3º
Pradópolis – SP	1	2014/2015	21°20'11.39"S/48°6'42.65"O	CTC7	4º
Pradópolis – SP	2	2013/2014	21°18'47.74"S/48°5'42.05"O	RB855453	4º
Pradópolis – SP	2	2014/2015	21°18'47.74"S/48°5'42.05"O	RB855453	5º
Quirinópolis – GO	1	2013/2014	18°31'15.94"S/50°27'24.91"O	RB855453	1º
Quirinópolis – GO	1	2014/2015	18°31'15.94"S/50°27'24.91"O	RB855453	2º

3.2. Amostragem de adultos de *Diatraea saccharalis*

Armadilhas do tipo delta com piso colante (Biocontrole®) foram instaladas no entorno de cada área experimental. Adotaram-se quatro armadilhas por área. As armadilhas foram mantidas presas em suportes e ajustadas na altura do ponto de crescimento das plantas por todo o período de avaliação. Devido à inexistência de feromônios sexuais comerciais para *D. saccharalis* no Brasil, gaiolas plásticas cilíndricas contendo fêmeas virgens foram utilizadas para atração de machos. Estas gaiolas foram confeccionadas com rolo de cabelo (Bob) envolto por tecido fino (tule) e presas no centro da armadilha delta.

Cada gaiola conteve cinco fêmeas adultas virgens e três pupas para eventual reposição de fêmeas adultas mortas. Os insetos presentes nas gaiolas foram substituídos a cada 3-4 dias, a fim de garantir a máxima eficiência de liberação de feromônio pelas fêmeas que, normalmente, não ultrapassa 3 dias após a emergência (CORTES, 2010; SANDOVAL, 2010). Os insetos capturados nas armadilhas foram contados semanalmente e os pisos colantes foram trocados a cada 7-15 dias. A instalação das armadilhas e contagem dos insetos nas armadilhas iniciou-se logo após o surgimento dos primeiros internódios da planta.

3.3. Análise estatística

3.3.1. Análise de dados climáticos

Os dados climáticos foram obtidos a partir de estações climatológicas localizadas nas próprias usinas e consistiram em precipitação (mm), umidade relativa do ar (%) e temperatura média (°C). Para analisar a relação entre os adultos capturados nas armadilhas e os fatores climáticos foram realizadas as análises de variância, correlação e regressão múltipla utilizando os procedimentos PROC GLM, PROC CORR e PROC REG (SAS INSTITUTE, 2004).

Para os adultos de *D. saccharalis* (variável dependente) adotou-se a incógnita Y e para as variáveis independentes foram adotadas: precipitação acumulada (mm)

(x_1), temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) (x_2) e umidade relativa média (%) (x_3) para o período entre coletas, o qual foi normalmente de uma semana.

3.4. Construção de modelos de previsão de ocorrência

Os dados obtidos em campo (flutuação populacional e parâmetros meteorológicos) coletados nas safras 2013/2014 e 2014/2015 foram utilizados para a elaboração dos modelos matemáticos baseados em graus-dia e equações de diferenças.

Os registros climáticos realizados em campo, principalmente temperatura, permitiram estimar o tempo (fisiológico) de desenvolvimento de *D. saccharalis*. Para tanto, informações sobre o desenvolvimento em graus-dia foram baseadas na obra de Melo e Parra (1988b). O estabelecimento do ponto de partida “*biofix*” para início da acumulação dos graus-dia foi baseado no pico acentuado e bem definido na área.

O “*biofix*”, conforme definido por Riedl et al. (1976) se refere ao primeiro pico de mariposas capturadas em armadilhas de feromônio. Entretanto, no estudo, a captura nem sempre foi iniciada na área antes das plantas apresentarem o primeiro internódio formado. Com isso, em diversas situações, o primeiro pico de mariposas já havia ocorrido.

Os critérios adotados para a escolha do “*biofix*” foram: comparações entre áreas adjacentes e final do inverno ou início da primavera. Para o município de Valparaíso-SP observou-se a correspondência com picos ocorridos em áreas próximas (Andradina-SP). Já em Pradópolis-SP, devido a coleta de informações em duas áreas, observou-se a ocorrência de um pico coincidente nelas no mesmo ano. Para Quirinópolis-GO, única localidade em que se teve avaliações no período de inverno (a partir do mês de julho) foi adotado como “*biofix*” o primeiro pico com número elevado de mariposas após inverno e início da primavera.

3.4.1. Modelo em graus-dia

Para o cálculo diário em graus-dia (GD), utilizaram-se os dados de temperatura obtidos nas estações climáticas. Posteriormente, estes valores foram acumulados até a data em que o valor acumulado atingiu 710,51 GD (constante térmica) que, de acordo com Melo e Parra (1988b), é o tempo fisiológico do ciclo de *D. saccharalis* (ovo-adulto). O cálculo foi realizado por meio da seguinte fórmula, conforme Silveira-Neto et al. (1976):

$$GD = \frac{(T_{mín} + T_{máx})}{2} - T_b$$

onde:

GD = graus-dia;

T_{mín} = temperatura mínima;

T_{máx} = temperatura máxima;

T_b = temperatura base.

3.4.2. Modelo em equações de diferenças

Foi proposto um modelo matemático de equações de diferenças baseado em Iannelli e Pugliese (2014). A validação deste modelo foi feita utilizando-se as coletas de campo e seguindo o procedimento proposto por Dennis et al. (1998) e Dennis e Taper (1994).

$$N_{(t+1)} = N_{(t-t_i)} * K + (1 - m_a) * N_{(t)}$$

onde:

N = quantidade de insetos adultos;

t = tempo (semanas);

t_i = tempo de desenvolvimento da fase imatura (ovo, larva e pupa);

K = ovi*rs*exp(-t_i*m_i)

ovi = número de ovos;

rs = razão sexual x fertilidade;

exp = fertilidade do inseto;

mi = taxa de mortalidade de insetos imaturos;

ma = taxa de mortalidade de insetos adultos.

O primeiro termo, lado esquerdo da equação $N_{(t+1)}$, corresponde à contribuição da geração anterior para a população adulta em $t+1$, ou seja, são os ovos férteis colocados em $t-t_i$ ($ovi \cdot rz$) que sobrevivem a fase imatura ($\exp(-t_i \cdot mi)$) e que originarão novos adultos. O segundo termo, lado direito da equação, são os adultos que não morreram e são observados, portanto, no tempo $t+1$.

É esperado que o tempo de desenvolvimento da fase imatura, fertilidade, e as taxas de mortalidade associadas às fases imatura e adulta dependam de fatores abióticos, tais como temperatura e umidade. Nessa primeira abordagem esses parâmetros foram considerados constantes e obtidos a partir daqueles estimados em laboratório para a espécie *D. saccharalis*, segundo Melo e Parra (1988a).

Assim, foram utilizadas técnicas de estimação de parâmetros (algoritmo genético), que minimizavam a diferença entre as previsões do modelo e os dados obtidos, com o objetivo de encontrar o melhor conjunto de parâmetros que permitia o ajuste do modelo aos dados coletados:

$$E = \frac{1}{S - t_i + 1} \left(\sum_{t=t_i}^S (N(t) - D(t))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

onde:

$N_{(t)}$ = coletas no campo;

$D_{(t)}$ = valor estimado pelo programa;

S = último dado de campo coletado;

t_i = tempo de desenvolvimento da fase imatura (ovo, larva e pupa).

Desta forma, a cada passo de tempo t , o modelo calculou a nova população de adultos a partir do valor observado em campo em $t-1$ e $t-t_i$, dado um conjunto de parâmetros. Posteriormente, realizou-se análise de sensibilidade a qual permitiu

gerar um intervalo de confiança para os parâmetros estimados. Para isso, supôs-se que cada dado coletado no campo possuía um erro de $\pm 30\%$. Com isso, gerou-se um conjunto de dados fictícios os quais foram utilizados para estimar os intervalos de confiança. Após a análise dos resultados verificou-se a necessidade de se trabalhar os dois modelos com os dados suavizados, ou seja, estimativas da ocorrência de adultos através dos dados observados de campo e obtidos por meio do cálculo de média móvel simples:

Assim:

$$Nn_{(t)} = \frac{N_{(t-1)} + N_{(t)} + N_{(t+1)}}{3}$$

onde:

Nn = novo valor para o número de adultos após a suavização dos dados.

O modelo de equações de diferenças e o método de estimação de parâmetros foram programados em linguagem C.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Flutuação populacional de *Diatraea saccharalis*

O número total de mariposas capturadas na primeira safra (2013/2014 – 12.122 adultos) foi proporcionalmente maior em comparação à segunda safra (2014/2015 - 7.440 adultos), mesmo considerando que na maioria das áreas o período de amostragem foi menor nesta última (Tabela 2).

Ao comparar as médias de mariposas capturadas entre regiões verificou-se a maior população em Valparaíso-SP (média anual = 4.332,0 adultos e média semanal = 244,8 adultos) seguido de Quirinópolis-GO (média anual = 3.865,0 adultos e média semanal = 95,9 adultos) e por fim Pradópolis-SP (média anual = 792,3 adultos e média semanal = 34,54 adultos). Portanto, os municípios localizados nas regiões em que o cultivo de cana-de-açúcar é mais recente apresentaram maior infestação.

Tabela 2. Número total de machos adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em armadilhas delta em cana-de- açúcar.

Localidade	Área	Safra	Nº total de avaliações (semanas)	Nº de insetos capturados
Valparaíso – SP	1	2013/2014	30	7.737
Valparaíso – SP	1	2014/2015	14	927
Pradópolis – SP	1	2013/2014	22	595
Pradópolis – SP	1	2014/2015	15	113
Pradópolis – SP	2	2013/2014	25	1.519
Pradópolis – SP	2	2014/2015	22	942
Quirinópolis – GO	1	2013/2014	28	2.271
Quirinópolis – GO	1	2014/2015	40	5.458

De modo geral, não foi possível verificar relação direta entre o crescimento das plantas de cana-de-açúcar (número médio de internódios em cem plantas avaliadas) e aumento na incidência de mariposas (número médio por quatro armadilhas) (Figuras 1a-1h).

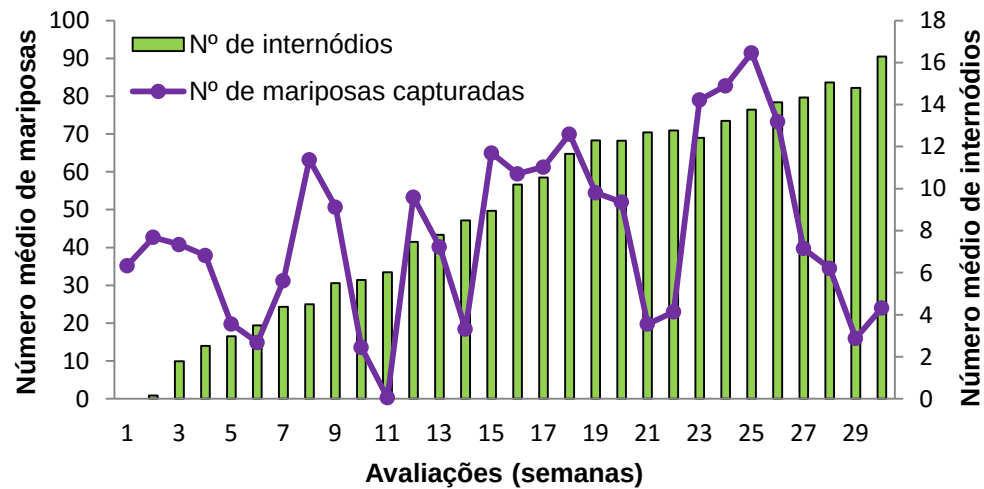


Figura 1a. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Valparaíso-SP na safra 2013/2014.

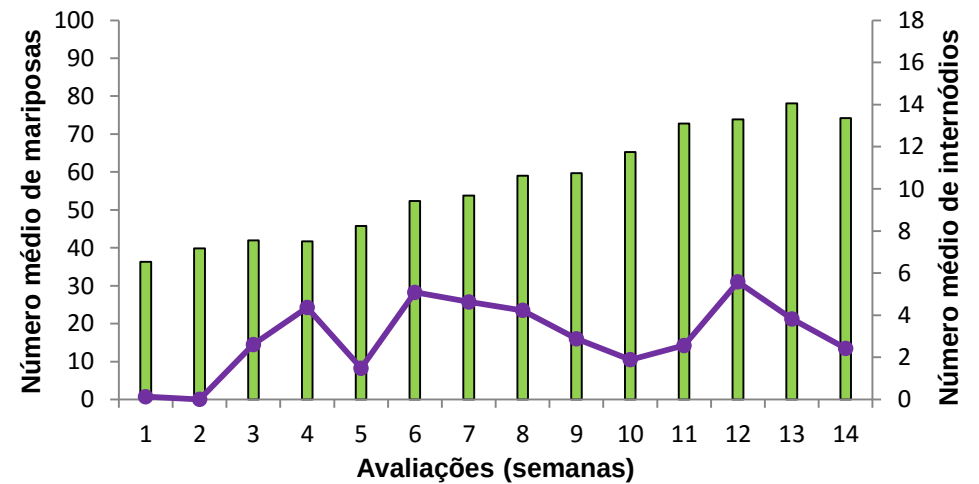


Figura 1b. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Valparaíso-SP na safra 2014/2015.

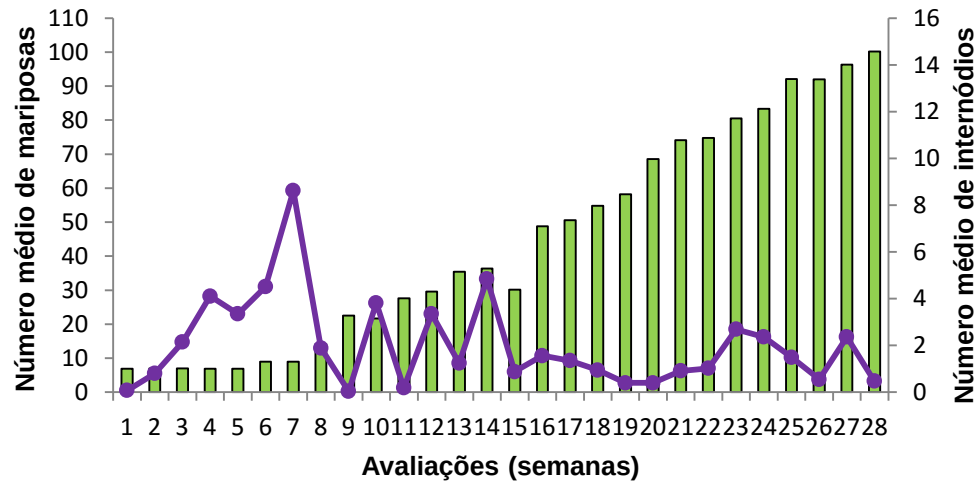


Figura 1c. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Quirinópolis-GO na safra 2013/2014.

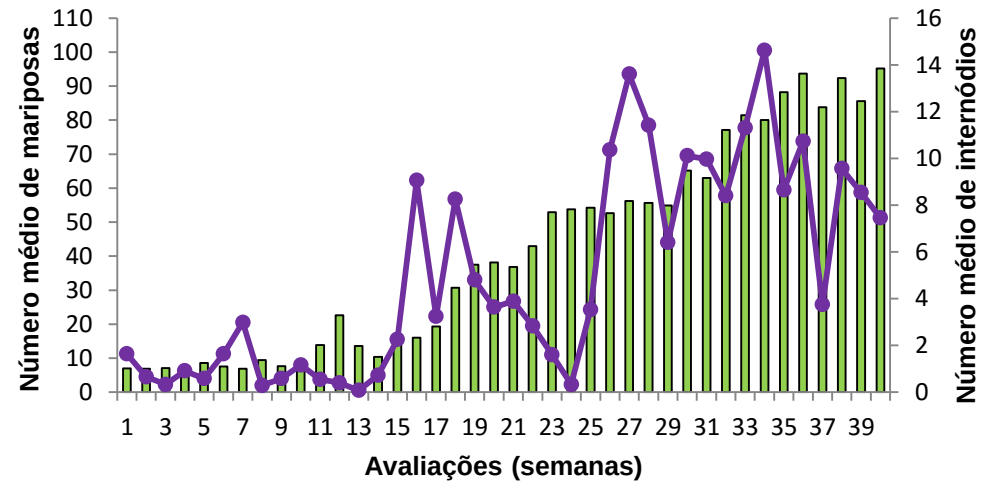


Figura 1d. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Quirinópolis-GO na safra 2014/2015.

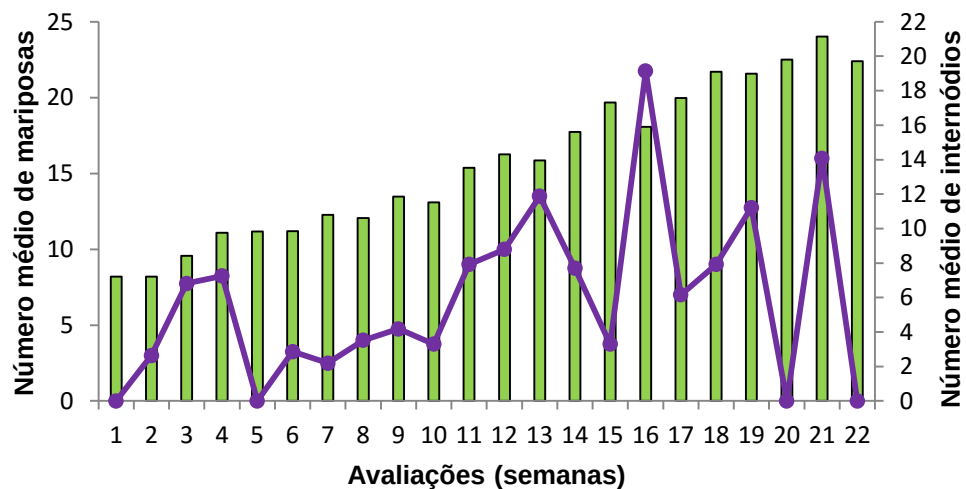


Figura 1e. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Pradópolis-SP (Área 1) na safra 2013/2014.

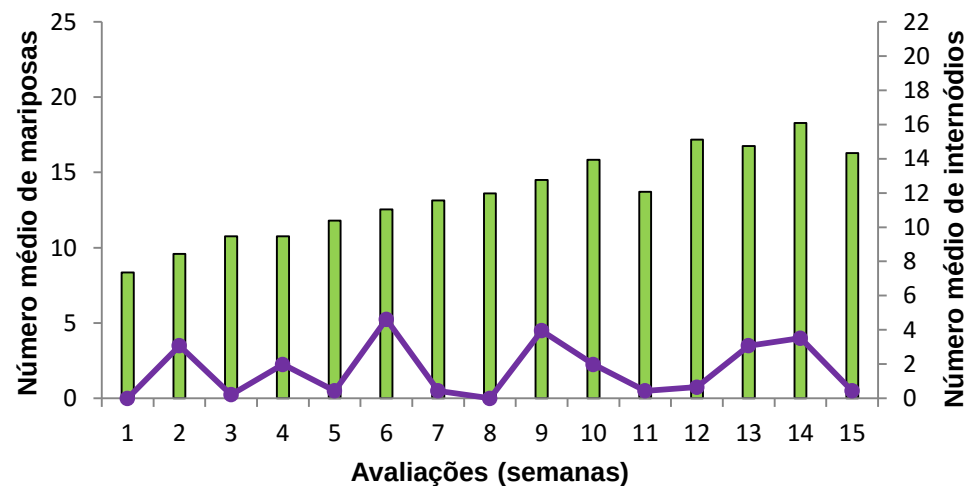


Figura 1f. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Pradópolis-SP (Área 1) na safra 2014/2015.

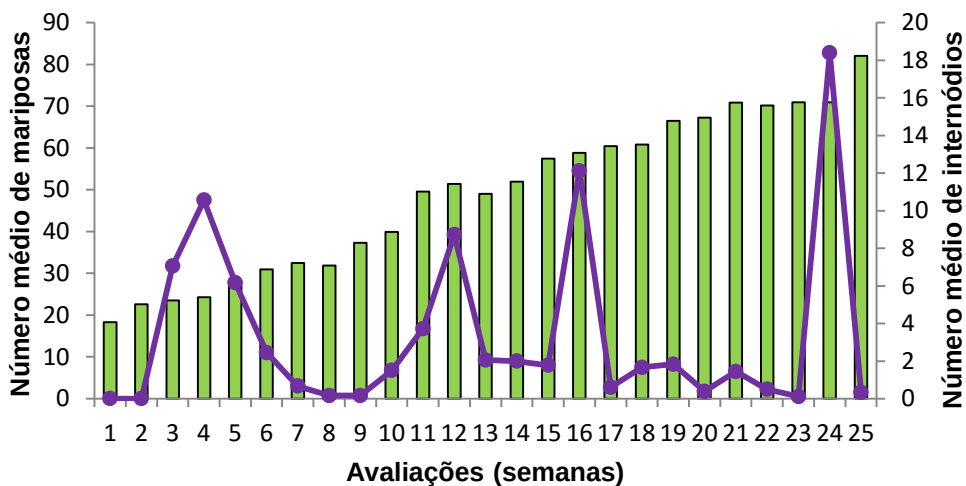


Figura 1g. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Pradópolis-SP (Área 2) na safra 2013/2014.

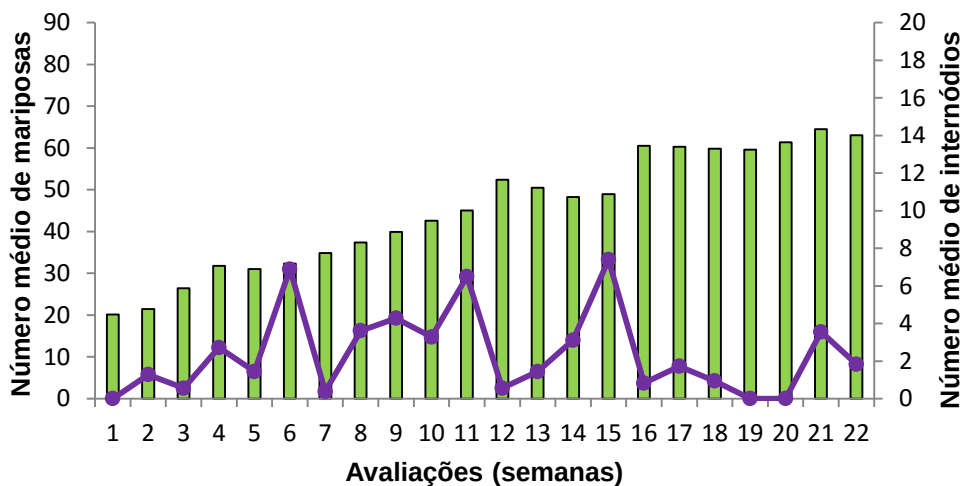


Figura 1h. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* e número médio de internódios na cana-de-açúcar em Pradópolis-SP (Área 2) na safra 2014/2015.

Os maiores níveis populacionais, de modo geral, se concentraram nos meses de janeiro a março na safra 2013/2014 (Figura 2) e fevereiro a abril na safra 2014/2015 (Figura 3). Observou-se pico populacional de adultos da praga no mês de outubro de 2013, em Quirinópolis-GO (safra 2013/2014). Todavia, ressalta-se que, diferentemente das demais localidades estudadas, as coletas de campo em Quirinópolis foram iniciadas em setembro de 2013. Nas demais, as coletas foram iniciadas em dezembro.

Adultos de *D. saccharalis* ocorrem o ano todo, conforme apontado por Botelho et al. (1977). Em levantamentos de adultos realizados durante três anos por meio de armadilhas luminosas, esses autores observaram picos ocorrendo nestes mesmos meses (janeiro e março), embora outros picos tenham sido observados em agosto e outubro. Por outro lado, Teran (1979) registrou picos de mariposas de *D. saccharalis* em fevereiro, julho e dezembro.

Embora haja um grande número de avaliações para alguns municípios, ressalta-se a importância de fazer levantamentos com um maior número de coletas e abrangendo todas as estações do ano. Os picos populacionais de adultos foram observados principalmente nos períodos do ano de maior precipitação e umidade. Levantamentos durante o período mais seco (inverno) são importantes para avaliação da dinâmica, mas talvez não sejam necessários para tomada de decisão de controle, pois, invariavelmente, as plantas estão em fase de colheita, com exceção das áreas com cana-planta.

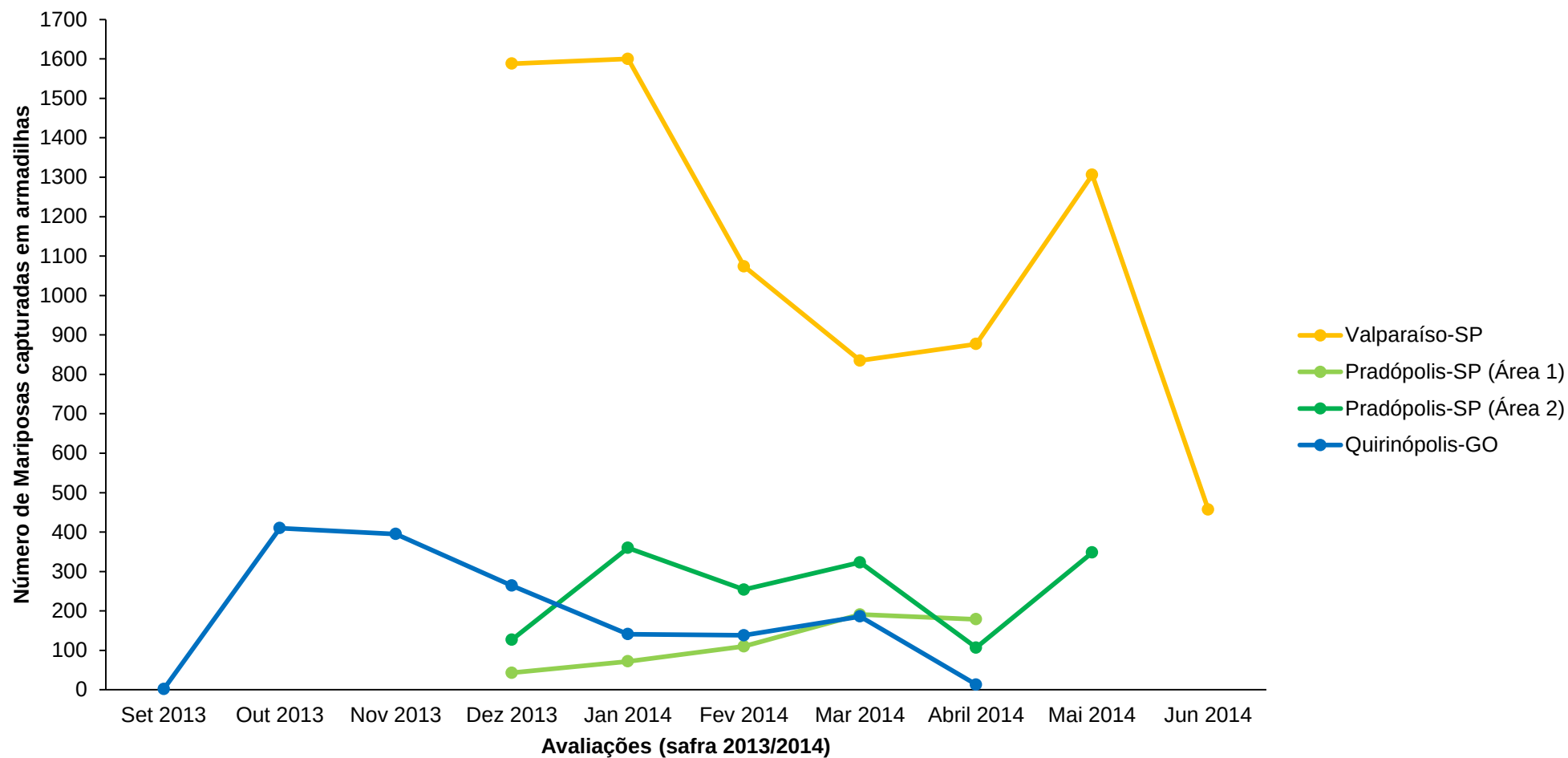


Figura 2. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar na safra 2013/2014, em Pradópolis-SP, Valparaíso-SP e Quirinópolis-GO (cada ponto representa o número total acumulado mensal de adultos capturados em quatro armadilhas).

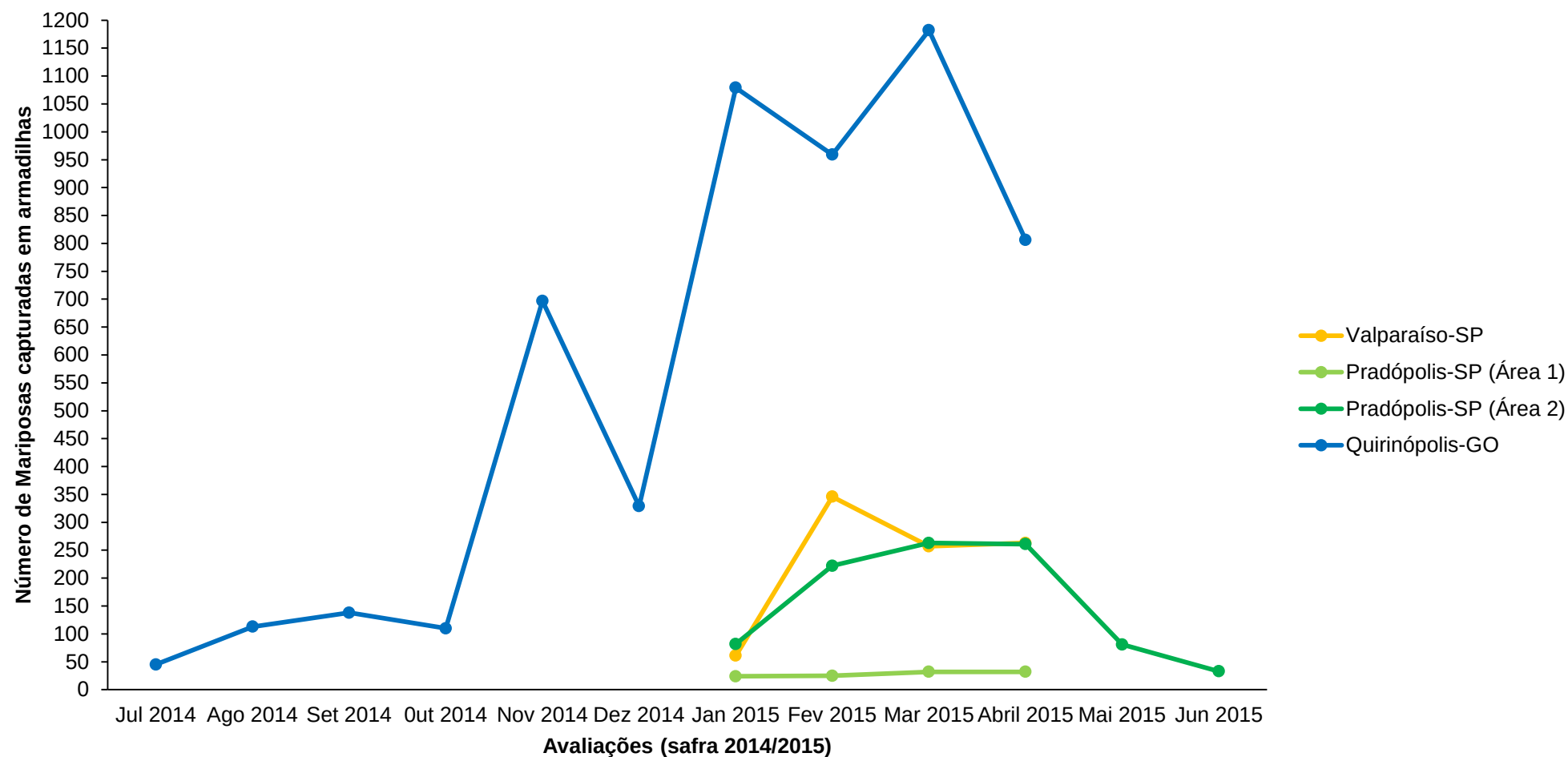


Figura 3. Flutuação populacional de machos adultos de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar na safra 2014/2015, em Pradópolis-SP, Valparaíso-SP e Quirinópolis-GO (cada ponto representa o número total acumulado mensal de adultos capturados em quatro armadilhas).

Considerando os parâmetros climáticos, verificou-se que a temperatura média foi similar nos dois anos (safras), enquanto que a umidade relativa do ar e a precipitação foram significativamente maiores ($p<0.001$) na segunda safra (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação de dados semanais dos fatores climáticos (precipitação, temperatura e umidade relativa do ar) entre as safras.

Safras	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
2013/2014	22,45b	25,73a	69,02b
2014/2015	29,45a	25,47a	72,88a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si ($p>0.05$)

Os parâmetros precipitação, temperatura e umidade do ar apresentaram diferença significativa entre as localidades ($p<0.001$) (Tabela 4). Os municípios de Pradópolis-SP e Valparaíso-SP não apresentaram diferença entre si em relação à precipitação e temperatura e foram as localidades com os menores valores médios destes fatores climáticos. Quirinópolis-GO, por outro lado, se diferenciou significativamente em relação a essas duas localidades, com maior média de precipitação e temperatura (Tabela 4).

Valparaíso-SP apresentou a maior média de umidade relativa (77,39%). Quirinópolis-GO e Pradópolis-SP, por outro lado, não diferiram entre si e apresentam umidade relativa do ar inferior a Valparaíso-SP, porém ainda considerada alta (>68%).

Assim, a área de maior infestação da praga apresentou, também, o maior índice de umidade relativa semanal média sugerindo que a umidade deve ser um fator importante na ocorrência deste inseto. Ressalta-se, no entanto, que devido ao escalonamento da colheita, nem sempre as avaliações puderam ser realizadas nos mesmos períodos e estações do ano. Portanto, em algumas situações, houve maior número de coleta de dados no período úmido do que no período mais seco do ano. Com isso, levantamentos durante todo o ano poderão servir para melhor esclarecer isto.

Tabela 4. Média semanal de coleta de *Diatraea saccharalis* e dos parâmetros meteorológicos nas diferentes localidades

Localidades	Nº Mariposas	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Valparaíso – SP	196,91a	19,09b	25,17b	77,39a
Quirinópolis – GO	103,04b	37,26a	26,07a	69,84b
Pradópolis – SP	37,73c	19,67b	25,46b	68,21b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente ($p>0.05$)

Foi possível verificar, também, as faixas de umidade favoráveis à ocorrência de adultos. De acordo com o observado, os limiares de umidade (faixa ótima) para adultos variaram entre 60 e 90%, pois nesta faixa verificou-se a maior ocorrência de captura de adultos. Abaixo destes valores, o número de mariposas cai drasticamente (Figura 4).

Possivelmente, a ocorrência de picos de mariposas nos períodos mais úmidos, ou a diminuição destes insetos em períodos mais secos, seja em decorrência da umidade afetar a oviposição, fisiologia, desenvolvimento e longevidade dos insetos (SILVEIRA NETO, 1976).

Parra et al. (1999) verificaram para *D. saccharalis* que em ambientes com umidade abaixo de 60% há redução de posturas realizadas e menor viabilidade (menor taxa de eclosão) em ambientes totalmente secos. Os ovos desses insetos são dotados de aerópilas que os expõem à perda de água enquanto obtém o oxigênio do ar, isso explica a sensibilidade que sofrem em locais de baixa umidade.

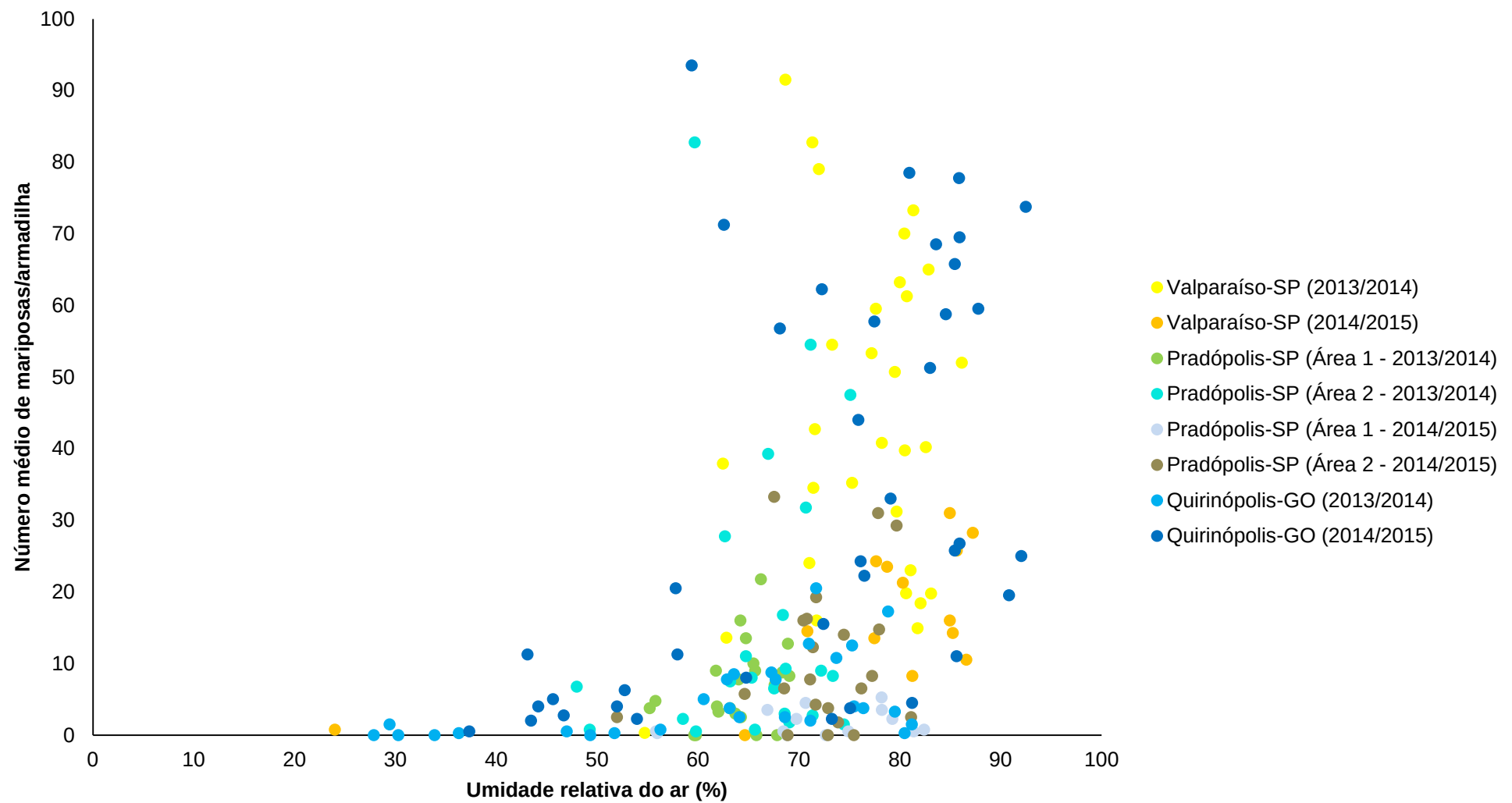


Figura 4. Adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em armadilha em função da umidade relativa do ar (%).

Na análise de correlação entre a infestação da praga e os parâmetros climáticos verificou-se que apenas em Quirinópolis houve relação significativamente ($p < 0.05$) positiva entre a dinâmica de adultos e precipitação (safras 2013/2014 e 2014/2015) (Tabela 5). Verificou-se, também, a correlação positiva e significativa ($p < 0,01$) ao quesito umidade (apenas safra 2014/2015), ou seja, quando estes dois fatores aumentam, o número de mariposas também se eleva.

Embora autores retratem a importância da umidade para os insetos (BERTELS, 1970; BOTELHO et al., 1977; MELO et al., 1984), de modo geral, este fator não foi significativo para a maioria das áreas. Da mesma forma, os demais parâmetros não apresentaram correlação, inclusive a temperatura (Tabela 5), embora, saiba-se que este parâmetro é fundamental para o desenvolvimento dos insetos (HADDAD et al., 1999) e interfere no número de gerações de *D. saccharalis* (MELO; PARRA, 1988b).

Segundo Teran (1979), fatores edáficos e biológicos, também, são responsáveis por alterar a dinâmica desta espécie. Botelho et al. (1977) estudaram oito parâmetros meteorológicos (amplitude térmica, temperaturas mínimas e máximas do ar, precipitação, velocidade do vento, umidade relativa média e temperaturas máximas e mínimas do solo) e verificaram que estes fatores abióticos estudados interferem em 41,3% na dinâmica populacional de *D. saccharalis*.

Desta forma, sugere-se que outros fatores podem estar sendo mais importantes na dinâmica desta espécie, tais como fatores bióticos, não avaliados no presente trabalho.

Tabela 5. Coeficientes de correlação (r) entre número de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados semanalmente e parâmetros meteorológicos.

Localidades	Área	Safr	Nº de avaliações (semanas)	Período de avaliações	r			p		
					Precipitação (mm) (x ₁)	Temperatura (°C) (x ₂)	Umidade Relativa (%) (x ₃)	Precipitação (mm) (x ₁)	Temperatura (°C) (x ₂)	Umidade Relativa (%) (x ₃)
Valparaíso – SP	1	2013/2014	30	Dez-Jun	0.0477	-0.2517	0.1842	0.8022	0.1796	0.3298
Valparaíso – SP	1	2014/2015	14	Jan-Abril	0.0095	-0.2832	0.5517	0.9754	0.3484	0.0506
Pradópolis – SP	1	2013/2014	22	Dez-Mai	0.3335	-0.2257	0.3714	0.1293	0.3125	0.0888
Pradópolis – SP	1	2014/2015	15	Jan-Abril	-0.0161	-0.1345	0.2788	0.9547	0.6327	0.3143
Pradópolis – SP	2	2013/2014	25	Dez-Mai	0.2870	-0.0794	0.1143	0.1841	0.7186	0.6033
Pradópolis – SP	2	2014/2015	22	Jan-Jun	0.0338	-0.0067	0.1957	0.8812	0.9761	0.3826
Quirinópolis – GO	1	2013/2014	28	Set-Abril	0.4194	-0.2039	0.1899	0.0263	0.2979	0.3331
Quirinópolis – GO	1	2014/2015	40	Jul-Abril	0.3626	0.0708	0.5278	0.0215	0.6642	0.0005

* significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0.01$)

A análise de regressão múltipla apresentou resultados muito semelhantes aos da análise de correlação, ou seja, estes fatores climáticos (precipitação, temperatura e umidade relativa) foram, igualmente, significativos ($p < 0,01$) somente para o município de Quirinópolis-GO (safra 2013/2014 – precipitação) (safra 2014/2015 – temperatura e umidade) (Tabela 6).

Borges e Castro (2010) investigaram as características edafoclimáticas da região de Quirinópolis-GO para a cultura da cana-de-açúcar e afirmaram que as condições são propícias para o seu desenvolvimento. Este município é definido como quente e úmido com precipitações que podem variar de 1500 a 1.750 mm (BORGES; CASTRO, 2010). Com isso, essas condições também devem favorecer o desenvolvimento desta praga na cultura.

Entre outros fatores edáficos observados, o recurso hídrico é um dos que se destaca devido à proximidade com o rio Paranaíba, contribuindo para que a região seja grande produtora de cana-de-açúcar. A alta incidência de mariposas nesta localidade pode ser justificada por estas características ótimas observadas que, ao favorecer a cultura pode estar fornecendo uma gama de recursos adequados à espécie *D. saccharalis* tais como alimento, microclima e hábitat.

De modo similar Dias (1999) verificou para Valparaíso esta mesma correlação entre a produtividade da cultura de cana-de-açúcar com as condições climáticas encontradas e concluiu que o recurso hídrico foi importante para o potencial agrícola. Esta localidade possui clima tropical com chuvas se concentrando no verão (CLIMATE-DATA, 2016). Embora a precipitação média em Valparaíso (19,09 mm) seja menor que em Quirinópolis (37,26 mm), esta localidade mantém altos níveis de umidade (77,39%), como citado anteriormente, que provavelmente aliados ao clima, solo e recursos hídricos mantêm boa produtividade e permitem alta incidência de *D. saccharalis*.

Tabela 6. Análise de regressão múltipla de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em armadilhas de feromônio sexual e parâmetros meteorológicos.

Localidades	Área	Safra	Parâmetro Estimado (Intercepto)	Precipitação (mm) (x ₁)	Temperatura (°C) (x ₂)	Umidade Relativa (%) (x ₃)
Valparaíso – SP	1	2013/2014	80.3908	0.0957	-2.3184	0.2467
Valparaíso – SP	1	2014/2015	-125.9828	-0.0297	2.1129	1.1096
Pradópolis – SP	1	2013/2014	-0.61872	0.1356	-0.6966	0.3738
Pradópolis – SP	1	2014/2015	-1.2316	-0.0190	-0.1249	0.0926
Pradópolis – SP	2	2013/2014	85.6930	0.3260	-1.8736	-0.4029
Pradópolis – SP	2	2014/2015	-57.6446	-0.0457	0.9538	0.6306
Quirinópolis – GO	1	2013/2014	92.9438	0.1799*	-2.0648	-0.4504
Quirinópolis – GO	1	2014/2015	-182.8841	0.0028	5.1705*	1.2157**

* significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0.01$)

4.2. Modelo matemático baseado em graus-dia

A partir do “biofix” estipulado foram estimadas as datas em que novos ciclos de vida da praga seriam iniciados (emergência de adultos). A diferença entre o pico observado de mariposas e a data prevista de ocorrência, de acordo com os cálculos em graus-dia, indica a precisão deste modelo (Tabela 7). Assim, verificou-se que, a diferença entre os dados observados e esperados foi, em média, de 9,19 dias para o 1º ano de avaliações e de 6,00 dias para o 2º ano. Valparaíso-SP é a localidade com maior precisão. Neste município, 83,33% dos picos populacionais esperados no modelo de graus-dia ocorreram dentro da margem de erro de 1 semana em relação aos dados observados, tanto para o primeiro ano quanto para o segundo (Figuras 5 e 6).

Ressalta-se que os picos esperados nos cálculos adotando-se o modelo em graus-dia foram feitos com base nos dados observados de campo, não tendo sido considerado, neste caso, o pico com os dados suavizados. De acordo com o modelo de graus-dia, alguns picos previstos não foram observados a campo. A ausência destes picos esperados indica que outros fatores deverão ser incluídos no modelo de forma a aprimorá-lo, tais como a morte das mariposas nas armadilhas por condições abióticas estressantes, que reduzem a eficácia de atração ou ataque de predadores na área.

As áreas que apresentaram a maior média em dias de diferença entre o pico esperado e o observado foram as áreas número 1 (safrá 2013/2014) de Quirinópolis (14,00 dias) (Figura 7) e Pradópolis (12,75 dias) (Figura 9). Essa imprecisão pode ser decorrente da dificuldade em se conseguir estabelecer a data de partida “biofix” (RIEDL et al., 1976). Alguns autores estabelecem como ponto de partida as primeiras coletas de posturas e adultos logo após o plantio da cultura e na presença de flores e de gemas vegetativas (CIVIDANES; CARVALHO, 2000; CIVIDANES; MARTINS, 2006), ou ainda, após o período de inverno. Este último critério é especialmente válido para insetos que ocorrem em regiões de clima temperado, pois, muitos destes entram em diapausa, período no qual a incidência de adultos observados diminui consideravelmente (GULLAN; CRANSTON, 2012). A presença de pico populacional após o inverno (período seco) foi verificada na safrá 2014/2015

para Quirinópolis-GO (Figura 8), pois foi a única localidade em que as avaliações tiveram início no mês de julho.

De modo geral, o modelo em graus-dia permitiu verificar que em 60,71% dos casos houve coincidência entre o momento da ocorrência do pico populacional e a previsão de sua ocorrência (com erro de no máximo 7 dias). Embora tenha sido eficaz, sugere-se, para que haja um refinamento e ajuste destes dados, a utilização de coleta de dados climáticos na cultura, a exemplo de Geremias (2013). Este autor comparou alguns métodos de coleta de dados climáticos (estações climáticas convencional, automática e data logger) e verificou diferença na obtenção de dados. Ele observou que os dados obtidos das estações podem apresentar erro de 20 a 30% em relação aos dados obtidos em laboratório; isto representa um erro de 8-12 dias nas previsões utilizando o modelo de graus-dia. Já com a utilização de dados do clima obtidos do interior do colmo da planta, o erro cai para apenas 6% em comparação aos dados de laboratório, ou seja, são muito mais precisos.

Este tipo de ajuste na temperatura pode ser primordial na previsão de ocorrência para esta espécie, já que a diferença em temperatura pode alterar os cálculos do somatório da constante térmica e consequentemente, diminuir o erro de precisão em alguns dias. O erro em dias pode determinar o sucesso da eficácia de um método de controle adotado.

Tabela 7. Datas observadas e calculadas em graus-dia de incidência de adultos.

Localidades	Área	Incidência de adultos ¹			Incidência de adultos ²		
		Data esperada	Data observada	Erro (dias)	Data esperada	Data observada	Erro (dias)
Valparaíso - SP	1	08/01/2014	21/01/2014	-13	Não ocorrido	06/02/2015	-
Valparaíso - SP	1	18/02/2014	18/02/2014*	0	17/02/2015	17/02/2015*	0
Valparaíso - SP	1	02/04/2014	01/04/2014	1	01/04/2015	03/04/2015	-2
Valparaíso - SP	1	21/05/2014	20/05/2014	1	Não ocorrido	Não ocorrido	-
Quirinópolis - GO	1	06/11/2013	06/11/2013*	0	07/11/2014	07/11/2014*	0
Quirinópolis - GO	1	18/12/2013	11/12/2013	7	21/12/2014	Não ocorrido	-
Quirinópolis - GO	1	27/01/2014	27/02/2014	-31	29/01/2015	23/01/2015	6
Quirinópolis - GO	1	09/03/2014	27/03/2014	-18	12/03/2015	13/03/2015	-1
Quirinópolis - GO	1	-	-	-	24/04/2015	10/04/2015	14
Pradópolis - SP	1	27/12/2013	02/01/2014	-6	15/01/2015	14/01/2015	1
Pradópolis - SP	1	08/02/2014	05/03/2014	-25	11/02/2015	11/02/2015*	0
Pradópolis - SP	1	26/03/2014	26/03/2014*	0	30/03/2015	04/03/2015	26
Pradópolis - SP	1	20/05/2014	30/04/2014	20	Não ocorrido	08/04/215	-
Pradópolis - SP	2	04/01/2014	02/01/2014	2	11/02/2015	11/02/2015*	0
Pradópolis - SP	2	12/02/2014	26/02/2014	-14	26/03/2015	18/03/2015	8
Pradópolis - SP	2	26/03/2014	26/03/2014*	0	Não ocorrido	15/04/2015	-
Pradópolis - SP	2	12/05/2014	21/05/2014	-9	13/05/2015	27/05/2015	-14

¹ Data de ocorrência (calculada/observada) de adultos de *Diatraea saccharalis* na safra 2013/2014

² Data de ocorrência (calculada/observada) de adultos de *Diatraea saccharalis* na safra 2014/2015

* “Biofix” / Erro (dias) = sinal negativo corresponde ao pico esperado ter ocorrido antes da data observada em campo

4.3. Modelo matemático em equações de diferenças

Por meio do modelo foram obtidas as curvas de dados suavizados (a partir do dado observado de campo), bem como a curva de dados esperados (a partir dos suavizados). O modelo determina, com base nos dados de imaturos, a semana a partir da qual as curvas populacionais passam a ser estimadas, por isso, notou-se que estas não se iniciam logo na primeira semana de avaliação. O modelo trabalhou com a hipótese de que os insetos são oriundos somente das áreas avaliadas; no entanto, não se descarta a chance de alguns insetos serem provenientes de áreas próximas. Desta forma, a suavização através da média móvel simples permitiu atenuar curvas e aproximar do que é realmente esperado em campo ou ainda atenuar estas influências de populações que estejam chegando de áreas adjacentes e que acabam, muitas vezes, superestimando a população local.

Este modelo de caráter determinístico permite estimar a partir de cada avaliação a quantidade de insetos que serão encontrados na próxima coleta. De modo geral, as curvas obtidas neste modelo acompanharam as curvas de coletas de mariposas, verificando-se que para as áreas com menor número de coletas a confiabilidade, estabelecida pelo coeficiente de determinação (R^2), foi menor. Portanto, as áreas com maior número de coletas gerou um modelo mais próximo do observado ($0,1497 \leq R^2 \leq 0,7619$). Outra observação foi de que os poucos dados que mais se distanciaram do esperado foram sempre inferiores ao esperado. Com isso, o modelo pode eventualmente subestimar a população de insetos, mas a superestima (Tabela 8).

O modelo indicou que Pradópolis-SP (área 1 – safra 2014/2015) (Tabela 8) apresentou alta estimativa na mortalidade de adultos (0,86) em comparação ao primeiro ano (0,40). Esta simulação confirmou os dados de coletas de campo em que neste segundo ano houve redução de cerca de 40% de adultos coletados. O modelo em equações de diferenças, portanto, apresentou baixo erro na previsão da quantidade de mariposas observada e esperada com um erro máximo de aproximadamente 38 mariposas, podendo ser utilizado como uma importante ferramenta em programas de manejo integrado de pragas.

Tabela 8. Médias de Parâmetros estimados na simulação do modelo em equações de diferenças para a espécie *Diatraea saccharalis*

Localidades	Área	Safr	Tempo de desenvolvimento em semanas	Número de ovos	Mortalidade de adultos	Número de mariposas esperadas e observadas	R ²
			Média (±desvio padrão)	Média (±desvio padrão)	Média (±desvio padrão)	(Erro±)	
Valparaíso - SP	1	2013/2014	8,46±0,14	745,79±104,06	0,40±0,0002	-20,38 / 21,24	0,6161
Valparaíso - SP	1	2014/2015	7,47±0,08	761,76±128,56	0,40±0,0002	-5,21 / 4,85	0,1497
Quirinópolis - GO	1	2013/2014	7,53±0,11	583,19±92,36	0,40±0,0002	-6,69 / 6,72	0,5011
Quirinópolis - GO	1	2014/2015	5,83±0,03	296,70±10,49	0,40±0,0005	-37,65 / 18,80	0,7619
Pradópolis - SP	1	2013/2014	5,83±0,05	324,76±16,20	0,40±0,001	-4,91 / 5,02	0,4740
Pradópolis - SP	2	2013/2014	8,52±0,10	833,61±107,06	0,40±0,0001	-19,42 / 12,79	0,1903
Pradópolis - SP	1	2014/2015	5,76±0,06	593,98±58,09	0,86±0,002	-0,68 / 1,06	0,3205
Pradópolis - SP	2	2014/2015	5,88±0,03	294,41±11,61	0,40±0,0004	-6,94 / 7,13	0,3376

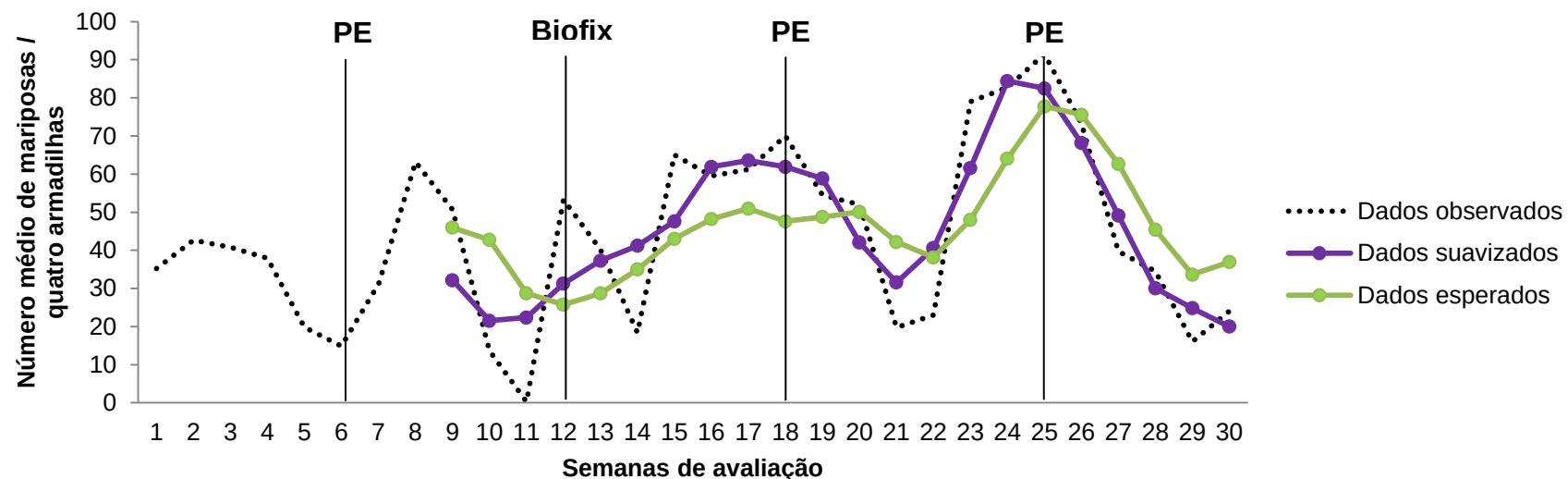


Figura 5. Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Valparaíso-SP (Safrá 2013/2014) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) / PE = pico esperado.

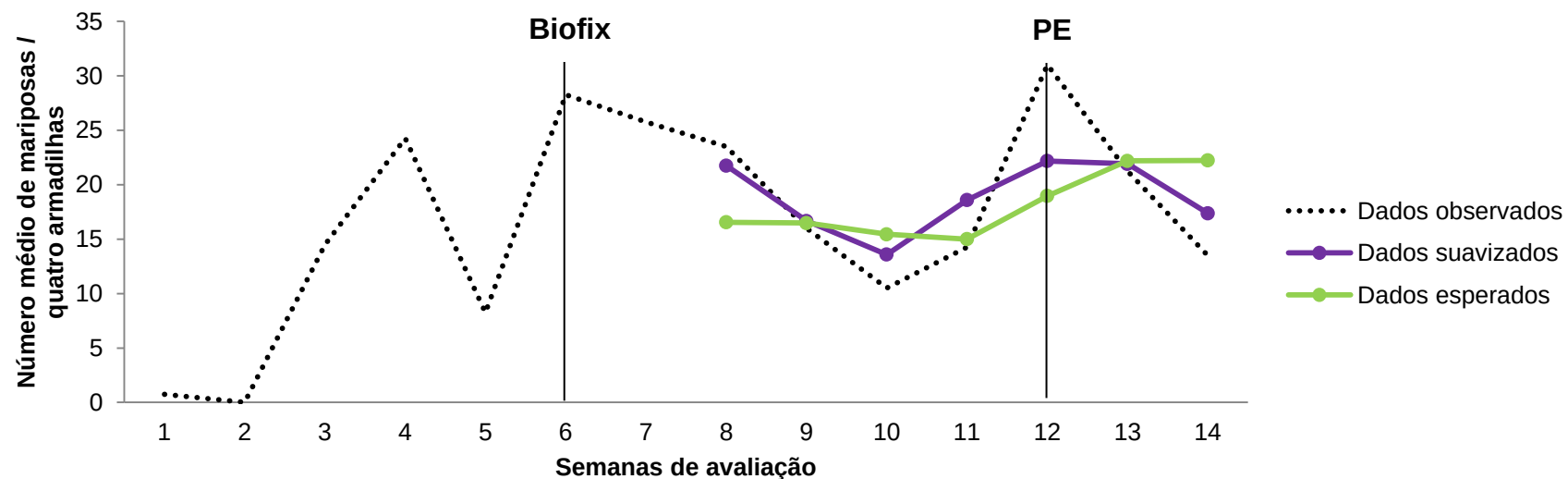


Figura 6. Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Valparaíso-SP (Safrá 2014/2015) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) / PE = pico esperado.

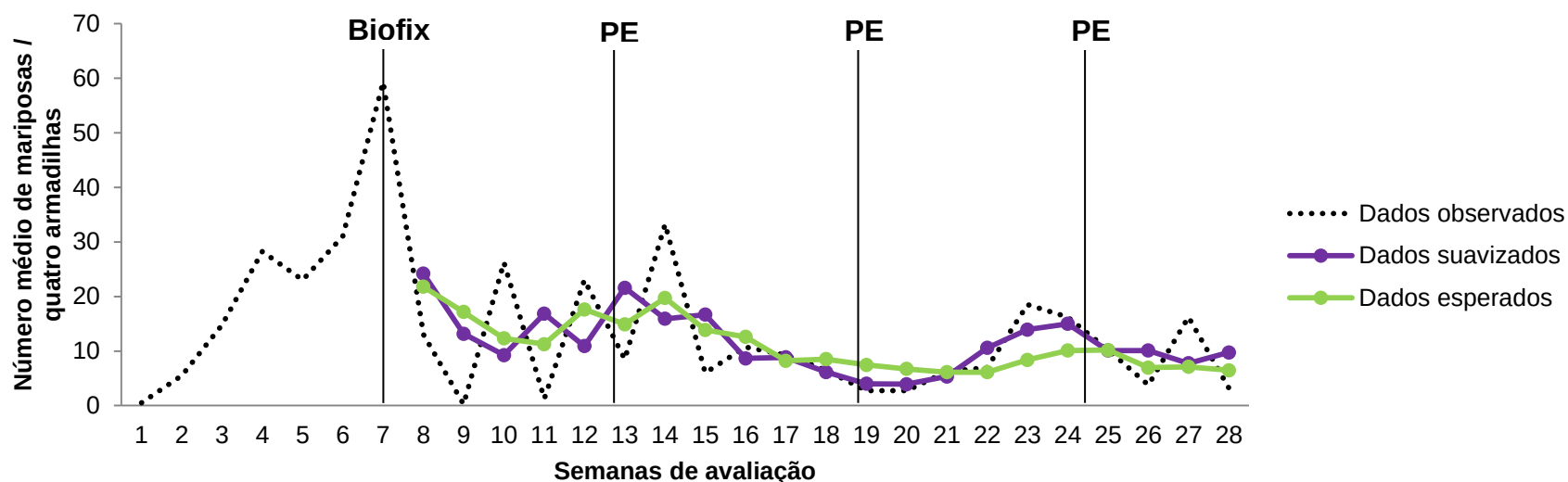


Figura 7. Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Quirinópolis-GO (Safrá 2013/2014) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) / PE = pico esperado.

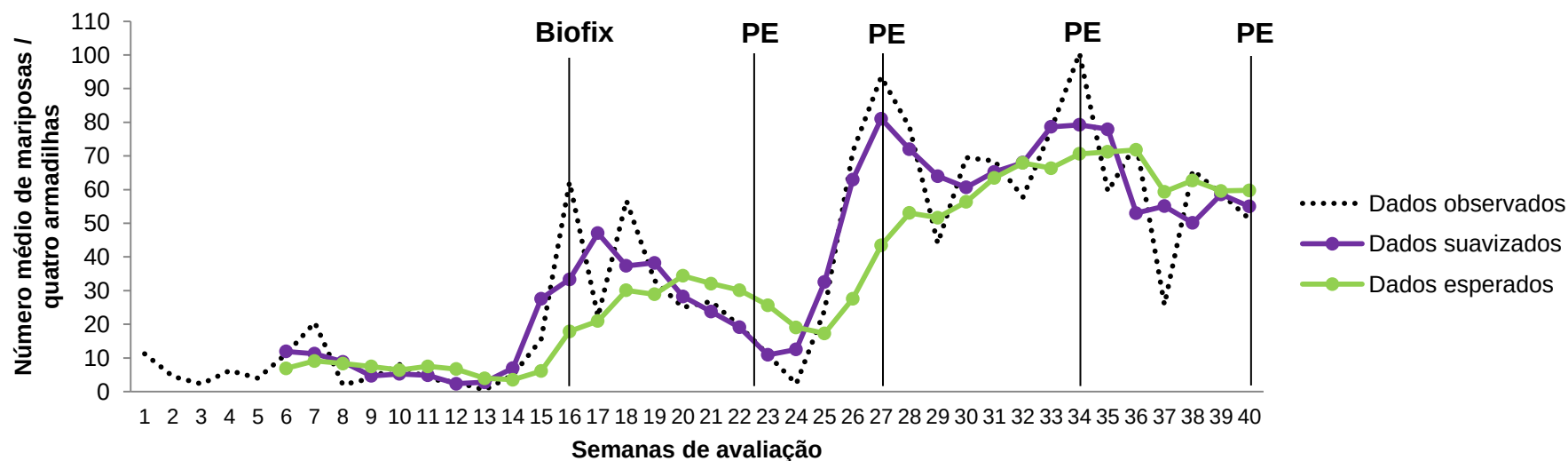


Figura 8. Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Quirinópolis-GO (Safrá 2014/2015) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) / PE = pico esperado.

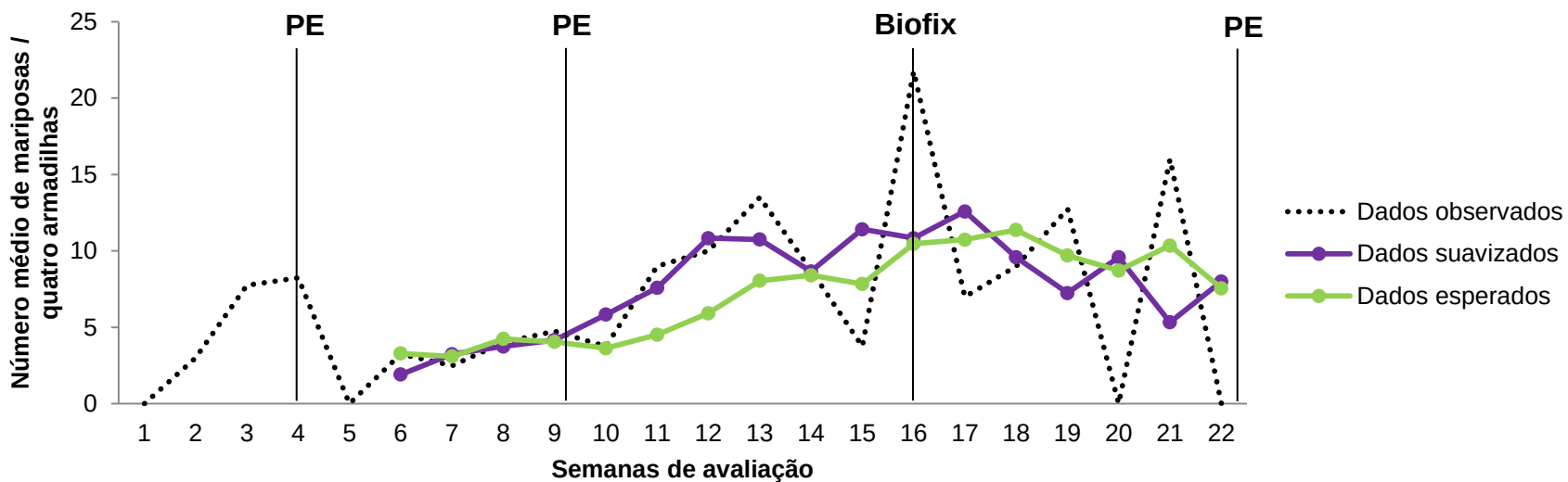


Figura 9. Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Pradópolis-SP (Safrá 2013/2014) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo- equações de diferenças) (Área 1) / PE = pico esperado.

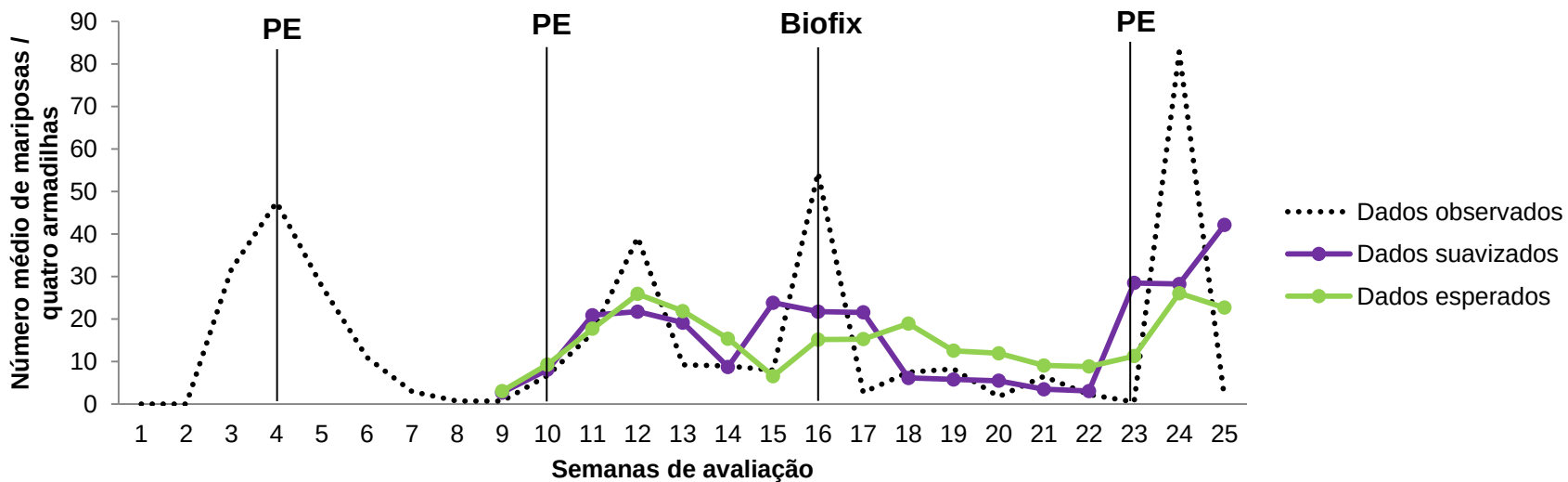


Figura 10. Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Pradópolis-SP (Safrá 2013/2014) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) (Área 2) / PE = pico esperado.

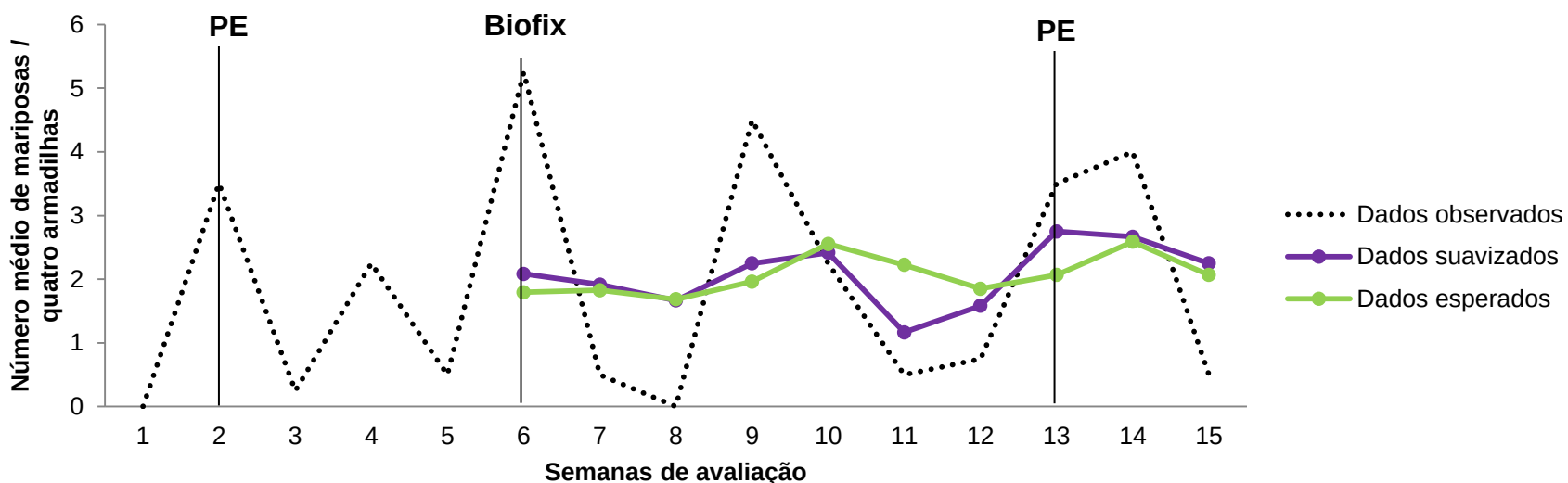


Figura 11. Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Pradópolis-SP (Safrá 2014/2015) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) (Área 1) / PE = pico esperado.

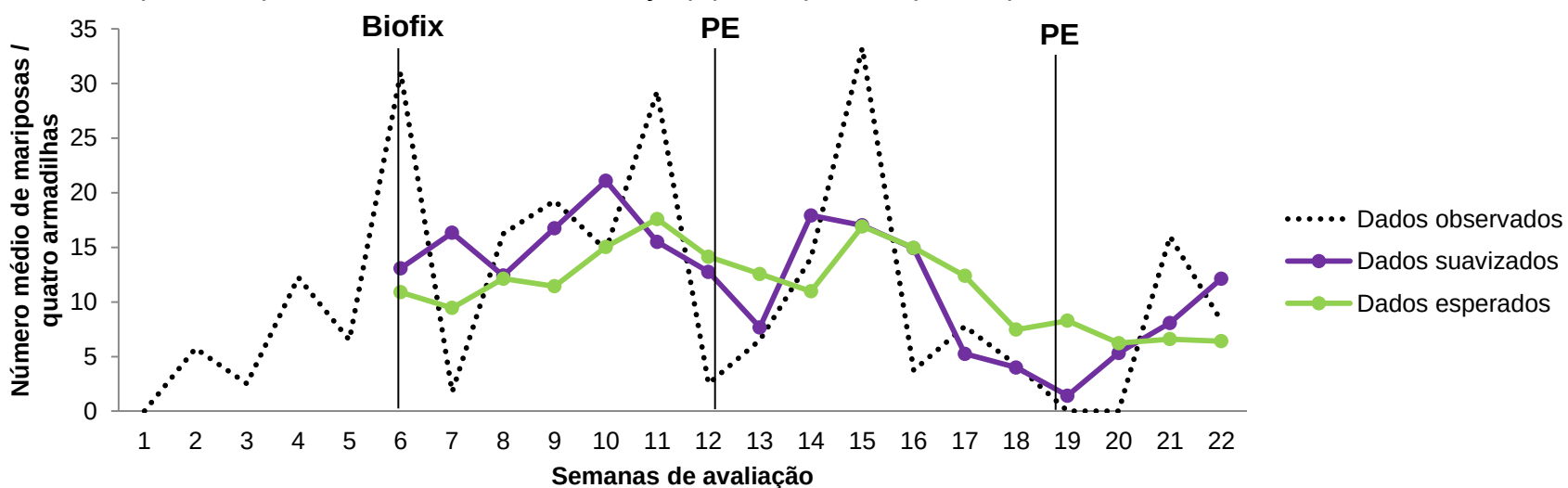


Figura 12. Curvas de flutuação populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* capturados em Pradópolis-SP (Safrá 2014/2015) baseadas em dados observados em campo (modelo em graus-dia) e dados suavizados e esperados (modelo-equações de diferenças) (Área 2) / PE = pico esperado.

4.4. Implicações dos modelos matemáticos

Os modelos em graus-dia e o de equações de diferenças foram eficientes nas estimativas tanto do período de ocorrência quanto da quantidade de insetos capturados. Desta forma, podem ser utilizados como uma importante ferramenta na estimativa da população de adultos e, dessa forma, para a tomada de decisão de controle. Apesar de eficiente, o modelo em graus-dia pode ser ainda refinado fazendo-se a coleta de dados climáticos nas condições de ocorrência da praga (planta), que é mais realista e pode permitir maior precisão. O modelo de equações de diferença apresentou maior precisão e permite estimar a população de adultos de *D. saccharalis* na semana seguinte. Os modelos matemáticos são bastante utilizados em condições de clima temperado, mas ainda pouco explorados em condições tropicais. Particularmente para esta praga, Ambrosano et al. (1996) e Rafikov e Limeira (2012) já haviam proposto modelos matemáticos. Entretanto, eles ainda não são efetivamente utilizados a campo.

Os levantamentos de insetos adultos em campo são fundamentais para a continuidade do estudo com *D. saccharalis*. Por meio destes é possível acompanhar a flutuação populacional desta mariposa de forma mais precisa e facilitada já que as posturas e larvas pequenas são difíceis de serem visualizadas e amostradas. Por meio dos modelos presentes neste trabalho é possível estimar, a partir de picos de adultos, quando haverá nova geração bem como a quantidade de adultos a serem encontrados. Destaca-se que esta estimativa pode ser estendida para a previsão de ovos e larvas.

Por fim, é possível adotar no momento adequado (tempo estipulado pelo modelo), métodos de controle como, por exemplo, as espécies *T. galloi* para o controle de ovos, *B. thuringiensis* e *C. flavipes* para o controle de larvas pequenas e grandes, respectivamente. A confirmação da viabilidade e/ou aumento da precisão dos modelos apresentados deverão ser obtidos por meio de estudos de validação em condições de campo, conforme sugerido por Scomparim (2009) e Cormier et al. (2015).

5. CONCLUSÕES

A maior ocorrência de adultos de *Diatraea saccharalis* se concentra nos meses de janeiro a abril, quando a umidade relativa do ar é mais elevada;

As novas áreas de expansão canavieira apresentam maior infestação de *D. saccharalis* em comparação às áreas tradicionais de cana-de-açúcar;

Os parâmetros climáticos (temperatura, precipitação e umidade relativa) não são suficientes para explicar a flutuação populacional de adultos de *D. saccharalis*;

Os modelos baseados em graus-dia e equações de diferenças são eficientes, se complementam e podem ser utilizados como ferramenta para previsão da ocorrência de adultos de *D. saccharalis* em cana-de-açúcar.

6. REFERÊNCIAS

- AINSEBA, B.; PICART, D.; THIERY, D. An innovative multistage, physiologically structured, population model to understand the European grapevine moth dynamics. **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, Amsterdam, n. 382, p. 34–46, 2011.
- ALBERGARIA, N. M. M. S.; CIVIDANES, F. J. Exigências térmicas de *Bemisia tabaci* (Genn.) Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical entomology**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 359-363, 2002.
- AMBROSANO, G. M. B.; STIMAC, J. L.; SILVEIRA-NETO, S.; IGUE, T.; NAGAI, V. Modelo matemático para simulação do controle biológico da broca-da-cana com o parasitoide *Trichogramma galloi*: I. modelos conceituais (1). **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 371-382, 1996.
- ARRIGONI, E. B. Broca da cana-de-açúcar: Importância econômica e situação atual. In: ARRIGONI, E.B.; DINARDO-MIRANDA, L.L.; ROSSETTO, R. **Pragas da Cana-de-Açúcar - Importância Econômica e Enfoques Atuais**. Piracicaba: STAB, 2002.
- ÁVILA, C. J.; MILANEZ, J. M.; PARRA, J. R. P. Previsão de ocorrência de *Diabrotica speciosa* utilizando-se o modelo de graus-dia de laboratório. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 427-432, 2002.
- BERTELS, A. Estudos da influência da umidade sobre a dinâmica de populações de lepidópteros-pragas do milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 5, p. 567-579, 1970.
- BORGES.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Caracterização edafoclimática da microrregião de Quirinópolis-GO para o cultivo da cana-de-açúcar. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2010, Recife. **Resumos...** Recife: SINAGEO, 2010.
- BOTELHO, P. S. M.; MENDES, A. C.; MACEDO, N.; SILVEIRA-NETO, S. Influences of climatic factors on the population fluctuations of the sugarcane moth borer, *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (Lep. – Crambidae). In: **Proceedings, 16th Congress of the International Society of Sugarcane Technologists**, São Paulo-SP, p. 643-655, 1977.

BOTELHO, P. S. M.; MACEDO, N. *Cotesia flavipes* para o controle de *Diatraea saccharalis*. In: **Controle Biológico no Brasil – Parasitóides e Predadores**, 1. ed. São Paulo: Manole, 2002. cap. 25, p. 409-425.

BOTELHO, P. S. M. Quinze anos de controle biológico da *Diatraea saccharalis* utilizando parasitóides. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, s/n, p. 255-262, 1992.

BOTELHO, P. S. M.; PARRA, J. R. P.; CHAGAS NETO, J. F. das.; OLIVEIRA, C. P. B. Associação do Parasitóide de Ovos *Trichogramma galloi* 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**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 491-496, 1999.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: **Cana-de-Açúcar** (Eds.) DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A de. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, cap. 8.

BRUNINI, O.; LISBÃO, R. S.; BERNARDI, J. B.; FORNASIER, J. B.; PEDRO JUNIOR, M. J. Temperatura-base para alface cultivar “White-Boston”, em um Sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 19, p. 213-219, 1976.

CANA ONLINE. **Novo inimigo biológico da broca-da-cana é encontrado nos canaviais do Mato Grosso do Sul**. 2015. Disponível em:<<http://www.canaonline.com.br/conteudo/novo-inimigo-biologico-da-broca-da-cana-e-encontrado-nos-canaviais-do-mato-grosso-do-sul.html#.VZWt0vIViko>>. Acesso em: 7 jul 2015.

CIVIDANES, F. J.; CARVALHO, D. R. Uso de Graus-dia para a Previsão de Ocorrência de Ninfas e Adultos de *Piezodorus guildinii* (West.) (Heteroptera: Pentatomidae) em Soja. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 269-275, 2000.

CIVIDANES, F. J.; MARTINS, I. C. F. Flutuação populacional e previsão de gerações de *Grapholita molesta* (Busck, 1916) (Lepidoptera: Tortricidae) em pessegueiro, *Prunus persica* (Linnaeus) Batsch. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 399-405, 2006.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima: Valparaíso**. 2016. Disponível em: < <http://pt.climate-data.org/location/34888/>>. Acesso em: 03 fev 2016.

CONAB – **COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**. 2015. Disponível em:< http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_17_09_03_29_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_15-16.pdf >. Acesso em: 12 fev 2016.

CORMIER, D.; CHOUINARD, G.; VANOOSTHUYSE, F.; PELLETIER, F.; BELLEROSE, S.; BOURGEOIS, G.; PLOUFFE, D.; JOANNIN, R. A Phenology Model for Codling Moth Management in Quebec Apple Orchards. **Acta Horticulturae**, Belgium, p. 51-56, 2015.

CORTES, A. M. P. **Feromônio sexual, ADN mitocondrial e expressão das proteínas ligantes do feromônio de *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) e avanços na identificação do feromônio sexual de *Diatraea indiginella* Dyar & Heinrich, (Lepidoptera: Crambidae).** 2010. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba-PR.

COSTA, D. P. **Interações biológicas entre *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) e *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) no parasitismo de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar.** 2013. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Grande Dourados, Dourados-MS.

CRUZ, I. Controle Biológico em manejo integrado de pragas. In: **Controle Biológico no Brasil - Parasitóides e Predadores**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2002. cap. 32, p. 543-579.

CRUZ, I.; REDOAN, A. C.; SILVA, R. B.; FIGUEIREDO, M. L. C.; PENTEADO-DIAS, A. M. New record of *Tetrastichus howardi* (Olliff) as a parasitoid of *Diatraea saccharalis* (Fabr.) on maize. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 68 n. 2, p. 252-254, 2011.

DEQUECH, S. T. B. Controle Microbiano. In: **Bases e técnicas do manejo de insetos** (Ed.) GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. Santa Maria: UFSM/CCR/DFS; Pallotti, 2000, cap. 5.

DENNIS, B.; KEMP, W. P.; TAPER, M. L. Joint Density Dependence. **Ecology**, Washington, v. 79, n. 2, p. 426–441, 1998.

DENNIS, B.; TAPER, M. L. Density dependence in time series observations of natural populations: estimation and testing. **Ecological Monographs**, Washington, v. 64, n. 2, p. 205-224, 1994.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, n. 23, p.627-634, 1999.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Pragas. In: **Cana-de-açúcar** (Ed.) DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A de. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008, cap. 17.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; PERECIN, D. Variabilidade espacial de populações de *Diatraea saccharalis* em canaviais e sugestão de método de amostragem. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 577-585, 2011.

FABRE, F.; PIERRE, J. S.; DEDRYVER, C. A.; PLANTEGENEST, M. Barley yellow dwarf disease risk assessment based on Bayesian modelling of aphid population dynamics. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 193, p. 457-466, 2006.

FIGUEIREDO, M. L. C.; CRUZ, I.; SILVA, R. B. Aspectos Bioecológicos de *Diatraea saccharalis* Fabr. (Lepidoptera: Crambidae) em Plantas de Milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: ABMS, 2010. p. 230-235.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C de.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GEREMIAS, L. D. **Exigências térmicas e danos de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) em milho e base para seu controle com *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae).** 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz- ESALQ, Universidade Estadual de São Paulo – USP, Piracicaba-SP.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **Os insetos: um resumo de entomologia**. São Paulo: Roca, 2012. 480 p.

GUTIERREZ, A. P. **Applied population ecology: a supply-demand approach**. 1996. 300 p.

HADDAD, J. R.; PARRA, J. R. P. **Métodos para estimar os limites térmicos e a faixa ótima de desenvolvimento das diferentes fases do ciclo evolutivo dos insetos**. Piracicaba: Fundação Luiz de Queiroz, 1984. 12 p.

HADDAD, J. R.; PARRA, J. R. P.; MORAES, R. C. B. **Métodos para estimar os limites térmicos inferior e superior de desenvolvimento de insetos**. Piracicaba: Fundação Luiz de Queiroz, 1999. 15 p.

HANNON, B.; RUTH, M. **Dynamic modeling**, 2001. New York, Springer, 2. ed, 409 p.

HAWKINS, B. A.; CORNELL, H. V.; HOCHBERG, M. E. Predators, parasitoids, and pathogens as mortality agents in phytophagous insect populations. **Ecology**, Washington, v. 78, n. 7, p. 2145–2152, 1997.

HIGLEY, L. G.; PEDIGO, L. P.; OSTLIE, K. R. DEGDAY: a program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day approach. **Environmental Entomology**, Annapolis, v. 15, n. 5, p. 999-1016, 1986.

HIGLEY, L. G.; PEDIGO, L. P. **Economic Thresholds for Integrated Pest Management**. University of Nebraska Press: Lincoln, 1996. 327 p.

IANNELLI, M.; PUGLIESE, A. **An introduction to mathematical population dynamics: Along the trail of Volterra and Lotka** springer, 2014. 346 p.

JONES, J.W. Integrating models with expert systems and data bases for decision making. **Climate and Agriculture: Systems Approaches to Decision Making**. American Meteorological Society, Massachusetts, p. 194-211, 1989.

LEITE, M. V. **Influência de temperaturas flutuantes sobre *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Homoptera: Aphididae) e seus predadores *Ceraeochrysa cubana* (Hagen, 1861) e *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae)**. 2010. 89 f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

LIMA, A. A.; COSTA, V. A.; PINTO, A. S.; ZÉRIO, N. G.; PARRA, J. R. P. Controle de qualidade de *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae) para criações massais em laboratório. **Simpósio de Controle Biológico** – XII SICONBIOL, 2011.

LIMA, E. A. B. F.; FERREIRA, C. P.; GODOY, W. A. Ecological modeling and pest population management: a possible and necessary connection in a changing world. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 38, n. 6, p. 699-707, 2009.

LIMA FILHO, M.; LIMA, J. O. G. de. Massas de Ovos de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera: Pyralidae) em Cana-de-Açúcar: Número de Ovos e Porcentagem de Parasitismo por *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em Condições Naturais. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 3, n. 30, p. 483-488, 2001.

LIMEIRA, E. H. **Modelagem matemática aplicada ao controle da praga da cana-de-açúcar para a produção de etanol: estratégias ótimas de controle**. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Federal do ABC, Santo André, 2010.

MACEDO, C. L.; MARTINS, E. S.; MACEDO, L. L. P.; SANTOS, A. C.; PRAÇA, L. B.; GÓIS, L. A. B.; MONNERAT, R. G. Seleção e caracterização de estirpes de *Bacillus thuringiensis* eficientes contra a *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 1759-1765, 2012.

MELO, A. B. P de.; PARRA, J. R. P. Biologia de *Diatraea saccharalis* em diferentes temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 663-680, jul, 1988a.

MELO, A. B. P de.; PARRA, J. R. P. Exigências térmicas e estimativa do número de gerações anuais de broca da cana-de-açúcar em quatro localidades canavieiras de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 691-696, 1988b.

MELO, L. A. S.; SILVEIRA-NETO, S.; VILLA NOVA, N. A.; REIS, P. R. Influência de elementos climáticos sobre a população de cigarrinhas-das-pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 9-19, 1984.

MCKINION, J. M. Getting started: basics of modeling strategies. In: GOODENOUGH, J. L.; MCKINION, J. M. (ed.). **Basics of Insect Modeling**, 1992, cap. 1.

MING, R.; MOORE, P. H.; WU, KUO-KAO.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; SILVA, J. da.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R. J.; BRUMBLEY, S. M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J. C.; PATERSON, A. H. Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. **Plant Breeding Reviews**, v. 27, 2006, 384p.

NAVA, D. E.; HADDAD, M. L.; PARRA, J. R. P. Exigências térmicas, estimativa do número de gerações de *Stenoma catenifer* e comprovação do modelo em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 10, p. 961-967, 2005.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. Controle Biológico: uma visão inter e multidisciplinar. In: **Controle Biológico no Brasil - Parasitóides e Predadores**. 1.ed. São Paulo: Manole, 2002a. cap. 8.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. Controle Biológico: terminologia. In: **Controle Biológico no Brasil - Parasitóides e Predadores**. 1.ed. São Paulo: Manole, 2002b. cap. 1.

PARRA, J. R. P.; MELO, A. B. P.; MAGALHÃES, B. P.; SILVEIRA-NETO, S.; BOTELHO, P. S. M. Efeito do fotoperíodo no ciclo biológico de *Diatraea saccharalis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 5, p. 463-472, 1983.

PARRA, J. R. P.; MILANO, P.; CONSOLI, F. L.; ZERIO, N. G.; HADDAD, M. L. Efeito da nutrição de adultos e da umidade na fecundidade de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, p. 49-57, 1999.

PINTO, A. de S.; BOTELHO, P. S. M.; OLIVEIRA, H. N. **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos da cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2009, 160 p.

PRECETTI, A. A. C. M.; TERAN, F. O.; SANCHEZ, A. G. Alterações nas características tecnológicas de algumas variedades de cana-de-açúcar, devidas ao dano da broca *Diatraea saccharalis*. **Boletim Técnico Copersucar**, v. 41, p. 3-8, 1988.

RAFIKOV, M.; LIMEIRA, E. H. Mathematical modelling of the biological pest control of the sugarcane borer. **Internacional Journal of Computer Mathematics**, Abingdon, v. 89, n. 3, p. 390-401, 2012.

RAVINDRAN, A., PHILLIPS, D. T., SOLBERG, J. J. **Operations Research Principles and Practice**, 2. ed, 1987, 656 p.

RIEDL, H.; CROFT, B. A.; HOWITT, A. J. Forecasting codling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological-time models. **The Canadian Entomologist**, Ottawa, v. 108, n. 5, p. 449-460, 1976.

RODRIGUES, W. C. 2004. **Fatores que Influenciam no Desenvolvimento dos Insetos**, Info Insetos, v. 1, n. 4, p. 1-4. Disponível em: <www.entomologistasbrasil.cjb.net>. Acesso em: 5 jun 2014.

ROSSATO JÚNIOR, J. A. S. ***Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae) e *Mahanarva fimbriolata* (Stal) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar: impacto na qualidade da matéria-prima, açúcar e etanol**. 2012. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Jaboticabal-SP.

ROSSATO JÚNIOR, J. A. S., COSTA, G. H. G., MADALENO, L. L., MUTTON, M. J. R., HIGLEY, L. G., FERNANDES, O. A. Characterization and impact of the sugarcane borer on sugarcane yield and quality. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 643–648, 2013.

SANDOVAL, S. S.; SENÔ, K. C. A. Comportamento e controle da *Diatraea saccharalis* na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, Ituverava, v. 7, p. 243-258, 2010.

SAS INSTITUTE. 2004. **SAS/STAT user's guide**, version 9. 1. ed. SAS Institute. Cary, NC.

SCHOWALTER, T. D. **Insect ecology: an ecosystem approach**. San Diego: Elsevier, 2006, 572 p.

SCOMPARIN, A. L. X. **Desenvolvimento de diferentes populações de *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) em temperaturas variáveis e consequências na modelagem fenológica**. 2009. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Jaboticabal-SP.

SILVEIRA-NETO, S. NAKANO, O.; BARBIN, D.; VILLA NOVA, N. A. **Manual de Ecologia dos insetos**. São Paulo: Ed. Ceres, 1976, 419 p.

SMERAGE, G. H. Representation of development in insect population models. In: GOODENOUGH, J. L.; MCKINION, J. M. (Ed.). **Basics of Insect Modeling**, 1992, cap. 8.

SUTHERST, R. W.; MAYWALD, G. F. A computerised system for matching climates in ecology. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 13, p. 281-299, 1985.

TERAN, F. O.; PRECETTI, A. A. C. M.; DERNEIKA, O. Broca da cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis*. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA: PRAGAS DA CANA-AÇÚCAR, 1., 1983, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1983, p. 4-15.

TERAN, F. O. Dinâmica populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) em canaviais do estado de São Paulo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 8 n. 1, 1979.

VARGAS, E. L.; PEREIRA, F. F.; TAVARES, M. T.; PASTORI, P. L. Record of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing *Diatraea* sp. (Lepidoptera: Crambidae) in sugarcane crop in Brazil. **Entomotropica**, Venezuela, v. 26, n. 3, p. 143-146, 2011.