

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Efeito da maturação fisiológica na produção de feromônio sexual em
Phthorimaea absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)**

Juan David Moran Toro
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

JUAN DAVID MORAN TORO

**Efeito da maturação fisiológica na produção de feromônio sexual em
Phthorimaea absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Eraldo Rodrigues de Lima

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M829e
2025 Moran Toro, Juan David, 1995-
Efeito da maturação fisiológica na produção de feromônio sexual em *Phthorimaea absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) / Juan David Moran Toro. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (38 f.): il.

Orientador: Eraldo Rodrigues de Lima.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, 2025.

Referências bibliográficas: f. 35-38.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.793>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Phthorimaea absoluta* - Comportamento sexual.
2. Hormônios sexuais. 3. Tomate - Doenças e pragas. I. Lima, Eraldo Rodrigues de, 1960-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Entomologia. III. Título.

CDD 22. ed. 595.781562

JUAN DAVID MORAN TORO

**Efeito da maturação fisiológica na produção de feromônio sexual em
Phthorimaea absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de julho de 2025.

Assentimento:

Juan David Moran Toro
Autor

Eraldo Rodrigues de Lima
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 30/01/2026 às 20:56:04 e pelo orientador em 01/02/2026 às 22:01:51. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **3BPX.AF8L.1DYS** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A realização desta dissertação não seria possível sem o apoio, incentivo e colaboração de diversas pessoas e instituições. A cada uma delas, expresso minha profunda gratidão.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia, pela oportunidade de realização do curso e pela infraestrutura disponibilizada.

Ao meu orientador, Prof. Eraldo Lima, pela orientação, pelos ensinamentos e pela confiança depositada em mim para o desenvolvimento deste trabalho no Laboratório de Semioquímicos e Comportamento de Insetos.

Às membras da banca examinadora, Dras. Daiane Carmo e Natália Ribas, pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições para o aprimoramento desta dissertação.

Um agradecimento especial à Dra. Kárenn Santos, que durante seu doutorado teve um papel fundamental na minha formação acadêmica. Agradeço pelas orientações ao longo dos diferentes processos de pesquisa, pela disponibilidade em compartilhar seu conhecimento e pela parceria construída ao longo desse período.

À técnica de laboratório Josie, pelo auxílio fundamental na condução dos experimentos e por todas as explicações e ensinamentos no dia a dia do laboratório.

Aos meus colegas do laboratório, Elaine, Maria e Gabriel, pela amizade, pelo companheirismo e pelo ambiente de trabalho agradável que proporcionaram.

À minha mãe, Alda Nelly Toro, pelo seu amor incondicional e por estar sempre atenta e presente em minha vida, mesmo à distância.

Aos meus irmãos, Mirian, Teresa, Jenny, Nubia, Vivian, Andres, Luisa e à minha irmã Doris (in memoriam), por sempre acreditarem nas minhas capacidades e pelo apoio incondicional em todas as etapas da minha jornada.

Aos demais familiares, pelo carinho, pela torcida e pelo suporte constante.

Ao Ferney, pelo apoio incondicional, fazendo-se presente mesmo à distância.

Aos meus amigos de Viçosa, agradeço pela lealdade e pelo companheirismo que marcaram esta etapa. Em especial, a Glauco, por ter me ensinado tanto e por me motivar constantemente a seguir em frente. À sua mãe, Sra. Hilda, e a toda sua família, pela generosidade e apoio incondicional nos últimos meses no Brasil. A Ricardo, Carlos, Tatiana e Esneider, pela amizade sincera e presença inestimável.

A todos e todas, deixo registrado meu profundo agradecimento.

RESUMO

TORO, Juan David Moran, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2025. **Efeito da maturação fisiológica na produção de feromônio sexual em *Phthorimaea absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae).** Orientador: Eraldo Rodrigues de Lima.

A traça-do-tomate *Phthorimaea absoluta* é uma das principais pragas da cultura do tomate em escala mundial, cuja comunicação sexual é mediada por feromônios emitidos por fêmeas para atrair machos. Este estudo investigou como a maturidade fisiológica e o fotoperíodo de 12:12 h claro/escuro modulam a sinalização sexual, com ênfase no comportamento de chamamento sexual postura característica de exposição da glândula feromonal e na produção dos compostos voláteis. Foram realizadas análises comportamentais e químicas para avaliar a interação entre idade fisiológica, estado de chamamento sexual e composição da mistura feromonal. Os resultados mostraram que 80% das fêmeas iniciaram o chamamento sexual nos dois primeiros dias pós-emergência, indicando maturação precoce. Fêmeas que iniciaram o chamamento sexual no primeiro dia apresentaram maior produção de TDTA e TDDA, evidenciando que a precocidade está associada a maior capacidade biossintética. A composição da mistura feromonal manteve-se estável em relação à idade inicial (primeiro ao segundo dia pós-emergência), mas apresentou ajustes sutis conforme o estado comportamental das fêmeas em chamamento sexual ativo, ou sem chamamento sexual, e o momento da extração da glândula sexual dentro do fotoperíodo de 12:12 h claro/escuro, demonstrando que a emissão química é dinâmica e regulada por fatores fisiológicos e exógenos. A produção de feromônio foi mais intensa durante a fase escura, coincidindo com o pico de atividade de chamamento sexual, embora também se estendesse ao período claro. Um achado central foi que o estado ativo de chamamento sexual, e não apenas a idade cronológica, está diretamente ligado à máxima produção feromonal, evidenciando a necessidade de controle experimental desse fator em estudos de quantificação de voláteis feromonais. Conclui-se que a sinalização sexual em *P. absoluta* constitui um sistema integrado e adaptativo, no qual a fêmea naturalmente modula a quantidade e a qualidade do sinal químico em função do seu estado fisiológico, refletindo uma estratégia reprodutiva refinada.

Palavras-chave: Traça-do-tomate, TDTA, TDDA, Reprodução, Comportamento de chamamento sexual.

ABSTRACT

TORO, Juan David Moran, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2025. **Effect of physiological maturation on the production of sexual pheromone in *Phthorimaea absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae).** Adviser: Eraldo Rodrigues de Lima.

The tomato leafminer *Phthorimaea absoluta* is one of the most important pests of tomato crops worldwide, whose sexual communication is mediated by pheromones released by females to attract males. This study investigated how physiological maturity and a 12:12 h light/dark photoperiod modulate sexual signaling, with emphasis on calling behavior the characteristic posture of pheromone gland extrusion and on the production of volatile compounds. Behavioral and chemical analyses were conducted to evaluate the interaction between physiological age, calling state, and the composition of the pheromone blend.

The results showed that 80% of females initiated calling within the first two days post-emergence, indicating early maturation. Females that began calling on the first day exhibited higher production of TDTA and TDDA, demonstrating that precocity is associated with greater biosynthetic capacity. The composition of the blend remained stable with respect to the initial age (first to second day post-emergence), but showed subtle adjustments according to the females' behavioral state either in active calling, with the gland extruded, or without calling and the timing of pheromone gland extraction within the 12:12 h light/dark photoperiod. This demonstrates that chemical emission is dynamic and regulated by both physiological and exogenous factors. Pheromone production was more intense during the dark phase, coinciding with the peak of calling activity, although it also extended into the light period. A central finding was that the active calling state, and not merely chronological age, is directly linked to maximum pheromone production, highlighting the need for experimental control of this factor in studies quantifying pheromone volatiles. It is concluded that sexual signaling in *P. absoluta* constitutes an integrated and adaptive system, in which the female naturally modulates the quantity and quality of the chemical signal according to her physiological state, reflecting a refined reproductive strategy.

Keywords: Tomato leafminer, TDTA, TDDA, Reproduction, Calling behavior.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
METODOLOGIA	11
2.1. Criação de <i>P. absoluta</i>	11
2.2. Plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) cultivadas em estufa	11
2.3. Sexagem e padronização de pupas	12
2.4. Observação do comportamento de chamamento sexual.....	12
2.5. Procedimento de extração e conservação da glândula de feromônio sexual em <i>P. absoluta</i>	13
2.6. Determinação da concentração dos feromônios das glândulas de fêmeas de <i>P. absoluta</i>	14
2.7. Análises Estatísticas	14
RESULTADOS.....	16
3.1. Distribuição Diária do Primeiro Chamamento sexual.....	16
3.2. Padrão diário de chamamento sexual em fêmeas de <i>P. absoluta</i> segundo o dia de início da atividade reprodutiva	17
3.3. Efeito do Comportamento de Chamamento sexual na Produção de Feromônio	19
3.4. Efeito da Maturidade Sexual na Produção de Feromônio	22
3.5. Efeito do Período de Extração na Produção de Feromônio	25
DISCUSSÃO	28
CONCLUSÕES.....	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

INTRODUÇÃO

A traça-do-tomate, *Phthorimaea absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), é atualmente uma das pragas mais destrutivas da tomaticultura mundial. Originalmente descrita no Peru (Desneux et al., 2010), a espécie tornou-se o principal fator limitante para a produção de tomate no continente (Ferrara et al., 2001) e, após sua introdução na Europa em 2006, espalhou-se rapidamente pelo Mediterrâneo, África e Ásia. Em áreas recém-invasidas e sem manejo adequado, as perdas podem atingir 80–100% da produção, tornando a praga um dos maiores desafios fitossanitários na cadeia produtiva do tomate (Desneux et al., 2010).

O sucesso invasivo de *P. absoluta* está associado ao seu elevado potencial reprodutivo e adaptabilidade. A espécie apresenta ciclo de vida curto, podendo completar seu desenvolvimento em aproximadamente 30 a 40 dias e produzir diversas gerações em um ciclo de cultivo, favorecendo o rápido crescimento populacional (Vivekanandhan et al., 2024).

A espécie exibe estratégias reprodutivas que ampliam seu potencial de estabelecimento e disseminação. As fêmeas são poliândricas, acasalando-se múltiplas vezes, uma característica que lhes confere benefícios diretos como o aumento da fecundidade, da fertilidade e da longevidade (Lee et al., 2014). Adicionalmente, foi documentada em laboratório a ocorrência de partenogênese deuterótoca a produção de descendentes de ambos os sexos a partir de ovos não fecundados, o que demonstra sua grande capacidade de adaptação reprodutiva (Caparros Megido et al., 2012). A disseminação acelerada de *P. absoluta*, associada a essas características biológicas e à evolução de resistência a diversos inseticidas, tem exigido o desenvolvimento de estratégias de manejo mais sustentáveis. Nesse contexto, programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) passaram a incorporar semioquímicos, especialmente os feromônios sexuais, que permitem manipular o comportamento reprodutivo da praga de forma altamente específica (Caparros Megido et al., 2013). A eficácia dessa abordagem se baseia no fato de que, na ordem Lepidoptera, a comunicação sexual é predominantemente mediada por misturas feromonais de compostos voláteis liberados pela fêmea para atrair o macho a distância (Jurenka, 2003). Assim que, em *P. absoluta*, esse sistema de comunicação química constitui um componente central do

comportamento reprodutivo e um ponto estratégico para seu controle. Especificamente as fêmeas virgens emitem uma mistura feromonal característica composta majoritariamente pelo acetato de (3E,8Z,11Z) -3,8,11-tetradecatrien-1-ila (TDTA, ≈90%) e, em menor proporção, pelo acetato de (3E,8Z) -3,8-tetradecadien-1-ila (TDDA, ≈10%) (Attygalle et al., 1995; Svatoš et al., 1996). Ensaios em túnel de vento demonstraram que a mistura sintética na proporção natural (10:1) induz cerca de 80% dos machos a pousar na fonte odorífera, sendo mais eficaz do que o TDTA isolado (Svatoš et al., 1996).

Entretanto, a aplicação dessa mistura em condições de campo apresenta particularidades. De fato, armadilhas iscadas apenas com o TDTA sintético são altamente eficientes, capturando em média mais de 1.200 machos por armadilha/noite (Ferrara et al., 2001). Adicionalmente, a inclusão do TDDA na isca parece não incrementar o número de capturas (Domínguez et al., 2019). Essa complexidade é ainda maior ao se considerar o estado fisiológico do macho receptor, pois foi demonstrado que machos virgens e acasalados respondem de forma diferenciada às iscas. Por exemplo, armadilhas contendo apenas TDTA tendem a capturar uma maior proporção de machos virgens, enquanto as fêmeas vivas que emitem o sinal natural completo atraem majoritariamente machos já acasalados (Mamani Huayhua, 2022).

Essa discrepância evidencia que a eficácia do controle comportamental depende não apenas da composição da isca, mas também da fisiologia e o estado reprodutivo de machos e fêmeas na população. Entre os fatores que influenciam essa dinâmica, destacam-se os que modulam a emissão feromonal, incluindo variáveis endógenas, como a idade cronológica e sobretudo, a maturidade fisiológica/ovariana das fêmeas, e fatores exógenos, como o fotoperíodo (ciclo claro:escuro). Estudos baseados na idade cronológica indicam que o pico de produção de feromônio ocorre entre 1 e 4 dias após a emergência, decaindo em fêmeas mais velhas (Domínguez et al., 2019). Essa regulação temporal está intimamente ligada à maturação do sistema reprodutivo, a qual pode ser avaliada pelo desenvolvimento ovariano, de modo que a máxima capacidade biossintética de feromônio ocorre no auge da maturidade reprodutiva.

Apesar da relevância econômica da espécie, persistem lacunas quanto à influência da maturidade fisiológica sobre a quantidade e a composição do feromônio, bem como à relação

entre o estado comportamental das fêmeas (glândula sexual exposta ou não exposta) e a capacidade de emissão dos compostos voláteis. Portanto, a falta de entendimento sobre como a maturidade fisiológica regula a produção e a composição do feromônio não apenas limita a compreensão da ecologia reprodutiva da espécie, mas também limita o potencial para aprimorar as ferramentas de controle comportamental baseadas neste sinal.

Diante disso, esta dissertação teve como objetivo investigar como a maturidade fisiológica e fatores exógenos, como o fotoperíodo (ciclo claro:escuro), modulam a sinalização sexual de fêmeas virgens de *P. absoluta*. Para alcançar esse objetivo, foram integradas análises comportamentais e químicas, que permitiram descrever o padrão temporal do chamamento sexual, quantificar a produção de TDTA e TDDA e avaliar a dinâmica da composição da mistura feromonal em diferentes idades fisiológica. Os resultados contribuem para o entendimento da fisiologia reprodutiva da espécie e oferecem subsídios para a otimização de táticas de controle comportamental baseadas em feromônios.

METODOLOGIA

1.1. Criação de *P. absoluta*

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Semioquímicos e Comportamento de Insetos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, Brasil, a partir de ovos de *P. absoluta* obtidos da criação massal do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas da mesma instituição. A criação foi mantida em sala climatizada sob condições controladas de temperatura (25 ± 2 °C), umidade relativa ($70 \pm 5\%$) e fotoperíodo de 12:12 horas (claro:escuro). Para o desenvolvimento das fases imaturas, folhas de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) contendo os ovos foram dispostas em recipientes com água para manter a turgidez e acondicionadas em gaiolas de madeira (30x20x30 cm). Após a eclosão, as larvas se alimentaram das folhas, que eram renovadas a cada dois dias. Ao atingirem a fase de pupa, os indivíduos foram coletados e transferidas para placas de Petri (90x15 mm) sendo posteriormente acondicionados em gaiolas de acrílico (30x30x30 cm) onde permaneceram até a emergência dos adultos. Os Adultos emergidos foram alimentados com uma solução de açúcar a 10% (v/v) e, para a manutenção do ciclo, folhas frescas de tomate foram fornecidas como substrato para a oviposição.

1.2. Plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivadas em estufa

Para garantir a alimentação adequada das larvas de *P. absoluta*, foram utilizadas plantas de tomate da variedade Santa Clara. As sementes foram semeadas em bandejas com substrato para hortaliças e mantidas em câmara de germinação (TECNAL, TE-4000/1). Após um período de 29 a 44 dias, quando as plântulas já haviam emergido e desenvolvido pelo menos duas folhas verdadeiras, as mudas foram transplantadas para vasos de 3 litros, preenchidos com condicionador de solo MecPlant®.

O manejo nutricional das plantas foi realizado com a aplicação semanal de macronutrientes, utilizando uma formulação de NPK (10:10:10), conforme as recomendações do fabricante. As plantas foram cultivadas em uma estufa com controle ambiental, mantendo a temperatura a 25 ± 2 °C e a umidade relativa a $70 \pm 5\%$.

1.3. Sexagem e padronização de pupas

As pupas foram separadas por sexo com base na morfologia externa descrita por Coelho & França (1987). Para a padronização da massa pupal, os indivíduos foram pesados em balança analítica Shimadzu, modelo AUW220D com precisão de 0,01 mg, sendo selecionadas para os experimentos apenas fêmeas com peso pupal entre 2,10 e 3,43 mg (Gonçalves et al., 2024).

1.4. Observação do comportamento de chamamento sexual

Para o estudo comportamental, 54 fêmeas virgens de *P. absoluta* foram individualizadas em recipientes plásticos de 70 mL, vedados em uma das extremidades com tela de organza, permitindo tanto a ventilação quanto o acesso a uma solução de açúcar a 10% (v/v) para alimentação. Cada fêmea foi identificada com base em sua data de emergência, registrada segundo o calendário juliano, e mantida em condições controladas, sob fotoperíodo de 12:12 horas (claro:escuro), no qual cada fase durava 720 minutos. O monitoramento comportamental foi realizado em uma janela de observação de sete horas, que começou no minuto 480 da escotofase e continuando pelas três primeiras horas da fotofase. Para a análise dos dados, este intervalo foi definido como o período de -4 a +3 horas, onde a hora 0 representa o momento exato da transição entre a fase escura e a clara. As observações foram realizadas a cada 30 minutos, utilizando luz vermelha durante a fase escura, com o objetivo de registrar o início e a cessação da atividade de chamamento sexual.

Uma fêmea era considerada em chamamento sexual quando assumia a postura típica de exposição da glândula feromonal. O dia da primeira ocorrência desse comportamento foi anotado para estabelecer o início da idade fisiológica da fêmea.

1.5. Procedimento de extração e conservação da glândula de feromônio sexual em *P. absoluta*

A glândula de feromônio sexual, localizada na região posterior do abdômen, no último segmento abdominal (Cardé & Haynes, 2004; Paola & Cáceres, 2020), foi extraída com o auxílio de um estereomicroscópio Leica EZ4 e microtesouras entomológicas. Para as análises de quantificação, primeiramente, estabeleceu-se um grupo de referência padrão, composto por fêmeas que atendiam a critérios fisiológicos rigorosos, incluindo o monitoramento individual, o início do chamamento sexual no primeiro dia de vida e a confirmação ativa do comportamento no momento da extração. Esse grupo foi utilizado como base para todas as comparações subsequentes realizadas nos diferentes experimentos.

Para a extração, o horário foi padronizado para uma hora antes da transição para a fotofase (-1h), por coincidir com a janela de alta atividade de chamamento sexual da espécie. Essa padronização foi aplicada à maior parte das amostras analisadas. No entanto, em um conjunto específico de coletas realizadas durante a fase clara, a extração foi conduzida uma hora após o início da fotofase (+1h).

As glândulas extraídas foram transferidas individualmente para frascos de vidro contendo 20 µL de solução de n-heptil acetato, utilizada como padrão interno na concentração de 20 ng/µL. O hexano empregado na preparação da solução apresentava grau de pureza de 97,0% (Sigma-Aldrich), assegurando a pureza e a integridade dos compostos voláteis. Para otimizar a difusão dos feromônios da glândula para o solvente e, ao mesmo tempo, prevenir sua degradação, as amostras foram mantidas em gelo por 10 minutos um período considerado suficiente para a extração dos compostos de interesse sem comprometer sua estrutura química. Após esse intervalo, as glândulas foram cuidadosamente removidas do solvente. Utilizando uma microsseringa de vidro, o extrato, composto pelo solvente com os voláteis da glândula, foi então transferido para um novo frasco de armazenamento devidamente rotulado. Os extratos foram armazenados a -18 °C até o momento da análise.

1.6. Determinação da concentração dos feromônios das glândulas de fêmeas de *P. absoluta*

As amostras de glândulas de fêmeas de *P. absoluta*, contendo padrão interno, foram analisadas por cromatografia gasosa com detector de ionização por chama (GC-FID), utilizando um equipamento Shimadzu GC-17A acoplado a uma coluna capilar Rtx-5 Crossbond 5% difenil-95% dimetil polisiloxano (30 m, 0,25 mm de diâmetro interno e espessura de filme de 0,25 μm ; Thames Restek UK Ltd). Foi injetado 1 μL de cada amostra no modo splitless, com o injetor a 250 °C. O forno da coluna foi mantido a 80 °C por 2 minutos, aquecido a 240 °C a uma taxa de 10 °C/min e mantido nessa temperatura por 4 minutos.

Para garantir a correta identificação dos picos, uma caracterização preliminar foi realizada através da injeção de 1 μL de feromônios sintéticos de TDTA e TDDA de 40 ng/ μL e do padrão interno de n-heptil acetato de 20 ng/ μL para determinar seus respectivos tempos de retenção. Com base nesses tempos de retenção, as concentrações dos feromônios nas amostras foram calculadas utilizando a relação de área e concentração do padrão interno.

1.7. Análises Estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (versão 4.3.1), adotando-se o nível de significância de $\alpha = 0,05$ como critério uniforme para todas as inferências. Para avaliar a distribuição de frequência do primeiro chamamento sexual, aplicou-se o Teste Qui-quadrado (χ^2) de Aderência, que comparou as frequências observadas em cada dia com uma distribuição uniforme esperada. A análise post-hoc baseada nos resíduos padronizados foi utilizada para identificar os dias que se desviaram significativamente da frequência esperada, considerando-se significativos os resíduos com valor absoluto superior a 1,96.

As comparações das concentrações de feromônios (TDTA e TDDA) e de suas proporções relativas entre os grupos experimentais seguiram um procedimento de verificação de premissas. A normalidade da distribuição dos dados em cada grupo foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para os dados que atenderam à premissa de normalidade, a comparação das médias foi realizada com o Teste t, cuja versão foi definida pela homogeneidade das variâncias avaliada pelo teste de Levene. Quando as variâncias foram homogêneas, aplicou-

se o Teste t de Student, e quando não foram homogêneas, utilizou-se o Teste t de Welch. Nos casos em que a premissa de normalidade não foi atendida por pelo menos um dos grupos, empregou-se o teste não paramétrico Wilcoxon-Mann-Whitney.

A composição da mistura feromonal foi avaliada pela análise da proporção relativa do componente majoritário (TDTA). Para cada fêmea individualmente, esta proporção foi calculada como a porcentagem de TDTA em relação à soma dos dois compostos feromonais (TDTA e TDDA), utilizando a fórmula: $\% \text{ TDTA} = [\text{TDTA} / (\text{TDTA} + \text{TDDA})] * 100$. Esta análise permite avaliar a qualidade do sinal químico, para além da sua quantidade absoluta.

Para a apresentação visual dos dados, todos os gráficos de comparação exibem a média acompanhada do erro padrão da média (EPM). Além disso, os pontos individuais de cada fêmea foram sobrepostos às barras. A dispersão horizontal desses pontos foi aplicada como técnica de visualização (jittering) para evitar sobreposição e garantir a visibilidade de cada observação, sem que sua posição no eixo X tivesse significado estatístico. A significância estatística indicada nos gráficos (valor-p) corresponde sempre ao resultado do teste apropriado, seja Student, Welch ou Wilcoxon, conforme definido pelo procedimento de análise.

RESULTADOS

1.8. Distribuição Diária do Primeiro Chamamento sexual

O início do chamamento sexual em 54 fêmeas virgens de *P. absoluta* foi sincronizado, com a maioria (80%) iniciando a atividade nos dois primeiros dias de vida adulta. A análise estatística confirmou que a distribuição diária do chamamento sexual não foi uniforme. O Teste Qui-quadrado indicou diferença significativa, $\chi^2(5, N=54) = 83.33, p < 0.001$. A análise post-hoc dos resíduos padronizados mostrou que a frequência de fêmeas que iniciaram o chamamento sexual no primeiro dia (60%) foi significativamente maior do que o esperado. Em contraste, as frequências observadas do terceiro ao sexto dia (totalizando 20%) foram significativamente menores, enquanto o segundo dia (20%) não apresentou desvio significativo (Figura 1).

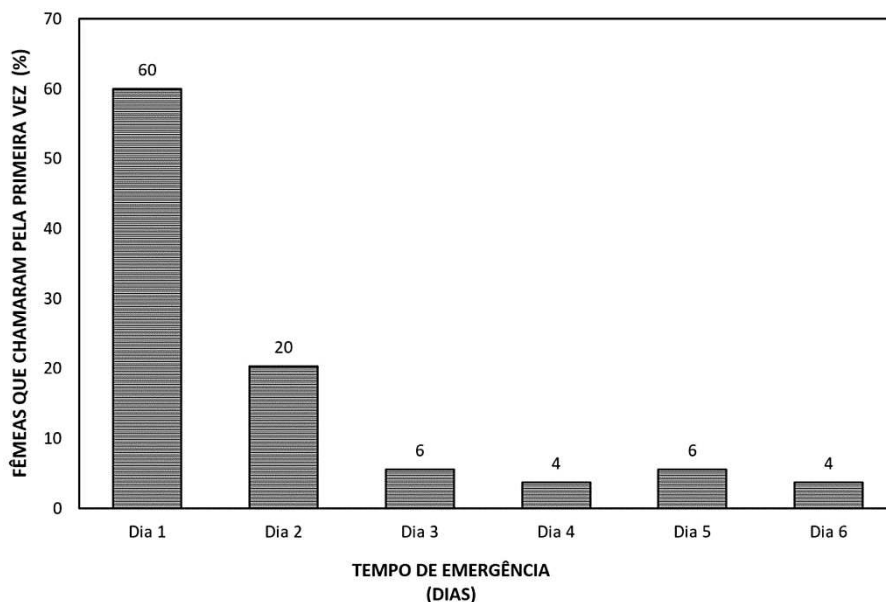


Figura 1. Distribuição percentual do dia de início do primeiro chamamento sexual em fêmeas virgens de *P. absoluta* (n=54). O eixo Y indica a porcentagem de fêmeas que iniciaram o chamado pela primeira vez em cada dia, e o eixo X representa os dias após a emergência.

1.9. Padrão diário de chamamento sexual em fêmeas de *P. absoluta* segundo o dia de início da atividade reprodutiva

Para a análise do padrão temporal de chamamento sexual, as fêmeas de *P. absoluta* foram separadas em dois grupos com base no dia de início da atividade reprodutiva. Este critério de agrupamento é fundamentado na análise da distribuição de frequência do primeiro chamamento sexual, que demonstrou que o primeiro dia representa o pico principal e estatisticamente distinto de início da atividade (Teste Qui-quadrado, $p < 0,001$).

A comparação entre estes grupos revelou dois padrões temporais distintos. O grupo “Dia 1” ($n = 33$) apresentou o pico de atividade aos 30 minutos antes do início da fotofase, com 28 fêmeas em comportamento de chamamento sexual. Por outro lado, o grupo “Dias 2 a 6” ($n = 21$) exibiu um padrão significativamente mais precoce e intenso, com pico médio de atividade ($n = 37$) sustentado entre 60 a 90 minutos antes da fotofase.

A antecipação observada nesse segundo grupo também se refletiu no início do comportamento, registrado 240 minutos antes da fotofase (-4,0 h), enquanto no grupo “Dia 1” o início ocorreu 210 minutos antes (-3,5 h). Essa diferença de precocidade foi quantificada por meio do tempo médio ponderado de chamamento sexual, que foi de aproximadamente 50 minutos antes do início da fotofase (-0,83 h) para o grupo “Dias 2 a 6” e 6 minutos antes (-0,10 h) para o grupo “Dia 1”.

Embora ambos os grupos tenham continuado a atividade de chamamento sexual durante o início da fotofase, o comportamento no grupo “Dias 2 a 6” foi mais prolongado. A atividade no grupo “Dia 1” cessou completamente após 2,5 horas do período claro, enquanto no grupo de início tardio (“Dias 2 a 6”) ainda havia o registro de fêmeas em chamamento sexual na terceira hora da fotofase.

Apesar desta diferença na duração, ambos os grupos concentraram a maior parte da atividade de chamamento sexual na fase final da escotofase (entre -4,0 e 0 horas), com um declínio acentuado imediatamente após a transição para a luz.

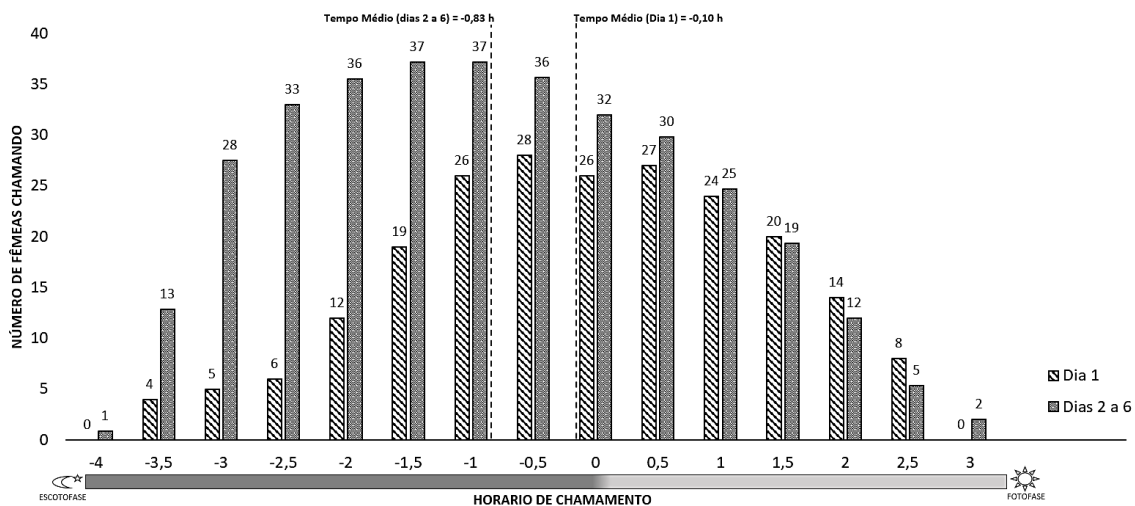


Figura 2. Comparação do padrão diário de chamamento sexual em fêmeas de *P. absoluta*, em função do dia de início da atividade reprodutiva. As barras representam o número de fêmeas em chamamento sexual ao longo do tempo (em horas), sendo a hora 0 correspondente à transição da escotofase para a fotofase. As barras com preenchimento pontilhado indicam os dados do grupo “Dia 1”, enquanto as barras listradas representam número médio de fêmeas do grupo “Dias 2 a 6”. As linhas verticais tracejadas indicam o tempo médio ponderado de chamamento sexual para cada grupo. A barra inferior ilustra o ciclo claro-escuro.

1.10. Efeito do Comportamento de Chamamento sexual na Produção de Feromônio

A análise quantitativa revelou que o comportamento de chamamento sexual influenciou significativamente a produção e a composição do feromônio. A quantidade de TDTA foi significativamente maior no grupo "glândula exposta", com uma produção média de $18,38 \pm 2,03$ ng/fêmea, onde o valor após o \pm representa o erro padrão da média, ou EPM, em comparação com o grupo "glândula não exposta" ($8,38 \pm 1,81$ ng/fêmea), conforme o Teste t de Student ($t(18) = 3,68$; $p = 0,0017$) (figura 3).

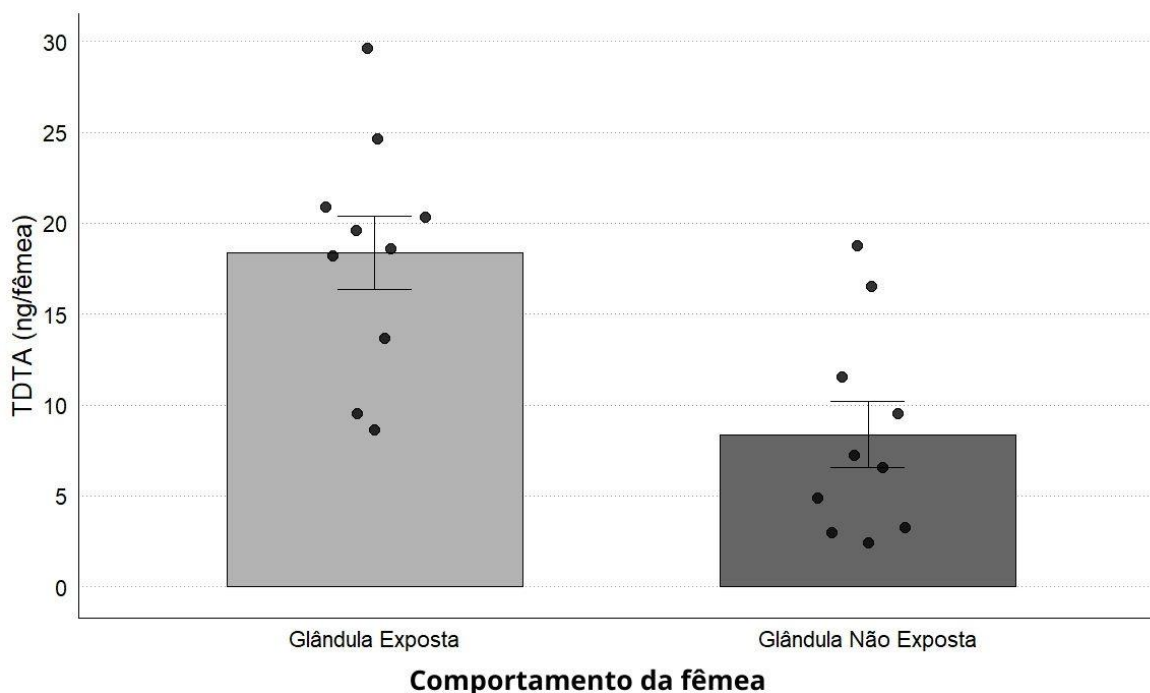


Figura 3. Comparação da quantidade de TDTA (ng/fêmea) entre fêmeas com glândula exposta (n=10) e não exposta (n=10). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença foi estatisticamente significativa (Teste t de Student, $p < 0,01$).

Um padrão similar foi observado para o TDDA, onde o grupo "glândula exposta" ($3,72 \pm 0,64$ ng/fêmea) também produziu uma quantidade superior ao grupo "glândula não exposta" ($0,96 \pm 0,30$ ng/fêmea). Essa diferença foi validada pelo Teste t de Welch ($t(12,8) = 3,94$; $p = 0,0017$) (figura 4).

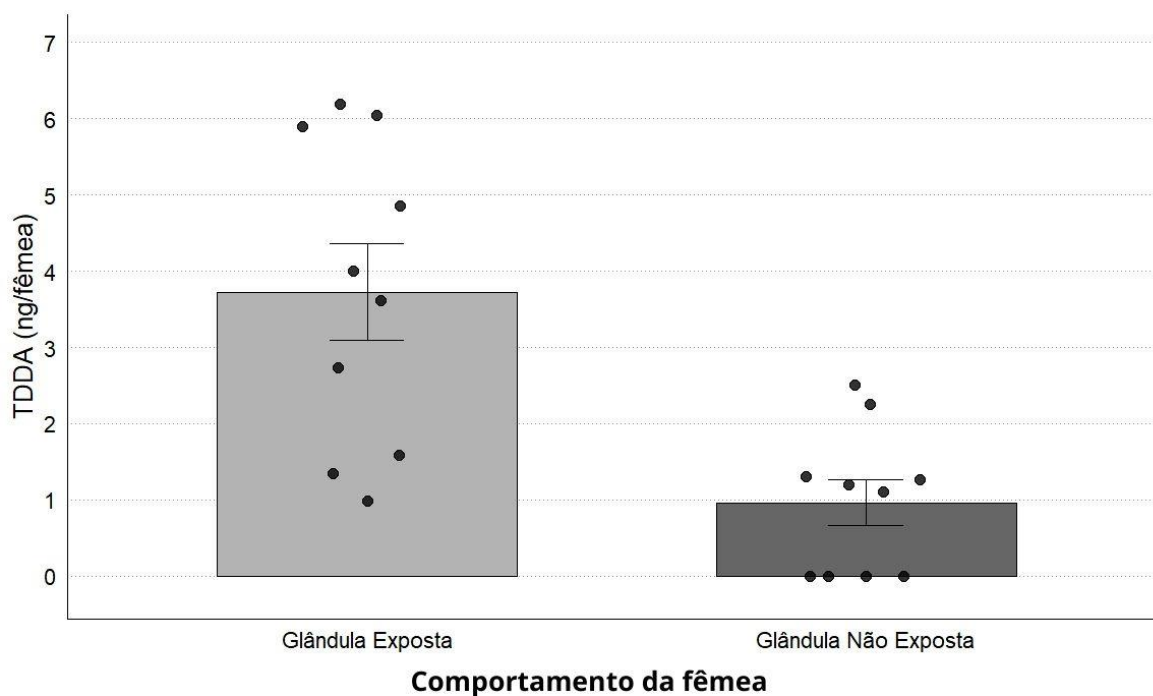


Figura 4. Comparação da quantidade de TDDA (ng/fêmea) entre fêmeas com glândula exposta ($n=10$) e não exposta ($n=10$). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença foi estatisticamente significativa (Teste t de Welch, $p < 0,01$).

De forma complementar, a proporção do Componente Majoritário na mistura feromonal foi significativamente menor no grupo "glândula exposta" ($83,8 \pm 1,82\%$) quando comparado ao grupo "glândula não exposta" ($92,1 \pm 2,92\%$), conforme indicado pelo Teste t de Student ($t(18) = -2,64; p = 0,017$) (Figura 5).

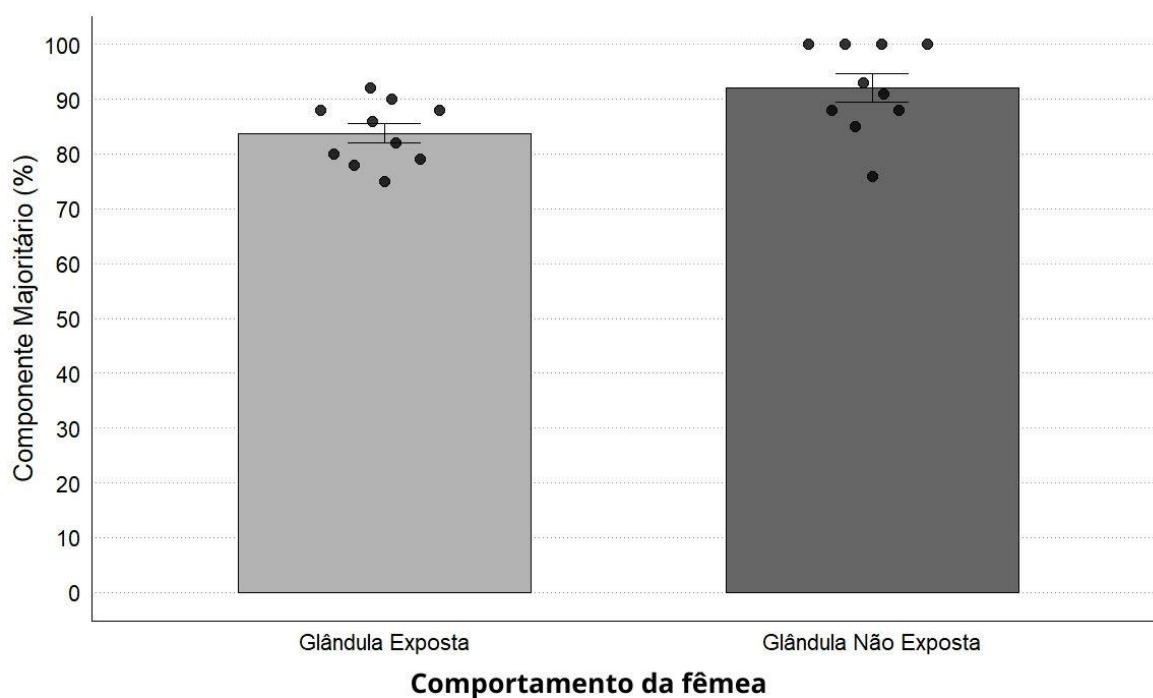


Figura 5. Comparação da proporção do componente majoritário (%) na mistura feromonal entre fêmeas com glândula exposta ($n=10$) e não exposta ($n=10$). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença foi estatisticamente significativa (Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p < 0,05$).

1.11. Efeito da Maturidade Sexual na Produção de Feromônio

A análise da produção de feromônio em relação à maturidade sexual revelou que fêmeas no primeiro dia de atividade reprodutiva produziram aproximadamente o dobro da quantidade total de feromônio em comparação com as que iniciaram a atividade no segundo dia.

A produção do composto TDTA foi significativamente maior no grupo "Primeiro Dia" ($18,38 \pm 2,03$ ng/fêmea) em comparação com o grupo "Segundo Dia" ($9,34 \pm 2,59$ ng/fêmea), conforme o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney ($W = 65$, $p = 0,027$).

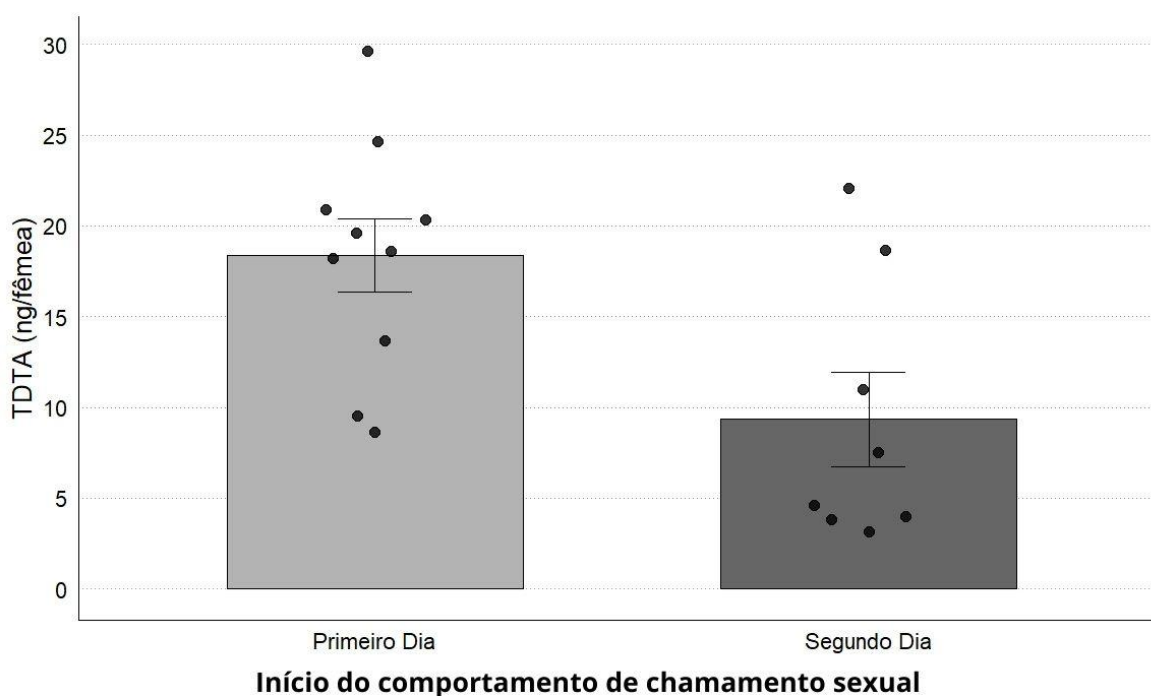


Figura 6. Comparação da quantidade de TDTA (ng/fêmea) entre fêmeas que iniciaram o chamamento sexual no primeiro dia ($n=10$) e no segundo dia ($n=8$). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença foi estatisticamente significativa (Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p < 0,05$).

De forma similar, a produção de TDDA foi significativamente maior no grupo "Primeiro Dia" ($3,72 \pm 0,64$ ng/fêmea) do que no grupo "Segundo Dia" ($1,70 \pm 0,36$ ng/fêmea), conforme validado pelo Teste t de Welch ($t(13,8) = 2,77$; $p = 0,015$).

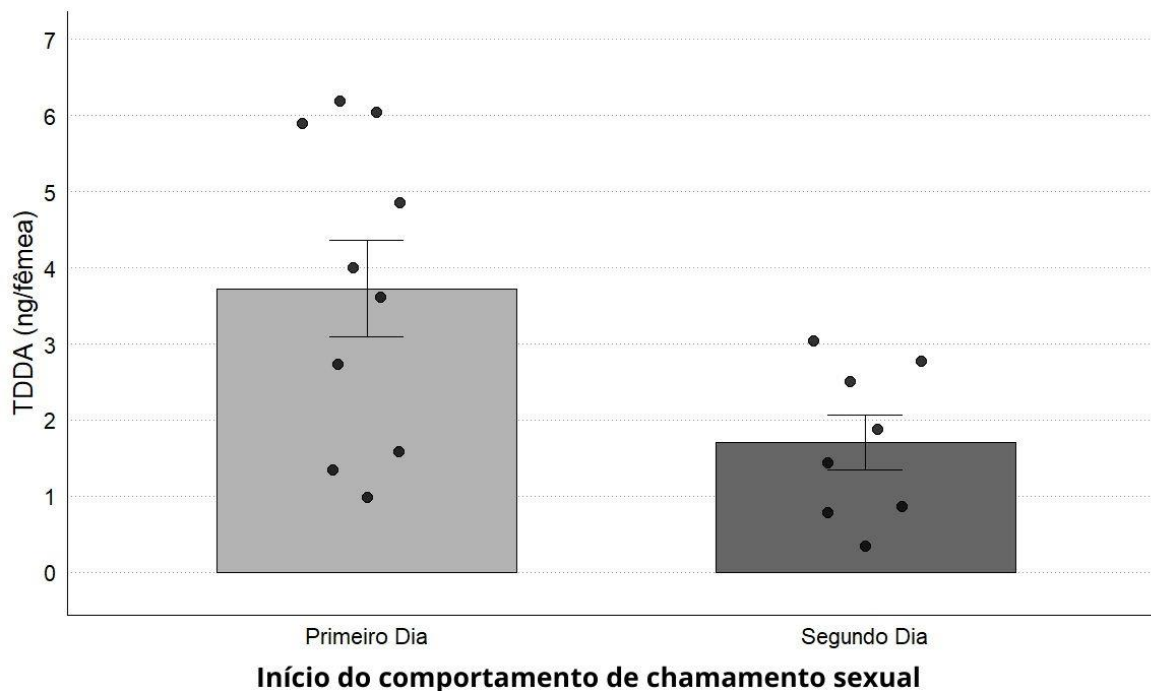


Figura 7. Comparação da quantidade de TDDA (ng/fêmea) entre fêmeas que iniciaram o chamamento sexual no primeiro dia ($n=10$) e no segundo dia ($n=8$). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença foi estatisticamente significativa (Teste t de Welch, $p < 0,05$).

Em contraste com a quantidade de feromônio, a composição da mistura feromonal dos compostos permaneceu estável, não apresentando diferença significativa na proporção do Componente Majoritário entre os grupos ($83,8 \pm 1,82\%$ no Primeiro Dia vs. $82,8 \pm 3,19\%$ no Segundo Dia; Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, $W = 39.5$, $p \approx 1,0$).

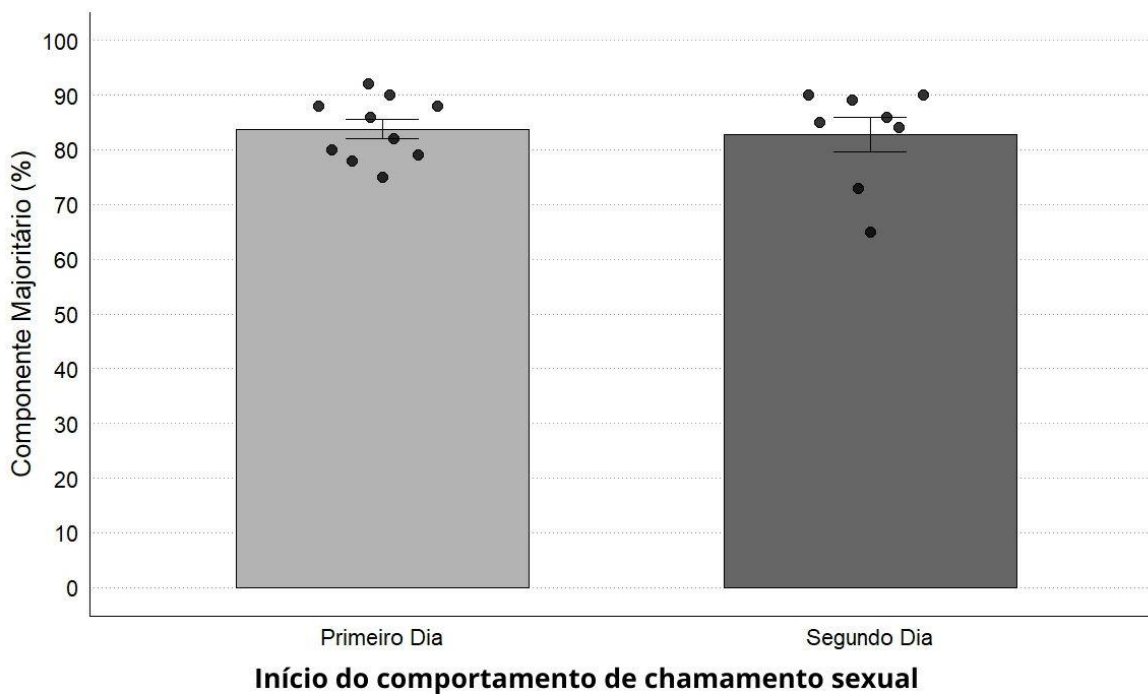


Figura 8. Comparação da proporção do componente majoritário (%) na mistura feromonal entre fêmeas que iniciaram o chamamento sexual no primeiro dia ($n=10$) e no segundo dia ($n=8$). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença não foi estatisticamente significativa (Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p \approx 1,0$).

1.12. Efeito do Período de Extração na Produção de Feromônio

A produção e composição do feromônio foram fortemente influenciadas pelo ciclo circadiano, com maior atividade na Escotofase.

A produção de TDTA foi significativamente maior em fêmeas coletadas durante a "Escotofase" ($18,38 \pm 2,03$ ng/fêmea) em comparação com a "Fotofase" ($3,36 \pm 0,63$ ng/fêmea), conforme o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney ($W = 100$, $p < 0,001$).

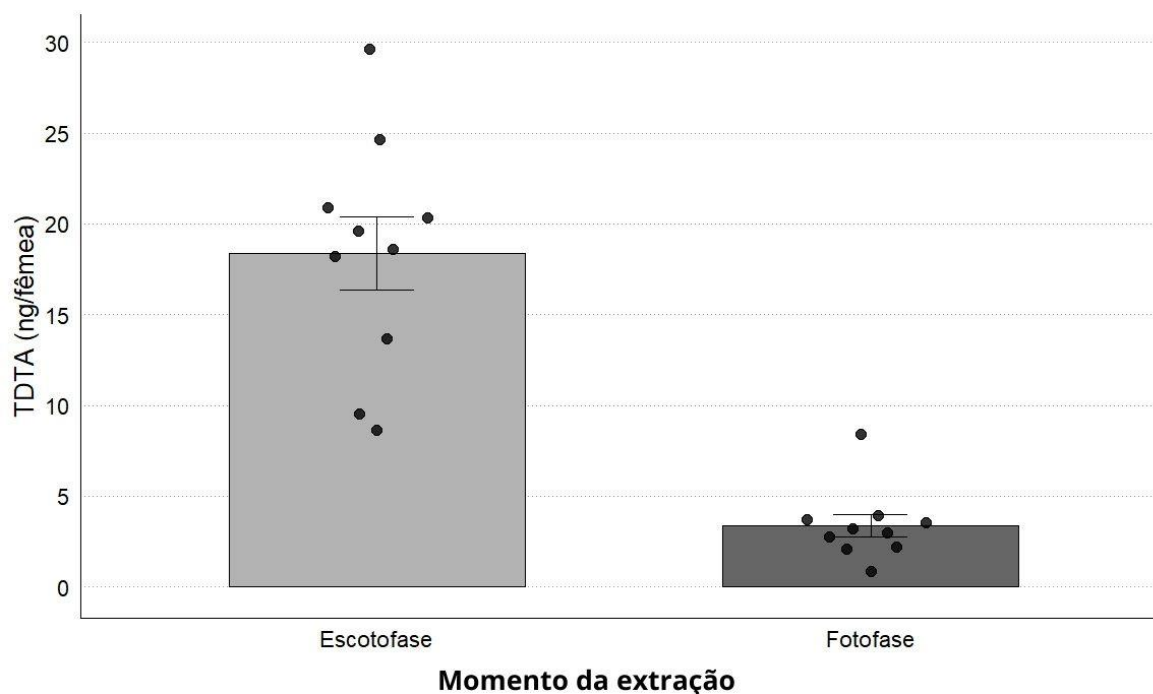


Figura 9. Comparação da quantidade de TDTA (ng/fêmea) entre fêmeas analisadas na Escotofase (n=10) e na Fotofase (n=10). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença foi estatisticamente significativa (Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p < 0,001$).

Para o composto TDDA, embora a média tenha sido maior na "Escotofase" ($3,72 \pm 0,64$ ng/fêmea) do que na "Fotofase" ($2,30 \pm 0,28$ ng/fêmea), a diferença não atingiu significância estatística (Teste t de Welch; $p = 0,075$).

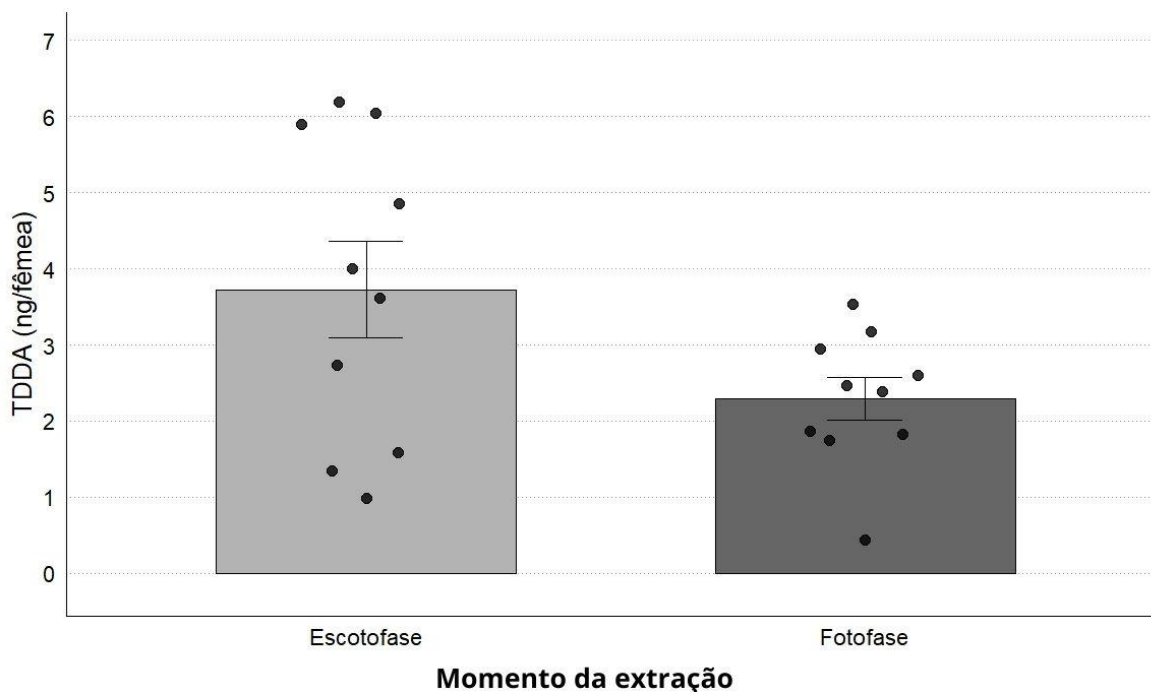


Figura 10. Comparação da quantidade de TDDA (ng/fêmea) entre fêmeas analisadas na Escotofase (n=10) e na Fotofase (n=10). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença não foi estatisticamente significativa (Teste t de Welch, $p = 0,075$).

Adicionalmente, a composição da mistura feromonal foi afetada, com uma proporção significativamente maior do Componente Majoritário no grupo "Escotofase" ($83,8 \pm 1,82\%$) em comparação com o grupo "Fotofase" ($58,5 \pm 2,41\%$), conforme o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney ($W = 100$, $p < 0,001$).

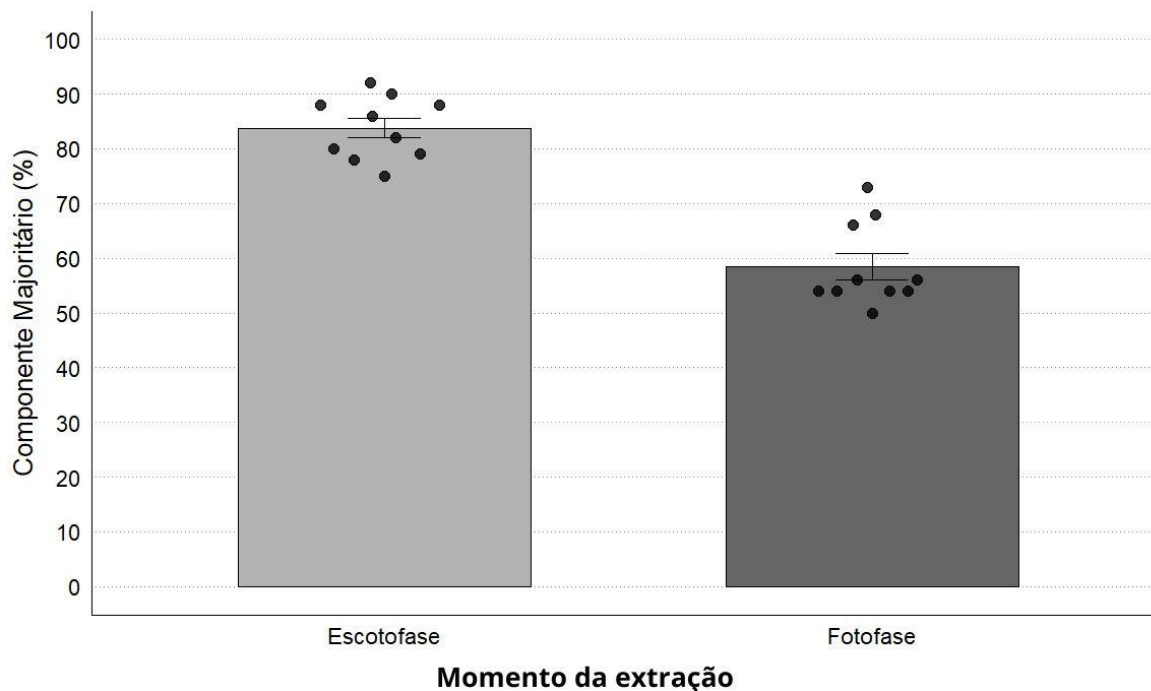


Figura 11. Comparação da proporção do componente majoritário (%) na mistura feromonal entre fêmeas analisadas na Escotofase ($n=10$) e na Fotofase ($n=10$). As barras representam a média, as barras de erro indicam o erro padrão da média (EPM), e os pontos representam os valores de cada fêmea individual. A diferença foi estatisticamente significativa (Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p < 0,001$).

DISCUSSÃO

A análise do chamamento sexual em fêmeas virgens de *P. absoluta* revelou uma sincronia nas fases iniciais da vida adulta, com 80% das fêmeas iniciando o comportamento entre o primeiro e o segundo dia pós-emergência. Essa rápida ativação reprodutiva é uma consequência direta da maturação fisiológica precoce da espécie. O desenvolvimento ovariano em *P. absoluta* inicia-se no final do estágio pupal, permitindo que as fêmeas emerjam já com a estrutura ovariana formada. Embora a maturação completa dos ovócitos seja um processo que se estende por vários dias, progredindo através de cinco estágios até o pico de oviposição (Yang et al., 2023), essa prontidão estrutural permite que o chamamento sexual possa começar já no primeiro dia. Em um estudo com uma população de *P. absoluta*, Lee et al. (2014) constataram cópula em mais da metade das fêmeas já na manhã seguinte à emergência, comportamento semelhante ao descrito em outros gelequídeos, como *Pectinophora gossypiella* (Leppla, 1972).

Apesar da concentração do início do chamamento sexual nos dois primeiros dias, aproximadamente 20% das fêmeas apresentaram ativação tardia entre o terceiro e o sexto dia. Esse padrão já foi descrito em *Keiferia lycopersicella*, onde, embora algumas fêmeas iniciaram o chamamento sexual na primeira escotofase, o pico populacional do chamamento sexual ocorreu na terceira noite (McLaughlin et al., 1979), e em *Copitarsia consueta*, cujas fêmeas iniciam o chamamento sexual apenas após o segundo dia (Rojas & Cibrián-Tovar, 1994). Os dados mostram que a emergência do adulto da pupa não garante que o inseto já está pronto para reproduzir-se, e que o tempo para atingir a maturidade sexual varia entre indivíduos da mesma espécie, o que reflete variações endógenas na maturação fisiológica.

Essa variação revelou-se um fator chave para o perfil temporal do chamamento sexual, pois fêmeas de maturação tardia iniciaram a atividade mais cedo na escotofase e com maior intensidade. Esse adiantamento no horário é interpretado como um mecanismo compensatório. A literatura demonstra que, com o avanço da idade, a capacidade de produção de feromônio em mariposas diminui (Delisle & Royer, 1994). Em resposta a essa menor capacidade química, fêmeas mais velhas tendem a iniciar o comportamento de chamamento sexual mais cedo, um ajuste fisiológico que aumenta suas chances de atrair parceiros e reduz a competição direta com fêmeas mais jovens e quimicamente mais atrativas (Delisle, 1992;

Xiang et al., 2010). O padrão temporal observado, com a atividade concentrada no final da escotofase e se estendendo até o início da fotofase, confirma o comportamento sexual matinal da espécie, em concordância com observações de campo (Hickel & Vilela, 1991).

A compreensão dos mecanismos fisiológicos por trás desses padrões comportamentais passa pela análise da regulação hormonal da produção de feromônio. Em muitas mariposas, a biossíntese é controlada pelo Neuropeptídeo Ativador da Biossíntese de Feromônio (PBAN), liberado pelo gânglio subesofágico (Jurenka, 2017). A ligação do PBAN a receptores na glândula feromonal desencadeia uma cascata de sinalização intracelular que ativa enzimas-chave da via biossintética, como redutases e acetiltransferases. A idade fisiológica, portanto, está diretamente correlacionada a essa regulação hormonal, pois o estado de maturação do sistema reprodutor da fêmea determina a liberação de PBAN e a subsequente ativação da produção de feromônio (Rafaeli & Jurenka, 2003).

A comparação em nosso estudo entre fêmeas com chamamento sexual ativo (glândula exposta) e fêmeas sem atividade de chamamento sexual (glândula não exposta) evidenciou que a produção de TDTA e TDDA foi significativamente maior no primeiro grupo. Esse resultado é coerente com estudos em *Chloridea virescens*, nos quais a exposição da glândula está associada a uma maior taxa de produção e menor degradação interna dos compostos feromonais (Foster et al., 2020). Isso indica que a produção máxima depende do estado de maturidade sexual e não apenas da idade cronológica. Este achado contrasta com a abordagem de outros estudos, como o de Domínguez et al. (2019), que quantificaram a produção de feromônio baseando-se apenas na idade cronológica das fêmeas. Ao não controlar o estado comportamental (glândula sexual exposta ou não exposta), é provável que suas amostras incluíssem fêmeas fisiologicamente heterogêneas, resultando em uma média de produção inferior. Portanto, nosso resultado destaca a importância de considerar o estado de chamamento sexual em estudos de quantificação, pois análises baseadas apenas na idade cronológica podem subestimar a verdadeira capacidade máxima de produção feromonal da espécie.

A influência da maturidade fisiológica na produção também foi confirmada ao se comparar fêmeas que iniciaram o chamamento sexual no primeiro dia com aquelas que o fizeram no segundo dia. Os resultados deste trabalho indicam que fêmeas que atingem a

maturidade fisiológica de forma mais precoce apresentam uma maior capacidade biossintética, produzindo níveis significativamente mais altos de TDTA e TDDA. A correlação entre a prontidão reprodutiva e a capacidade de sinalização química sugere que a produção de feromônio está funcionalmente acoplada à maturação ovariana, garantindo que o maior investimento em sinalização ocorra no momento de maior fertilidade. (Jurenka, 1996). Essa tendência de redução progressiva da produção com o avanço da idade já foi registrada em outras espécies de mariposas como *Phthorimaea operculella*, espécie da mesma família, na qual a produção de feromônio também diminui, sendo que a quantidade no quarto dia era aproximadamente a metade da encontrada no primeiro dia (Ono et al., 1990). Essa menor produção em fêmeas mais velhas fisiologicamente tem uma consequência biológica direta, em *Choristoneura rosaceana*, por exemplo, a menor quantidade de feromônio na glândula foi diretamente correlacionada a uma queda na atratividade em campo (Delisle & Royer, 1994).

Embora a tendência geral de um pico de produção no início da vida seja comum, o momento exato desse máximo pode variar entre espécies. Em *Agrotis ypsilon*, por exemplo, ele ocorre apenas no terceiro dia (Xiang et al., 2010), evidenciando a adoção de diferentes estratégias de maturação fisiológica entre lepidópteros. Um padrão semelhante de maior investimento energético na produção feromonal durante os primeiros dias de vida virgem também foi descrito em percevejos, nos quais a emissão declina progressivamente com a idade (Yamane & Yasuda, 2014), sugerindo tratar-se de um mecanismo conservado entre ordens.

Além da regulação da quantidade, a composição da mistura feromonal revelou-se um traço dinâmico. Por um lado, a proporção entre TDTA e TDDA permaneceu estável entre as fêmeas que iniciaram o chamado sexual no primeiro e no segundo dia. Essa constância na composição da mistura feromonal no início da vida reprodutiva é crucial para garantir o reconhecimento específico pelo macho (Collins & Cardé, 1985). Um padrão também observado em outro gelequídeo, *Pectinophora gossypiella*, que apresenta pouca variação na composição da mistura dos compostos feromonais nos primeiros dias de vida das fêmeas com coeficiente de variação de apenas 5,3% (Collins & Cardé, 1985).

Por outro lado, a composição foi significativamente modulada tanto pelo estado comportamental, ou seja, se a fêmea estava ou não em chamamento sexual (glândula exposta ou não exposta), quanto pelo fotoperíodo, definido como o momento da extração durante a fase clara ou escura. A explicação para ambos os fatores residia na regulação hormonal da biossíntese. O estado comportamental de chamamento sexual refletia diretamente a condição fisiológica de maturidade da fêmea e indicava que a cascata hormonal, mediada pelo neuropeptídeo PBAN, encontrava-se ativa naquele momento, estimulando as enzimas-chave da produção (Rafaeli & Jurenka, 2003). Consequentemente, as fêmeas que não estavam em chamamento sexual, por não estarem hormonalmente ativadas, apresentaram menor produção e uma proporção distinta da mistura feromonal. De forma similar, o fotoperíodo atua como o principal regulador externo, pois a luz inibe a liberação de PBAN e, portanto, cessa a biossíntese, o que explica a drástica redução e alteração na proporção do feromônio observada nas extrações realizadas durante a fase clara (Rafaeli & Jurenka, 2003). Variações na proporção dos componentes feromonais também foram observadas em *P. operculella* ao se analisar fêmeas em diferentes idades e momentos do dia, com a proporção de um dos compostos podendo variar de 16% a 71% entre indivíduos (Ono et al., 1990).

A importância biológica dessa regulação é fundamental, pois o sistema nervoso dos machos é sintonizado para decodificar proporções rigorosas, a ponto de compostos isoméricos incorretos poderem inibir completamente a atração (Svatoš et al., 1996). Assim, as alterações de proporção observadas neste estudo, que até então não haviam sido documentadas para *P. absoluta*, provavelmente modulam a atratividade das fêmeas e acrescentam uma camada adicional de complexidade à sua sinalização química.

É importante destacar que a utilização de extratos glandulares para inferir a composição da mistura feromonal é metodologicamente válida, uma vez que estudos em *Heliothis zea* mostraram correspondência direta entre a proporção dos componentes na glândula e a proporção liberada no ar (Pope et al., 1982).

A complexidade da comunicação química, que envolve tanto a emissão do sinal pela fêmea quanto a sua percepção pelo macho, ajuda a explicar a aparente discrepância entre a resposta ideal observada em laboratório e a eficácia das armadilhas em campo. Essa discrepância reside no fato de que, embora a mistura feromonal completa (TDTA + TDDA)

seja biologicamente mais atrativa em testes controlados de curta distância (Svatoš et al., 1996), armadilhas contendo apenas o componente majoritário (TDTA) são eficazes para a atração a longa distância na prática (Ferrara et al., 2001).

Nossos resultados confirmam que o sinal emitido pela fêmea é dinâmico e não estático. O estado fisiológico do macho receptor também é um fator crucial, pois foi demonstrado que machos virgens e acasalados de *P. absoluta* respondem de maneira diferente às iscas. Mamani Huayhua (2022) observou que armadilhas com o componente majoritário tendem a capturar mais machos virgens, enquanto as fêmeas vivas, que emitem o sinal completo e dinâmico, atraem preferencialmente machos já acasalados.

Este trabalho avança o conhecimento ao investigar a regulação da síntese de feromônios sob a ótica da idade fisiológica, um aspecto central, porém pouco explorado na literatura para a espécie. Os dados obtidos não apenas esclarecem aspectos fundamentais da biologia reprodutiva da traça-do-tomate, mas também oferecem subsídios práticos para a otimização de táticas de controle comportamental.

Ao determinar a capacidade máxima de produção de feromônio em fêmeas fisiologicamente ativas, este estudo fornece um parâmetro mais preciso para a calibração de doses em técnicas de interrupção de acasalamento. Adicionalmente, a descoberta de que a proporção da mistura feromonal é modulada por fatores endógenos, como o estado fisiológico de chamamento sexual, e por fatores exógenos, como o momento do dia (claro/escuro), abre perspectivas para o desenvolvimento de iscas que reproduzam de forma mais fiel o sinal natural, aumentando a especificidade e a eficácia de programas de monitoramento e captura massal.

CONCLUSÕES

A presente dissertação demonstrou que a sinalização sexual em *Phthorimaea absoluta* é regulada de forma integrada pela maturidade fisiológica, pelo estado comportamental (glândula sexual exposta ou não exposta) e pelo fotoperíodo de 12:12 horas. Observou-se que a maioria das fêmeas inicia o chamamento sexual nos dois primeiros dias de vida adulta, evidenciando uma maturação precoce, e que o estado ativo de chamamento sexual está diretamente associado à maior produção de feromônio, constituindo um marcador fisiológico de máxima capacidade biossintética. Fêmeas que iniciaram o chamamento sexual no primeiro dia apresentaram maior produção de TDTA e TDDA, indicando que a precocidade fisiológica está associada a um maior investimento químico.

A composição da mistura feromonal manteve-se estável quando considerada apenas a idade fisiológica inicial das fêmeas, mas apresentou ajustes sutis relacionados ao estado comportamental de chamamento sexual, mostrando que a qualidade do sinal pode ser modulada por fatores internos. Além disso, a produção de feromônio variou de forma consistente ao longo do fotoperíodo, com maior quantidade durante a fase escura, coincidindo com o período de maior atividade de chamamento sexual, o que evidencia a influência de fatores exógenos sobre a emissão química.

Ressalta-se que não foram testados diferentes regimes de fotoperíodo, pois o objetivo foi avaliar a produção feromonal sob condições controladas e padronizadas, assegurando a comparabilidade entre os grupos experimentais.

Ainda assim, o fato de a espécie apresentar a maior parte do seu comportamento sexual na fase escura, mas também estender essa atividade à fase clara, sugere a necessidade de novos experimentos que avaliem a influência de diferentes regimes de luz sobre a emissão e a percepção do sinal químico. Nesse mesmo contexto, um caminho promissor para pesquisas futuras consiste em integrar análises eletroantenográficas e testes comportamentais de machos expostos a emissões reais de fêmeas em distintos fotoperíodos e em diferentes condições fisiológicas.

Essa abordagem pode ser expandida para incluir tanto fêmeas virgens quanto acasaladas, além de machos em diferentes estados sexuais, permitindo correlacionar a produção glandular com a percepção efetiva do sinal e identificar quais combinações de compostos são mais atrativas.

Com esses novos achados será possível avançar ainda mais no conhecimento da biologia reprodutiva de *P. absoluta* e aprimorar o desenvolvimento de iscas mais eficazes para programas de monitoramento e captura massal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbes, K., & Chermiti, B. (2014). Propensity of three Tunisian populations of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) for deuterotokous parthenogenetic reproduction. *African Entomology*, 22(3), 538–544. <https://hdl.handle.net/10520/EJC160245>
- Attygalle, A. B., Jham, G. N., Svatoš, A., Frighetto, R. T. S., Meinwald, J., Vilela, E. F., Ferrara, F. A., & Uchôa-Fernandes, M. A. (1995). Microscale, random reduction: Application to the characterization of (3E,8Z,11Z)-3,8,11-tetradecatrienyl acetate, a new lepidopteran sex pheromone. *Tetrahedron Letters*, 36(31), 5471–5474. [https://doi.org/10.1016/0040-4039\(95\)01058-P](https://doi.org/10.1016/0040-4039(95)01058-P)
- Caparros Megido, R., Haubruge, E., & Verheggen, F. J. (2012). First evidence of deuterotokous parthenogenesis in the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Pest Science*, 85(3), 409–412. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0458-6>
- Caparros Megido, R., Brostaux, Y., Haubruge, E., & Verheggen, F. J. (2013). Pheromone-based management strategies to control the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 17(3), 475–482. <https://hdl.handle.net/2268/154676>
- Cardé, R. T., & Haynes, K. F. (2004). Structure of the pheromone communication channel in moths. Em *Advances in Insect Chemical Ecology* (pp. 283–332). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511542664.009>
- Collins, R. D., & Cardé, R. T. (1985). Variation in and heritability of aspects of pheromone production in the pink bollworm moth, *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 78(2), 229–234. <https://doi.org/10.1093/aesa/78.2.229>
- Delisle, J. (1992). Age related changes in the calling behaviour and the attractiveness of obliquebanded leafroller virgin females, *Choristoneura rosaceana*, under different constant and fluctuating temperature conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 63(1), 55–62. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1992.tb02419.x>
- Delisle, J., & Royer, L. (1994). Changes in pheromone titer of oblique-banded leafroller, *Choristoneura rosaceana*, virgin females as a function of time of day, age, and temperature. *Journal of Chemical Ecology*, 20(1), 45–69. <https://doi.org/10.1007/BF02065990>
- Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K. A. G., Burgio, G., Arpaia, S., Narváez-Vasquez, C. A., González-Cabrera, J., Catalán Ruescas, D., Tabone, E., Frandon, J., Pizzol, J., Poncet, C., Cabello, T., & Urbaneja, A. (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83(3), 197–215. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0321-6>

Domínguez, A., López, S., Bernabé, A., Guerrero, Á., & Quero, C. (2019). Influence of age, host plant and mating status in pheromone production and new insights on perception plasticity in *Tuta absoluta*. *Insects*, 10(8), 256. <https://doi.org/10.3390/insects10080256>

Ferrara, F. A. A., Vilela, E. F., Jham, G. N., Eiras, Á. E., Picanço, M. C., Attygalle, A. B., Svatos, A., Frighetto, R. T. S., & Meinwald, J. (2001). Evaluation of the synthetic major component of the sex pheromone of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Chemical Ecology*, 27(5), 907–917. <https://doi.org/10.1023/A:1010378818318>

Foster, S. P., Anderson, K. G., & Casas, J. (2020). Calling behavior and sex pheromone release and storage in the moth *Chloridea virescens*. *Journal of Chemical Ecology*, 46(1), 10–20. <https://doi.org/10.1007/s10886-019-01133-w>

Gonçalves, G. A. de S., Haddi, K., Ribas, N. de S., Santos, K. C. P., Tschoeke, L. F. P., & Lima, E. (2024). Age, weight, and mating status of the male influence female choice and reproductive success in *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis*, 44(2), 443–450. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2024/2287>

Hickel, E. R., & Vilela, E. F. (1991). Comportamento de chamamento e aspectos do comportamento de acasalamento de *Scrobipalpula absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), sob condições de campo. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 20(1), 173–182. Recuperado de: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/105816/comportamento-de-acasalamento-de-schrobipalpula-absoluta-lepidoptera-gelechiidae>

Jacquin-Joly, E., & Merlin, C. (2004). Insect olfactory receptors: Contributions of molecular biology to chemical ecology. *Journal of Chemical Ecology*, 30(12), 2359–2397. <https://doi.org/10.1007/s10886-004-7941-3>

Jurenka, R. A. (1996). Signal transduction in the stimulation of sex pheromone biosynthesis in moths. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 33(3-4), 245–258. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6327\(1996\)33:3/4<245::AID-ARCH6>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6327(1996)33:3/4<245::AID-ARCH6>3.0.CO;2-R)

Jurenka, R. A. (2003). 3 - Biochemistry of female moth sex pheromones. In G. J. Blomquist & R. G. Vogt (Eds.), *Insect Pheromone Biochemistry and Molecular Biology* (pp. 53–80). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012107151-6/50005-0>

Jurenka, R. (2017). Regulation of pheromone biosynthesis in moths. *Current Opinion in Insect Science*, 24, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.09.002>

Kawazu, K., & Tatsuki, S. (2002). Diel rhythms of calling behavior and temporal change in pheromone production of the rice leafroller moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Applied Entomology and Zoology*, 37(1), 219–224. <https://doi.org/10.1303/aez.2002.219>

Konno, Y., Honda, H., & Matsumoto, Y. (1980). Observations on the mating behavior and bioassay for the sex pheromone of the yellow peach moth, *Dichocrocis punctiferalis* GUENEE (Lepidoptera: Pyralidae). *Applied Entomology and Zoology*, 15(3), 321–327. <https://doi.org/10.1303/aez.15.321>

Kou, R., & Chow, Y. S. (1987). Calling behavior of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 80(4), 490–493. <https://doi.org/10.1093/aesa/80.4.490>

Lee, M. S., Albajes, R., & Eizaguirre, M. (2014). Mating behaviour of female *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): Polyandry increases reproductive output. *Journal of Pest Science*, 87(3), 429–439. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0576-4>

Leppla, N. C. (1972). Calling behavior during pheromone release in the female pink bollworm moth. *Annals of the Entomological Society of America*, 65(1), 281–282. <https://doi.org/10.1093/aesa/65.1.281>

Mamani Huayhua, G. (2022). Determinação do estado de acasalamento de machos de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) coletados em cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*) [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa]. Locus UFV. <https://locus.ufv.br/items/9e191b72-859a-4c74-b385-0f3a5efb67e7>

McLaughlin, J. R., Antonio, A. Q., Poe, S. L., & Minnick, D. R. (1979). Sex pheromone biology of the adult tomato pinworm, *Keiferia lycopersicella* (Walsingham). *The Florida Entomologist*, 62(1), 35–41. <https://doi.org/10.2307/3494040>

Ono, T., Charlton, R. E., & Cardé, R. T. (1990). Variability in pheromone composition and periodicity of pheromone titer in potato tuberworm moth *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Chemical Ecology*, 16(2), 531–542. <https://doi.org/10.1007/BF01021784>

Paola, Y., & Cáceres, S. (2020). Comportamiento sexual y éxito reproductivo del barrenador de la caña *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) en laboratorio. [Tese de Graduação, Universidad Nacional de Colombia]. Repositório Institucional UNAL.

Pope, M. M., Gaston, L. K., & Baker, T. C. (1982). Composition, quantification, and periodicity of sex pheromone gland volatiles from individual *Heliothis virescens* females. *Journal of Chemical Ecology*, 8(7), 1043–1055. <https://doi.org/10.1007/BF00987885>

Rafaeli, A., & Jurenka, R. A. (2003). 5 - PBAN regulation of pheromone biosynthesis in female moths. In G. J. Blomquist & R. G. Vogt (Eds.), *Insect Pheromone Biochemistry and Molecular Biology* (pp. 107–136). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012107151-6/50007-4>

Rojas, J. C., & Cibrián-Tovar, J. (1994). Calling behavior of the moth *Copitarsia consueta* (Lepidoptera: Noctuidae). *The Florida Entomologist*, 77(1), 178–180. <https://doi.org/10.2307/3495884>

Svatoš, A., Attygalle, A. B., Jham, G. N., Frighetto, R. T. S., Vilela, E. F., Šaman, D., & Meinwald, J. (1996). Sex pheromone of tomato pest *Scrobipalpus absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Chemical Ecology*, 22(4), 787–800. <https://doi.org/10.1007/BF02033586>

Vivekanandhan, P., Swathy, K., Sarayut, P., & Patcharin, K. (2024). Biology, classification, and entomopathogen-based management and their mode of action on *Tuta absoluta* (Meyrick) in Asia. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1429690. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1429690>

Xiang, Y., Yang, M., & Li, Z. (2010). Calling behavior and rhythms of sex pheromone production in the black cutworm moth in China. *Journal of Insect Behavior*, 23(1), 35–44. <https://doi.org/10.1007/s10905-009-9193-0>

Yang, W.-J., Yan, X., Han, P., Wang, M.-h., Zhang, C., Song, J.-H., Zhang, G.-F., Zhang, Y.-B., & Wan, F.-H. (2023). Ovarian development and role of vitellogenin gene in reproduction of the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis*. Publicado online. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2023/2024>