

DIEGO ARCANJO DO NASCIMENTO

**AERONAVES PILOTAS REMOTAMENTE NA LIBERAÇÃO DE PARASITÓIDES
DE PUPAS DE LEPIDÓPTEROS EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO**

Botucatu

2022

DIEGO ARCANJO DO NASCIMENTO

**AERONAVES PILOTAS REMOTAMENTE NA LIBERAÇÃO DE PARASITÓIDES
DE PUPAS DE LEPIDÓPTEROS EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp *Campus* de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Ciência
Florestal.

Orientador: Dr. Carlos Frederico Wilcken

Botucatu

2022

N244a	<p>Nascimento, Diego Arcanjo do</p> <p>Aeronaves pilotas remotamente na liberação de parasitoides de pupas de lepidópteros em plantações de Eucalipto / Diego Arcanjo do Nascimento. -- Botucatu, 2022</p> <p>86 p.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Carlos Frederico Wilcken</p> <p>1. Engenharia Florestal. 2. Entomologia. 3. Árvores Doenças e pragas. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: AERONAVES PILOTADAS REMOTAMENTE NA LIBERAÇÃO DE PARASITÓIDES DE PUPAS DE LEPIDÓPTEROS EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO

AUTOR: DIEGO ARCANJO DO NASCIMENTO

ORIENTADOR: CARLOS FREDERICO WILCKEN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS FREDERICO WILCKEN (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS (Participação Virtual)
Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP


Pesquisador Dr. MURICI CARLOS CANELARIA (Participação Virtual)
Pesquisa e Desenvolvimento / FuturaGene Brasil Tecnologia Ltda.


Pesquisador Dr. LEONARDO RODRIGUES BARBOSA (Participação Virtual)
Entomologia Florestal / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária


Pesquisador Dr. EVERTON PIRES SOLIMAN (Participação Virtual)
Tecnologia e Inovação / Suzano S.A.

Botucatu, 10 de fevereiro de 2022

A minha família, amigos e professores que me ajudaram nesta jornada,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A minha família pelo amor e apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Carlos Frederico Wilcken, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo profissional.

Ao prof. Dr. José Raimundo Souza Passos pelas contribuições intelectuais e apoio nas análises estatísticas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código do Financiamento 001.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP.

Ao Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) e o Programa Cooperativo de Proteção Florestal (PROTEF), na pessoa do coordenador executivo Msc. Luís Renato Junqueira.

As empresas Spectrum Inteligência AgroFlorestal, Eldorado Brasil Celulose, BRACELL unidade Alagoinhas-BA e CETMA - Comércio de Agentes para Controle Biológico.

A todos os meus amigos do Laboratório de Controle Biológico de Pragas Florestais – FCA/UNESP.

Ao programa de pós-graduação em Ciência Florestal – FCA/UNESP – Campus de Botucatu.

RESUMO

Os objetivos desta tese foram: (1) verificar se pupas em cápsulas causam a morte dos parasitoides no interior do hospedeiro após aplicação com Aeronaves Pilotadas remotamente (RPAs), (2) tempo operacional das aplicações, (3) emergência dos parasitoides, (4) embalagens contra predação das pupas e (5) dispersão e distribuição de parasitoides liberados em diferentes quantidades. As observações foram submetidas a análise de deviance ou variância e comparações de médias pelo teste de Tukey a 5%. Para os estudos com RPAs, utilizamos o modelo X800 GEO hexacóptero. No primeiro estudo, as aplicações ocorreram a 30, 60, 100 metros de altura. Foram liberadas pupas de *Diatraea saccharalis* previamente parasitadas por *Trichospilus diatraeae* em laboratório e não foi observada quebra ou rompimento em nenhuma altura. A emergência de adultos após liberação foi afetada, porém, o parasitismo após liberação não. No segundo estudo, o tempo médio para preparo das cápsulas para aplicação foi de 17 minutos, 4 minutos para abastecimento e 12 minutos para programação e voo em 8 hectares. A temperatura pode ter causado a morte dos parasitoides. Em relação ao objetivo (4), todas as pupas nos compartimentos sofreram predação, sendo as maiores médias nas cápsulas com 2,1 mm de orifício para saída de parasitoides com $66,82\% \pm 3,85$. Na sequência, sacolas de papel apresentaram $22,30\% \pm 2,46$, seguida das cápsulas com orifício 1 e 5 de 1,22 mm com $8,15\% \pm 5,15$ e $17,04\% \pm 5,82$. Encontramos apenas 38% das cápsulas liberadas com RPAs no campo, os demais compartimentos, 100%. No objetivo (5), liberamos *Palmistichus elaeisis* nas seguintes quantidades: 2, 6 e 18 mil no centro de 2,2 hectares contendo armadilhas adesivas. Houve diferença na presença percentual de parasitoides, sendo menor em 2 mil ($30,77\% \pm 3,14$) e iguais para 6 e 18 mil ($59,62\% \pm 8,53$ e $63,47\% \pm 7,28$). Machos e fêmeas não apresentaram diferença com médias de $1,5 \pm 0,5$, $3,5 \pm 1,3$ e $3,75 \pm 1,55$ para a primeira variável e $4,0 \pm 1,29$, $8,25 \pm 1,25$ e $9,5 \pm 2,18$ para a segunda. O total de parasitoides coletados foi maior no tratamento liberado 18 mil com média de $13,25 \pm 2,29$ insetos, seguido de $11,5 \pm 2,22$ e $5,5 \pm 0,96$ para 6 e 2 mil. O percentual de parasitoides coletados em relação a proporção liberada foi de $0,66 \pm 0,23$ para 18 mil e $0,57 \pm 0,22$ e $0,26 \pm 0,09$ para os demais tratamentos 6 e 2 mil. Na avaliação da distância de voo, machos e fêmeas de todos os tratamentos atingiram a distância máxima de captura (114m) aumentando a frequência com o distanciamento do ponto central. Concluímos até o momento que alturas de aplicação de 30 a 100 metros causaram efeitos negativos apenas na emergência dos parasitoides, o parasitismo dos insetos pós-aplicação e a emergência pós-parasitismo não foi afetada. Os compartimentos seguros contra predação seguiram foram cápsulas modelos 1, 2 e sacola de papel. A fase biológica do parasitoide para liberação em qualquer compartimento deve ser próxima da emergência. As liberações de *P. elaeisis* nas quantidades de 6 e 18 mil apresentaram como as mais adequadas com dispersão de 114 metros. Também relatamos pela primeira vez no Brasil a viabilidade técnica/biológica do controle biológico em florestas com parasitoides em RPAs.

Palavras-chave: controle biológico; pragas florestais; parasitoides de pupa.

ABSTRACT

The objectives of this thesis were: (1) to verify if pupae in capsules cause the death of parasitoids inside the host after application with remotely piloted aircraft (RPAs), (2) operational time of the applications, (3) emergence of the parasitoids, (4) packages against pupal predation and (5) dispersion and distribution of parasitoids released in different quantities. The observations were submitted to analysis of deviance or variance and comparisons of means by the Tukey test at 5%. For studies with RPAs, we used the X800 GEO hexacopter model. In the first study, the applications occurred at 30, 60, 100 meters in height. We released pupae of *Diatraea saccharalis* parasitized by *Trichospilus diatraeae* and did not observe any break. The emergence of adults after release was affected, however, parasitism after release was not. In the second study, the average time to prepare the capsules for application was 17 minutes, 4 minutes for filling and 12 minutes for programming and flying over 8 hectares. The temperature may have caused the parasitoids to die. In relation to the objective (4), all pupae in the compartments underwent predation, with the highest averages in the capsules with 2.1 mm orifice for parasitoids with $66.82\% \pm 3.85$. In the sequence, paper bags showed $22.30\% \pm 2.46$ followed by capsules with orifice 1 and 5 of 1.22mm with $8.15\% \pm 5.15$ and $17.04\% \pm 5.82$. We found only 38% of the capsules released with RPAs in the field, the other compartments, 100%. In objective (5), we release the parasitoid *Pamistichus elaeisis* in the following quantities: 2, 6 and 18 thousand in the center of 2.2 hectares containing adhesive traps. There was a difference in the percentage of parasitoids, being lower in 2.000 ($30.77\% \pm 3.14$) and equal to 6.000 and 18.000 ($59.62\% \pm 8.53$ and $63.47\% \pm 7.28$). Males and females showed no difference with averages of 1.5 ± 0.5 , 3.5 ± 1.3 and 3.75 ± 1.55 for the first variable and 4.0 ± 1.29 , 8.25 ± 1.25 and 9.5 ± 2.18 for the second. The total number of parasitoids collected was higher in the treatment released 18 thousand with an average of 13.25 ± 2.29 insects, followed by 11.5 ± 2.22 and 5.5 ± 0.96 for 6 and 2 thousand. The percentage of parasitoids collected in relation to the proportion released was 0.66 ± 0.23 for 18 thousand and 0.57 ± 0.22 and 0.26 ± 0.09 for the other treatments 6 and 2 thousand. In the evaluation of the flight distance, males and females of all treatments reached the maximum capture distance (114m) increasing the frequency with the distance from the central point. We have concluded so far that application heights of 30 to 100 meters caused negative effects only in the emergence of parasitoids, insect parasitism after application and post-parasitism emergence was not affected. The predation-safe compartments followed were capsules models 1, 2 and paper bag. The biological phase of the parasitoid for release in any compartment must be close to the emergency. The releases of *P. elaeisis* in the quantities of 6 and 18 thousand presented as the most suitable with a dispersion of 114 m. We also reported for the first time in Brazil the technical/biological feasibility of biological control in forests with parasitoids in RPAs.

Keywords: forest biological control; forest pests; pupa parasitoids.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	15
	CAPÍTULO 1 - EFICIÊNCIA DE TRICHOSPILUS DIATRAEAE (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) LIBERADO POR AERONAVE PILOTADA REMOTAMENTE	17
	RESUMO	17
	ABSTRACT	18
1.1	INTRODUÇÃO	19
1.2	MATERIAL E MÉTODOS	20
1.3	CRIAÇÃO DOS PARASITOIDES	20
1.4	DESCRIÇÃO DA AERONAVE	20
1.5	PREPARO E APLICAÇÃO DAS CÁPSULAS	20
1.6	VARIÁVEIS AVALIADAS	21
1.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	23
1.8	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
1.9	EMERGÊNCIA PÓS-QUEDA	24
1.10	PARASITISMO DE <i>DIATRAEA SACCHARALIS</i> POR <i>TRICHOSPILUS DIATRAEAE</i> EMERGIDOS E EFICIÊNCIA PÓS-QUEDA	26
1.11	CONCLUSÕES	27
	AGRADECIMENTOS	27
	REFERÊNCIAS	28
	CAPÍTULO 2 - LIBERAÇÃO DE PUPAS DE <i>DIATRAEA SACCHARALIS</i> (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE), PARASITADAS POR <i>PALMISTICHUS ELAEISIS</i> (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE), COM AERONAVE PILOTADA REMOTA E MANUALMENTE EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO	32
	RESUMO	32
	ABSTRACT	33
2.1	INTRODUÇÃO	34
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	35
2.3	ÁREA DE ESTUDO	35
2.4	CRIAÇÃO DOS HOSPEDEIROS	36
2.5	PREPARO DOS TRATAMENTOS	37
2.6	SOLTURA DE CÁPSULAS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO	38
2.7	LIBERAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS MANUALMENTE	39
2.8	VARIÁVEIS AVALIADAS	39
2.9	METODOLOGIA ESTATÍSTICA	40
2.10	RESULTADOS	40
2.11	TEMPO DE OPERAÇÃO COM RPAS	40
2.12	RECUPERAÇÃO DE COMPARTIMENTOS NO CAMPO	41
2.13	PREDAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS DE LIBERAÇÃO	42
2.14	DISCUSSÃO	43
2.15	TEMPO DE OPERAÇÃO COM RPAS	43
2.16	RECUPERAÇÃO DE COMPARTIMENTOS NO CAMPO	44
2.17	PREDAÇÃO E DESENVOLVIMENTO NOS COMPARTIMENTOS	45

	DE LIBERAÇÃO	
	AGRADECIMENTOS	48
	REFERÊNCIAS	48
	CAPÍTULO 3 - DISPERSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE	53
	<i>PALMISTICHUS ELAEISIS</i> (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)	
	LIBERADO EM DIFERENTES DENSIDADES EM PLANTAÇÕES	
	DE <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA</i> (MYRTACEAE)	
	RESUMO	53
	ABSTRACT	54
3.1	INTRODUÇÃO	55
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	57
3.3	ÁREA EXPERIMENTAL	57
3.4	DADOS METEOROLÓGICOS	59
3.5	MULTIPLICAÇÃO DOS INSETOS E PREPARO DOS	59
	TRATAMENTOS	
3.6	INSTALAÇÃO DAS ARMADILHAS	61
3.7	VARIÁVEIS AVALIADAS, DADOS METEOROLÓGICOS E	62
	ANÁLISE DE DADOS	
3.8	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
3.9	DADOS METEOROLÓGICOS	63
3.10	RECUPERAÇÃO DE <i>PALMISTICHUS ELAEISIS</i> NAS	65
	ARMADILHAS ADESIVA	
3.11	NÚMERO DE MACHOS E FÊMEAS DO PARASITOIDE	68
	<i>PALMISTICHUS ELAEISIS</i> CAPTURADOS POR DISTÂNCIA DA	
	LIBERAÇÃO	
	CONCLUSÕES	74
	AGRADECIMENTOS	75
	REFERÊNCIAS	75
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
	REFERÊNCIAS	85

INTRODUÇÃO GERAL

As indústrias de celulose e papel são destaque na economia mundial ganhando de espaço no cenário agrícola (PIGHINELLI et al., 2018). O gênero eucalipto detém espécies com crescimento acelerado, adaptabilidade em diversas classes de solo e condições climáticas e madeira de qualidade para múltiplo uso (ZHU et al., 2020, SMETHURST et al. 2020). Em florestas plantadas, a característica homogênea e baixa variabilidade genética causa pressão de seleção em grupos de insetos que podem vir a causar danos pelas injúrias provocadas. Neste caso, os insetos atingem o *status* de praga e começa a ser um problema para a produção florestal.

O Manejo integrado de Pragas (MIP) é prática utilizada para controle de danos por insetos em ambientes florestais e agrícolas. É composto de várias medidas que podem ser combinadas com outros métodos de controles para garantir a eficácia (CUMMING e SPIESMAN, 2006). O controle biológico (CB) pode ser definido como uso de um organismo para reduzir a densidade populacional de outro. É utilizado no manejo integrado de pragas (MIP) em várias culturas, podendo ser aplicado de forma clássica, importando inimigos naturais de pragas introduzidas ou aplicado, quando ocorre a multiplicação de insetos predadores ou parasitoides em laboratório para liberação em massa nas regiões com surtos de pragas (BALE et al., 2008).

Os insetos parasitoides são importantes nos sistemas de produção agrícola e florestal, pois regulam insetos pragas reduzindo a necessidade de controle com inseticidas químicos e conseqüentemente menor impacto ambiental. *Palmistichus elaeisis* (Delvare e LaSalle, 1993) (Hymenoptera: Eulophidae) é um inseto parasitoide de pupas empregado em programas de CB com a praticidade multiplicação em vários hospedeiros (PAES et al., 2019). São relatados em diversos lepidópteros praga de interesse florestal, como a principal lagarta do eucalipto *Thyrintina arnobia* (Stoll, 1782) (Lepidoptera: Geometridae) (BARBOSA et al., 2016). *Trichospilus diatraeae* (Cherian e Margabandhu, 1942) (Hymenoptera: Eulophidae) é outra espécie que tem como principais hospedeiros pupas de lepidópteros (PEREIRA et al., 2008). Os métodos de liberação desses inimigos naturais devem evitar a exposição no ambiente, pois em locais de clima temperado como o Brasil, este problema se agrava pela ação de artrópodes predadores como formigas, tesourinhas, dentre outros. As liberações podem envolver compartimentos como cápsulas, para que este efeito negativo seja menor principalmente na liberação de insetos em pupas, além de impedir que a

liberação seja desordenada (PARRA et al., 2002, PARRA, 2006, van DRIESCHE et al., 2008).

O conhecimento do número ideal de parasitoides liberados em florestas plantadas aumenta a probabilidade de sucesso do CB de lagartas desfolhadoras (PEREIRA et al., 2010a) ainda que pouco investigado no setor florestal. As premissas para o conhecimento de quanto se deve liberar de inimigos naturais em por área está relacionada com a capacidade de dispersão. Quando conhecido o raio de dispersão de um inseto parasitoide, torna-se possível definir o número ideal de pontos de liberação em determinada área (BOTELHO, 1997) e qualifica o potencial regulador de surtos no campo (NENZÉN e MARTEL., 2018). Aliando estes dois conhecimentos é possível que o CB busque novas ferramentas para aplicação de inimigos naturais no campo com auxílio tecnológico como por exemplo, utilizando aeronaves.

Aeronaves pilotadas remotamente, também conhecida como RPAs, é um veículo aéreo não tripulado que pode ser controlado de maneira remota com base em planos de voo pré-programados (HUANG et al., 2013). RPAs tornaram-se solução para várias áreas de pesquisa nos últimos anos, devido aos avanços tecnológicos e de programação (FOUCHÉ e MALEKIAN, 2018), facilitando acesso a áreas consideradas perigosas e inacessíveis (ZHU et al., 2010), de topografia acidentada ou com cobertura vegetal de altura elevada (van ANDEL et al., 2015). Essa tecnologia, dependendo da atividade, pode ser alternativa viável economicamente em relação a aeronaves convencionais como aviões ou helicópteros (KOH e WICH, 2012).

O crescente desenvolvimento tecnológico e interesse técnico pelo controle biológico de pragas favorece novas pesquisas para que esta prática se torne viável sob o ponto de vista técnico e econômico em várias culturas florestais como liberação por RPAs, o compartimento de liberação mais seguro no campo para evitar predação por outros artrópodes e determinar a dispersão e distribuição dos parasitoides utilizados. Os objetivos abordados neste trabalho e os resultados obtidos até o momento responderam algumas perguntas sobre as inovações e processos de liberação de parasitoides de pupa para controle biológico florestal, entretanto, gerou outras principalmente pelo ineditismo nesta linha de pesquisas.

CAPÍTULO 1

Eficiência de *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) liberado por aeronave pilotada remotamente¹

RESUMO

A versatilidade e o transporte de implementos como câmeras multiespectrais e de carga tem aumentado a utilização de Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPAS) no setor florestal. A liberação de insetos parasitoides com uso de RPAs é mais homogênea e rápida. O objetivo foi liberar, com RPAS, pupas de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) parasitadas por *Trichospilus diatraeae* Cherian & Margabandhu, 1942 (Hymenoptera: Eulophidae) em cápsulas e avaliar a eficiência desse parasitoide. A RPA utilizada foi do modelo X800 GEO hexacóptero com controle manual e voo autônomo programável. As liberações simularam alturas de zero (controle), 30, 60 e 100 metros sobre cultivos de eucalipto, representando os tratamentos. Nenhuma pupa foi quebrada ou rompida nessas liberações. Os números de pupas hospedeiras com emergência de adultos de *T. diatraeae*, após a liberação, e o parasitismo por esse inimigo natural foi semelhante entre as alturas de liberações, superior a 85% para o primeiro parâmetro. A liberação, com RPAs, de pupas de *D. saccharalis* parasitadas por *T. diatraeae*, pode ser feita de, até, 100 metros de altura sem quebra ou mortalidade das mesmas ou redução das taxas emergência, parasitismo pós-queda e emergência pós-parasitismo desse parasitoide. A viabilidade técnica e biológica da aplicação de *T. diatraeae* com RPAs no Brasil foi comprovada.

Palavras-chave: Pragas florestais, Controle biológico, parasitoides de pupa.

¹ Capítulo redigido nas normas do periódico Journal of Economic Entomology. Normas disponível em https://academic.oup.com/jee/pages/Manuscript_Preparation#Article%20Types

Efficiency of *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) released by remotely piloted aircraft

ABSTRACT

The versatility and transport of implements such as multispectral and cargo cameras has increased the use of Remotely Piloted Aircraft (RPAS) in the forestry sector. The release of parasitoid insects using RPAs is more homogeneous and faster. The objective was to release, with RPAS, pupae of *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) parasitized by *Trichospilus diatraeae* Cherian & Margabandhu, 1942 (Hymenoptera: Eulophidae) in capsules and to evaluate the efficiency of this parasitoid. The RPA used was the X800 GEO hexacopter model with manual control and programmable autonomous flight. The releases simulated heights of zero (control), 30, 60 and 100 meters over eucalyptus crops, representing the treatments. No pupae were broken or ruptured in these releases. The number of host pupae with emergence of *T. diatraeae* adults after release and the parasitism by this natural enemy was similar between release heights, higher than 85% for the first parameter. The release, with RPAs, of pupae of *D. saccharalis* parasitized by *T. diatraeae*, can be done up to 100 meters in height without breakage or mortality of them or reduction of emergence rates, post-fall parasitism and post-parasitism emergence of that parasitoid. The technical and biological feasibility of applying *T. diatraeae* with RPAs in Brazil was proven.

Keywords: Forest pests, Biological control, pupae parasitoids.

1.1 Introdução

Aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) são veículos aéreos não tripulados e controlados de maneira remota de acordo com planos de voo pré-programados que podem auxiliar na liberação de agentes de controle biológico de pragas (Lake et al., 2020). As RPAs tem sido utilizadas em diferentes áreas de pesquisa com avanços tecnológicos e de programação de voo (Fouché e Malekian, 2018), facilitando o acesso a locais considerados perigosos e inacessíveis (Zhu et al. 2010), de topografia acidentada ou com cobertura vegetal de altura elevada (Andel et al. 2015). As RPAs, em ambientes agrícolas, podem ser utilizadas de maneira rápida e eficiente em diversas áreas devido a sua praticidade (Chen et al., 2021). Essa tecnologia pode ser uma alternativa, economicamente mais viável, comparado às aeronaves convencionais como aviões ou helicópteros (Koh e Wich, 2012).

Na agricultura, as RPAs são utilizadas em diferentes áreas, como na detecção de pragas florestais (Lin et al., 2021), monitoramento da vegetação (Berni et al. 2009), detecção de estresse hídrico (Zarco-Tejada et al. 2012), detecção de anomalias em plantas (Zarco-Tejada et al. 2009), aplicações de inseticidas (Zhu et al. 2010, Xu et al. 2019), avaliação da eficácia do controle químico (Medauar et al. 2018) e liberações de inimigos naturais (Teske et al. 2019, Iost Filho et al. 2019).

O manejo integrado de pragas (MIP) se baseia na combinação de diferentes táticas, incluindo o controle biológico para diminuir ou evitar danos por pragas (Rana et al., 2021). O controle biológico de pragas com vespas parasitoides tem crescido, pois esses inimigos naturais podem permanecer no ambiente após a liberação (Vargas et al. 2013, Kenis et al. 2017). Fêmeas de insetos parasitoides colocam ovos no interior do corpo de outro inseto, onde sua prole se desenvolve, causando, na maioria das vezes, a morte do hospedeiro (Avalos et al. 2020).

Pupas de lepidópteros são os principais hospedeiros do parasitoide *Trichospilus diatraeae* Cherian e Margabandhu, 1942 (Hymenoptera: Eulophidae) (Pereira et al. 2008). Esses hospedeiros incluem pragas de cultivos florestais como *Euselasia eucerus* Hewitson, 1872 (Lepidoptera: Riodinidae), *Hylesia paulex* Dognin, 1922 (Lepidoptera: Saturniidae), *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) e *Thyrinteina arnobia* Stoll, 1782 (Lepidoptera: Geometridae) (Pereira et al., 2008; Zaché et al. 2010; Pastori et al. 2012).

O interesse pelo controle biológico de pragas associado ao controle de precisão, favorece o uso de RPAs com viabilidade técnica e econômica em cultivos

florestais. O objetivo foi avaliar a qualidade biológica de *T. diatraeae* em pupas de *D. saccharalis* liberadas de diferentes alturas por RPAs.

1.2 Material e métodos

1.3 Criação dos parasitoides

O parasitoide *T. diatraeae* foi oriundo da criação estoque do Laboratório de Controle Biológico de Pragas Florestais (LCBPF) do Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA/UNESP) em Botucatu, São Paulo, Brasil. Esse parasitoide é multiplicado em pupas de *D. saccharalis* em ambiente com temperatura controlada de 25 ± 2 °C, umidade relativa de 60% e fotofase de 12 horas. O parasitismo por *T. diatraeae* foi avaliado em 40 pupas de *D. saccharalis* com 15 dias de parasitismo e peso de $0,2481 \pm 0,0075$ g e 80 não parasitadas com até 36 horas da metamorfose e peso de $0,1955 \pm 0,0081$ g.

1.4 Descrição da aeronave

As pupas de *D. saccharali*, parasitadas por *T. diatraeae*, foram liberadas com aeronave modelo X800 GEO hexacóptero com controle manual e voo autônomo programável. As dimensões desse equipamento, confeccionado em fibras de carbono, policarbonato e alumínio e podendo ser dobrado para o transporte e armazenagem sem necessidade de ferramentas para montagem, são de 25 cm de largura e 63 cm de altura. A capacidade de carga do equipamento é de 1,5 kg com 30 minutos de autonomia de bateria e uma hora para recarga. A velocidade de vôo a 120 metros de altura da aeronave é de até 12 metros por segundo. O software da aeronave está em uma caixa preta armazenando todas as informações de voo.

1.5 Preparo e aplicação das cápsulas

O parasitoide *T. diatraeae* foi liberado em cápsulas de papelão com 3 cm de largura e 6 cm de altura com um furo de 1,22 mm em uma das tampas para saída daqueles emergidos das pupas de *D. saccharali* (Figura 1). Os tratamentos foram diferentes alturas de liberação: 0 (controle), 30, 60 e 100 metros. As alturas de 30 e 60 metros simulam alturas de vôo em árvores adultas de eucalipto e, no caso de 100 metros, próxima do limite permitido (120 m) pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo do Brasil (DECEA) para esse equipamento. Dez cápsulas, com peso médio de $5,36 \pm 0,03$ g e quatro pupas de *D. saccharalis*, cada uma, com 15 dias de parasitismo

por *T. diatraeae* quando esse parasitoide estaria na fase de pupa e, conseqüentemente, mais protegido do impacto e próximo a data de emergência foram liberadas por altura de voo. Essas liberações foram feitas em campo aberto nas dependências da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em Botucatu, São Paulo, Brasil.



Figura 1. Aeronave X800 GEO hexacóptero (A) utilizada para liberar pupas de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) parasitadas por *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) com implemento tipo cesto, cápsula para liberação de pupas parasitadas (B) e teste da aeronave e dispositivo antes da liberação (C). Botucatu, São Paulo, Brasil.

1.6 Variáveis avaliadas

As cápsulas de cada tratamento foram recolhidas, após a liberação, e levadas ao laboratório para avaliar quebras ou rupturas de pupas e os efeitos no parasitóide. Esta avaliação foi feita em cinco cápsulas escolhidas, ao caso, e o restante destinado para se avaliar o parasitismo pós-queda. O período de ovo a adulto, o parasitismo (número de pupas ofertadas parasitadas/número de pupas ofertadas), emergência (número de parasitoides não emergidos/número de parasitoides emergidos x 100), eficiência de parasitismo e percentual de parasitoides emergidos das pupas expostas ao parasitismo por insetos liberados com RPAs foram avaliados por altura.

As pupas de *D. saccharalis* foram identificadas e individualizadas em tubos de vidro com fundo chato (2,5 cm por 8 cm) e os parasitóides emergidos submetidos a um teste de qualidade adaptado da metodologia de Prezotti et al. (2002). Uma placa de Petri foi colada em cada copo plástico de 100 ml com furos e quatro pupas de *D. saccharalis* com até 36 horas de idade coladas por tubo de PVC com o interior e laterais forrados com papel cartão preto (Figura 2).

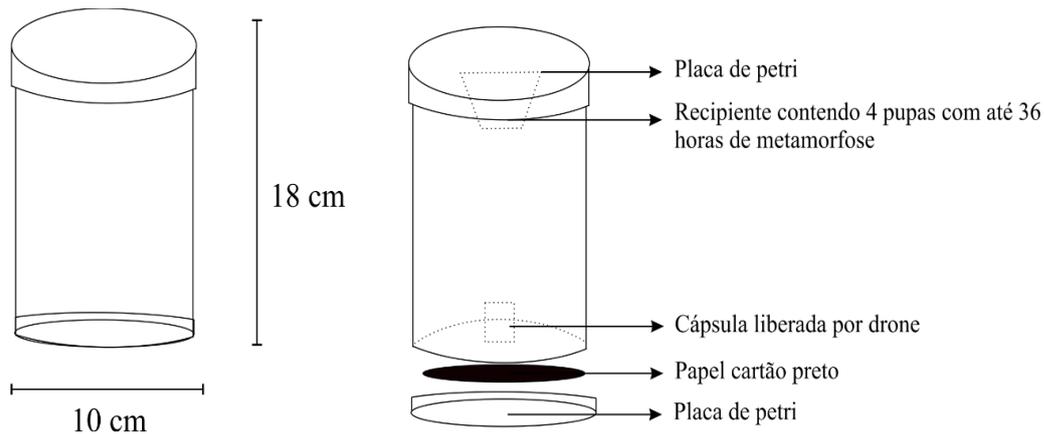


Figura 2. Estrutura utilizada para o teste de qualidade do parasitoide *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) em pupas de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) após a queda na liberação com RPAs. Botucatu, São Paulo, Brasil.

Uma cápsula, com as pupas parasitadas, foi fixada no interior de cada tubo, por tratamento, antes da emergência do parasitoide *T. diatraeae*. Cada tratamento foi representado por cinco tubos de PVC com 20 no total do experimento. Logo após a emergência, os parasitoides precisariam voar até as pupas ofertadas quando o efeito na capacidade de voo dos mesmos pela queda seria avaliado. O período de emergência, desse parasitoide, foi, também, observado. A sequência descrita foi ilustrada (Figura 3).

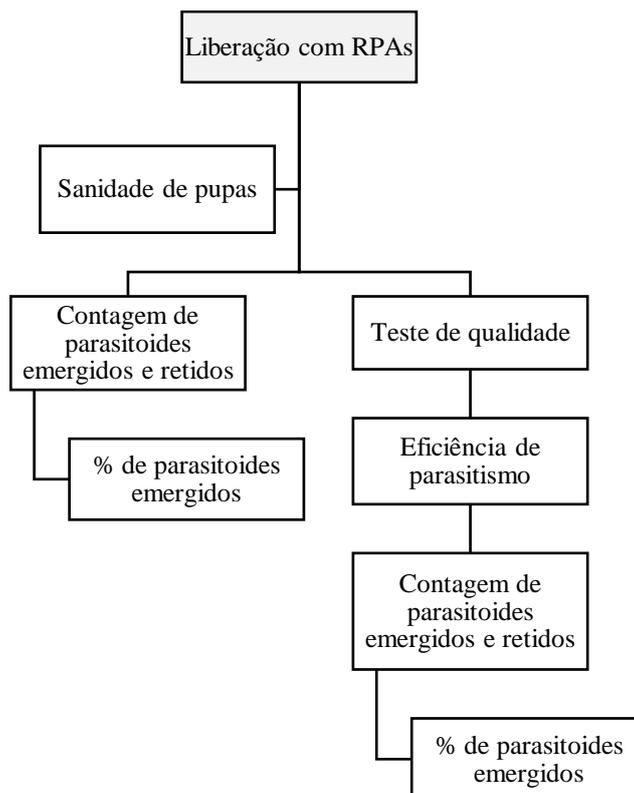


Figura 3. Fluxograma das etapas das atividades com acompanhamento, simultâneo, nas mesmas condições controladas de temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa de 60% e fotofase de 12 horas. Botucatu, São Paulo, Brasil.

1.7 Análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições totalizando 20 parcelas. Cada repetição, por tratamento, teve quatro pupas parasitadas. O efeito da altura, de liberação, no percentual de emergência de *T. diatraeae* foi, inicialmente, avaliado com ajuste de modelo linear generalizado com a distribuição gama e função de ligação logarítmica (Nelder e Wedderburn, 1972) com o procedimento genmod. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de deviance e as médias comparadas pelo teste de Tukey-Kramer (Westfall, et al. 1999). A análise estatística foi realizada com o software estatístico SAS – Free Statistical Statistical Software, SAS University Edition.

1.8 Resultados e discussão

1.9 Emergência pós-queda

Todas as pupas de *T. diatraeae* liberadas nas diferentes alturas, estavam intactas. A emergência desse parasitoide pós-queda ($p=0,018$) diferiu a $p<0,05$, sendo maior no tratamento controle que na altura de liberação de 100 m (Figura 4).

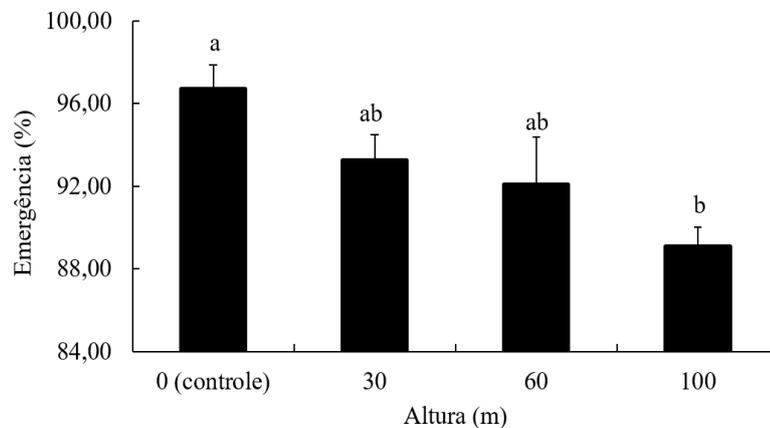


Figura 4. Frequência (%) de pupas de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) com emergência de adultos de *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) após liberação em diferentes alturas com RPAs. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p<0,05$). Botucatu, São Paulo, Brasil.

A coleta de todas as pupas de *T. diatraeae*, liberadas nas diferentes alturas, intactas pode ser explicada pelo exoesqueleto dos insetos, composto por quinina e proteínas, em forma de placas rígidas reduzindo impactos físicos e dissecação em seus órgãos internos (Tajiri et al., 2021). A integridade do parasitoide *T. diatraeae*, após a liberação em pupas de *D. saccharalis* aumenta a importância de se avaliar outras características para aprimoramento do controle biológico, como a distribuição desse inimigo natural em campo após a liberação e seu número ideal por área (Freitas et al., 2020). No entanto, a menor emergência de *T. diatraeae*, de pupas de *D. saccharalis* liberadas a 100 metros de altura, indica que a maior velocidade, das mesmas, ao atingir o solo, pode afetar os parasitoides (Mohazzabi e Shea, 1996). A intensidade desse impacto pode causar efeitos deletérios nos parasitoides, mesmo protegidos dentro das pupas hospedeiras, mas essa redução foi menor que a por fatores bióticos, como fungos entomopatogênicos nesse hospedeiro (Rossoni et al.

2016). Esse menor valor pode reduzir a eficiência do controle biológico independentemente da capacidade de parasitismo (Bueno et al., 2014). Mesmo com esta redução, a emergência de *T. diatraea* de pupas de *D. saccharalis* liberadas a 100 metros de altura foi maior que de pupas de lepidópteros desfolhadores de palmeiras *Opsiphanes invirae* Hübner (Lepidoptera: Nymphalidae) (50%) e *Brassolis sophorae* L. (Lepidoptera: Nymphalidae) (60%), em laboratório (Ribeiro et al., 2019), reforçando o potencial de aplicação de *T. diatraeae* com aeronaves remotamente pilotadas para o controle biológico. A menor emergência devido ao impacto de queda de 100 m de altura definiu o limite para aplicação de *T. diatraeae* com aeronaves remotamente pilotadas, mesmo tendo esses insetos o exoesqueleto quitinoso com propriedades mecânicas para proteção dos órgãos internos e dos parasitoides se desenvolvendo em seu interior (Vincent e Wegst, 2004). Além disso, o volume reduzido ocupado pelas pupas dentro das capsulas de liberação e o movimento das mesmas durante a queda podem aumentar o estresse aos parasitoides no interior das mesmas, aumentando a importância de se desenvolver cápsulas mais adaptadas para melhor acomodação e liberação de pupas com parasitoides.

As alturas de aplicação de 30 e 60 metros, simulando a estrutura vertical de florestas, não afetaram a emergência dos parasitoides. Esta menor altura é o limiar técnico de voo da aeronave, pois árvores em plantios clonais adultos de eucalipto com, aproximadamente, seis anos de idade, atingem altura média de 21 metros, sendo os limites suficientes para voos com segurança sem choque com as árvores (Abrantes et al. 2019).

O período de desenvolvimento de ovo a adulto de *T. diatraeae* foi semelhante entre tratamentos, com média de 19 ± 1 dias. O período semelhante de ovo a adulto de *T. diatraeae* entre tratamentos e ao desse parasitoide nesse hospedeiro, de 18 a 21 em laboratório (Rodrigues et al., 2013) mostra a viabilidade de liberações, por RPAS, de pupas parasitadas no setor florestal sem afetar o desenvolvimento desse parasitoide. Além disso, reforça a utilização de RPAS para liberação de parasitoides em florestas e que, após soltura, as fêmeas parasitoides buscarão hospedeiros adequados para oviposição e, conseqüentemente, reduzirão populações da praga alvo (Kyei-Poku e Kunimi, 1997).

1.10 Parasitismo de *Diatraea saccharalis* por *Trichospilus diatraeae* emergidos e eficiência pós-queda

A eficiência de parasitismo (%) ($p=0,593$) e a emergência do parasitoide pós-queda ($p=0,627$) de *T. diatraeae* em pupas de *D. saccharalis* foi semelhante para aqueles obtidos de hospedeiros liberados em diferentes alturas (Tabela 1). O parasitismo de *D. saccharali* por *T. diatraeae* pós-queda com RPAS são próximos aos desse inimigo natural com esse hospedeiro de 91,66 até 100% em laboratório (Rodrigues et al. 2013), comprovando que a queda não afetou esse parâmetro para os insetos liberados. A prole de *T. diatraeae*, após queda com RPAS, parasitou as pupas ofertadas no teste de qualidade e produziu descendentes viáveis com ciclo de vida normal (Tabela 1). Esta condição foi analisada para verificar se após a liberação em área de surto, os parasitoides parasitariam as pupas alvo controlando e permanecendo no ambiente.

Tabela 1. Médias referentes a emergência de parasitoides, emergência pós-queda, parasitismo pós-emergência e eficiência do parasitismo para as diferentes alturas de liberação de *Trichospilus diatraeae*. Experimento conduzido em condições controladas de temperatura (25 ± 2 C°), umidade relativa do ar (60%) e fotofase de 12 horas.

Tratamento	Média +Ep parasitoides emergidos*	Emergência pós-queda (%)	Parasitismo pós-emergência (%) **	Eficiência do parasitismo (%)
100 m	1114,4±68,99	89,08±0,92 b	60±10,11 a	96,49±0,65 a
60 m	755±137,36	92,09±2,27 ab	70±14,58 a	97,01±0,55 a
30 m	788,6±73,01	93,27±1,22 ab	60±12,75 a	97,28±0,52 a
Controle	650,8±119,69	96,72± 1,16 a	80±9,35 a	96,47±0,29 a

*Valor referente a quatro pupas parasitadas. ** Parasitismo observado em 4 pupas de até 36 horas. Médias, seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey-Kramer ($p<0,05$).

Trichospilus diatraeae emergiu de mais de 95% das pupas de *D. saccharalis* liberadas nas diferentes alturas, com valores semelhantes nas alturas de liberação de 13 e 60 metros e no controle e menor na altura de 100 metros (Tabela 1). A porcentagem semelhante de pupas de *D. saccharalis*, com emergência de *T. diatraeae*, de pupas a 30 e 60 metros e no controle, mostra que RPAS podem ser

empregadas em programas de controle biológico até essa altura de liberação por não ter afetado a emergência desse parasitoide e aumentando as chances de sucesso de reduzir surtos de lepidópteros pragas (Nascimento et al., 2020). Isto é semelhante ao relato de liberação de *Trichogramma* com unmanned aerial vehicles (UAV) em campos de milho com 83,70% de controle da praga alvo (Zhan et al., 2021).

A liberação de *T. diatraeae* multiplicado em *D. saccharalis* pode ser feita por RPAs, como validado em testes de qualidade dos insetos pós-soltura. O conhecimento dos parâmetros biológicos como emergência, parasitismo e capacidade de voo auxiliam na seleção dos melhores indivíduos para programas de controle biológico aplicado (Soares et al. 2012).

As alturas de liberação, até 60 metros, não reduziram o parasitismo de *D. saccharalis* por *T. diatraeae*. Isto mostra o potencial de uso de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) na detecção das áreas atacadas por insetos-praga (Iost Filho et al., 2019) e na liberação de agentes de controle biológico, podendo de acordo com a realidade ser de baixo custo operacional, ampla faixa de aplicação (Iost Filho et al., 2019; Zhang et al., 2021).

1.11 Conclusões

O parasitoide *T. diatraeae* pode ser liberado com RPAS de, até, 100 metros de altura sem causar quebra do hospedeiro, mortalidade desse parasitoide ou redução de sua capacidade de parasitismo, mas reduziu o número de pupas hospedeiras com emergência desse parasitoides. Este trabalho registra pela primeira vez, a viabilidade técnica e biológica da liberação de parasitoides de pupas com RPAS no Brasil.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, ao Programa Cooperativo de Proteção Florestal (PROTEF/IPEF), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA-UNESP) e Spectrum Inteligência AgroFlorestal.

Referências

- Alfaro, R. I., Langor, D., 2016. Changing paradigms in the management of forest insect disturbances. *The Canadian Entomologist*, 148, S1, S7-S18. DOI: 10.4039/tce.2016.30.
- Avalos, S., González, E., Mangeaud, A., Valladares, G., 2019. Caterpillar-parasitoid food webs and biological control in two extensive crops. *Biological Control*, 143, 104184, 2019. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104184.
- Andel, A.C., Wich, S.A., Boesch, C., Koh, L.P., Robbins, M.M., Kelly, J., Kuehl, H.S., 2015. Locating chimpanzee nests and identifying fruiting trees with an unmanned aerial vehicle. *American Journal of Primatology*, 77, 1122–1134. DOI: 10.1002/ajp.22446.
- Berni, J.A.J., Zarco-Tejada, P.J., Sepulcre-Cantó, G., Fereres, E., Villalobos, F., 2009. Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113, 11, 2380–2388. DOI: 10.1016/j.rse.2009.06.018.
- Bueno, R.C.O.F., Bueno, A.F., Xavier, M.F.C., Carvalho, M.M., 2014. *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) parasitism on eggs of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Eribyidae) compared with its natural host *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 107, 799–808. DOI:10.1603/AN14002.
- Chen, P., Ouyang, F., Wang, G., Qi, H., Xu, W., Yang, W., Lan, Y. 2021. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. *Industrial Crops and Products*, 163, 113324. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113324.
- Fouché, G. J., Malekian, R., 2018. Drone as an autonomous aerial sensor system for motion planning. *Measurement*, 119, 142-155. DOI: 10.1016/j.measurement.2018.01.027.
- Freitas, H., Faiçal, B. S., e Silva, A. V. C., Ueyama, J. 2020. Use of UAVs for an efficient capsule distribution and smart path planning for biological pest control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105387. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105387.

- lost Filho, F. H., Heldens, W.B., Kong, Z., Lange, E.S., 2019. Drones: innovative technology for use in precision pest management. *Journal of Economic Entomology*, 113, 1, 1-25. DOI: 10.1093/jee/toz268.
- Lake, E. C., David, A. S., Spencer, T. M., Wilhelm Jr, V. L., Barnett, T. W., Abdel-Kader, A. A., Cortes, A.C., Acuna, A., Mattison, E.D., Minter, C. R. 2021. First drone releases of the biological control agent *Neomusotima conspurcatalis* on Old World climbing fern. *Biocontrol Science and Technology*, 31, 1, 97-106. DOI: 10.1080/09583 157.2020.1828280.
- Kenis, M., Hurley, B.P., Hajek, A.E., Cock, M.J., 2017. Classical biological control of insect pests of trees: facts and figures. *Biological Invasions*, 19, 11, 3401-3417. DOI:10.1007/s10530-017-1414-4.
- Koh, L. P., Wich, S. A., 2012. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science*, 5, 2, 121-132. DOI: 10.1177/194008291200500202.
- Medauar, C. C., Silva, S. A., Carvalho, L. C. C., Tibúrcio, R. A. S., Lima, J. S. S., Medauar, P. A. S. 2018. Monitoring of eucalyptus sprouts control using digital images obtained by unmanned aerial vehicle. *Journal of Sustainable Forestry*, 37, 7, 739-752. DOI: 10.1080/10549811.2018.1478309
- Mohazzabi, P., Shea, J. H., 1996. High-altitude free fall. *American Journal of Physics*, 64, 10, 1242-1246. DOI: 10.1119/1.18386.
- Nascimento, D.A., Santos, F.A., Carvalho, V. R., Souza, C.D., Wilcken, C. F. 2020. First report of *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing pupae of *Methona themisto* (Lepidoptera: Nymphalidae). *Idesia (Arica)*, 38, 2, 129-132. DOI: 10.4067/S0718-34292020000200129.
- Nelder, J. A., Wedderburn, R., 1972. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 135, 3, 370-384. DOI:10.2307/2344614.
- Pastori, P. L., Pereira, F.F., Santos, G.A., Silva, R. S., Zanuncio, J. C., Azevedo, A.P. I., 2012. Reproduction of *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) in pupae of two lepidopterans defoliators of eucalypt. *Revista Colombiana de Entomologia*, 38, 1, 91-93.
- Pereira, F. F., Zanuncio, J. C., Tavares, M. T., Pastori, P. L., Jacques, G. C., Vilela, E. F., 2008. New record of *Trichospilus diatraeae* as a parasitoid of the eucalypt defoliator *Thyrintina arnobia* in Brazil. *Phytoparasitica*, 36, 3, 304-306. DOI:10.1007/BF02980 777.

- Prezotti, L., Parra, J. R., Vencovsky, R., Dias, C. T., Cruz, I., Chagas, M. 2002. Teste de vôo como critério de avaliação da qualidade de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae): Adaptação de metodologia. *Neotropical Entomology*, 31, 3, 411-417. DOI: 10.1590/S1519-566X2002000300010.
- Rana, A., Bhat, A. H., Chaubey, A. K. 2021. Morpho-taxometrical and molecular characterization of *Steinernema abbasi* (Nematoda: Steinernematidae) and its pathogenicity and generative potential against lepidopteran pests. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 1, 1-13. DOI: 10.1186/s41938-020-00359-1.
- Ribeiro, R. C., Pikart, T. G., Fouad, H. A., Parreira, M. C., Zanuncio, J. C., Soares, M. A., Castro V. R. 2019. *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae): development and reproduction in Lepidoptera palm oil pests. *Brazilian Journal of Biology*, 79, 3, 377-382. DOI: 10.1590/1519-6984.173211
- Rodrigues, M. A. T., Pereira, F. F., Kassab, S. O., Pastori, P. L., Glaeser, D. F., Oliveira, H. N., Zanuncio, J. C., 2013. Thermal requirements and generation estimates of *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) in sugarcane producing regions of Brazil. *Florida Entomologist*, 96, 1, 154-159. DOI:10.1653/024.096.0120.
- Rossoni, C., Pereira, F. F., Kassab, S. O., Rodrigues, A., Barbosa, R. H., Zanuncio, J. C. 2016. Development of Eulophidae (Hymenoptera) parasitoids in *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) pupae exposed to entomopathogenic fungi. *Canadian Entomologist*, 148, 6, 716-723. DOI: 10.4039/tce.2016.15.
- Soares, M. A., Leite, G. L. D., Zanuncio, J. C., Sá, V. G. M., Ferreira, C. S., Rocha, S. L., Pires, E. M., Serrão, J. E., 2012. Quality control of *Trichogramma atopovirilia* and *Trichogramma pretiosum* (Hym.:Trichogrammatidae) adults reared under laboratory conditions. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55, 2, 305-311. DOI:10.1590/S1516-89132012000200018.
- Tajiri, R., Fujiwara, H., Kojima, T. 2021. A corset function of exoskeletal ECM promotes body elongation in *Drosophila*. *Communications Biology*, 1, 1-13. DOI: 10.1038/s42003-020-01630-9.
- Teske, A. L., Chen, G., Nansen, C., Kong, Z., 2019. Optimised dispensing of predatory mites by multirotor UAVs in wind: a distribution pattern modelling approach for precision pest management. *Biosystems Engineering*, 187, 226-238. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2019.09.009.

- Vincent, J. F., Wegst, U. G. 2004. Design and mechanical properties of insect cuticle. *Arthropod Structure & Development*, 33, 3, 187-199. DOI: 10.1016/j.asd.2004.05.006.
- Vargas, R.I., Stark, J.D., Banks, J., Leblanc, L., Manoukis, N.C., Peck, S., 2013. Spatial dynamics of two oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) parasitoids, *Fopius arisanus* and *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), in a Guava Orchard in Hawaii. *Environmental Entomology*, 42, 888–901. DOI: 10.1603/EN12274.
- Xu, Y., Xue, X., Sun, Z., Chang, C., Gu, W., Chen, C., Peng, B., 2019. Online spraying quality assessment system of plant protection unmanned aerial vehicle based on Android client. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 104938. DOI:10.1016/j.compag.2019.104938.
- Zaché, B., Wilcken, C. F., Zaché, R. R., Soliman, E. P., San-Román, L., 2010. *Trichospilus diatraeae* Cherian & Margabandhu, 1942 (Hymenoptera: Eulophidae), un nuevo parasitoide de *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) (Lepidoptera: Pyralidae). *Idesia (Arica)*, 28, 3, 111-114. DOI: 10.4067/S0718-34292010000300 014.
- Zhan, Y. L., Chen, S. D., Wang, G. B., Fu, J. W., Lan, Y. B. 2021. Biological control technology and application based on agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) intelligent delivery of insect natural enemies (*Trichogramma*) carrier. *Pest Management Science*, 77, 7, 3259-3272. DOI: 10.1002/ps.6371.
- Zarco-Tejada, P.J., Berni, J.A.J., Suárez, L., Sepulcré-Cantó, G., Morales, F., Miller, J.R., 2009. Imaging chlorophyll fluorescence with an airborne narrow-band multispectral camera for vegetation stress detection. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1262–1275. DOI: 10.1016/j.rse.2009.02.016.
- Zarco-Tejada, P.J., González-Dugo, V., Berni, J.A., 2012. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*, 117, 322–337. DOI: 10.1016/j.rse.2011.10.007.
- Zhu, H., Lan, Y., Wu, W., Hoffmann, W. C., Huang, Y., Xue, X., Fritz, B. 2010. Development of a PWM precision spraying controller for unmanned aerial vehicles. *Journal of Bionic Engineering*, 7,3, 276-283. DOI: 10.1016/S1672-6529(10)60251-X.

CAPÍTULO II

Liberação de pupas de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae), parasitadas por *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae), com Aeronave Pilotada Remota e Manualmente em plantações de eucalipto²

RESUMO

Cultivos de eucalipto são propícios à ocorrência de pragas, principalmente lagartas desfolhadoras e liberações de parasitoides de pupas poderia reduzir esse problema. A utilização de Aeronave Pilotada Remotamente (RPAs), em outros setores florestais, indica que essa tecnologia possa ser utilizada no controle biológico. O objetivo foi determinar o potencial operacional de RPAs e o compartimento mais seguro contra predação após a liberação do parasitoide *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae). Os quatro compartimentos avaliados foram cápsulas com 1 e cinco orifícios de 1,22 mm; quatro orifícios de 2,1mm e sacola de papel em blocos casualizados. O tempo da atividade com RPAs, desenvolvimento dos parasitoides no campo e predação, dos mesmos, no solo foram as variáveis avaliadas. O período de preparo de cada cápsula, para liberação com RPAs, foi de 17 minutos, o abastecimento da aeronave de quatro minutos e a programação e o voo cobrindo oito hectares de 12 minutos. As condições climáticas podem ter afetado o desenvolvimento dos parasitoides, pois aqueles não predados morreram. Todas as pupas nos compartimentos foram predadas com maiores médias nas de 2,1mm de orifício (68,92% aberta; 53,33% fechada) para saída de parasitoides, seguidas de 22,30%, 8,15% e de 17,04% para as em sacolas de papel, cápsulas com 1,22mm e com 1,00mm e cinco orifícios, respectivamente. Um total de 38% das capsulas liberadas com RPAs no campo foi encontrado. Os RPAs podem ser usados para liberar pupas, em cápsulas, parasitadas por *P. elaeisis*. Os compartimentos mais seguros para essa liberação foram cápsulas modelos 1, 2 e sacola de papel. A fase biológica do parasitoide (ovo, larva, pré-pupa ou pupa), para liberação em qualquer compartimento, deve ser próxima à emergência dos adultos. Esta é primeiro registro de liberação de parasitoides de pupas em florestas de eucalipto utilizando RPAs.

Palavras-chave: Proteção florestal, Controle biológico, RPAs, parasitoides de pupa.

² Capítulo redigido nas normas do periódico Scientia Forestalis. Normas disponível em: <https://www.editora.ipef.br/ojs/index.php/scientia/about/submissions#authorGuidelines>

ABSTRACT

Eucalyptus crops are prone to the occurrence of pests, especially defoliating caterpillars, and pupae parasitoids release could reduce this problem. The use of Remotely Piloted Aircraft (RPAs) in other forestry sectors indicates that this technology can be used in biological control. The objective was to determine the operational potential of RPAs and the safest compartment against predation after the release of the parasitoid *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae). The four compartments evaluated were capsules with 1 and five holes of 1.22 mm; four 2.1mm holes and paper bag in random blocks. The time of activity with RPAs, development of the parasitoids in the field and their predation on the ground were the variables evaluated. The preparation period for each capsule, for release with RPAs, was 17 minutes, the refueling of the aircraft in four minutes and the schedule and flight covering eight hectares of 12 minutes. Climatic conditions may have affected the development of the parasitoids, as those not preyed upon died. All pupae in the compartments were preyed upon with the highest means in the 2.1mm orifice (68.92% open; 53.33% closed) for parasitoid exit, followed by 22.30%, 8.15% and 17, 04% for those in paper bags, capsules with 1.22mm and with 1.00mm and five holes, respectively. A total of 38% of the capsules released with RPAs in the field were found. RPAs can be used to release pupae, in capsules, parasitized by *P. elaeisis*. The safest compartments for this release were model 1, 2 capsules and paper bag. The biological phase of the parasitoid (egg, larva, prepupa or pupa), for release in any compartment, should be close to the emergence of adults. This is the first record of pupae parasitoid release in eucalyptus forests using RPAs.

Keywords: Forest protection, Biological control, RPAs, pupae parasitoids.

2.1 Introdução

A alta homogeneidade ambiental e baixa variabilidade genética, características de florestas plantadas, aumentam a seleção de insetos que podem causar danos (Boyd et al., 2013). Diferentes espécies de lagartas desfolham plantas de eucalipto, o que reduz a produtividade dessa cultura florestal (Bernardino et al. 2007). Além disso, a altura das plantas de eucalipto aumenta a dificuldade de controle de lagartas desfolhadoras (Moreira et al. 2013).

Espécies do gênero *Eucalyptus* (Myrtaceae), com mais de 700 nativas do continente australiano (Yang et al. 2017), são, altamente, produtivas no Brasil devido ao melhoramento genético (Pimenta et al. 2017; Lana et al. 2018). Pragas e doenças podem reduzir a produtividade de cultivos florestais (Mafia et al. 2018), incluindo espécies nativas, como formigas cortadeiras, cupins, lagartas e besouros desfolhadores (Gonçalves et al. 2013).

O controle biológico inundativo com liberações de grandes números de vespas parasitoides da ordem Hymenoptera pode reduzir o número de lagartas desfolhadoras (Mason & Brodeur, 2013). Fêmeas, desses inimigos naturais podem, após liberadas, depositar seus ovos no interior de pupas causando a morte do hospedeiro e emergindo novos parasitoides (Costa et al. 2006). O parasitoide de pupas *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae) pode ser multiplicado em hospedeiros como *Diatraea saccharalis* Fabricius, 1794 (Lepidoptera: Crambidae) em laboratório com parâmetros biológicos adequados como altas taxa de parasitismo, progênie por pupa e longevidade de machos e fêmeas (Chichera et al. 2012; Bittencourt et al. 1999; Bittencourt et al. 2004).

Os métodos de liberação devem reduzir a exposição de inimigos naturais ao ambiente, principalmente em climas subtropicais e tropicais como no Brasil e a ação de artrópodes predadores como formigas e tesourinhas. Aeronaves Remotamente

Pilotadas (RPAs), utilizadas em procedimentos agrícolas e florestais, podem ser incluídas em liberações de agentes de controle biológicos (Lake et al., 2020).

A liberação deve envolver compartimentos como cápsulas, para reduzir a chance de predação, principalmente, na liberação de insetos em pupas hospedeiras (Parra et al. 2002; Parra, 2006; van Driesche et al. 2008). A diversidade de espécies de insetos, como formigas, é alta em cultivos de eucalipto (Suguituru et al. 2011) e a liberação de pupas parasitadas pode ser fonte de alimento para estas espécies, justificando sua liberação em compartimentos protegidos.

A liberação de inimigos naturais no campo depende de técnicas apropriadas para manter a eficácia de controle de pragas (Pinto & Parra, 2002). A importância de cultivos de eucalipto justifica o desenvolvimento de métodos para reduzir danos por pragas, com destaque para o controle biológico. O objetivo desta pesquisa foi determinar a viabilidade do uso de RPAs para liberar *P. elaeisis* em pupas de *D. saccharalis* e avaliar a adequabilidade do compartimento de liberação em reduzir ou evitar predação por outros artrópodes.

2.2 Material e Métodos

2.3 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em dois talhões, lado a lado, com área total 20 e 29 hectares divididos em quatro parcelas para receber os tratamentos no município de Santa Rita do Rio Pardo, Mato Grosso do Sul em plantios clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. Tratos silviculturais, como roçada ou aplicação de defensivos, não foram realizados durante a condução do experimento e informações adicionais da área foram obtidas (Tabela 1).

Tabela 1. Informações da área de estudo em Santa Rita do Rio Pardo, Mato Grosso do Sul, Brasil. Outubro de 2019

Características da área de estudo	
Propriedade	Fazenda Ueti
Longitude	52°53'51.97"O
Latitude	21°34'36.61"S
Localização	Sta Rita do Rio Pardo
Estado	MS
Altitude	394 m
Precipitação anual	1.200 - 1.500mm
Espécie plantada	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
Idade (anos)	2,5
Data de plantio	08/03/2017
Espaçamento	3,4x2,3m
Altura média das árvores	13 m
Árvores por hectare	1.278

2.4 CRIAÇÃO DOS HOSPEDEIROS

O parasitoide foi proveniente de criação do laboratório de controle biológico de insetos (LECOBIOL) da Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil e a identificação do mesmo confirmada pelo Dr. Marcelo Teixeira Tavares (Pereira et al. 2008). O hospedeiro utilizado foi larvas da broca-da-cana *D. saccharalis*, cujos ovos foram acondicionados em frascos de vidro com 8,5 cm de diâmetro e 13 cm altura com dieta artificial (farelo de soja, germe de trigo, vitaminas, sais minerais e antibióticos) para alimentação de suas larvas recém-eclodidas. Cinco lagartas de terceiro instar foram colocadas por placas de Petri com 6,5 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura com um quadrado de dieta (3 cm de largura, 3 cm comprimento e 1,5 cm de altura). Essas lagartas permaneceram em sala climatizada a $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e 14 horas de fotofase até a formação das pupas. Essas pupas foram recolhidas, sexadas e colocadas na razão de 20 machos para 30 fêmeas por gaiola cilíndrica de PVC (10 cm de diâmetro e 22 cm altura), revestida internamente com folhas de papel sulfite como substrato para oviposição para as fêmeas

fecundadas para a criação massal de *D. sacharalis* (Parra, 2007). As pupas obtidas foram colocadas por tipo de compartimento e método de liberação e liberadas em campo.

2.5 PREPARO DOS TRATAMENTOS

Os tratamentos foram os compartimentos, sendo dois tipos de cápsulas de liberação para soltura manual, sendo do modelo tipo 1 com um único orifício de diâmetro de 1,22 mm e a do tipo 2 com cinco orifícios de mesmo diâmetro (Figura 1). A escolha do diâmetro foi suficiente para garantir a saída dos parasitoides em todos os modelos avaliados, cuja largura da cápsula cefálica do parasitoide varia de 0,41mm para machos e 0,51 mm para fêmeas (Tavares et al. 2020). Desta forma, o diâmetro dos orifícios em todos os compartimentos permitiria a saída dos insetos. Os dois modelos foram confeccionados com papelão biodegradável com dimensões de 4cm x 4cm. Cinco pupas de *P. elaeisis* com 15 dias após o parasitismo foram colocadas por compartimento, os quais foram fechados e colados com cola branca não tóxica. Cada tipo de cápsula, na área de estudo, foi colocado, manualmente, no campo em 27 vezes de forma sistemática, totalizando 54 amostras totais. O outro modelo de cápsula foi o tipo 3 (3 cm x 6 m), específico para liberações de parasitoides em veículo aéreo não tripulado e confeccionado, também, com papelão biodegradável com quatro orifícios com diâmetro de 2,1 mm e tampa removível. O diâmetro maior facilitaria a saída dos parasitoides e cinco pupas, com 15 dias após o parasitismo por *P. elaeisis*, foram colocadas por cápsula.

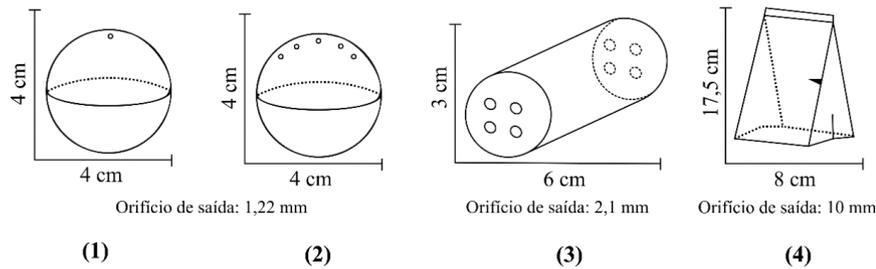


Figura 1. Modelos de liberadores de pupas parasitadas por *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae): 1 e 2 de cápsulas cilíndricas com orifícios de 1,22 mm para saída de e 3 utilizada para liberação com veículo aéreo não tripulado com quatro furos de 2,1 mm de diâmetro e 4, sacola de papel. Santa Rita do Rio Pardo, Mato Grosso do Sul, Brasil. Outubro/2019.

Parasitoides de pupas tem sido liberado em ambientes florestais, na maioria das vezes, em sacolas de papel (17,5 cm de altura por 8 cm de largura) confeccionadas com papel Kraft. Cinco pupas de *D. sacharalis*, com 10 dias após o parasitismo por *P. elaeisis*, foram colocadas por sacola.

2.6 SOLTURA DE CÁPSULAS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

A cápsula modelo 3 foi liberada na área experimental por Aeronave Remotamente Pilotada (RPAs) do modelo X800 GEO hexacóptero com controle manual e voo autônomo programável. As dimensões deste equipamento são de 25 cm de largura e 63 cm de altura com volume de carga de 1,5 kg e 30 minutos de autonomia de voo por bateria. Essas capsulas foram liberadas em nove pontos por hectare em oito hectare por voo totalizando 54 cápsulas por parcela e 216 cápsulas totais. O voo foi definido em 60 metros de altura com velocidade de 10 metros por segundo devido à altura média das árvores (13 metros) e o relevo da área.

2.7 LIBERAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS MANUALMENTE

Os compartimentos dos tipos 1, 2 e 4 foram liberadas, sistematicamente, em talhões de eucalipto por caminhamento sistemático na mesma área e mesmas condições ambientais e chance de serem predadas. A distância entre as cápsulas foi de 15 metros entre cada uma e 14 metros entre linhas de liberação. Vinte e sete cápsulas, de cada modelo, foram liberadas por 0,75 hectares (Figura 2). Esses compartimentos foram fixados em ramos do terço inferior das árvores (aproximadamente 1,30m do solo) e um orifício com diâmetro, aproximado, de 1 cm foi cortado na lateral de cada compartimento para a saída dos parasitoides adultos. Este modelo e os demais foram ilustrados (Figura 1). Um total 209 sacolas de papel foram instaladas sistematicamente a cada 15 metros.

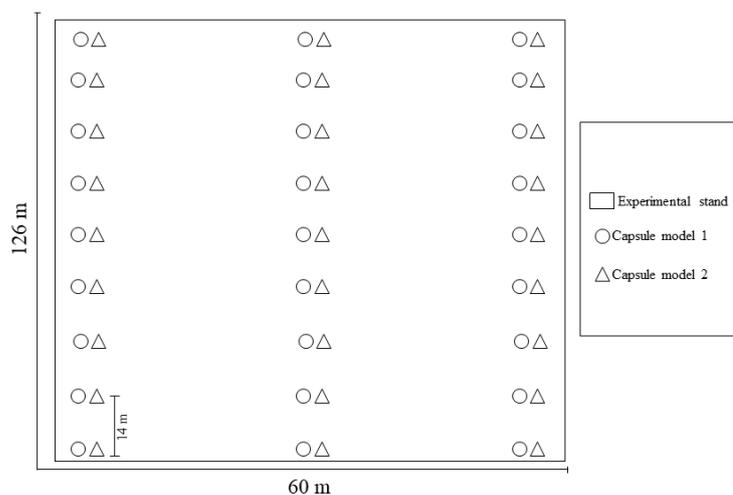


Figura 2. Disposição dos modelos de cápsulas 1 e 2 no campo para determinação da predação por artrópodes com cinco pupas de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) parasitadas por *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) em cada uma. Santa Rita do Rio Pardo, Mato Grosso do Sul, Brasil. Outubro de 2019.

2.8 VARIÁVEIS AVALIADAS

O rendimento operacional do RPAs, para a liberação das cápsulas contendo pupas parasitadas, foi avaliado cronometrando-se as etapas: colocar pupas parasitadas nas cápsulas; colocar as cápsulas na aeronave e tempo de programação

e voo para liberação em oito hectares. O trabalho foi conduzido por dois operadores e aferido por três vezes. O desenvolvimento dos parasitoides e a predação das pupas foram avaliados, em campo, 20 dias após as liberações do parasitoide. A situação e condição estrutural das cápsulas, após a queda, foram avaliadas nas parcelas com liberações com o RPAs. Cada cápsula foi aberta e o número de pupas na mesma contado. A predação no compartimento foi obtida pelo número de pupas em cada um/número de pupas, previamente, ofertadas na liberação x 100.

2.9 METODOLOGIA ESTATÍSTICA

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso com repetições desbalanceadas devido ao número diferentes entre repetições por tratamento. A variável tipos de compartimentos, na análise do percentual da predação, foi ajustada com modelo linear generalizado misto com distribuição binomial e função de ligação logito considerando as repetições como fator aleatório (Nelder & Wedderburn, 1972). As médias entre tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey-Kramer utilizando procedimento glimmix do Programa estatístico SAS– Free Statistical Statistical Software, SAS University Edition (Westfall, et al. 1999).

2.10 Resultados

2.11 Tempo de operação com RPAs

O tempo de operação para a liberação de cápsulas parasitadas com RPAs foi cerca de 30 minutos, incluindo as atividades de preparo, abastecimento e programação da mesma e liberação de *P. elaeisis* (Figura 3).

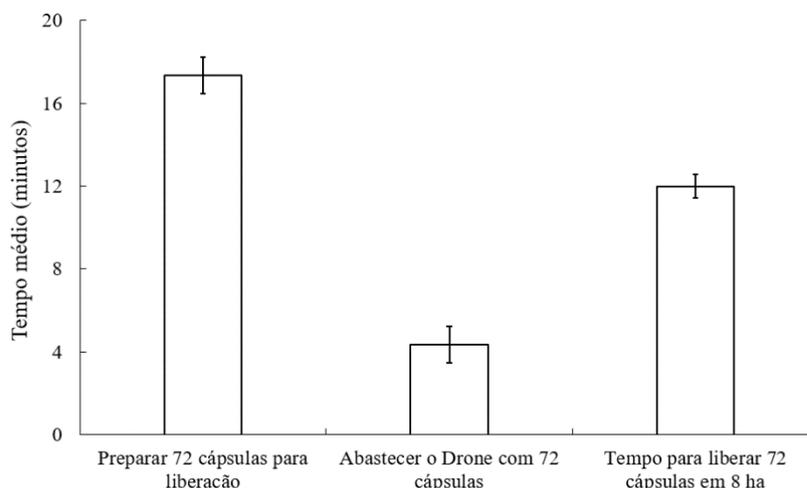


Figura 3. Duração das atividades de preparo (Prep.), abastecimento (Abast), programação e liberação de *Palmistichus elaeisis* *Delvare & LaSalle, 1993* (*Hymenoptera: Eulophidae*) com RPAs em cultivos de eucalipto. Santa Rita do Rio Pardo, Mato Grosso do Sul, Brasil. Outubro/2019.

A duração média de preparo das cápsulas de liberação foi de 17 minutos, incluindo a separação, contagem e acondicionamento das pupas parasitadas nas cápsulas tipo 3 e fechamento e identificação das mesmas com o tipo de parasitoide. Esse preparo pode ser feito antes da expedição para o campo, diminuindo o tempo de soltura do parasitoide.

A aeronave foi abastecida por dois operadores, sendo uma atividade rápida e prática por ter um cesto para o acondicionamento de cápsulas, as quais foram encaixadas na posição de soltura. O tempo médio gasto para a programação e liberação de soltura de cápsulas foi de 12 minutos, composta da elaboração do mapa de soltura e o deslocamento aéreo do veículo.

2.12 RECUPERAÇÃO DE COMPARTIMENTOS NO CAMPO

Vinte dias após a liberação no campo, manualmente e com RPAs, as cápsulas dos tipos 1, 2 e o compartimento tipo 4 foram recolhidos, assim como as cápsulas tipo 3 liberadas com RPAs. Do total de 216 cápsulas liberadas, 82 foram recuperadas, ou

seja, 38%, sendo 69 encontradas abertas (84%) pela queda ou ação do clima na região. Nenhum parasitóide emergiu das pupas dos compartimentos avaliados e, quando dissecadas, insetos mortos foram observados no interior das mesmas, provavelmente pelo longo período de exposição no campo. As condições climáticas, durante o período de exposição (20 dias), obtidas da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foram temperatura média em quatro períodos do dia de 27°, mínimas de 22° e máximas de 35°. A precipitação foi de 2 mm nos dias 5 e 6, 10 mm no dia 9 e 3mm nos dias 16 e 17.

2.13 PREDAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS DE LIBERAÇÃO

As taxas de predação variaram entre compartimentos para liberação de parasitoides, com maior valor nas do tipo 3 (68,92%), liberadas com RPAs, que se abriram no campo, seguidas do mesmo modelo que permaneceram fechadas (53,33%) (Tabela 2).

Tabela 2. Compartimento, número (N.O.) e tamanho (T.O.) de orifícios para saída de parasitoides adultos, percentual de compartimentos recuperados no campo (C.R.) e de predação (Média + E.P.M.) da predação (P%) dos diferentes tipos de compartimentos para liberação de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) em plantios clonais de eucalipto. Santa Rita do Rio Pardo, Mato Grosso do Sul, Brasil. Outubro/2019.

Compartimento	N.O	T.O (mm)	C.R (%)	P(%) + E.P.M
Cápsula modelo 1	1	1,22	100	8,15 ± 5,15 c
Cápsula modelo 2	5	1,22	100	17,04 ± 5,82 c
Cápsula modelo 3 (aberta)	4	2,1	84	68,92 ± 4,18 a
Cápsula modelo 3 (fechada)	4	2,1	16	53,33 ± 9,29 a
Sacola de papel	1	10	100	22,30 ± 2,46 b

Médias seguidas de mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey-Kramer

($p < 0,05$).

A predação de pupas parasitadas com o parasitóide foi maior nas cápsulas do modelo 3 que permaneceram abertas ou fechadas no campo e menor naquelas dos modelos 1 e 2, 8,15% e 17,04% respectivamente. A dificuldade de se encontrar as

cápsulas do modelo 3, liberadas com RPAs, foi maior e a dos demais modelos, as quais foram encontrados em sua totalidade e encaminhadas para o laboratório.

2.14 Discussão

2.15 Tempo de operação com RPAs

A liberação de inimigos naturais com RPAs deve ser avaliada para validar ou não sua utilização. O tempo de preparo das cápsulas tipo 3, para liberação com RPAs, foi maior (17 minutos), devido ao manuseio e acondicionamento de material biológico (pupa parasitada) e fechadas sem danos aos insetos durante a liberação. A preparação de cápsulas atendeu deve ser aferida o tempo pois uma operação utilizando RPAs além de envolver a capacidade de carga, precisa ser ágil (Morley et al., 2017).

As cápsulas tipo 3 foram colocadas na aeronave no campo antes da liberação, o que é correto, pois o número de cápsulas liberadas varia com a infestação da área. Isto demanda quatro minutos, enquanto o tempo médio de programação do voo e deslocamento da aeronave na área foi de 14 minutos com velocidade a 10 metros por segundo. O RPA, na velocidade de voo utilizada, se desloca a uma velocidade 10 vezes mais rápida que a de uma pessoa caminhando em áreas florestais, a qual pode chegar, em terrenos acidentado, a 1,07 metros por segundo (Gast et al. 2019).

O rendimento do método mecanizado é geralmente, maior, mas com custos elevados que os manuais. Além disso, a eficiência operacional de processos e tecnologias para o manejo de pragas em florestais depende da redefinição de conceitos e automação dos processos internos (Lemos et al. 2014). Aplicar RPAs para resolver problemas do cotidiano florestal pode melhorar o desempenho e a segurança

da operação, embora os sistemas de voo autônomos ainda precisem de melhorias para superar alguns desafios atuais (Roldán-Gómez et al., 2021).

O controle biológico com parasitoides ou predadores demanda o deslocamento do responsável a pé para o interior de cultivos florestais para liberar os insetos. Isto aumenta a preocupação com a saúde dos trabalhadores e a produtividade menor (Guerra et al. 2019). Áreas extensas com cultivos de eucalipto demandam caminhamento longo com perigos como tocos, buracos, animais peçonhentos, calor intenso ou chuva. Por outro lado, os RPAs podem liberar inimigos naturais a partir dos carregadores ou nas vias principais da propriedade, considerado zona segura.

Atividades operacionais de controle de pragas em cultivos florestais são, ainda, pouco estudadas e o uso de RPAs, mesmo incipiente, deve continuar a ser estudado para desenvolver essa tecnologia.

2.16 Recuperação de compartimentos no campo

Todas as cápsulas, exceto parte de modelo 3, foram encontradas no campo e a predação de pupas, nas mesmas, avaliadas em laboratório. O local onde os compartimentos foram fixados foi marcado no campo e, por isso, era esperado que os dos tipos 1, 2 e 4 fossem todos recuperados. A recuperação daquelas do modelo tipo 3 foi mais difícil devido a terem sido liberadas com RPAs e a altura e deslocamento da aeronave impossibilitaram o acompanhamento, sendo a principal causa dificultando a coleta dessas cápsulas. A direção e velocidade do vento, durante a liberação, podem ter deslocado as cápsulas para áreas distantes dos locais de buscas. Mordidas e arranhões por animais silvestres nas cápsulas liberadas por RPAs podem ser devidas ao odor e, mesmo, a curiosidade fazendo com que os animais carregassem ou abrissem as cápsulas para se alimentarem das pupas no interior.

2.17 Predação e desenvolvimento nos compartimentos de liberação.

Parasitoides são liberados, em ambientes agrícolas, em compartimentos para garantir um período maior de controle, não sendo necessário esperar os adultos emergirem. Parasitoides do gênero *Trichogramma* são, geralmente, liberados em pequenas caixas de papelão com ovos parasitados e os adultos emergidos parasitarão ovos de pragas (Pedrazzoli & Carvalho, 2006). Avaliações em florestas plantadas são escassas, mas nenhum modelo de cápsula testado protegeu e permitiu o desenvolvimento dos insetos até a fase adulta e posterior emergência. As pupas utilizadas foram parasitadas 10 dias antes e os adultos de *P. elaeisis* emergiram ao final de outros 10 dias (Bittencout & Berti-Filho, 2004). Neste período, a temperatura foi elevada (média 27°C) e a precipitação de 2mm no 5º e 6º dias; 10 mm no 9º e 10º, que pode ter causado efeitos deletérios no desenvolvimento pupal e ocasionando a morte dos parasitoides. Isto indica que esse parasitoide, no hospedeiro *D. saccharalis*, deve ser liberado um ou dois dias antes de sua para reduzir o possível efeito de fatores abióticos.

A predação de *P. elaeisis* por artrópodes de solo foi observada em todos os compartimentos utilizados, o que ser devido ao odor rançoso exalado das pupas após a morte das mesmas com o desenvolvimento dos parasitoides atraindo insetos como formigas generalistas. Compostos como ácidos graxos, presentes nas cutículas de insetos, podem formar plumas de odor no solo facilitando a localização das pupas no campo por esses insetos (Buehlmann et al. 2014). Após a localização pelas formigas escoteiras, uma trilha de feromônio é demarcada do local da fonte do alimento ao ninho e, em poucos minutos, outras chegarão e todo o conteúdo será consumido (Steck, 2012).

As maiores predação nas cápsulas modelo 3, liberadas por RPAs, se deve, também, ao fato de algumas se abrirem no campo, expondo as pupas ao ambiente.

Esta abertura pode ser um mal fechamento durante a fase de preparo com a tampa do compartimento, não corretamente, fechada. Além disso, a ocorrência de chuva durante o período de exposição no campo dos modelos de cápsulas confeccionados de material semelhante ao papelão ondulado, e as condições umidade e temperatura facilitaram a absorção de água e a perda da resistência física das mesmas (Panek et al. 2004) como em ambientes florestais quando o material está em contato com a serapilheira do solo. Por outro lado, as cápsulas dos modelos 1 e 2 foram coladas e as do 3 tampadas com peça específica, de papelão mais fino que pode ter se deformado e abriu.

No modelo 3 o tamanho (2,1mm) facilita a saída dos parasitoides e reduz a predação. Esta saída deve ser grande o suficiente para a saída dos insetos sem permitir a entrada de predadores, como formigas, como relatado para *Trichogramma* spp. (Pedrazzoli & Carvalho, 2006). Por isso, o aumento do orifício de saída pode ter facilitado a entrada de outros artrópodes, como formigas predadoras e/ou generalistas, comuns em monocultivos de culturas como o eucalipto devido a redução da diversidade da comunidade desses insetos. Isto favorece espécies com nicho específico como predadoras e aquelas com hábito alimentar generalista (Andersen et al. 2009). A predação em campo por formigas, após a liberação em solo de massas de *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae) para o controle biológico da broca da cana *D. saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) foi de 100% sem repelente de formigas em 12 horas após a liberação. Além disso, a predação de ovos de *Anagasta kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), parasitados por *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), foi maior em áreas de café, 96%, e cana de açúcar, 87,8%, que em *Brachiaria* sp., 60%. Por outro lado, no período

noturno, a predação foi maior em áreas de café, 90% e cana de açúcar 98% que em *Brachiaria* sp., 65,2% (Vinha et al. 2019a, 2019b).

A predação nas sacolas de papel, fixadas em galhos das árvores no campo 1,30m do solo, mesmo fora da rota de formigas generalistas ou predadoras no solo, foi de 22,3%. Isto pode estar relacionado ao maior orifício de saída do parasitoide (1cm) com largura da cápsula dos modelos 1, 2 e 3 com relação direta com a predação. A predação por formigas generalistas que habitam o solo e forrageiam em copas de árvores e vice-versa, também, deve ser considerada (Yanoviak et al. 2005).

A menor predação nos compartimentos nas cápsulas modelos 1 e 2, 8,15% e 17,04%, indica que os orifícios dos 3 (2,1mm) e 4 (1cm) dificultaram a entrada de insetos predadores. O diâmetro dos orifícios pode ser uma barreira física para a entrada do principal grupo de predadores, formigas de serapilheira. Além disso, nenhuma das cápsulas modelo 1 e 2 se abriram no campo, o que pode, também ter colaborado para as menores médias de predação nas mesmas.

O uso de RPAs, na liberação de parasitoides, no setor florestal é incipiente, mas esta tecnologia pode ser empregada em ambientes florestais. A identificação das espécies predando compartimentos de liberação, idade ideal de parasitoides no interior do hospedeiro para aumentar a taxa de emergência de adultos, tempo gasto e movimento das operações (manuais e mecanizadas) em liberações de agentes para o controle de pragas florestais devem ser mais estudadas. A metodologia utilizada e resultados obtidos mostram ser possível a utilização, em cultivos de eucalipto, de RPAs para liberar o parasitoide *P. elaeisis* em cápsulas. Cápsulas modelos 1, 2 e sacola de papel são os compartimentos mais seguros para liberação deste parasitóide em pupas de *D. saccharalis*. A liberação de *P. elaeisis* em pupas de *D. saccharalis* em cultivos de eucalipto, independente do compartimento, deve feita a mais próximo

possível da emergência de seus adultos para reduzir a morte dos insetos por possíveis causas climáticas e ambientais. Esta é a primeira vez, em cultivos de eucalipto, do uso de RPAs para liberar parasitoides de pupas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Ao Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) e o Programa Cooperativo de Proteção Florestal (PROTEF). A Reflore (Associação Sul-Mato-Grossense de produtores e consumidores de florestas plantadas) pela disponibilidade das áreas plantadas com eucalipto, por meio de suas empresas associadas, A Eldorado Brasil Celulose. A Spectrum Inteligência AgroFlorestal e Agribela Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Biológicas, pela disponibilidade das cápsulas tipo 1 e 2.

Referências

Andersen, A.N., Penman, T.D., Debas, N., Houadria, M. (2009). Ant community responses to experimental fire and logging in a eucalypt forest of south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 258(2), 188-197. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.04.004.

Bittencourt, M.A.L., Berti-Filho, E. (1999). Preferência de *Palmistichus elaeisis* por pupas de diferentes lepidópteros praga. *Scientia Agricola*, 56(4), 1281-1283. DOI: 10.1590/S0103-90161999000500033.

Bittencourt, M.A., Berti-Filho, E. (2004). Desenvolvimento dos estágios imaturos de *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera, Eulophidae) em pupas de Lepidoptera. *Revista Brasileira de Entomologia*, 48(1). DOI: 10.1590/S0085-56262004000100012.

Bernardino, A.S., Zanuncio, T.V., Zanuncio, J.C., Lima, E.R., Serrão, J.E. (2007). Note on gynandromorphism in the eucalyptus defoliator *Thyrintina arnobia* (Stoll, 1782) (Lepidoptera: Geometridae). *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, 79, 235–237. DOI: 10.1590/S0001-37652007000200006.

Boyd, I. L., Freer-Smith, P. H., Gilligan, C. A., Godfray, H. C. J. 2013. The consequence of tree pests and diseases for ecosystem services. *Science*, 342, 1235773. DOI: 10.1126/science.1235773.

Buehlmann, C., Graham, P., Hansson, B.S., Knaden, M. (2014). Desert ants locate food by combining high sensitivity to food odors with extensive crosswind runs. *Current Biology*, 24(9), 960-964. DOI: 10.1016/j.cub.2014.02.056.

Costa, V.A.C., Berti-Filho, E., Sato, M.E. (2006). Parasitoides e predadores no controle de pragas, pp. 25-34 *In* Pinto AS, Nava DE, Rossi, MM, Malerbo-Souza DT [eds.], *Controle biológico de pragas na prática*. Piracicaba, ESALQ/USP, São Paulo, Brasil, 287 p.

Costa-Milanez, C.B., Lourenço-Silva, G., Castro, P.T.A., Majer, J.D., Ribeiro, S.P. (2014). Are ant assemblages of Brazilian veredas characterised by location or habitat type?. *Brazilian Journal of Biology* 74(1): 89-99. DOI: 10.1590/1519-6984.17612.

Chichera, R.A., Pereira, F.F., Kassab, O., Barbosa, R.H., Pastori, P.L., Rossoni, C. (2012). Capacidade de busca e reprodução de *Trichospilus diatraeae* e *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) em pupas de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Interciência*, 37(11), 852-856.

Gast, K., Kram, R., Riemer, R. (2019). Preferred walking speed on rough terrain: is it all about energetics?. *Journal of Experimental Biology*, 222(9), jeb185447. DOI: 10.1242/jeb.185447.

Gonçalves, J.L.M., Alvares, C.A., Higa, A.R., Silva, L.D., Alfenas, A.C., Stahl, J., Ferraz, S.F.B., Lima, W.P., Brancalion, P.H.S., Hubner, A., Bouillet, J.P.D., Laclau, J.P., Nouvellon, Y., Epron, D. (2013). Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, 301(1), 6-27. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.030.

Guerra, S.P.S., Soler, R.R., Sereghetti, G.C., Oguri, G. (2019). An evaluation of the economics and productivity of fully mechanised tree seedling planting in Brazil. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 81(3), 281-284. DOI: 10.2989/2070262 0.2019.1615225.

Lana, Â.M.Q., Lana, R.M.Q., Lemes, E.M., Reis, G.L., Moreira, G.H.F.A. (2018). Influence of native or exotic trees on soil fertility in decades of silvopastoral system at the Brazilian savannah biome. *Agroforestry Systems*, 92(2), 415-424. DOI: doi.org/10.1007/s10457-016-9998-8.

Lake, E. C., David, A. S., Spencer, T. M., Wilhelm Jr, V. L., Barnett, T. W., Abdel-Kader, A. A., Cortes, A.C., Acuna, A., Mattison, E.D., Minter, C. R. (2020). First drone releases of the biological control agent *Neomusotima conspurcatalis* on Old World climbing fern. *Biocontrol Science and Technology*, 1-10. DOI: 10.1080/09583157.2020.1828280

Lemos, S.V., Denadai, M.S., Guerra, S.P.S., Esperancini, M.S.T., Bueno, O.D.C., Takitane, I.C. (2014). Economic efficiency of two baling systems for sugarcane straw. *Industrial Crops and Products*, 55, 97-101. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.02.010.

Mafia, R.G., Loureiro, E.B., Silva, J.B., Simões, J.A.C., Zarpelon, T.G., Junior, N.B., Damacena, M.B.A. (2018). New light trap model as an alternative for controlling pests in eucalyptus plantations. *Neotropical Entomology*, 47(2), 326-328. DOI: 10.1007/s13744-017-0541-z.

Martello, F., Bello, F., Castro-Morini, M.S., Silva, R.R., Souza-Campana, D.R., Ribeiro, M.C., Carmona, C.P. (2018). Homogenization and impoverishment of taxonomic and functional diversity of ants in Eucalyptus plantations. *Scientific Reports*, 8(1), 3266. DOI: 10.1038/s41598-018-20823-1.

Mason, P.G., Brodeur, J. (2013). Access and benefit-sharing and biological control, pp. 6-11 In Mason PG, Huber JT [eds.], *Biological Control Programmes in Canada, 2001–2012*, CAB International, New York, USA.

Morley, C. G., Broadley, J., Hartley, R., Herries, D., MacMorran, D., McLean, I. G. (2017). The potential of using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for precision pest control of possums (*Trichosurus vulpecula*). *Rethinking Ecology*, 3, 27-40. DOI: 10.3897/rethinkingecology.2.14821.

Parra, J.R.P., Botelho, B.S., Corrêa-Ferreira, J.M.S., Bento, J.M.S. (2002). Controle biológico: Uma visão inter e multidisciplinar, pp. 125–142. In Parra JRP, Botelho PSM, Botelho BS, Bento JMS [eds.], *Controle biológico no Brasil-parasitóides e predadores*. Ed. Manole, Piracicaba, São Paulo, Brasil. 609p.

Parra, J.R.P. (2007). *Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico*. 6ª ed. Piracicaba: ESALQ/FEALQ. 137p.

Parra, J.R.P. (2006). A prática do controle biológico de pragas no Brasil, pp. 11–24 In Pinto AS, Nava DE, Rossi, MM, Malerbo-Souza DT [eds.], *Controle biológico de pragas na prática*. Piracicaba, ESALQ/USP, São Paulo, Brasil, 287p.

Panek, J., Fellers, C., Haraldsson, T. (2004). Principles of evaluation for the creep of paperboard in constant and cyclic humidity. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 19(2): 155-163. DOI: 10.3183/npprj-2004-19-02-p155-163.

Pedrazzoli, D.S., Carvalho, D.R. (2006). Comercialização de *Trichogramma* no Brasil, pp. 241-246 In: Pinto AS, Nava DE, Rossi, MM, Malerbo-Souza DT [eds.], *Controle biológico de pragas na prática*. Piracicaba, ESALQ/USP, São Paulo, Brasil, 287 p.

Pereira, F.F., Zanuncio, T.V., Zanuncio, J.C., Pratissoli, D., Tavares, M.T. (2008). Species of Lepidoptera defoliators of *Eucalyptus* as new host for the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). *Brazilian Archives of Biology Technology*, 51, 259-262. DOI: 10.1590/S1516-89132008000200004.

Pimenta, L., Ferreira, M.A., Ribeiro, P.M., Zacaroni, L.M., Mafia, R.G., Resende, M.L.V. (2017). Physiological responses of *Eucalyptus* spp. hybrids to infection by *Ceratocystis fimbriata*. *Forest Pathology*, 47(4), 1-10. DOI: 10.1111/efp.1.

Pinto, A.S., Parra, J.R.P. (2002). Liberações de inimigos naturais, pp. 325-342: in Parra JRP, Botelho PSM, Corrêa-Ferreira, BS, Bento JMS. 2002. *Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores*. Piracicaba: Manole, São Paulo, Brasil. 609 p.

Roldán-Gómez, J. J., González-Gironda, E., Barrientos, A. (2021). A Survey on Robotic Technologies for Forest Firefighting: Applying Drone Swarms to Improve Firefighters' Efficiency and Safety. *Applied Sciences*, 11(1), 363. DOI: 10.3390/app11010363.

Suguituru, S.S., Silva, R.R., Souza, D.R.D., Munhae, C.D.B, Morini, M.S.D.C. (2011). Ant community richness and composition across a gradient from *Eucalyptus* plantations to secondary Atlantic Forest. *Biota Neotropica*, 11(1), 369-376. DOI: 10.1590/S1676-06032011000100034.

Steck, K. (2012). Just follow your nose: homing by olfactory cues in ants. *Current Opinion in Neurobiology*, 22(2), 231-235. DOI: 10.1016/j.conb.2011.10.011.

Tavares, W.S., Mielke, O.H.H., Wilcken, C.F., Simon, L., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. (2012a). *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing pupae of *Citioica anthonilis* (Lepidoptera: Saturniidae) collected on *Piptadenia gonoacantha* (Fabaceae). *The Journal of the Lepidopterists' Society*, 66(4), 216-220. DOI: 10.18473/lepi.v66i4.a5.

Tavares, W.S., Zanuncio, T.V., Hansson, C., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. (2012b). Emergence of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) from pupae of *Thagona tibialis* (Lepidoptera: Lymantriidae) collected in the medicinal plant *Terminalia catappa* (Combretaceae). *Entomological News*, 122(3), 250-256. DOI: 10.3157/021.122.0306.

Tavares, W.S., Hansson, C., Mielke, O.H., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. (2013). Parasitism of *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 on pupae of *Methona themisto* (Hübner,[1818]) reared on two hosts (Lepidoptera: Nymphalidae, Hymenoptera: Eulophidae). *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 41(161), 43-48.

Tavares, W.S., Masson, M.V., Ferreira-Filho, P.J., Barbosa, L.R., Silva, W.M., Wilcken, C.F., Zanuncio, J.C. (2018). Parasitism of lepidopteran defoliators of urban plants by *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). *Florida Entomologist*, 101(3), 453-457. DOI: 10.1653/024.101.0302.

van Driesche, R.M., Hoddle, T. (2008). Control of pests and weeds by natural enemies: An introduction to biological control. *Blackwell Publishing*, Oxford, UK. 473 p.

Vinha, F.B., Rodrigues, L.R., Pinto, A.D.S. (2019a). Use of repellents in *Cotesia flavipes* (Cam.) (Hymenoptera: Braconidae) pupae for aerial release. *Nucleus*, 16(1), 347-352. DOI: 10.3738/1982.2278.3548.

Vinha, F.B., Passoni, E.D., Pinto, A.S. (2019b). Rate of natural predation of *Anagasta kuehniella* eggs at different plant compositions. *Nucleus* 16(2): 291-298. DOI: 10.3738/1982.2278.3606.

Zaché B, Costa RR, Zanuncio JC, Wilcken CF. 2013. *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing pupae of *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae). Florida Entomologist 96(3): 1207-1208. DOI: 10.1653/024.096.0369.

Yanoviak SP, Dudley R, Kaspari M. 2005. Directed aerial descent in canopy ants. Nature 433(7026): 624-626. DOI: 10.1038/nature03254.

Yang X, Li D, MCgrouther, K, Long W, Li Y, Chen Y, Wang H. 2017. Effect of Eucalyptus forests on understory vegetation and soil quality. Journal of Soils and Sediments (17): 1-7. DOI: 10.1007/s11368-016-1431-4.

CAPÍTULO III

Dispersão e distribuição de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) liberado em diferentes densidades em plantações de *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae) ³

RESUMO

Cultivos florestais com *Eucalyptus* L'Hér. (Myrtaceae) são destaques na economia mundial, mas fatores bióticos como lagartas (Lepidoptera) desfolhadoras podem reduzir a produtividade dos mesmos. O controle biológico com insetos parasitoides, como *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae), liberados, manualmente, no campo sem um número definido é um dos métodos atuais utilizados no manejo integrado dessas pragas. O objetivo foi determinar a dispersão e a distribuição de indivíduos de *P. elaeisis*, liberados, manualmente, em cultivos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake com números definidos, baseadas na captura, desse parasitoide, em armadilhas adesivas amarelas. Doze parcelas, com armadilhas a 0, 57, 75 e 114 m de distância do ponto central de liberação, foram instaladas. Os tratamentos foram representados pela liberação de zero, dois mil, seis mil e 18 mil adultos de *P. elaeisis* por parcela e a avaliação feita após sete dias. Os dados foram submetidos à análise de variância depois de submetidos a testes de normalidades dos resíduos e as médias comparadas por teste de médias. Um mapa interpolado populacional foi gerado por krigagem utilizando as coordenadas das armadilhas georreferenciadas. A porcentagem de parasitoides, coletada nos tratamentos, foi menor com dois mil ($31 \pm 3\%$) e semelhante entre seis mil ($60 \pm 9\%$) e 18 mil ($64 \pm 7\%$). O número de machos e fêmeas capturados, por armadilha, foi semelhante, $1,5 \pm 0,5$; $3,5 \pm 1,3$ e $3,8 \pm 1,6$ e de $4,0 \pm 1,3$; $8,3 \pm 1,3$ e $9,5 \pm 2,2$ nos tratamentos com dois mil, seis mil e 18 mil parasitoides, respectivamente. O total de parasitoides coletados foi maior no tratamento com 18 mil liberados ($13,3 \pm 2,3$), que nos com seis mil ($11,5 \pm 2,2$) e dois mil ($5,5 \pm 1,0$). A relação entre parasitoides liberados e capturados seguiu padrão semelhante com $0,7 \pm 0,2$; $0,6 \pm 0,2$ e $0,3 \pm 0,1$ indivíduos por armadilha nos tratamentos com 18 mil, seis mil e dois mil parasitoides liberados, respectivamente. Adultos machos e fêmeas foram capturados na distância máxima avaliada (114 m). O mapa interpolado populacional evidencia tendência de aumento no número de adultos de *P. elaeisis* com a distância do ponto central de liberação. A distribuição nas parcelas, desse parasitoide, foi melhor com a liberação de seis mil e 18 mil indivíduos. A dispersão de *P. elaeisis* em cultivos de *E. urophylla* atingiu a distância máxima avaliada, indicando que esse parasitoide pode ter se dispersado por distâncias, ainda, maiores.

Palavras-chave: controle biológico, liberação de parasitoides, manejo de pragas, monitoramento, parasitoide de pupa

³ Capítulo redigido nas normas do periódico Journal of Economic Entomology. Normas disponível em https://academic.oup.com/jee/pages/Manuscript_Preparation#Article%20Types.

ABSTRACT

Forest plantations with *Eucalyptus* L'Hér. (Myrtaceae) are prominent in the world economy, but biotic factors such as defoliating caterpillars (Lepidoptera) can reduce their productivity. Biological control with parasitoid insects, such as *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae), released manually into the field without a defined number is one of the current methods used in the integrated management of these pests. The objective was to determine the dispersion and distribution of *P. elaeisis*, manually released, in *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake with defined numbers based on the capture of this parasitoid in yellow sticky traps. Twelve plots, with traps at 0, 57, 75 and 114 m away from the central release point, were installed. The treatments were represented by the release of zero, two thousand, six thousand and 18 thousand adults of *P. elaeisis* per plot and the evaluation made after seven days. The data were submitted to analysis of variance after being submitted to normality tests of the residuals and the means compared by means test. An interpolated population map was generated by kriging using the coordinates of the georeferenced traps. The percentage of parasitoids collected in the treatments was lower with two thousand ($31 \pm 3\%$) and similar between six thousand ($60 \pm 9\%$) and 18 thousand ($64 \pm 7\%$). The number of males and females captured, per trap, was similar, 1.5 ± 0.5 ; 3.5 ± 1.3 and 3.8 ± 1.6 and 4.0 ± 1.3 ; 8.3 ± 1.3 and 9.5 ± 2.2 in treatments with two thousand, six thousand and 18 thousand parasitoids, respectively. The total number of parasitoids collected was greater in the treatment with 18 thousand released (13.3 ± 2.3), than in those with six thousand (11.5 ± 2.2) and two thousand (5.5 ± 1.0). The relationship between released and captured parasitoids followed a similar pattern with 0.7 ± 0.2 ; 0.6 ± 0.2 and 0.3 ± 0.1 individuals per trap in treatments with 18 thousand, six thousand and two thousand released parasitoids, respectively. Male and female adults were captured at the maximum distance assessed (114 m). The interpolated population map shows an increasing trend in the number of *P. elaeisis* adults with the distance from the central point of release. The distribution in the parcels of this parasitoid was better with the release of six thousand and 18 thousand individuals. The dispersion of *P. elaeisis* in *E. urophylla* crops reached the maximum distance evaluated, indicating that this parasitoid may have dispersed for even greater distances.

Keywords: Biological control, pupal parasitoids, parasitoid release

3.1 Introdução

Indústrias de celulose, papel, polpa e viscosa são importantes na economia mundial, o que tem incentivado a expansão do cultivo de *Eucalyptus* L'Hér. (Myrtaceae) (Pighinelli et al., 2018). O rápido crescimento, adaptabilidade a diferentes tipos de solo e condições climáticas e madeira de qualidade para uso múltiplo tornaram plantas de *Eucalyptus* entre as mais cultivadas no mundo (Zhu et al., 2020; Smethurst et al., 2020). Essa planta é nativa das áreas secas com altitude elevada e solos pobres em nutrientes das ilhas da Indonésia e Timor e o hospedeiro primário de diversas pragas (Kkadan et al., 2020). No Brasil, a área plantada com *Eucalyptus* atingiu 6,97 milhões de hectares para atender a demanda dos mercados nacionais e internacionais (Indústria Brasileira de Árvores, 2020), aumentando a necessidade de se evitar danos nas mesmas, como por lagartas (Lepidoptera) desfolhadoras (Camilo et al., 2016).

A distribuição e padrões de interações de insetos precisam ser mais bem estudados em monocultivos de *Eucalyptus* (Wingfield et al., 2015). A concentração de alimento e baixas populações de inimigos naturais facilitam insetos de determinados grupos atingirem status de praga (Cunningham et al., 2005). Avaliações de associações entre lagartas desfolhadoras, pragas chave em cultivos de *Eucalyptus*, e seus parasitoides são importantes (Avalos et al., 2020). Lepidoptera desfolhadores em cultivos de *Eucalyptus* são controlados com inseticidas sintéticos de diferentes modos de ação e biológicos a base de bactérias e fungos entomopatogênicos (Mansfield et al., 2006), além de vespas (Hymenoptera) parasitoides (Barbosa et al., 2016).

O controle biológico com macrorganismos é utilizado no manejo integrado de pragas (MIP) em cultivos de *Eucalyptus*, de forma clássica, com a importação de inimigos naturais de pragas introduzidas, ou aplicado, com a multiplicação de

parasitoides e/ou predadores em laboratório e liberação em áreas com pragas (Bale et al., 2008). No Brasil, a maioria das empresas florestais utiliza o controle biológico de lagartas desfolhadoras, como uma ferramenta efetiva e sugestão da Forest Stewardship Council (FSC), pois as pragas podem ocorrer durante todo o ano e devem ser controladas, ao início do surto, de acordo com os níveis de dano (Zanuncio et al., 2014).

Insetos parasitoides regulam populações de pragas (Tavares et al., 2014) e podem ser multiplicados com qualidade, eficiência de parasitismo e baixo custo para liberação massal (Ullah et al., 2021). O parasitoide *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae) está distribuído na maior parte da região Neotropical. Esse inimigo natural foi recuperado, em diferentes regiões do Brasil, de pupas de Lepidoptera desfolhadoras em árvores na arborização urbana, multiplicado em pupas de Coleoptera e Lepidoptera e liberado em programas de controle biológico de pragas agrícolas e florestais (Santos et al., 2013; Tavares et al., 2018; Paes et al., 2019). Adultos de *P. elaeisis* parasitam lepidópteros-praga de interesse florestal como a principal lagarta do eucalipto *Thyrintina arnobia* (Stoll, 1782) (Lepidoptera: Geometridae) (Barbosa et al., 2016), além de *Methona themisto* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Nymphalidae) (Tavares et al., 2013a), *Citioica anthonilis* Herrich-Schaeffer, 1854 (Lepidoptera: Saturniidae) (Tavares et al., 2012a), *Thagona tibialis* Walker, 1855 (Lepidoptera: Lymantriidae) (Tavares et al., 2012b), *Hypsipyra grandella* Zeller, 1848 (Lepidoptera: Pyralidae) (Zaché et al., 2013) e *Sarsina violascens* Herrich-Schäffer, 1856 (Lepidoptera: Lymantriidae) (Zaché et al., 2012).

O número ideal de parasitoides e sua dispersão, após liberados em cultivos de *Eucalyptus*, devem ser conhecidos no controle biológico de Lepidoptera desfolhadores (Pereira et al., 2010a). A definição do raio de dispersão permite se definir o número

ideal de pontos de liberação de parasitoides por área e seu potencial regulador de surtos de pragas (Nenzén et al., 2018). O número ideal de *P. elaeisis*, liberado em cultivos de *Eucalyptus*, precisa ser conhecido, o que pode ser feito com a captura de indivíduos desse inimigo natural em armadilhas adesivas amarelas, utilizadas no monitoramento de diferentes insetos em cultivos de *Eucalyptus* como o percevejo bronzeado, *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Hemiptera: Thaumastocoridae) (Wilcken et al., 2010), psilídeo-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* Moore, 1964 (Hemiptera: Aphalaridae) e seu parasitoide *Psyllaephagus bliteus* Riek, 1962 (Hymenoptera: Encyrtidae) (da Silva et al., 2013; Ferreira-Filho et al., 2017) e as vespas-de-galha *Ophelimus eucalypti* Gahan, 1922 e *Ophelimus maskelli* Ashmead, 1900 e seu parasitoide *Closterocerus chamaeleon* Girault, 1922 (Hymenoptera: Eulophidae) (Sinulingga et al., 2021). A dispersão e a distribuição de *P. elaeisis* em plantios de *Eucalyptus* podem ser avaliadas com a coleta desse inimigo natural em armadilhas adesivas amarelas. O objetivo desta pesquisa foi determinar a dispersão e a distribuição, utilizando-se armadilhas adesivas amarelas, de *P. elaeisis* liberado em cultivos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no Brasil.

3.2 Material e métodos

3.3 Área experimental

A pesquisa foi conduzida em área da empresa florestal Bracell Ltda. em Alagoinhas, Bahia, Brasil, em novembro de 2019 em plantação clonal de *E. urophylla*. A escolha dos talhões foi baseada por fotografias aéreas e visita de campo, e selecionados aqueles com dossel fechado por árvores de *E. urophylla* indicando sanidade das árvores, relevo plano, ausência ou presença moderada de vegetação daninha e sem a soltura de parasitoides de pupas nos seis meses anteriores. Os

talhões selecionados tinham aproximadamente quatro anos de idade, em duplicata (dois talhões selecionados por Projeto), nos talhões 20 e 21 do Projeto distanciados em 600 m um do outro e de 888 m de distância dos talhões 18 e 19 do Projeto B. As áreas dos talhões 20, 21, 18 e 19 eram de 20,93; 18,67; 19,71 e 24,53 hectares respectivamente. Como critério de seleção de alocação de parcelas dentro dos talhões, Três parcelas alocadas aleatoriamente via Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e GPS (Global Positioning System) em cada talhão com dimensão de 150 por 150 m (2,25 ha) em cada talhão. Ao todo, foram instaladas 12 parcelas com distância média de 327 metros entre si para contemplar o experimento (Figura 1).

Na área amostral definida como tratamento controle, treze pontos (= galhos das árvores de *E. urophylla*) foram marcados de forma equidistantes e um ponto central com auxílio de com um GPS e fita colorida, compondo uma parcela com área de 50 x 50 m entre o Projeto A e Projeto B como controle. Entre cada ponto amostral para instalação das armadilhas foi considerado a distância de 12,5 metros Armadilhas amarelas (12 x 12 cm) (BioControle®; Indaiatuba, São Paulo, Brasil), adesivas nas duas faces, foram fixadas a 1,3 m de altura à com distância de de cada um desses pontos (Figura 1). A área na qual o ponto entre o Projeto A e Projeto B foi delimitado como controle não recebeu liberação de parasitoides. A área experimental total foi de 27,25 ha com 13 parcelas de avaliação e uma do tratamento controle.

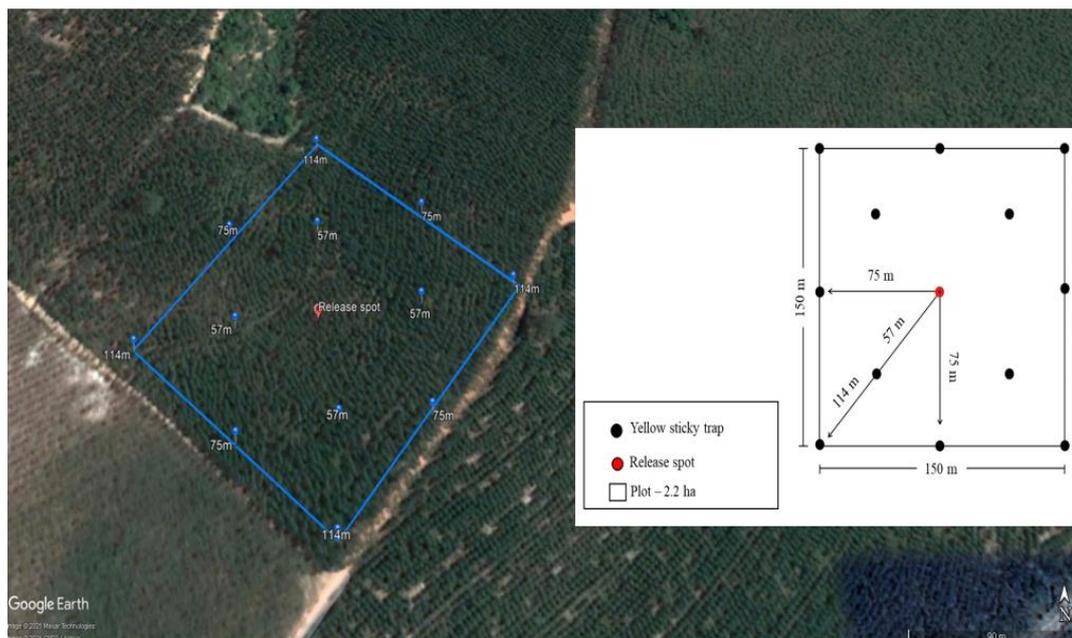


Figura 1. Esquema de instalação de armadilhas adesivas amarelas em diferentes distâncias (57, 75 e 114 m) do ponto central de liberação do parasitoide *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) em uma parcela em plantação de *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae). Alagoinhas, BA, 2019.

3.4 Dados meteorológicos

Os dados de precipitação pluviométrica (mm) foram obtidos na estação meteorológica da empresa, instalada à aproximadamente 17 km das áreas experimentais, e os de temperaturas máxima, mínima e média na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil.

3.5 Multiplicação dos insetos e preparo dos tratamentos

Os hospedeiros alternativos e parasitoides foram oriundos da criação estoque da empresa em Alagoinhas, onde tem sido criados por cerca de 12 anos com coleta no campo e introdução de novos indivíduos a cada seis meses. Esses insetos são

multiplicados em condições ambientais controladas a 26 ± 2 °C, $65 \pm 10\%$ RH e 12:12 (L:D) h de fotoperíodo em pupas de *Tenebrio molitor* L., 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) (Tavares et al., 2018). A emergência (%), progênie por pupa, largura do corpo (mm), longevidade de machos e fêmeas (dias) e razão sexual de *P. elaeisis* são adequadas com esse hospedeiro (Pereira et al., 2010b).

Um total estimado de 2000, 6000 e 18000 adultos de *P. elaeisis* (machos e fêmeas), com cerca de dois dias de idade, foi liberado no ponto central de cada parcela de acordo com o tratamento, com quatro repetições de forma casualizada nos Projetos A e B (Tabela 1). As doses utilizadas foram baseadas nas recomendações da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, portaria 363 de 14 de Julho de 2021 onde recomendou de acordo com critérios técnicos as dosagens de 1.280, 7.560 e 15.800 de *P. elaeisis* no controle da maior lagarta desfolhadora do eucalipto *Thyrinteina arnobia*.

Tabela 1. Tratamentos, números de adultos do parasitoide *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) liberado por parcela de 2,25 ha de plantio de *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae), número de repetições e área total das parcelas (ha).

Tratamentos	Parasitoides/parcela	Repetições	Área total das parcelas (ha)
Controle	0	1	0,25
T1	2000	4	9,0
T2	6000	4	9,0
T3	18000	4	9,0

A estimativa do número de parasitoides, emergido por pupa de *T. molitor*, foi obtido por grupo de cinco pupas desse hospedeiro parasitadas por esse inimigo

natural e utilizado para se ajustar os números de pupas hospedeiras por tratamento. O número médio (\pm erro padrão) de indivíduos de *P. elaeisis*, emergidos, por pupa de *T. molitor* foi de 194 ± 20 adultos.

O número de pupas, baseado no número de parasitoides a emergirem em condições de laboratório, foi separado por tratamento em potes de acrílico com capacidade de 500 mL. Esses potes foram identificados de acordo com o número de pupas e a parcela e mantidos em condições controladas a 26 ± 2 °C, $65 \pm 10\%$ RH e 12:12 (L:D) h de fotoperíodo, em laboratório, até a emergência dos adultos do parasitoide, os quais foram alimentados com mel puro oferecido em forma de gotículas colocadas na borda interna dos potes.

3.6 Instalação das armadilhas

O experimento foi estabelecido em parcelas no campo e as distâncias das armadilhas ao centro de cada parcela, onde os parasitoides foram liberados, foram 57, 75 e 114 (Figura 1).

Um total de 166 armadilhas adesivas (de medidas de 12×12 cm), instaladas de modo recomendado para o monitoramento de insetos em plantios de *Eucalyptus* no campo (Wilcken et al., 2010; da Silva et al., 2013; Ferreira-Filho et al., 2017; Sunulingga et al., 2021), foi utilizado. Um pedaço de arame galvanizado foi colocado em orifício de 1,5 mm de diâmetro, no centro superior da armadilha, para fixar cada uma aos galhos das árvores. Parasitoides adultos, previamente, separados em potes de 500 mL foram liberados no centro de cada parcela, delimitada no campo, a 1,5 m de altura em potes abertos deixados em posição vertical e fixados em um ramo. Chuva foi ausente durante a liberação. Essa altura foi adequada para liberação de *P. elaeisis* no controle biológico de *Hylesia nanus* Walker, 1855 (Lepidoptera: Saturniidae) em

plantios de *E. urophylla* e *Eucalyptus grandis* W. Hill × *E. urophylla* com cinco anos de idade em Alagoinhas (Masson et al., 2017).

As armadilhas foram deixadas no campo por sete dias após a liberação dos parasitoides e recolhidas e identificadas em relação ao ponto, tratamento e repetição uma única vez. A presença e o número de indivíduos de *P. elaeisis* em cada armadilha foram determinados, em laboratório, com as mesmas observadas sob microscópio estereoscópio LEICA® na cidade de Alagoinhas-BA, Brasil. A identificação taxonômica, desse parasitoide, foi baseada na comparação dos aspectos morfológicos externos do corpo com adultos machos e fêmeas fixados em cartões adesivos de monitoramentos anteriores e na literatura (Delvare and LaSalle, 1993; Zanuncio et al., 2008). Os números de adultos machos e fêmeas nas armadilhas adesivas foram utilizados para analisar a dispersão de acordo com o sexo, de *P. elaeisis*, por tratamento. Os dados do total de indivíduos por sexo, densidade de liberação e dispersão, em relação às distâncias (0, 57, 75 e 114 metros), gerou dados sobre os pontos de captura total de indivíduos desse inimigo natural por tratamento que foram apresentados em gráfico.

3.7 Variáveis avaliadas, dados meteorológicos e análise de dados

O número de machos e fêmeas e o total de indivíduos (machos + fêmeas) coletados por distância, a relação entre a porcentagem do número de parasitoides coletados e do total liberado e a distribuição espacial desse inimigo natural foram avaliados. A relação entre a porcentagem do número de insetos capturados e do total liberado por área foi obtida com a equação: (número de indivíduos nas armadilhas / número total de armadilhas da parcela) × 100.

As informações meteorológicas de pluviosidade (mm) e os de temperaturas máxima, mínima e média (°C) foram tabulados e organizados em planilha eletrônica. As observações das variáveis avaliadas foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk para normalidades dos resíduos (Shapiro and Wilk, 1965) e à análise de variância (one-way ANOVA) e, em casos de diferença entre médias, comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tukey, 1949). Um mapa gráfico populacional interpolado por krigagem no software Surfer® 18 (Golden Software, LLC, 1985), para confecção de outros interpolados com o número de classes variando com o total de parasitoides coletado por parcela, foi obtido. Outro mapa, considerando as latitudes e longitudes como eixos x e y e a variável resposta Z como o número de insetos coletados por armadilha, foi elaborado para se observar o efeito dos tratamentos.

3.8 Resultados e discussão

3.9 Dados meteorológicos

As temperaturas máximas e mínimas e a pluviosidade variaram durante o experimento. A temperatura média durante os sete dias do experimento em campo foi de $26 \pm 1,6$ °C, com pico de máximas e mínimas de 35 e de 22 °C, respectivamente. A temperatura mínima não variou acentuadamente durante o período da permanência das armadilhas em campo, mas o pico das máximas foi de 35 °C no terceiro dia após chuva nos dias 4 e 5 da coleta, com maior volume de chuva no sexto dia (31 mm) (Figura 2).

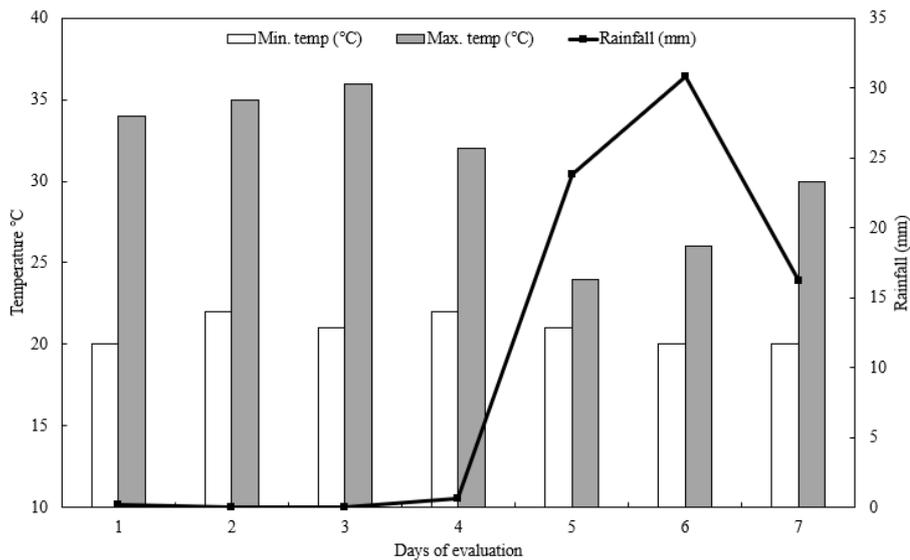


Figura 2. Temperaturas mínima (Min. temp.) e máxima (Max. temp.) (°C) e pluviosidade (mm) em plantio de *Eucalyptus urophylla* durante a execução do experimento. Alagoinhas, BA, 2019.

A avaliação das temperaturas e precipitação é importante para programas de controle biológico. Inimigos naturais não devem ser liberados sob alta temperatura e chuva, uma vez que o calor pode causar desidratação e o impacto das gotas sobre o corpo levar à morte desses insetos, como relatado para o dano da água de irrigação em cartões com ovos da traça do arroz, *Corcyra cephalonica* Stainton, 1866 (Lepidoptera: Pyralidae) parasitados por *Trichogramma* instalados em viveiro de mudas de *Eucalyptus* (Khan et al., 2020). Por outro lado, chuvas pouco intensas após a liberação podem ser benéficas como fonte de umidade aos parasitoides (Sinulingga et al., 2021). Cartelas adesivas devem apresentar adequada qualidade, uma vez que altas temperaturas associado com umidade relativa pode causar o derretimento da cola, o que reduziria o potencial de captura das mesmas (Davidson et al., 2015).

3.10 Recuperação de *Palmistichus elaeisis* nas armadilhas adesivas

Palmistichus elaeisis foi capturado na maioria das armadilhas adesivas, exceto nas do tratamento controle, o que aceita a hipótese de que as mesmas atraem e coletam esse parasitoide quando liberados no campo, sendo importante para o monitoramento populacional do mesmo.

A captura de *P. elaeisis* nas armadilhas adesivas é fato que resulta no aceite da hipótese de que as mesmas atraem e coletam esse parasitoide. Essas armadilhas devem ser combinadas com as luminosas no campo para captura de seus Lepidoptera hospedeiros (Zanuncio et al., 2016) e os dados de monitoramento serem congregados e analisados em atividades de rotina em empresas florestais (Ribeiro et al., 2016). A introdução de novas espécies e a adaptação de espécies nativas de insetos aos cultivos comerciais, atingindo status de praga tem demandado estudos de monitoramento para aquelas ainda pouco conhecidas. O potencial de atração e captura das armadilhas deve ser verificado por espécie de inseto (Mafia et al., 2018). Uma série de insetos Eulophidae foi relatada com potencial de serem monitoradas com armadilhas adesivas amarelas em cultivos de *Eucalyptus*, o que torna importante o uso de mesma armadilha para monitoramento de diferentes espécies em mesma área (Nadel et al., 2015; Ferreira-Filho et al., 2017; Sunulingga et al., 2021).

A porcentagem de armadilhas com indivíduos de *P. elaeisis* capturados variou entre tratamentos ($p= 0,014$) com maior valor naquelas instaladas em áreas com seis mil e 18 mil parasitoides liberados que com dois mil e no controle, que foi zero (Tabela 2).

Tabela 2. Frequência (%) de armadilhas contendo pelo menos um inseto capturado (AIC), número de machos (NM), fêmeas (NF) e total capturado (machos + fêmeas) (NTC), e relação entre o número de parasitoides coletados e liberados por parcela (PC/PL) (%) do parasitoide *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) em diferentes densidades em plantio clonal de *E. urophylla*. Alagoinhas, BA, Novembro de 2019.

Tratamentos	AIC (%)	NM	NF	NTC	PC/PL (%)
Controle	00,00±0,00	00,00±0,00	00,00±0,00	00,00±0,00	00,00±0,00
2 mil/parcela	30,77±3,14b	1,50±0,50a	4,00±1,29a	05,50±0,96b	0,26±0,09b
6 mil/parcela	59,62±8,53a	3,50±1,30a	8,25±1,25a	11,50±2,22ab	0,57±0,22ab
18 mil/parcela	63,47±7,28a	3,75±1,55a	9,50±2,18a	13,25±2,29a	0,66±0,23a
<i>p</i> value	0,014	0,420	0,093	0,045	0,038

Médias, seguidas de mesma letra por coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% (Tukey, 1949).

O maior número de indivíduos de *P. elaeisis* coletado nas armadilhas adesivas com a liberação de seis mil e 18 mil parasitoides confirma o relato de maiores números de parasitoides coletados em áreas com maiores liberações. Isto pode indicar que o número de parasitoides liberados foi adequado ou que poderia ser maior que 18 mil, uma vez que áreas liberadas com excesso de parasitoides de ovos *Trichogramma* tiveram número de parasitoides capturados e parasitismo reduzidos, devido à competição entre indivíduos da mesma espécie por ovos do hospedeiro (Chailleux et al., 2013). No entanto, diversos fatores isolados ou em combinação podem afetar o número de indivíduos de parasitoides capturados em armadilhas adesivas como o ambiente, condições meteorológicas (chuva, direção e velocidade do vento e

temperatura), período de coleta, altura de instalação, tamanho e tipo de armadilhas, dispersão do parasitoide, etc. (Louâpre et al., 2019). O monitoramento com armadilhas adesivas deve ser estudado por espécie de inseto e requerimento do programa de controle biológico (Vastrad et al., 2010). O efeito por correntes de ventos pode tornar a distância alcançada às vezes maior que a aptidão da espécie de parasitoide (Cronin et al., 2009). Parasitoides diminutos, como *P. elaeisis*, apresentam agilidade de penetração em fissuras de troncos com pupas hospedeiras, além de orifícios de teias de seda e casulos de lagartas para proteção de suas pupas, como *H. nanus* (Masson et al., 2017). O parasitismo de pupas-sentinela de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae) por *P. elaeisis* em condição de semi-campo foi semelhante nos terços superiores, médios ou inferiores de galhos cobertos por sacos de organza em árvores de *E. grandis* com dois anos de idade (Pereira et al. 2010a). Isto indica que esse parasitoide parasitou ao longo da altura das árvores avaliadas e, portanto, a altura da armadilha adesiva não reduziria o parasitismo e o número de indivíduos capturados.

A relação entre o número de parasitoides coletados e liberados (%) foi maior no tratamento com 18 mil que com dois mil por parcela ($p= 0,038$) (Tabela 2).

A maior relação (%) entre o número de parasitoides coletados e liberados no tratamento com o maior número de parasitoides liberados (18 mil) concorda com o relatado para a coleta do parasitoide de ovos *Gryon gallardoi* Brethes, 1914 (Hymenoptera: Scelionidae) em cultivo de fumo, *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) usando armadilhas adesivas e armadilhas Moericke instaladas à, até, 4,2 m de distância do ponto de liberação. Um total de 91 parasitoides foi recapturado, equivalente a 13,02%, daqueles 699 parasitoides marcados com corante em pó e liberados, em um total de seis experimentos (Canto-Silva et al., 2006). A dispersão do

parasitoide de larvas *Psytalia fletcheri* Silvestri, 1916 (Hymenoptera: Braconidae), com cerca de 288 mil adultos liberados e recuperados com armadilhas adesivas instaladas em distâncias de, até, 40 m do ponto de liberação em cultivo misto de abobrinha, *Curcubita pepo* L., pepino, *Cucumis sativus* L. (Cucurbitaceae) e tomate, *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) infestados por mosca do melão, *Bactrocera curcubitae* Coquillett, 1849 (Diptera: Tephritidae), foi avaliado. Cerca de 85 e 67% das fêmeas e machos, respectivamente foram recapturados à 10 m do ponto de liberação em armadilhas instaladas acima da altura das plantas (Messing et al., 1995).

3.11 Número de machos e fêmeas do parasitoide *Palmistichus elaeisis* capturados por distância da liberação

O total de adultos machos e fêmeas de *P. elaeisis* foi semelhante entre tratamentos e o de indivíduos (machos e fêmeas) maior no tratamento com 18 mil parasitoides liberados ($p= 0,045$) (Tabela 2).

O número semelhante de adultos machos e fêmeas de *P. elaeisis* capturados nas armadilhas adesivas entre tratamentos indica uma maior dispersão de machos desse parasitoide, uma vez que a female-biased sex ratio dessa espécie é de $0,94 \pm 0,01$ (Zanuncio et al., 2008). O número de captura diferiu daquele do parasitoide exótico *Eretmocerus emiratus* Zolnerowich & Rose, 1998 (Hymenoptera: Aphelinidae) e de seu hospedeiro, adultos de mosca-branca, *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) biótipo B, recuperados com armadilhas adesivas amarelas com diferenças no número de insetos capturados entre os cultivos de couve, *Brassica oleracea* L. grupo *acephala* (Brassicaceae), melancia, *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai (Cucurbitaceae), melão, *Cucumis melo* L. e caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae). Adultos de *B. tabaci* foram capturados em maior número na

superfície superior de armadilhas adesivas orientadas horizontalmente em cultivo de *C. melo*. Em contraste, as superfícies inferiores das armadilhas capturaram consistentemente mais adultos de *E. emiratus* do que as superfícies superiores. Adultos fêmeas do parasitoide foram capturados em maior número do que machos, especialmente nas superfícies inferiores da armadilha (Hoelmer e Simmons, 2008).

O maior total de indivíduos (machos e fêmeas) de *P. elaeisis* no tratamento com 18 mil parasitoides liberados pode ter sido devido ao fato da maior probabilidade de recuperação de indivíduos no tratamento de maior liberação.

O número semelhante de indivíduos de *P. elaeisis* capturados nas armadilhas amarelas entre tratamentos é importante, pois indica que ambos os sexos apresentam capacidade de dispersão. A presença de parasitoides de ambos os sexos em mesma área pode aumentar as chances de acasalamento e parasitismo no campo (Tavares et al., 2013b). Esses insetos poderiam ser liberados assim que emergidos e se acasalarem no campo, o que reduziria o tempo gasto em laboratório por um a três dias para acasalamento (Masson et al., 2017). No entanto, o número de indivíduos do besouro, *Canthon acutus* Harold, 1868 (Coleoptera: Scarabaeidae) capturados em uma técnica de marcar-liberar-recapturar diferiu entre sexos. A mobilidade dos adultos machos foi maior que a de suas fêmeas, o que aumentou a possibilidade de os machos liberados acasalarem com fêmeas de campo e determinou o protocolo de amostragem desses insetos com a instalação de uma armadilha no mínimo a cada 100 m (da Silva e Hernández, 2015). Os programas de controle biológico com *P. elaeisis* podem ser, ainda, superior ao esperado, pois melhor dispersão de parasitoides fêmeas aumenta a eficiência desses programas. As fêmeas de parasitoides dispersas a longas distâncias poderiam encontrar o hospedeiro-alvo, mesmo distante do ponto de liberação e realizar a postura para o desenvolvimento de

suas larvas e emergência de adultos. A dispersão desses parasitoides deve ser rápida e com cobertura uniforme da área com o hospedeiro alvo no controle inundativo (Geetha e Balakrishnan, 2011). A cobertura da área tratada com liberação de parasitoides e a dispersão desses insetos são importantes fatores para o controle biológico de lepidópteros em plantios florestais, uma vez que diferentes espécies de lagartas podem ocorrer em uma mesma área. Múltiplas espécies de Lepidoptera em mesmo plantio resulta em presença não sincronizada de pupas dessas pragas (Tavares et al., 2012a, 2012b). Os parasitoides devem apresentar habilidades de dispersão, reconhecimento de pupas e multiplicação no campo. Algumas espécies como *Halysidota* sp. (Lepidoptera: Arctiidae) empupam na superfície do solo (Tavares et al., 2014) e outras espécies no tronco, ramos ou folhas de árvores como *H. nanus* (Masson et al., 2017), o que torna importante a capacidade dos parasitoides de forragearem diferentes áreas do cultivo.

Adultos machos e fêmeas de *P. elaeisis* foram capturados até a maior distância de liberação avaliada (114 m) com aumento do número à medida que a distância do ponto de liberação aumentou em todos os tratamentos, com poucas exceções (Figuras 3A-3B). A dispersão acumulada de *P. elaeisis*, a partir do ponto central de liberação até a distância máxima avaliada, seguiu a mesma tendência daquela de machos e fêmeas desse parasitoide avaliados separadamente (Figura 3C).

O aumento da captura de *P. elaeisis* com a distância do ponto de liberação confirma a capacidade de dispersão desse parasitóide em plantios de *Eucalyptus* e que a distância de instalação da armadilha mais afastada poderia ter sido maior. Por outro lado, a recuperação dos 180 mil indivíduos do parasitoide da cochonilha escama vermelha *Aphytis melinus* DeBach, 1959 (Hymenoptera: Aphelinidae) liberados por parcela (com um total de três parcelas) aos 35 dias após a liberação em pomar de

limão siciliano, *Citrus limon* (L.) Osbeck (Rutaceae) com armadilhas adesivas amarelas ativadas com o feromônio sexual de seu hospedeiro instaladas a 40 m de distância foi menor do que aquelas à 20 m do ponto de liberação. Isto mostra que os pontos de liberação não devem estar separados por mais de 40 m para uma colonização rápida e homogênea da área tratada (Zappalà et al., 2012).

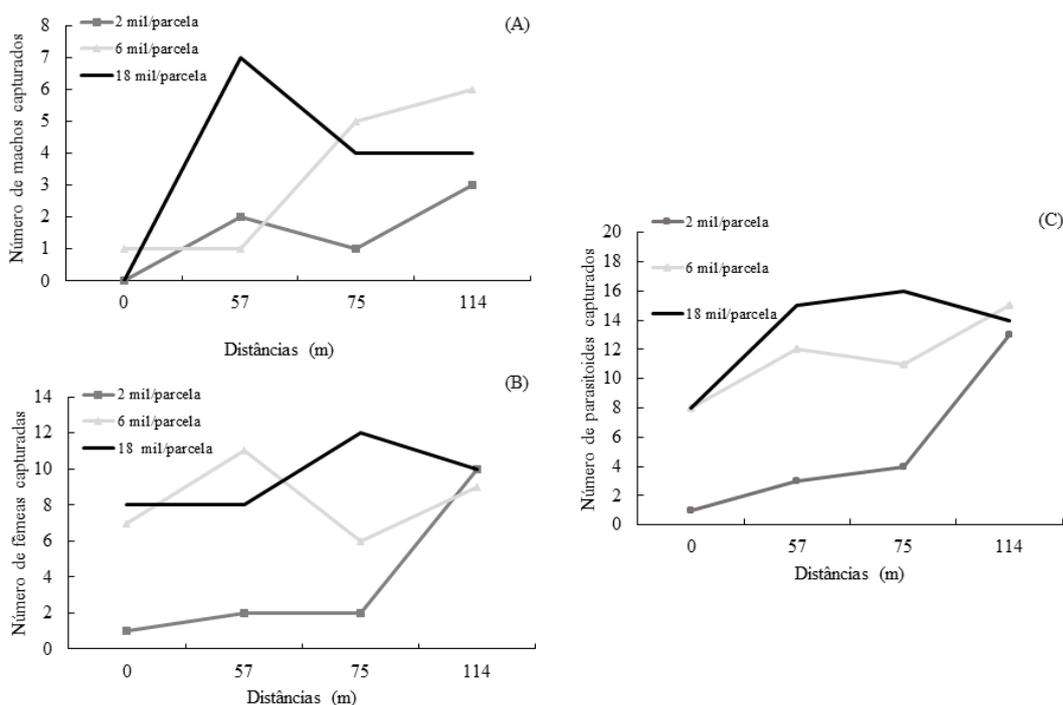


Figura 3. Número de machos (A), fêmeas (B) e total de indivíduos (machos + fêmeas) (C) do parasitoide *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) recuperados em diferentes distâncias do ponto de liberação nas parcelas em cultivo de *Eucalyptus urophylla* com armadilhas adesivas amarelas. Alagoínhas, BA. Novembro de 2019.

O maior número de parasitoides capturado nas armadilhas mais distantes do ponto central pode ter sido devido à dispersão por vento ou ausência do hospedeiro alvo próximo ao local de liberação, o que desencadeou o afastamento desses insetos.

A capacidade de espalhamento de *P. elaeisis* foi maior que a de outros parasitoides como *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), com maior captura nas áreas mais próximas do ponto de liberação em cultivo de uvas de mesa infestados pela mariposa americana da videira, *Lasiothyris luminosa* Razowski & Becker, 1983 (Lepidoptera: Tortricidae), provavelmente, devido à alta infestação da praga próxima aos pontos de liberação ter induzido à baixa dispersão desse parasitoide (da Costa-Lima et al., 2021). No entanto, a capacidade de dispersão de *Trichogramma* depende de sua espécie e do cultivo, com uma menor dispersão de *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen, 1986 em milho de campo do que em milho doce infestados pela broca europeia do milho, *Ostrinia nubilalis* Hübner, 1796 (Lepidoptera: Crambidae), devido à maior densidade, altura de plantas e área foliar do primeiro cultivo, apresentando uma possível restrição na dispersão e eficácia desse parasitoide. A dispersão de *T. ostrinae* foi rápida e extensa no milho de campo, alcançando distâncias de cerca de 175 m em 4–7 dias após a liberação. O padrão de movimento foi difuso, com o maior nível de dispersão ocorrendo aos sete a 10 dias após a liberação e mostrando que um único ponto de liberação por hectare seria suficiente (Gardner et al., 2012). A dispersão desse parasitoide foi, também, rápida em cultivo de milho verde, com alcance de, até, 180 m em seis dias e 230 m em 21 dias com número de adultos capturados em armadilhas adesivas amarelas diminuindo com a distância do ponto de liberação (Wright et al., 2001).

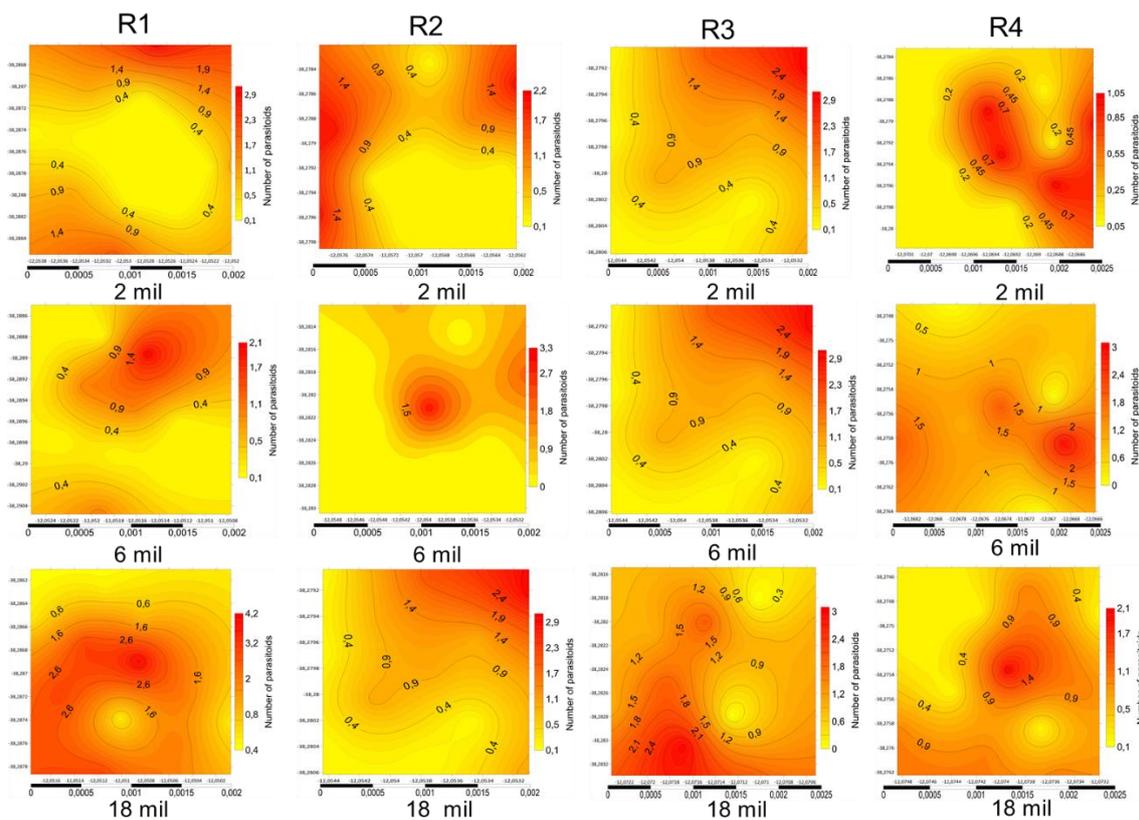


Figura 4. Mapa populacional interpolado por krigagem simples da distribuição espacial de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) liberado em diferentes densidades em plantio de *Eucalyptus urophylla*. Alagoínhas, BA, Novembro de 2019. R= Repetiçáo; dois mil, seis mil e 18 mil parasitoides liberados por parcela.

O número de parasitoides nas armadilhas maior nos tratamentos com seis mil e 18 mil indivíduos liberados resultou na formação de espaços vazios sem parasitoides capturados nas parcelas com dois mil e seis mil indivíduos liberados (Figura 4).

A formação de espaços vazios sem parasitoides capturados nas parcelas com dois mil e seis mil indivíduos liberados pode indicar baixa eficiência dessas densidades para cobertura da área. O padrão de dispersão indicando saturação de parasitoides mostra adaptabilidade de *P. elaeisis* em plantios de *Eucalyptus*. Estudos

de dispersão de parasitoides são importantes para se determinar o número ótimo de pontos de liberação por área e outros parâmetros, como o estudo do raio de dispersão de *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 em cultivo de milho infestado por ovos da broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* F., 1794 (Lepidoptera: Crambidae). Os raios de dispersão de *T. galloi* foi de 11,8 e 12,1 m em plantas V6 (colo da sexta folha visível) e V8 (colo da oitava folha visível), e as áreas de dispersão foram de 176 e 187 m² para os dois estádios fenológicos das plantas, respectivamente. Um total de 58 e 54 pontos de liberação são necessários por hectare para efetuar uma cobertura homogênea da área de liberação por *T. galloi* nos estágios fenológicos V6 e V8 de *Z. mays*, respectivamente (Geremias e Parra, 2014). Além disso, *P. elaeisis* pode ser combinado com a aplicação de inseticidas biológicos sem efeito colateral sobre o mesmo como *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 (Bacillales: Bacillaceae) com eficiência sobre lagartas de primeiros instares (Rolim et al., 2020), uma vez que lagartas e pupas podem estar presentes juntas em mesma área.

Conclusões

Palmistichus elaeisis mostrou potencial de dispersão em plantação de *Eucalyptus urophylla* e as armadilhas adesivas amarelas mostraram viabilidade para amostragem desse parasitoide.

Liberações de seis mil e 18 mil adultos de *P. elaeisis* por hectare são mais adequadas. No entanto, liberações desses parasitoides em densidades acima de 18 mil devem ser, também, testadas.

Adultos machos e fêmeas de *P. elaeisis* foram recapturados em plantio clonal de *E. urophylla*, até 114 m a partir do ponto de liberação, possibilitando a determinação do número de pontos de liberação desse parasitoide.

Agradecimentos

O trabalho recebeu apoio financeiro das seguintes instituições brasileiras: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Código de Financiamento 001) e do Programa Cooperativo de Proteção Florestal (PROTEF) do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF).

Referências

- Avalos, S., E. González, A. Mangeaud, and G. Valladares. 2020.** Caterpillar-parasitoid food webs and biological control in two extensive crops. *Biol. Control* 143: 104184.
- Bale, J. S., J. C. van Lenteren, and F. Bigler. 2008.** Biological control and sustainable food production. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.* 363: 761–776.
- Barbosa, R. H., J. C. Zanuncio, F. F. Pereira, S. O. Kassab, and C. Rossoni. 2016.** Foraging activity of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) at various densities on pupae of the eucalyptus defoliator *Thyrinteina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae). *Fla Entomol.* 99: 686–690.
- Camilo, S. da S., M. A. Soares, G. L. D. Leite, J. B. dos Santos, S. L. de Assis Júnior, and J. C. Zanuncio. 2016.** Do floral resources in *Eucalyptus* plantations affect fitness parameters of the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae)? *Phytoparasitica* 44: 651–659.
- Canto-Silva, C. R., R. Kolberg, H. P. Romanowski, and L. R. Redaelli. 2006.** Dispersal of the egg parasitoid *Gryon gallardoi* (Brethes) (Hymenoptera: Scelionidae) in tobacco crops. *Braz. J. Biol.* 66: 9–17.
- Chailleux, A., A. Biondi, P. Han, E. Tabone, and N. Desneux. 2013.** Suitability of the pest–plant system *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae)–tomato for

Trichogramma (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitoids and insights for biological control. *J. Econ. Entomol.* 106: 2310–2321.

Cronin, J. T. 2009. Habitat edges, within-patch dispersion of hosts, and parasitoid oviposition behavior. *Ecology* 90: 196–207.

Cunningham, S. A., R. B. Floyd, and T. A. Weir. 2005. Do *Eucalyptus* plantations host an insect community similar to remnant *Eucalyptus* forest? *Austral Ecol.* 30: 103–117.

da Costa-Lima, T. C., A. T. P. de Araújo, and A. F. Torris. 2021. Biology and population dynamics of the American vine moth and the potential biocontrol with *Trichogramma pretiosum*. *Neotrop. Entomol.* 50: 470–475.

da Silva, P. G., and M. I. M. Hernández. 2015. Spatial patterns of movement of dung beetle species in a tropical forest suggest a new trap spacing for dung beetle biodiversity studies. *PLoS ONE* 10: e0126112.

da Silva, A. L., O. Peres-Filho, A. Dorval, and C. K. da Cunha e Castro. 2013. Population dynamics of *Glycaspis brimblecombei* and natural enemies in *Eucalyptus* spp. in Cuiaba, State of Mato Grosso, Brazil. *Floresta Ambiente* 20: 80–90.

Davidson, M. M., M.- C. Nielsen, R. C. Butler, R. Vellekoop, S. George, D. Gunawardana, C. A. Muir, and D. A. J. Teulon. 2015. The effect of adhesives and solvents on the capture and specimen quality of pest thrips on coloured traps. *Crop Prot.* 72: 108–111.

Delvare, G., and J. LaSalle. 1993. A new genus of Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae) from the Neotropical Region, with the description of a new species parasitic on key pests of oil palm. *J. Nat. Hist.* 27: 435–444.

- Ferreira-Filho, P. J., C. F. Wilcken, M. V. Masson, W. de S. Tavares, J. C. Guerreiro, J. B. do Carmo, E. P. Prado, and J. C. Zanuncio. 2017.** Influence of temperature and rainfall on the population dynamics of *Glycaspis brimblecombei* and *Psyllaephagus bliteus* in *Eucalyptus camaldulensis* plantations. *Rev. Colomb. Entomol.* 43: 1–6.
- Gardner, J., M. G. Wrigth, T. P. Kuhar, S. A. Pitcher, and M. P. Hoffmann. 2012.** Dispersal of *Trichogramma ostrinae* in field corn. *Biocontrol Sci. Technol.* 22: 1221–1233.
- Geetha, N., and R. Balakrishnan. 2011.** Temporal and spatial dispersal of laboratory-reared *Trichogramma chilonis* Ishii in open field. *J. Entomol.* 8: 164–173.
- Geremias, L. D., and J. R. P. Parra. 2014.** Dispersal of *Trichogramma galloi* in corn for the control of *Diatraea saccharalis*. *Biocontrol Sci. Technol.* 24: 751–762.
- Hoelmer, K. A., and A. M. Simmons. 2008.** Yellow sticky trap catches of parasitoids of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in vegetable crops and their relationship to in-field populations. *Environ. Entomol.* 37: 391–399.
- Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). 2020.** Annual Report 2020. São Paulo-São Paulo, Brazil, 66 p. <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 30 June 2020.
- Khan, S., A., Duran, M. Ikram, N. G. H. B. Sinulingga, W. de S. Tavares, B. A. Sirait, S. K. Kkadan, and M. Tarigan. 2020.** *Trichogramma yousufi* sp. nov. employed for the management of *Spodoptera exigua* and *Spodoptera litura* in Indonesia. *Fla Entomol.* 103: 353–359.
- Kkadan, S. K., H. M. Yeswanth, W. de S. Tavares, I. Pasaribu, J. I. M. Abad, M. Tarigan, A. Duran, W. C. Yong, and M. Sharma. 2020.** Mirid pests of *Eucalyptus*

in Indonesia: Notes on damage symptoms, alternate hosts and parasitoid. *J. Kans. Entomol. Soc.* 92: 577–588.

Louâpre, P., C. Le Lann, and T. Hance. 2019. When parasitoids deal with the spatial distribution of their hosts: Consequences for both partners. *Insect Sci.* 26: 923–931.

Mafia, R. G., E. B. Loureiro, J. B. Silva, J. A. C. Simões, T. G. Zarpelon, N. S. Bezerra Junior, and M. B. Damacena. 2018. A new light trap model as an alternative for controlling pests in *Eucalyptus* plantations. *Neotrop. Entomol.* 47: 326–328.

Mansfield, S., T. M. Withers, S. F. Gous, K. J. B. Potter, D. J. Kriticos, M. C. Watson, and M. O. Kimberley. 2006. Potential of selective insecticides for managing *Uraba lugens* (Lepidoptera: Nolidae) on eucalypts. *J. Econ. Entomol.* 99: 780–789.

Masson, M. V., W. de S. Tavares, D. W. V. Pereira, W. C. Matos, F. A. Lopes, P. J. Ferreira-Filho, C. F. Wilcken, and J. C. Zanuncio. 2017. Management of *Hylesia nanus* (Lepidoptera: Saturniidae) on *Eucalyptus* (Myrtaceae) plantations. *Fla Entomol.* 100 380–384.

Messing, R. H., M. F. Purcell, and L. M. Klungness. 1995. Short range dispersal of mass-reared *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoids of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae). *Environ. Entomol.* 24: 1338–1343.

Nadel, R. L., M. J. Wingfield, M. C. Scholes, J. R. Garnas, S. A. Lawson, and B. Slippers. 2015. Population dynamics of *Thaumastocoris peregrinus* in *Eucalyptus* plantations of South Africa. *J. Pest Sci.* 88: 97–106.

Nenzén, H. K., V. Martel, and D. Gravel. 2018. Can hyperparasitoids cause large-scale outbreaks of insect herbivores? *Oikos* 127: 1344–1354.

- Paes, J. P., V. R. Carvalho, A. R. Souza, C. F. Wilcken, and R. C. Bueno. 2019.** Infection by the microsporidium of Clado *Nosema/Vairimorpha* in pupal parasitoids. *An. Acad. Bras. Cienc.* 91: e20180326.
- Pereira, F. F., J. C. Zanuncio, P. L. Pastori, A. R. P. Pedrosa, and H. N. de Oliveira. 2010a.** Parasitism of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) in alternative host on eucalypt in semi-field. *Rev. Ciênc. Agron.* 41: 715–720.
- Pereira, F. F., J. C. Zanuncio, J. E. Serrão, T. V. Zanuncio, D. Pratisoli, and P. L. Pastori. 2010b.** The density of females of *Palmistichus elaeisis* Delvare and LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) affects their reproductive performance on pupae of *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). *An. Acad. Bras. Cienc.* 82: 323–331.
- Pighinelli, A. L. M. T., M. A. Schaffer, and A. A. Boateng. 2018.** Utilization of eucalyptus for electricity production in Brazil via fast pyrolysis: A techno-economic analysis. *Renew. Energy* 119: 590–597.
- Ribeiro, G. T., J. C. Zanuncio, W. de S. Tavares, F. de S. Ramalho, and J. E. Serrão. 2016.** Constancy, distribution, and frequency of Lepidoptera defoliators of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae) in four Brazilian regions. *Neotrop. Entomol.* 45: 629–636.
- Rolim, G. S., A. Planta-Rueda, L. C. Martinez, G. T. Ribeiro, J. E. Serrão, and J. C. Zanuncio. 2020.** Side effects of *Bacillus thuringiensis* on the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 189: 109978.
- Santos, H. P., U. Zama, H. Dolder, and J. Lino-Neto. 2013.** Sperm morphology of *Trichospilus diatraeae* and *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eulophidae). *Micron* 51: 36–40.

- Shapiro, S. S., and M. B. Wilk. 1965.** An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591–611.
- Sinulingga, N. G. H. B., M. Tarigan, W. de S. Tavares, K. Ansor, I. Pasaribu, S. K. Kkadan, R. A. Panjaitan, K. D. Puspita, J. I. M. Abad, and A. Duran. 2021.** The parasitoid *Closterocerus chamaeleon* has a greater development and survival rate than of its hosts, the Eucalyptus gall wasps *Ophelimus eucalypti* and *Ophelimus maskelli* in Sumatra, Indonesia. *Ann. Appl. Biol.* (in press).
- Smethurst, P. J., R. V. Valadares, N. I. Huth, A. C. Almeida, E. F. Elli, and J. C. L. Neves. 2020.** Generalized model for plantation production of *Eucalyptus grandis* and hybrids for genotype-site-management applications. *For. Ecol. Manag.* 469: 118164.
- Surfer® 18. 1985.** Golden Software, LLC. Available from <https://www.goldensoftware.com/>
- Tavares, W. S., C. Hansson, O. H. H. Mielke, J. E. Serrão, and J. C. Zanuncio. 2013a.** Parasitism of *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 on pupae of *Methona themisto* (Hübner, [1818]) reared on two hosts (Lepidoptera: Nymphalidae, Hymenoptera: Eulophidae). *SHILAP Revta. Lepid.* 41: 43–48.
- Tavares, W. de S., T. V. Zanuncio, C. Hansson, J. E. Serrão, and J. C. Zanuncio. 2012b.** Emergence of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) from pupae of *Thagana tibialis* (Lepidoptera: Lymantriidae) collected in the medicinal plant *Terminalia catappa* (Combretaceae). *Entomol. News* 122: 250–256.
- Tavares, W. de S., O. H. H. Mielke, C. F. Wilcken, L. Simon, J. E. Serrão, and J. C. Zanuncio. 2012a.** *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing pupae of *Citioica anthonilis* (Lepidoptera: Saturniidae) collected on *Piptadenia gonoacantha* (Fabaceae). *J. Lepid. Soc.* 66: 216–220.

- Tavares, W. de S., E. Nunez, J. E. Serrão, M. A. Soares, C. F. Wilcken, and J. C. Zanuncio. 2014.** *Belvosia* sp. (Diptera: Tachinidae) parasitizing *Halysidota* sp. (Lepidoptera: Arctiidae) caterpillars on *Ficus benjamina* (Moraceae) in Brazil. *Fla Entomol.* 97: 272–276.
- Tavares, W. de S., M. A. Soares, O. H. H. Mielke, J. C. Poderoso, J. E. Serrão, and J. C. Zanuncio. 2013b.** Emergence of *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae) from pupae of *Heraclides anchisiades capys* (Hübner, [1809]) (Lepidoptera: Papilionidae) in the laboratory. *Folia Biol. (Krakow)* 61: 233–237.
- Tavares, W. de S., M. V. Masson, P. J. Ferreira-Filho, L. R. Barbosa, W. M. Silva, C. F. Wilcken, and J. C. Zanuncio. 2018.** Parasitism of lepidopteran defoliators of urban plants by *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). *Fla Entomol.* 101: 453–457.
- Tukey, J. 1949.** Comparing individual means in the Analysis of Variance. *Biometrics* 5: 99–114.
- Ullah, F., M. Farooq, S. F. Honey, and N. Zada. 2021.** Parasitism potential of *Dirhinus giffardii* (Silvestri) (Hymenoptera: Chalcididae) on pupae of the fruit fly species, *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) and *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), during variable exposure durations. *Egypt. J. Biol. Pest Control* 31: Article number 9.
- Vastrad, A. A., N. Kavitha Kumari, K. Basavana Goud, and S. Viraktamath. 2010.** Monitoring eucalyptus gall wasp, *Leptocybe invasa* Fisher and La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) using yellow sticky trap in eucalyptus plantation. *Karnataka J. Agric. Sci.* 23: 215–216.

- Wilcken, C. F., E. P. Soliman, L. A. N. de Sá, L. R. Barbosa, T. K. R. Dias, P. J. Ferreira-Filho, and R. J. R. Oliveira. 2010.** Bronze bug *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero and Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae) on *Eucalyptus* in Brazil and its distribution. *J. Plant Prot. Res.* 50: 201–205.
- Wingfield, M. J., E. G. Brockerhoff, B. D. Wingfield, and B. Slippers. 2015.** Planted forest health: The need for a global strategy. *Science* 349: 832–836.
- Wright, M. G., M. P. Hoffmann, S. A. Chenus, and J. Gardner. 2001.** Dispersal behavior of *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in sweet corn fields: Implications for augmentative releases against *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Biol. Control* 22: 29–37.
- Zaché, B., R. R. de C. Zaché, and C. F. Wilcken. 2012.** Evaluation of *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) as parasitoid of the *Sarsina violascens* Herrich-Schaeffer (Lepidoptera: Lymantriidae). *J. Plant Stud.* 1: 85–89.
- Zaché, B., R. R. Costa, J. C. Zanuncio, and C. F. Wilcken. 2013.** *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing pupae of *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Fla Entomol.* 96: 1207–1208.
- Zanuncio, J. C., F. F. Pereira, G. C. Jacques, M. T. Tavares, and J. E. Serrão. 2008.** *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae), a new alternative host to rear the pupae parasitoid *Palmistichus elaeisis* Delvare & Lasalle (Hymenoptera: Eulophidae). *Coleopt. Bull.* 62: 64–66.
- Zanuncio, J. C., W. de S. Tavares, B. V. Fernandes, C. F. Wilcken, and T. V. Zanuncio. 2014.** Production and use of Heteroptera predators for the biological control of *Eucalyptus* pests in Brazil. *Ekoloji* 23: 98–104.
- Zanuncio, J. C., W. de S. Tavares, F. de S. Ramalho, G. L. D. Leite, and J. E. Serrão. 2016.** *Sarsina violascens* spatial and temporal distributions affected by

native vegetation strips in eucalyptus plantations. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 51: 703–709.

Zappalà, L., O. Campolo, S. B. Grande, F. Saraceno, A. Biondi, G. Siscaro, and V.

Palmeri. 2012. Dispersal of *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) after augmentative releases in citrus orchards. *Eur. J. Entomol.* 109: 561–568.

Zhu, L., J. Wang, Y. Weng, X. Chen, and L. Wu. 2020. Soil characteristics of

Eucalyptus urophylla × *Eucalyptus grandis* plantations under different management measures for harvest residues with soil depth gradient across time. *Ecol. Indic.* 117: 106530.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a condução e análise dos experimentos até o momento, podemos levantar as seguintes considerações:

1. A liberação com RPAs de *T. diatraeae* multiplicados em *D. saccharalis* pode ser feita de maneira ágil em florestas de até 100 metros de altura sem causar quebra de pupas ou mortalidade dos parasitoides;
2. As alturas de 30 a 100 metros causaram efeitos negativos mínimos apenas na emergência dos parasitoides, que apresentaram emergência superior a 85%;
3. O parasitismo pós-queda e a emergência pós-parasitismo não foram afetados;
4. Os compartimentos definidos como mais seguros para liberação de *P. elaeisis* em pupas de *D. saccharalis* seguiram: cápsulas modelos 1, 2 e sacola de papel;
5. A fase biológica para liberação de *P. elaeisis* dentro de pupas de *D. saccharalis* em florestas de eucalipto deve ser a mais próxima da emergência dos adultos para evitar morte dos insetos por possíveis causas climáticas e ambientais;
6. As quantidades de 6 e 18 mil foram as mais adequadas para distribuição nas áreas avaliadas alcançando dispersão de 114 metros;
7. Este trabalho registra pela primeira vez, a viabilidade técnica e biológica da liberação de parasitoides de pupas com RPAs no Brasil.

REFERÊNCIAS

- van ANDEL, A.C.; WICH, S.A.; BOESCH, C.; KOH, L.P.; ROBBINS, M.M.; KELLY, J.; KUEHL, H.S. Locating chimpanzee nests and identifying fruiting trees with an unmanned aerial vehicle. **American Journal of Primatology**, v. 77, p.1122–1134, 2015. DOI: 10.1002/ajp.22446.
- BALE, J. S.; Van LENTEREN, J. C.; BIGLER, F. Biological control and sustainable food production. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1492, p. 761-776, 2008. DOI: 10.1098/rstb.2007.2182.
- BARBOSA, R. H.; ZANUNCIO, J. C.; PEREIRA, F. F.; KASSAB, S. O.; ROSSONI, C. Foraging activity of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) at various densities on pupae of the eucalyptus defoliator *Thyrintina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae). **Florida Entomologist**, v. 99, n. 4, p. 686-690, 2016. DOI: doi.org/10.1653/024.099.0417.
- BOTELHO, P.S. M. Eficiência de *Trichogramma* em campo, p.303-318. In: Parra J R P, Zucchi R A (eds) **Trichogramma e o controle biológico aplicado**. Piracicaba, FEALQ, 1997. 324p.
- CUMMING, G. S.; SPIESMAN, B. J. Regional problems need integrated solutions: pest management and conservation biology in agroecosystems. **Biological Conservation**, v. 131, n. 4, p. 533-543, 2006. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.02.025.
- van DRIESCHE, R.; M. HODDLE.; T. CENTER. **Control of pests and weeds by natural enemies: An introduction to biological control**. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 2008. 473 p.
- FOUCHÉ, G. J.; MALEKIAN, R. Drone as an autonomous aerial sensor system for motion planning. **Measurement**, v. 119, p. 142-155, 2018. DOI: 10.1016/j.measurement.2018.01.027.
- HUANG, Y.; THOMSON, S. J.; HOFFMANN, W. C.; LAN, Y.; FRITZ, B. K. Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 6, n. 3, p. 1-10, 2013. DOI: 10.3965/j.ijabe.20130603.001.
- NENZÉN, H. K.; MARTEL, V.; GRAVEL, D. Can hyperparasitoids cause large-scale outbreaks of insect herbivores?. **Oikos**, v. 127, n. 9, p. 1344-1354, 2018. DOI: 10.1111/oik.05112.
- KOH, LIAN PIN.; WICH, SERGE A. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. **Tropical Conservation Science**, v. 5, n. 2, p. 121-132, 2012. DOI: 10.1177/194008291200500202.
- PARRA, J.R.P.; P.S.M. BOTELHO, B.S.; CORRÊA-FERREIRA.; J.M.S. BENTO. Controle biológico: Uma visão inter e multidisciplinar, p.125–142. In J.R.P. Parra, P.S.M. Botelho, B.S. Corrêa-Ferreira & J.M.S. Bento (eds.), **Controle biológico no Brasil-parasitóides e predadores**. Piracicaba, Ed. Manole, 609p. 2002.

PARRA, J. R. P. A prática do controle biológico de pragas no Brasil. p. 11–24. In: A. S. PINTO.; D. E. NAVA.; M. M. ROSSI.; D. T. MALERBO-SOUZA (ed.). **Controle biológico de pragas na prática**. Piracicaba, ESALQ/USP, 2006. 287 p.

PAES, J. P.; CARVALHO, V. R.; SOUZA, A. R.; WILCKEN, C. F.; BUENO, R. C. Infection by the microsporidium of Clado Nosema/Vairimorpha in pupal parasitoids. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, 2019. DOI: 10.1590/0001-3765201920180326.

PEREIRA, F. F.; ZANUNCIO, J. C.; TAVARES, M. T.; PASTORI, P. L.; JACQUES, G. C.; VILELA, E. F. New record of *Trichospilus diatraeae* as a parasitoid of the eucalypt defoliator *Thyrinteina arnobia* in Brazil. **Phytoparasitica**, v. 36, n. 3, p. 304, 2008. DOI: 10.1007/BF02980777.

PEREIRA, F. F.; ZANUNCIO, J. C.; PASTORI, P. L.; PEDROSA, A. R. P.; OLIVEIRA, H. N. D. Parasitismo de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) em hospedeiro alternativo sobre plantas de eucalipto em semi-campo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 715-720, 2010a. DOI: 10.1590/S1806-66902010000400028.

PIGHINELLI, A. L.; SCHAFFER, M. A.; BOATENG, A. A. Utilization of eucalyptus for electricity production in Brazil via fast pyrolysis: A techno-economic analysis. **Renewable Energy**, v. 119, p. 590-597, 2018. DOI: 10.1016/j.renene.2017.12.036.

SMETHURST, P. J.; VALADARES, R. V.; HUTH, N. I.; ALMEIDA, A. C.; ELLI, E. F.; NEVES, J. C. Generalized model for plantation production of *Eucalyptus grandis* and hybrids for genotype-site-management applications. **Forest Ecology and Management**, v. 469, p. 118164, 2020. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118164.

ZHU, L.; WANG, J.; WENG, Y.; CHEN, X.; WU, L. Soil characteristics of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* plantations under different management measures for harvest residues with soil depth gradient across time. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106530, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106530.

ZHU, Hang et al. Development of a PWM precision spraying controller for unmanned aerial vehicles. **Journal of Bionic Engineering**, v. 7, n. 3, p. 276-283, 2010. DOI: 10.1016/S1672-6529(10)60251-X.