

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DOUTORADO EM COMPORTAMENTO E BIOLOGIA ANIMAL**

Helba Helena Santos-Prezoto

**FORMIGAS LAVA-PÉS *SOLENOPSIS SAEVISSIMA* (SMITH, 1855):
DO VOO NUPCIAL AO CONTROLE POPULACIONAL**

**Juiz de Fora
2019**

Helba Helena Santos-Prezoto

**FORMIGAS LAVA-PÉS *SOLENOPSIS SAEVISSIMA* (SMITH, 1855):
DO VOO NUPCIAL AO CONTROLE POPULACIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas, Comportamento e Biologia Animal, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Doutor em Comportamento e Biologia Animal. Área de concentração: Biodiversidade

Orientador: Dr. Fábio Prezoto

**Juiz de Fora
2019**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Santos-Prezoto, Helba Helena.

Formigas lava-pés *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855): do voonupcial ao controle populacional / Helba Helena Santos-Prezoto. --2019.

87 f. : il.

Orientador: Fábio Prezoto

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Comportamento Animal, 2019.

1. Biocidas. 2. Comportamento. 3. Controle. 4. Formigas de fogo. 5. Revoadas. I. Prezoto, Fábio , orient. II. Título.

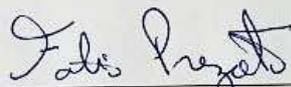
Helba Helena Santos-Prezoto

**Formigas lava-pés *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855):
do voo nupcial ao controle populacional**

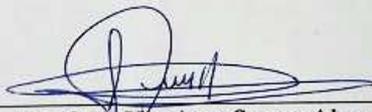
Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas, Comportamento e Biologia Animal, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Doutor em Comportamento e Biologia Animal. Área de concentração: Biodiversidade

Aprovada em 28 de novembro de 2019

BANCA EXAMINADORA



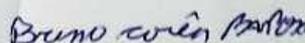
Dr. Fábio Prezoto - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora



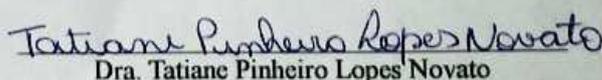
Dr. Luís Henrique Soares Alves
Centro Universitário de Valença



Dra. Mariana Monteiro de Castro
Faculdade Pitágoras



Dr. Bruno Corrêa Barbosa
Universidade Federal de Juiz de Fora



Dra. Tatiane Pinheiro Lopes Novato

*Dedico este trabalho as pessoas mais amadas em
minha vida, a minha mãe Helena, ao meu pai
Henrique (com saudades), ao meu marido Fábio e
meus filhos Théo e Lucca.*

AGRADECIMENTOS

Quero começar meus agradecimentos, dizendo o quanto sou grata a Deus pelas oportunidades que tive em minha vida. Tenho tudo de melhor que uma pessoa pode ter, pois Ele sempre colocou pessoas de bom coração em meu caminho. Agradeço, por me permitir viver, ter saúde, ter minha família, meus amigos!

Agradeço imensamente aos meus amados pais! Minha mãe Helena por ser tão especial, além de dedicada é sensata e muito presente sempre! Com seus conselhos me acalma e me incentiva! Meu pai, Henrique ... que saudade enorme! Mesmo não mais aqui, sinto muito sua presença! Sei que estaria orgulhoso!

Ao Théo e ao Lucca, meus filhos amados! Como falar deles sem chorar! Crianças que chegaram em minha vida e me trouxeram tanto AMOR e tanto desafios! Sei que, por vezes estive ausente, mesmo que em casa, mas passar o exemplo a vocês do quanto é importante estudar e focar nos nossos objetivos, me faz ter orgulho. Vocês vêm crescendo mais rápido que eu gostaria, mas faz parte do nosso caminho. E meu caminho não teria sentido sem vocês! O amor é gigantesco, que nem imaginava que existia!

Quero agradecer meu companheiro Fábio, pela dedicação e apoio. Quando penso na palavra companheirismo, meus pensamentos me remetem a Você! Tive a sorte e a benção de Deus em tê-lo em minha vida, trilhando nossos caminhos juntos, de tal forma que formamos nossa família! Sou muito feliz ao seu lado! Sei que posso contar com você! E como sempre, estive muito presente em tudo que realizo. E agora, agradecer a meu orientador, Fábio, pela paciência e por ter aceitado o desafio. A principio fiquei receosa em imaginar como seria essa relação esposa-marido-orientador, mas com o passar do tempo percebi que, com a sua paciência, respeito e carinho, tudo daria certo! Muito obrigada por sua dedicação como meu orientador e me orgulho demais por ter tido esta oportunidade! Espero ter correspondido a suas expectativas.

Paula, tenho várias definições para você: amiga, irmã, companheira de trabalho, parceira nas horas de sufoco e até mesmo minha “co-orientadora” com os biocidas! Uma amizade de longa data! Nem tão longa assim, pois não somos tão velhas, né amiga!!! Mas, confesso que cursar este doutorado estando na mesma turma facilitou muito, acho que pelo simples fato de saber que você está ali, mais uma vez juntas, apoiando uma a outra! Obrigada por sua amizade!

Quero também agradecer aos meus familiares que mesmo longe foram importantes neste passo de minha vida! Meu irmão Glauco, minha cunhada Soraya, e meus sobrinhos Gabriel e Maria Fernanda, além de meus sogros José Prezoto e Rosali e cunhados Fausto e Otávia,

acredito que a família é o pilar de sustentação de um indivíduo e obrigada por fazer parte da minha história de vida! Amo muito vocês!

Quero agradecer aos integrantes dos laboratórios os quais tive a satisfação de participar, mesmo que por período curto:

- a todos do LABEC, Mariana, Elisa, Raquel, Bruno, Tatiane, Luís, Mateus, Samuel e Angie, pelos bons momentos vividos e a ajuda nos trabalhos realizados;

- aos alunos do CES, que me ajudaram nos testes dos biocidas, levando muitas ferroadas, Pedro, Ana Carolina, Ana, Mariana, Cassiano e Karina, dentre outros;

- a todos do LAP, principalmente a querida Tatiane Novato, que tanto me ajudou e me fez aprender uma área nova. Sua dedicação e carisma me conquistaram. Ao Diego por ser tão prestativo a qualquer momento. Ao Ralph por abrir as portas do laboratório, a Viviane e Paula, com as análises. E ao sempre querido Érik Daemon, que com muito carinho e saudade, agradeço por ter me incentivado a seguir a linha dos biocidas, abriu prontamente as portas do LAP! Sempre me acompanhou, desde a graduação. Sua alegria faz falta! A minha querida professora e orientadora do mestrado Marta D'Agosto por ter sido minha base em minha vida acadêmica! Obrigada!

Quero agradecer a Marlú e a Dayane por tanto zelo e compromisso, sempre tão atenciosas e competentes! Aos coordenadores Arthur e Roberto que nos guiaram em momentos de dúvidas. Obrigada!

Agradeço em especial aos membros da banca, Bruno Côrrea Barbosa, Luis Henrique Soares Alves, Mariana Monteiro de Castro e Tatiane Pinheiro Lopes Novato, e aos suplentes Alexander Machado Auad, André Rodrigues de Souza, Juliane Floriano Lopes Santos e Vivane Zeringóta Rodrigues Cotta, que dedicaram seu tempo em trazer contribuições, que irão engrandecer ainda mais meu trabalho.

E por fim, mas não menos importante, agradeço aos pesquisadores Dra Ana Eugenia de Carvalho Campos e ao Dr. Ricardo Harakava, do Instituto Biológico de São Paulo, pela identificação molecular os exemplares; a UFJF e ao programa de Pós-graduação em Comportamento e Biologia Animal, por ter sido sempre minha casa, e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro concedido tão importante.

RESUMO

A formiga lava-pés *Solenopsis saevissima* é nativa do Brasil, sendo sua distribuição comum na região sudeste do país, e apesar disso poucos são os estudos que se atentem a história natural, ao comportamento e a meios de controle mais naturais. Assim, o presente trabalho objetivou compreender o comportamento de revoadas das formas reprodutoras, verificar a ocorrência de estratégias reprodutivas em relação ao tipo de fundação, descrever os comportamentos de rainhas e operárias na fase inicial das colônias e verificar a eficácia de métodos de controle tendo como base compostos bioativos de origem vegetal. Foram acompanhados voos nupciais ocorridos em diferentes colônias, os quais foram mais abundantes na estação chuvosa e quente. A revoada está relacionada com fatores climáticos, com um período de estiagem seguido por precipitação. A temperatura e a umidade do ar em condições favoráveis estimulam as revoadas pela manhã. As operárias participam do processo, protegendo os reprodutores e abrindo os orifícios para saírem. Os voos são monossexuais, em que os machos saem primeiro e os alados escalam pontos elevados para decolagem. Ao final do evento as rainhas fecundadas caem ao chão, e iniciam a busca de locais adequados para nidificação. Para avaliar a diversidade na estratégia de fundação, as rainhas em revoadas, foram coletadas e mantidas em grupos de haplometrose e de pleometrose, em condições laboratoriais. As associações obtiveram sucesso reprodutivo, e a maior porcentagem de sucesso foi registrada para cinco rainhas, além disso, este foi o grupo que alcançou primeiro a pós-emergência, gerou maior número de operárias e as rainhas tiveram maior taxa de sobrevivência. Quanto ao período de desenvolvimento do ciclo biológico, a mortalidade das rainhas foi maior no início da fundação, antes e durante a oviposição e na pós-emergência. Através de um etograma, pode-se verificar que os atos comportamentais das rainhas sofrem alterações de acordo com os diferentes períodos do ciclo da colônia, e que no início estão direcionados a comportamentos de exploração e interação com o ambiente, e a partir do surgimento dos primeiros ovos a interação com a prole fica mais intensa. Na pós-emergência as operárias passam a atuar ativamente na proteção dos imaturos. Para o controle foram testadas quatro substâncias biocidas em diferentes concentrações. Após 24 horas de exposição de operárias aos compostos, houve mortalidade de 100% a partir das concentrações de 0,5 e 0,75mg/ml para timol e carvacrol e de 2,5 e 10 mg/ml para eugenol e (E)-cinamaldeído, respectivamente, o que mostra a eficácia formicida destes, destacando o timol e o carvacrol.

Palavras-chave: Biocidas. Comportamento. Controle. Formigas de fogo. Revoadas.

ABSTRACT

The fire ant *Solenopsis saevissima* is native to Brazil, and has a common distribution in the southeastern region of the country, but despite this, there are few studies that focus on natural history, behavior and natural means of control. Thus, the present work aimed to understand the reproductive nuptial flight, to verify the occurrence of reproductive strategies in relation to the type of foundation, to describe the behavior of queens and workers in the initial phase of the colonies and to verify the effectiveness of control methods with bioactive compounds of plants. Nuptial flights were most abundant in the rainy and hot season. The flight is related to climatic factors, with a drought period followed by precipitation. Favorable temperature and air humidity encourage winged departures in the morning. The workers participate in this process, protecting the reproductive's and opening the holes for their exit. The flights are monosexual, with males leaving first and winged climb high points for takeoff. At the end of the event the fertilized queens fall to the ground and look for suitable nesting sites. To evaluate the diversity in the foundation strategy, freshly fertilized queens were collected and maintained in haplometrose and pleometrose groups under laboratory conditions. The associations had reproductive success, and the highest percentage of success was recorded for groups of five queens. In addition, this group reached first post-emergence, generated more workers and their queens had longer survival. During the development of the biological cycle, queen mortality was higher at the beginning of the foundation, before and during oviposition and post-emergence. The etogram showed that the behavior of queens changes according to the different periods of the colony cycle, and that at first they are linked to exploration and interaction with the environment, and with the emergence of the first eggs the interaction with the offspring becomes more intense. In the post-emergence, the workers actively act to protect the immature. For control four biocidal substances were tested at different concentrations. After 24 hours of exposure of workers to the compounds, there was 100% mortality at concentrations of 0.5 and 0.75 mg / ml for thymol and carvacrol, respectively, and 2.5 and 10 mg / ml for eugenol and (E). cinnamaldehyde, which shows their efficacy as a formicidal agent, highlighting thymol and carvacrol.

Keywords: Behavior. Biocides. Control. Fire ants. Nuptial Flighth.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01-** Voo nupcial de machos e fêmeas reprodutores da formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil. A- Início da revoada com a saída dos alados da colônia; B - operárias em patrulhamento e forma alada subindo na folha de uma gramínea; C e D - indivíduo com asa deformada; E - final do fenômeno, quando a estrutura do ninho permanece com pequenas aberturas; F- rainha fecundada (sem asas) em escavação 24
- Figura 02 -** Riscos a sobrevivência e ação de inimigos naturais da formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* durante o voo nupcial, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil. A – morte em piso superaquecido, B - predação de rainhas por pássaros sabiá do campo *Mimus saturninus*; C - predação por formigas *Pheidole megacephala*; D - ação de forídeos *Pseudacteon* sp..... 25
- Figura 03-** Formação dos agrupamentos de haplometrose e de pleometrose com 02, 03, 04, 05 e 06 rainhas de formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil. 34
- Figura 04 –** Período de desenvolvimento do ciclo biológico de formigas lava-pés neotropicais *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil..... 35
- Figura 05 -** Sucesso reprodutivo de rainhas de formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima*, em haplometrose e em pleometrose, em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil 36
- Figura 06 -** Sobrevivência de rainhas até a pós-emergência e produção de operárias de formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855) de acordo com o tipo de fundação, em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil..... 37
- Figura 07 -** Média de dias de desenvolvimento dos estágios biológicos de formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em relação ao tipo de fundação, em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil..... 38
- Figura 08 -** Evidência de oofagia realizados por rainhas pleométricas de formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855) em condições

	laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. As setas indicam os resquícios dos fragmentos de ovos.....	39
Quadro 01	Categorias comportamentais e descrição dos atos exibidos por rainhas de lava-pé <i>Solenopsis saevissima</i> , em haplometrose e pleometrose e em diferentes fases de desenvolvimento da colônia, em condições laboratoriais, 2017	50
Figura 09 -	Orçamento comportamental (%) de rainhas de lava-pés <i>Solenopsis saevissima</i> em haplometrose e em pleometrose, mantidas em condições laboratoriais, nos cinco períodos de desenvolvimento estudados	51
Figura 10 -	Orçamento comportamental de operárias mínimas de formigas lava-pé <i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855) em período de pós-emergência (PPE), em condições laboratoriais, em 2017.	55
Figura 11 -	Média e desvio padrão do tempo (minutos) gasto por rainhas e operárias mínimas de formigas lava-pés <i>Solenopsis saevissima</i> em atividades da colônia, em haplometrose e em pleometrose, em condições laboratoriais, em 2017.....	55
Figura 12 -	Mortalidade de operárias de formigas lava-pés (<i>Solenopsis saevissima</i>) tratadas em diferentes concentrações de carvacrol e timol, em condições laboratoriais.....	64
Figura 13 -	Mortalidade de operárias de formigas lava-pés (<i>Solenopsis saevissima</i>) tratadas em diferentes concentrações de eugenol e (E)-cinamaldeído, em condições laboratoriais.....	65
Figura 14 -	Montagem do experimento em placas de Petri, para teste de biocidas no controle de formiga lava-pé neotropical <i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855), em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil.....	66
Figura 15 -	Placa de Petri lacrada com substância teste dissolvida em DMSO e 10 operárias de formiga lava-pé neotropical <i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855), em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Registro dos 25 eventos de revoada da formiga lava-pé neotropical <i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855), em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil em 2017 a 2019 e fatores climáticos relacionados	22
Tabela 02 - Mortalidade de rainhas de acordo com os estágios biológicos de formiga lava-pé neotropical <i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855), de acordo com o tipo de fundação, em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, Brasil	39
Tabela 03 - Percentual (%) dos atos exibidos por rainhas e operárias de lava-pés <i>Solenopsis saevissima</i> , em haplometrose e pleometrose e em diferentes períodos de desenvolvimento da colônia, em condições laboratoriais, 2017	53
Tabela 04 - Concentração Letal 50% (CL ₅₀) e 90% (CL ₉₀) de operárias de formigas lava-pés (<i>Solenopsis saevissima</i>) tratadas em diferentes concentrações dos compostos timol, carvacrol, eugenol e (E)-cinamaldeído, em condições laboratoriais	67
Tabela 05 - Média e desvio padrão de mortes de operárias de formigas lava-pés (<i>Solenopsis saevissima</i>) tratadas em diferentes concentrações dos compostos timol, carvacrol, eugenol e (E)-cinamaldeído, em condições laboratoriais	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PR	Precipitação
TA	Temperatura atmosférica
UR	Umidade relativa do ar
V	Velocidade do vento
PPO	Período Pré-ovo
PO	Período Ovo
PL	Período Larva
PP	Período Pupa
PPO	Período Pós-emergência
DMSO	Dimetilsulfóxido
P.A.	Puro
EtOH	Etanol

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 VOO NUPCIAL DE FORMIGAS LAVA-PÉS NEOTROPICAIS <i>Solenopsis Saevissima</i> (SMITH, 1855): COMO TUDO COMEÇA?	19
2.1 Introdução.....	19
2.2 Material e Métodos.....	21
2.3 Resultados.....	21
2.4 Discussão.....	25
2.5 Conclusão.....	29
3 DIVERSIDADE NAS ESTRATÉGIAS DE FUNDAÇÃO EM FORMIGAS LAVA-PÉS NEOTROPICAIS <i>Solenopsis saevissima</i> (SMITH, 1855)	32
3.1 Introdução.....	32
3.2 Material e Métodos.....	34
3.3 Resultados.....	36
3.4 Discussão.....	39
3.5 Conclusão.....	42
4 INVESTIMENTO COMPORTAMENTAL DE FORMIGAS LAVA-PÉS NEOTROPICAIS <i>Solenopsis saevissima</i> (SMITH, 1855) DURANTE A FASE CRITICA DO ESTABELECIMENTO DA COLÔNIA	48
4.1 Introdução.....	48
4.2 Material e Métodos.....	49
4.3 Resultados.....	51
4.4 Discussão.....	56
4.5 Conclusão.....	58

5 EFICÁCIA FORMICIDA DO TIMOL, CARVACROL, EUGENOL E (E)-CINAMALDEÍDO SOBRE LAVA-PÉS <i>Solenopsis saevissima</i> (SMITH, 1855)	62
5.1 Introdução.....	62
5.2 Material e Métodos.....	64
5.3 Resultados.....	65
5.4 Discussão.....	68
5.5 Conclusão.....	70
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
7 REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

As formigas lava-pés *Solenopsis* Westwood, 1840, são encontrados em grande parte do mundo, sendo nativas da América do Sul, mas devido a sua ampla dispersão se tornaram invasoras em diversas partes do planeta, em destaque a América do Norte e Central, Austrália, Nova Zelândia, Republica Dominicana, Etiópia, Bahamas, China e Taiwan, e em 2017 no Japão (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; VINSON, 1997; DAVIS JUNIOR et al., 2001; MORRISON et al., 2004; ZENH et al., 2005; YANG et al., 2008; LU et al., 2008; ASCUNCE et al., 2011; DEJEAN et al., 2015; KYODO, 2017). Nos Estados Unidos, principalmente na porção sul do país, onde foram introduzidas, a densidade populacional é elevada, o que prejudica a fauna nativa e a população humana, já que a principal espécie praga *Solenopsis invicta* Buren, 1972 não apresenta inimigos naturais e pode ocupar diferentes tipos de habitats e desalojar espécies nativas (VINSON e GREENBERG, 1986; PORTER et al., 1988; JOUVENAZ, 1990; PORTER e SAVIGNANO, 1990; PORTER et al., 1992; TSCHINKEL, 1993; VINSON, 1997; ASCUNCE et al., 2011).

No Brasil, a *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855) possui ampla distribuição territorial que se segue da linha litorânea, desde a região sudeste à nordeste, chegando ao interior do norte do país (TSCHINKEL, 2006). Já as demais espécies, como *S. invicta*, *Solenopsis pusillignis* Trager, 1991 e *Solenopsis daguerrei* (Santschi, 1930), são relatadas na região centro-oeste e *Solenopsis richteri* Forel, 1909 e *Solenopsis megergates* Trager, 1991 no sul do país, causando impactos econômicos e a saúde pública (VINSON e GREENBERG, 1986; TRAGER, 1991; ROSS et al. 2009; TSCHINKEL, 2013; PITTS et al., 2018).

Os estágios biológicos de desenvolvimento diferem da maioria de outras formigas, já que além dos ovos, larvas, pupas, os adultos se dividem em operárias mínimas, médias e máximas, bem como os reprodutores alados (machos e fêmeas) (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; TSCHINKEL, 2006). Colônias em fase inicial são monomórficas contendo apenas operárias mínimas, o polimorfismo aparece à medida que o ciclo colonial avança (TSCHINKEL, 1988a; TSCHINKEL et al., 2003; PITTS et al. 2005).

Os ninhos são constituídos por uma porção subterrânea composta por câmaras e galerias, e uma porção acima do solo, formados por um monte de terra solta, denominado popularmente como “murundus” (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; VINSON, 1997; CASSIL et al., 2002). A nidificação ocorre em áreas gramadas e/ou pavimentadas, sendo comuns em áreas urbanas como parques, praças, jardins, quintais e passeios, campos de futebol, além de caixas de fiação e aparelhos eletrônicos (CAMPOS-FARINHA et al., 1997; ZENG et al., 2005; FOX, 2010;

ZERINGOTÁ et al., 2014; DEJEAN et al., 2015). Assim, o risco de acidentes é elevado visto que elas se estabelecem muito bem em áreas de grande circulação de pessoas.

Quanto ao hábito alimentar, as lava-pés são onívoras e oportunistas (GLUNN et al., 1981; BUENO e CAMPOS-FARINHA, 1999; CASSIL e TSCHINKEL, 1999), se alimentando de pequenos invertebrados, vivos ou mortos (LOFGREN et al., 1975; HOWARD e TSCHINKEL; 1980), e de carcaças de vertebrados, enterrando seus recursos para evitar competição (MACIEL et al., 2015; MENDONÇA et al., 2019). Nutrem se também de sementes e óleos, e cuidam de afídeos atraídos pelo açúcar no *honeydew* (VINSON e GREENBERG, 1986; YIJUAN et al., 2007).

A reprodução ocorre durante o voo nupcial, onde as formas sexuais aladas, machos e fêmeas, copulam no ar, em seguida, a rainha inicia uma nova colônia, procurando um local adequado para nidificação (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; VINSON, 1997; CALIFORNIA, 2015). O sucesso da fundação depende de fatores físicos do solo, clima, vegetação, disponibilidade de alimento, competição, predadores, parasitos e patógenos (RHODES e DAVIS, 1967; LOFGREN et al., 1975). Uma única colônia pode disponibilizar milhares rainhas férteis que voam longas distâncias, sendo este um dos principais problemas no controle destas pragas (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; TSCHINKEL, 1995; CASSIL et al., 2002).

Durante a fundação, a rainha pode permanecer sozinha (haplometrose) ou se associar a outras (pleometrose), e nesta fase inicial da colônia, denominado de período claustral, elas permanecem reclusas dentro de uma câmara onde ovipositam e cuidam da prole, a fim de garantir o sucesso da mesma (MARKIN et al. 1972; HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; TSCHINKEL, 1998). Segundo Rissing e Pollock (1991) existe uma correlação positiva entre o número de fundadoras cooperantes e número de trabalhadores iniciais produzidos por essa colônia, o que favorece no sucesso de uma colônia, que em condições naturais, pode produzir centenas a milhares de indivíduos (TSCHINKEL, 1988b; HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; PENICK e TSCHINKEL, 2008).

Estas centenas de operárias podem ser extremamente agressivas quando sua colônia é perturbada, podendo, ao mesmo tempo, ferir e mandibular diversas vezes sua vítima, o que pode causar graves acidentes (FUNASA, 2001; MALASPINA, 2004; BUENO e BUENO, 2007; TANKERSLEY, 2008; HADDAD JUNIOR et al., 2009; CASTRO et al., 2014). Em casos graves de alergia, podem surgir infecções secundárias, necrose de extremidades, náuseas, vômitos, choque anafilático e até mesmo a morte (FUNASA, 2001; HADDAD JUNIOR et al., 2009).

Além do risco a saúde pública, considera-se também como problema o impacto econômico, tanto em perdas na agropecuária, no turismo, quanto na necessidade de investimento em métodos de controle, que por vezes são impactantes ao meio ambiente (GUTRICH et al., 2007). Assim, os EUA investem bilhões de dólares na tentativa de controle eficaz de *S. invicta* e cerca de 50% da população que vive em áreas infestadas são ferroadas pelo menos uma vez por ano, e muitas necessitam de cuidados médicos (DELLA LUCIA, 2003). Na América do Sul o impacto econômico não é tão grande quanto na América do Norte, pois a riqueza de espécies de formigas e inimigos naturais regula a população das lava-pés (TSCHINKEL, 2013).

Ao considerar os danos que estas formigas podem causar, é de extrema relevância estudos aplicados a métodos de controle eficientes e menos impactantes a saúde dos seres vivos e ao meio ambiente, tais como o uso de compostos bioativos, de origem vegetal, sendo estes alternativos ao uso de produtos sintéticos, que são mais tóxicos e poluentes (LOFGREN et al., 1975; ADAMS et al., 1983; LOFGREN, 1986; MURRAY e PINKHAM, 2002; MORAGAS e SCHNEIDER, 2003; APPEL et al., 2004; CHENG et al., 2004.; ADESSO et al., 2017).

As plantas, por possuírem em sua constituição compostos voláteis provenientes do seu metabolismo secundário, têm sido consideradas fontes em potencial de substâncias biologicamente ativas (KELSEY, 1984), dentre elas podem ser citadas o eugenol (derivado do cravo, canela, sassafrás e mirra) e o (E)-cinamaldeído (derivado da canela), o timol (derivado do alecrim pimenta, do tomilho e do orégano) e o carvacrol (derivado do orégano), e alguns estudos demonstram a ação de toxicidade ou de repelência em diferentes grupos, tais como bactérias (COSENTINO et al., 1999; ULTEE et al., 2000; CRISTANI et al., 2007; VERAS et al., 2013), fungos (CHENG et al., 2004), insetos (APPEL e MACK; 1989; COATS et al. 1991; VOGT et al. 2002; ELLER et al., 2014), ácaros e carrapatos (NOVELINO et al., 2007; ARAÚJO et al., 2015; 2016; FERREIRA et al., 2018; NOVATO et al., 2018), com moluscos (FERREIRA et al., 2009; SALAMA et al., 2012; SILVA Jr et al., 2018; GOMES et al., 2019).

Para a detecção de produtos naturais eficazes no controle de *S. saevissima*, é fundamental que seja entendido os padrões comportamentos das rainhas durante a fundação da colônia, já que um dos principais problemas no controle é que as colônias maduras são capazes de disponibilizar para o ambiente um elevado número de novas rainhas, que se locomovem a longas distâncias e em várias direções, dispersando assim, as colônias. Enquanto que, nos EUA, muitos estudos sobre a ecologia, a biologia e o controle da espécie praga *S. invicta* têm sido realizados, no Brasil pouco se sabe sobre os aspectos ecológicos, biológicos e de controle de *S. saevissima*, considerando casos de infestações severas, o grau de risco a população e a

dificuldade de técnicas eficazes de controles populacionais.

Assim, os objetivos do presente estudo foram compreender o fenômeno de revoada na formiga neotropical *S. saevissima*, em seu habitat nativo e descrever os processos comportamentais e climáticos envolvidos; avaliar, em condições laboratoriais, se as rainhas possuem diversidade nas estratégias de fundação, através do sucesso reprodutivo das colônias em haplometrose e em pleometrose; avaliar as vantagens dos tipos de fundações haplométrica e pleométrica para rainhas, através de registros comportamentais, e investigar ação formicida do timol, do carvacrol, do (E)-cinamaldeído e do eugenol,

2 VOO NUPCIAL DE FORMIGAS LAVA-PÉS NEOTROPICAIS *Solenopsis Saevissima* (SMITH, 1855): COMO TUDO COMEÇA?

ABSTRACT

Fire ants nuptial flight is a complex and crucial phenomenon for the establishment of new colonies. In addition to being subject to the influence of climate variables in this process, alates are also exposed to the pressure exerted by natural enemies. Although this event is well known for invasive species such as *Solenopsis invicta*, little is known for neotropicals species such as *Solenopsis saevissima*. Thus, the aim of this study was to understand the neotropicals fire ant *S. saevissima* flight phenomenon in its native habitat and its relationship with climatic factors and wich behaviors are involved in this process. Twenty-five nuptial flights occurred in 17 colonies between 2017 and 2019, and they were most abundant during the rainy and hot season (from October to March). The flight in *S. saevissima* is related to climatic factors and a drought period followed by precipitation, temperature and relative air humidity favorables, wich stimulates early morning flights when the ambient temperature begins to rise. The workers actively participate in the process, because besides protecting the alates, they are responsible for opening and closing the holes that facilitate the exit of the reproductives. The flights are monosexual, with males being released first. Alates climb high points to improve liftoff. At the end of the event the fertilized queens fall to the ground and begin searching for suitable nesting sites. Alates with deformed wings, which failed to liftoff were recorded. Many of the young queens died shortly after their flight due to drowning, dehydration and attacks from natural enemies. This information expands the knowledge about the *S. saevissima* nuptial flight in its natural habitat and can support the construction of more effective control strategies, reducing the emergence of new colonies.

KeyWords: Climatic factors. Natural enemies. Nupcial flights. Reproductive forms.

2.1 INTRODUÇÃO

A fundação de novas colônias em formigas lava-pés *Solenopsis* Westwood, 1840 ocorre em períodos específicos do ano, como primavera e outono nas regiões temperadas (RHOADES e DAVIS, 1967; MARKIN, et al. 1971; VINSON, 1997) e primavera nos trópicos (SOUZA et al., 2004). Durante o fenômeno da revoada, os reprodutores deixam o ninho, executam o voo nupcial para o encontro dos parceiros, copulam e depois as fêmeas fecundadas caem ao solo,

perdem as asas e se dispersam na busca de um local adequado para nidificar (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990) e apesar de todas as adversidades que pesam sobre as jovens rainhas nesse período, muitas prosperam produzindo colônias bem sucedidas, demonstrando que os eventos comportamentais envolvidos nesta jornada não estão totalmente compreendidos.

Sabe-se que, em regiões temperadas, os fatores climáticos como precipitação, umidade e temperatura são determinantes neste momento, pois em condições ideais permitirão o sucesso das rainhas e manutenção da nova colônia (RHOADES e DAVIS, 1967; MARKIN et al., 1971; MORRIL, 1974; HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; PENICK e TSCHINKEL, 2008). Uma colônia de lava-pé, com cerca de 4 a 6 anos de desenvolvimento, pode abrigar de 100 a 250 mil operárias e várias centenas ou até milhares de alados, sendo este número variável com a sazonalidade (TSCHINKEL, 1988; HÖLLDOBLER e WILSON, 1990), demonstrando assim seu potencial em gerar novas colônias.

Em lava-pés, estudos sobre as estratégias de fundação, sucesso reprodutivo de rainhas, períodos de desenvolvimento do ciclo colonial e aspectos comportamentais na fase inicial, são bem consolidados em regiões nas quais estas formigas prosperam como invasoras (LOFGREN et al., 1975; TSCHINKEL, 1988; VINSON, 1997), como por exemplo, *Solenopsis invicta* Buren, 1972 nos Estados Unidos, onde é considerada praga. No entanto, pouco são os estudos sobre as espécies neotropicais, em seu ambiente nativo, onde sofrem pressão de predação de seus inimigos naturais que assim controlam a população.

No Brasil, dentre as espécies nativas de maior dispersão territorial destaca-se *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), também consideradas uma importante praga urbana (TRAGER, 1991; MARTIN et al., 2011; LENOIR et al., 2016), por trazer a população humana o risco de acidentes com suas colônias, devido a seu comportamento agressivo. Considerando que o voo nupcial é um fenômeno importante na dispersão de rainhas e fundação de novas colônias, compreender melhor este processo e relacionar quais fatores comportamentais e ambientais estão envolvidos, é de fundamental importância para elaborar estratégias de prevenção e controle de novas colônias. Assim, o objetivo do presente estudo foi entender o fenômeno de revoada na formiga neotropical *S. saevissima*, em seu habitat nativo e descrever os processos comportamentais e climáticos envolvidos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos anos de 2017 a 2019, em diferentes colônias naturalmente estabelecidas em área urbana da cidade de Juiz de Fora (21° 46' 29.49" S, 43° 22' 6.26" W, 800 m de altitude), Minas Gerais, sudeste do Brasil, com clima tropical de altitude do tipo Cwa (SÁ-JUNIOR et al., 2012), com uma estação seca e mais fria de abril a agosto e uma estação úmida e mais quente de setembro a março.

Para a descrição da revoada e dispersão das formas aladas foram observados 25 eventos ocorridos em 17 colônias. Também foi feita a descrição do comportamento, através de observações diretas *ad libitum* das operárias e reprodutores, da dispersão das formas aladas e de como a estrutura do ninho permanecia no curso do evento. Em seis ocasiões foi possível determinar a distância de dispersão das rainhas fecundadas através de busca ativa em transecto seguindo a direção do voo das mesmas. A ação de inimigos naturais foi registrada durante todo o processo.

Informações climáticas sobre temperatura do ambiente (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m/s) e precipitação (mm) foram obtidas do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Os dados foram analisados pelo teste de Normalidade Shapiro-Wilk para avaliar sua distribuição e o teste do Qui-quadrado (sendo valor de $p > 0,05$), para analisar a diferença entre o número de revoadas registradas entre as estações climáticas e entre os períodos do dia. Os dados comportamentais foram trabalhados de forma descritiva.

A identificação da espécie foi realizada a partir de análises moleculares pela técnica de sequenciamento de DNA mitocondrial, no Instituto Biológico (IB) de São Paulo, com a colaboração dos pesquisadores Dr. Ricardo Harakava e Dra Ana Eugenia de Carvalho Campos.

2.3 RESULTADOS

Segundo as análises moleculares a espécie foi identificada como *S. saevissima*, e a partir do registro de 25 eventos de revoadas, revelou-se uma ocorrência significativamente maior ($p = 0,0062$) durante a estação chuvosa (92%) e com uma concentração no mês de outubro ($n=12$; 48%) (Tabela 1).

De modo geral, o fenômeno é precedido por um período de estiagem, a qual é encerrada por uma precipitação. No meio da manhã (por volta das 10 horas) do dia posterior a precipitação tem-se início as revoadas, com uma duração média de 90 minutos.

As revoadas ocorreram significativamente mais ($p = 0,0096$) pela manhã (88%), com início entre 8h e 10h e término até 12h aproximadamente, o restante (12%) ocorreu durante a tarde, com início perto das 15:30h e término as 17h. A duração da liberação de formas aladas variou de 1h a 2 horas (Tabela 1).

Tabela 01 – Registro dos 25 eventos de revoada da formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil em 2017 a 2019 e fatores climáticos relacionados.

Condições climáticas Pré-revoada		Data da revoada	Horário de início e término da revoada	Condições climáticas no início da revoada		
Estiagem (dias)	PR (mm)			TA (°C)	UR (%)	V (m/s)
-	-	10/09/17	10:15 – 11:45	16,3	85	0
22	16,2	01/10/17	15:20 – 16:15	18,3	82	3,2
0	18,4	02/10/17	08:40 – 10:10	18,1	87	4,5
0	18,4	02/10/17	15:40 – 17:25	27,4	51	3,0
0	20,1	03/10/17*	09:00 – 10:55	17,3	93	3,2
0	32,4	06/10/17	08:45 – 10:10	17,7	88	3,1
27	23,2	24/10/17	09:20 – 11:05	14,1	98	3,7
5	26,8	29/10/17	09:50 – 11:25	22,3	76	0
13	16,6	24/07/18	10:10 – 11:00	16,7	86	1,0
10	14,4	03/08/18	10:45 – 12:00	13,4	98	2,9
2	11,4	19/09/18	10:15 – 11:50	18,5	90	2,1
38	13,2	28/08/18	09:20 – 10:40	18,6	92	1,0
2	19,3	30/09/18	09:00 – 10:35	17,6	97	3,5
1	5,6	01/10/18	09:15 – 10:20	19,1	94	3,0
3	7,4	04/10/18	08:30 – 09:55	20,8	75	2,8
5	5,2	09/10/18	09:25 – 10:50	18,4	85	4,6
8	14,4	12/10/18	10:10 – 11:25	18,2	87	1,7
2	9,6	14/10/18	09:20 – 11:05	20,3	93	1,9
17	12,6	02/11/18	10:10 – 11:35	18,5	85	3,9
1	46,4	05/11/18	10:55 – 12:00	16,3	97	1,6
2	34,7	09/11/18	10:00 – 11:45	15,1	96	7,5
16	6,1	26/11/18	10:50 - 11:25	19,5	86	0,1
7	55,6	02/12/18	08:50 – 09:45	19,3	93	3,1
29	16,2	02/01/19	10:15 – 11:35	31,4	85	1,5
29	16,2	02/01/19	15:35 – 16:40	27,6	66	3,4
11,9±11,4	19,18±12,44	-	-	19,2±4,1	86,6±10,7	2,62±1,6

PR – precipitação; TA – temperatura atmosférica; UR- umidade relativa do ar; V – velocidade do vento; (-) = sem dados.

* Precipitação (1,4mm) durante o evento.

Precipitações pluviométricas precederam todos os eventos de revoadas de *S. saevissima*, principalmente após um período de estiagem. As chuvas ocorreram de 4 até 24 horas antes da revoada e a intensidade destas variou de fraca (5,2 mm) a intensa (55,6 mm), com cerca de 20 mm em média (Tabela 1). O período médio de estiagem pré-revoada foi de 12 dias, com variação de 1 até 38 dias sem chuva. Em apenas uma ocasião (10/03/2017) foi registrada uma precipitação leve (1,4mm) durante a revoada, sem causar interrupção no evento.

A temperatura do ar no início da revoada variou de 13,4° C (agosto), no final da estação seca e fria a 31,4° C (janeiro), durante o auge da estação chuvosa e quente, enquanto que a umidade relativa do ar se mostrou elevada (de 51-98%) e a precipitação quase nula, já a velocidade média do vento foi de 2,61m/s, mantendo-se sempre abaixo dos 5 m/s, com exceção de uma ocasião (11/09/18), quando registrou-se 7,5m/s (Tabela 1).

Cerca de uma hora antes do evento, as operárias se tornam ativas na superfície do monte externo, abrindo dezenas de orifícios com cerca de 1cm de diâmetro, que são utilizados pelos alados para alcançar a superfície do ninho. As operárias policiam a superfície do monte externo e a vegetação próxima, formando um raio de patrulha que alcança 1,5 metros do ninho e nesse território são agressivas com quaisquer indivíduos que apareçam. Em uma oportunidade foi registrado o ataque sobre formigas *Camponotus crassus* Mayr, 1862 que forrageavam na área patrulhada e acabaram mortas pelas lava-pés.

Os machos foram os primeiros alados a deixarem a colônia em voo (Figura 1A). Este processo dura cerca de 25 a 30 minutos, e em seguida saem as fêmeas, com uma duração maior de liberação de alados de cerca de 40 a 45 minutos. Tanto machos quanto fêmeas aladas deslocam-se pela superfície do ninho à procura de um ponto elevado para alçarem voo (Figura 1B). Em todos os registros foi possível se verificar o uso de hastes da vegetação próxima como ponto de lançamento. Nos casos onde a colônia se localizava próximo a edificações foi possível registrar os alados escalando a parede vertical por até 50 centímetros de altura, para então alçar voo.

Durante o evento foi registrada a presença de dois tipos de deformidades nas asas, asa com a ponta dobrada (Figura 1C) e asa atrofiada (Figura 1D), estes indivíduos caminhavam sobre a superfície do ninho, e por vezes se lançavam em um voo curto e errante que alcançava poucos centímetros de altura seguida de um pouso abrupto. Ao final do evento eles retornaram para o interior da colônia, por vezes auxiliados pelas operárias.

Durante o pico de atividade foi possível mensurar cerca de 30 partidas de alados/minuto. Ao final do evento, a movimentação das operárias diminui no exterior do ninho, a saída de alados cessa, os poucos alados restantes e as operárias retornam para o interior da colônia e as aberturas são lacradas (Fig. 1E). Após quatro horas do início, a colônia retorna sua condição original pré-revoada. Em quatro colônias estudadas (23,5%) registrou-se mais de um evento, sendo que o máximo foram três revoadas em uma mesma colônia.

A distância de queda das rainhas foi mensurada em seis eventos e permaneceu entre 100 e 200 metros da colônia original. O término do voo nupcial se dá com as rainhas ao chão, sem asas, exibindo comportamento exploratório em busca de frestas e cavidades pré-existentes, bem



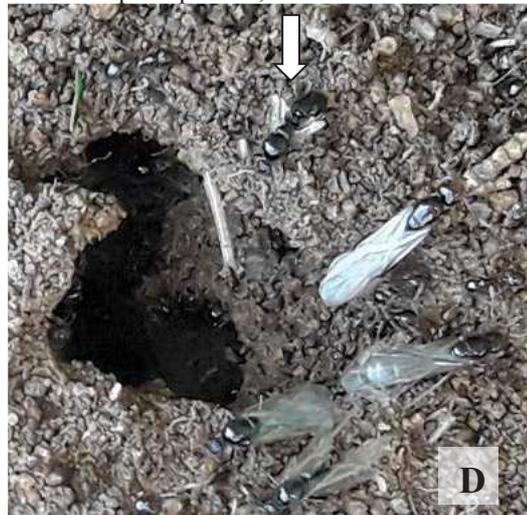
Fonte: Arquivo pessoal, 2014



Fonte: Arquivo pessoal, 2018



Fonte: Arquivo pessoal, 2018



Fonte: Arquivo pessoal, 2018



Fonte: Arquivo pessoal, 2017



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 01 – Voo nupcial de machos e fêmeas reprodutoras da formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil. A- Início da revoada com a saída dos alados da colônia; B - operárias em patrulhamento e forma alada subindo na folha de uma gramínea; C e D - indivíduo com asa deformada; E - final do fenômeno, quando a estrutura do ninho permanece com pequenas aberturas; F- rainha fecundada (sem asas) em escavação.

como solo disponível para escavação (Figura 1F).

Os principais fatores de risco à sobrevivência dos alados foram: afogamento, desidratação por contato em superfícies superaquecidas como cerâmicas e porcelanatos (Figura 2A), ataques de predadores como aves, o sabiá do campo *Mimus saturninus* (Lichtenstein, 1823) (Figura 2B) e o canário da terra verdadeiro *Sicalis flaveola* (Linnaeus, 1766), que capturavam os alados assim que estes se lançavam em voo, e a formiga *Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793) (Figura 2C). Em cinco eventos foi registrada a ocorrência de moscas parasitóides (forídeos do gênero *Pseudacteon* sp.) (Figura 2D), voando sobre o ninho e atacando os alados e operárias que guardavam as aberturas e a superfície da colônia. O número destes parasitóides foi variável de dois a cinco indivíduos por colônia e permaneceram durante todo o evento.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019



Fonte: Arquivo pessoal, 2017



Fonte: Arquivo pessoal, 2019



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

Figura 2 – Riscos a sobrevivência e ação de inimigos naturais da formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* durante o voo nupcial, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil. A – morte em piso superaquecido, B - predação de rainhas por pássaros sabiá do campo *Mimus saturninus*; C - predação por formigas *Pheidole megacephala*; D - ação de forídeos *Pseudacteon* sp.

2.4 DISCUSSÃO

A maior ocorrência de revoadas na estação chuvosa e quente sugere que a precipitação seja um fator climático que estimula o voo em formigas lava-pés neotropicais, fato bem conhecido para outros gêneros de formigas, como *Atta* Fabricius, 1805 e *Acromyrmex* Mayr, 1865, na mesma região (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990). Souza et al. (2004) registraram voos de *S. saevissima* no sudeste do Brasil, no final do mês de setembro (primavera), após sete dias de precipitação e em um dia ensolarado e Wuellner (2000) registrou revoada de *Solenopsis richteri* Forel, 1909 na Argentina no mês de fevereiro (verão). Nos EUA, estudos com *S. richteri* relatam que este evento é mais frequente na primavera e no outono (RHOADES e DAVIS, 1967) e nos meses de maio, junho (primavera) e julho (verão). Ainda nos EUA, estudos com *S. invicta*, relatam que revoadas menores podem ser registradas em diferentes épocas do ano caso as condições climáticas sejam favoráveis (BASS e HAY, 1979; VINSON, 1997; TSCHINKEL, 1998).

Para *S. richteri*, nos Estados Unidos da América, a atividade é mais intensa após uma chuva durante um período seco, não sendo registrado revoadas durante períodos de chuva ou muito secos e que desencadeia um período de dois ou três dias de atividade de construção de montes externos (RHOADES e DAVIS, 1967; MARKIN e DILLER, 1971). Segundo Tschinkel (1998), *S. invicta* libera seus alados dentro de 24h após a chuva durante o tempo morno e úmido. Wuellner (2000) registrou para *S. richteri* na Argentina, uma precipitação de 2,4mm de chuva 1,30h no início da manhã. A infiltração da água da chuva no solo facilita o processo de escavação executado pelas rainhas, otimizando esta tarefa e aumentando as chances de sucesso da nidificação, se comparadas as características do solo durante a estiagem.

Em nosso estudo, as revoadas de *S. saevissima* foram mais frequentes pela manhã. Isso pode ser explicado pelo fato de que a temperatura se eleva no meio da manhã, mas ainda é mais amena do que no meio da tarde, quando se torna mais prejudicial a sobrevivência das formas aladas devido ao risco de desidratação. Outra característica da estação chuvosa e quente são as pancadas de chuva ao final da tarde, típicas desta estação na região sudeste do Brasil. Assim, se a revoada começar no meio da manhã, ao final da tarde as rainhas já estarão enclausuradas em seus ninhos, evitando o risco de serem atingidas pelas chuvas ainda durante o processo de escavação. Nossos resultados corroboram os estudos de Souza et al. (2004), em que as rainhas escavaram o solo no período de 12h às 15h, o que reflete o início da revoada no meio da manhã e o de Pesquero et al. (1993) que registraram revoadas entre 12 e 14h, ambos estudos realizados na região sudeste do Brasil. Diferentemente das áreas tropicais, estudos em áreas temperadas

com *S. richteri* nos EUA (RHOADES e DAVIS, 1967) e na Argentina (WUELLNER, 2000) e com *S. invicta* nos EUA (MILIO et al., 1988) mostram que elas realizam seus voos nupciais durante a tarde.

Apesar da variação de temperatura registrada neste estudo no início da revoada, a média encontrada ficou próxima a de outros estudos na América do Norte onde se registrou uma variação de 23 a 32°C (RHOADES e DAVIS, 1967; MARKIN et al., 1971; MILIO et al., 1988; VINSON, 1997) e um pouco abaixo dos 30 °C em um estudo na Argentina (WUELLNER, 2000). Essa margem de variação na temperatura demonstra que uma sutil elevação da mesma no dia da revoada serve de estímulo para a saída dos alados, contudo para a região deste estudo, um limiar específico de temperatura parece não ser necessário como estímulo.

A elevada umidade relativa do ar se deve a precipitação que geralmente ocorre no dia anterior. De forma semelhante a temperatura do ar, a umidade parece não ser um fator limitante para que a revoada ocorra, contudo o efeito da umidade, principalmente no solo parece ser mais importante. Morril (1974) sugere que os voos em *S. invicta* são iniciados pela chuva e não pela alta umidade e quando fêmeas acasaladas foram liberadas em solo seco, elas foram incapazes de escavar.

A velocidade do vento por sua vez tem uma interessante interação com a revoada, já que os de baixa intensidade (abaixo de 8 m/s) não impediram a saída dos alados. Contudo, cabe destacar que sua velocidade e direção influenciam na dispersão dos alados que são carregados pelo vento, resultando em baixo controle de seu voo. Esse efeito do vento registrado em nosso estudo corrobora com as observações de outros autores (RHOADES e DAVIS, 1967; MILIO et al., 1988; TRAGER, 1991).

As operárias de *S. saevissima* auxiliam na preparação para o voo nupcial, abrindo orifícios na superfície do ninho, como descrito por Morril (1974) e Vinson (1997) em *S. invicta* e principalmente oferecendo proteção aos alados durante todo o evento. A revoada é um momento crítico para a colônia que se torna vulnerável ao ataque de diversos inimigos naturais oportunistas que se não controlados podem diminuir as chances de sucesso na dispersão dos alados.

A revoada de *S. saevissima* é monossexual, primeiro partem os machos e em seguida as fêmeas. Esse padrão é semelhante ao observado, em estudos nos EUA, por Markin et al. (1971) para *S. richteri* e por Morril (1974) e Vinson (1991) para *S. invicta*.

O comportamento dos alados em escalar a vegetação e pontos elevados na proximidade do ninho, sugere uma estratégia que otimiza a decolagem, evitando também possíveis obstáculos durante a partida. O uso de pontos elevados pelos alados para decolagem também

ocorre em *S. invicta* (LOFGREN, et al. 1975; VINSON, 1991).

A presença de alguns alados deformados é de certa forma esperada quando se imagina que em uma única colônia de lava-pés podem ser produzidos dezenas de milhares de alados. Apesar de não estudados em detalhes, vários fatores podem ser listados como possíveis causas dessas deformidades como, por exemplo, variações genéticas, parasitismos, má alimentação, dentre outros. Essa deformação impede que estes alados executem o voo nupcial e os expõem de maneira mais direta as ações dos inimigos naturais. Morrill (1974) descreve diferentes tipos de deformidades em *S. invicta*: fêmeas sem asas; fêmeas com uma única asa deformada; fêmea com duas asas deformadas; fêmeas com duas asas e uma deformada; e machos sem asa metatorácica.

Em solo, após a cópula, a prioridade das jovens rainhas é encontrar um local adequado para a fundação do ninho. Esta decisão tem um reflexo direto no sucesso das novas colônias, uma vez que a escolha de um local inadequado representa uma das principais causas do fracasso e morte das rainhas. Nesse momento, é possível perceber que as rainhas possuem uma atratividade por frestas e pequenas cavidades para fundação (TSCHINKEL, 1988; SOUZA et al., 2004), o que de certa forma justifica uma modesta economia de energia durante o processo de escavação.

A distância de dispersão alcançada pelos alados é muito variável, pois depende diretamente das condições climáticas do momento (velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, dentre outros). Na literatura é possível encontrar relatos de dispersões para lava-pés, desde poucas dezenas de metros (WUELLNER, 2000) até surpreendentes 19 km (Banks et al. 1973). A eficiência de dispersão caracteriza um problema no que se refere ao sucesso de nidificação em ambientes urbanizados, sendo de difícil controle e prevenção.

Quanto aos riscos enfrentados pelas jovens rainhas, Hölldobler e Wilson (1990) relatam que a maioria das fêmeas aladas virgens morre pouco depois de sair do ninho, devido a predação, afogamento em piscina ou desidratação (VINSON, 1997). Entre os inimigos naturais registrados para *S. saevissima* em nosso estudo, estão aves, formigas (*P. megacephala*) e parasitóides (*Pseudacteon* sp.). Markin et al. (1971), Morrill (1974), Vinson (1997) e Wuellner (2000) relatam a predação por libélulas, besouros, formigas, aranhas e aves, ocorrida após a copula. Moscas forídeos são parasitoides frequentemente relatados como inimigos de lava-pés (MORRISON e PORTER, 2005; PATROCK, et al. 2009; BRIANO et al., 2012; BAILEZ, 2016; PORTER et al., 2018). Pesquero et al. (1993) registraram a ocorrência de parasitoidismo de forídeos *Pseudacteon* sp. em *S. saevissima*, no Brasil, durante o voo nupcial.

O estudos de inimigos naturais de formigas lava-pés em ambientes nativos destas espécies deve ser melhor investigado, pois pode subsidiar estratégias de controle biológico desta formigas.

A evidência de mais de uma liberação de alados registrada neste estudo para *S. saevissima* parece refletir diretamente a maturidade da colônia. Segundo Vinson (1997) uma colônia bem desenvolvida de *S. invicta*, pode produzir de 40 mil a 300 mil fêmeas aladas, o que por si só explica mais de uma liberação de alados por ano. O mesmo parece ocorrer em *S. saevissima*, uma vez que as colônias que liberam alados mais de uma vez eram maiores do que as que liberam apenas uma vez. Nesse caso o maior tamanho das colônias é um reflexo de uma maior população.

2.5 CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo demonstram que para *S. saevissima*, a revoada pode ser prevista com base nos fatores climáticos, principalmente a estação climática e o intervalo de estiagem e precipitação. O conhecimento destas informações pode subsidiar estratégias de controle, de modo a orientar que o controle das colônias seja feito antes da proximidade das revoadas, minimizando assim o surgimento de novas colônias em uma determinada área.

REFERÊNCIAS

- BAILEZ, O. Estratégias e táticas na interação forídeo-formiga. **Oecologia Australis**, v.20, n. 3, p. 1-10, 2016.
- BANKS, W.A.; GLANCE, Y .B.M.; STRINGER, C.E.; JOUVENAZ, D.P.; LOFGREN, C.S.; WEIDHAAS, D.E. Imported fire ants: Eradication trials with mirex bait. **J. Econ. Ent.**, v. 66, p. 785-789, 1973.
- BASS, J.A.; HAYS, S.B. Nuptial flights of the imported fire ant in South Carolina. **J. Ga. Entomolo. Soc.**, v.14, p. 158-161, 1979.
- BRIANO, J.; CALCATERRA, L.; VARONE, L. Fire ants (*Solenopsis* spp.) and their natural enemies in Southern South America. **Psyche: A Journal of Entomology**, v.2012, p 1-19, 2012.
- HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E.O. **The Ants**. Cambridge: Harvard University. 732 p. 1990.

LENOIR, A.; DEVERS, S.; TOUCHARD, A.; DEJEAN, A. The Guianese population of the fire ant *Solenopsis saevissima* is unicolonial. **Insect science**, v. 23, p. 739- 745, 2016.

LOFGREN, C.S.; BANKS, W.A.; GLANCEY, B.M. Biology and control of imported fire ants. **Annu. Rev. Entomol.**, v.20, p.1-30, 1975.

MARKIN, G.P.; DILLER, J.H. The seasonal life cycle of the imported fire ant, *Solenopsis saevissima richteri* on the gulf coast of Mississippi. **Ibid.**, v.64, p. 562-565, 1971.

MARKIN, G.P.; DILLER, J.H.; HILL, S.O.; BLUM, M.S.; HERMANN, H.R. Nuptial flights and flight ranges of the imported fire ant, *Solenopsis saevissima richteri* (Hymenoptera: Formicidae). **J. Ga. Entomol. Soc.**, v.6, p. 145-156, 1972.

MARTIN, J.M.; ROUX, O.; GROU, S.; DEJEAN, A. A type of unicoloniality within the native range of the fire ant *Solenopsis saevissima*. **Comptes Rendus Biologies**, v.334, p. 307- 310, 2011.

MILIO, J.; LOFGREN, C.S.; WILLIAMS, D.F. Nuptial flight studies of field-collected colonies of *Solenopsis invicta* Buren. In Trager JC (ed.). **Advances in Myrmecology**, E. J. Brill, New York, pp. 419–431, 1988.

MORRILL, W.L. Production and flight of alate red imported fire ants. **Environ. Entomol.**, v.3, p. 265-271, 1974.

MORRISON, L.W.; PORTER, S.D. Phenology and parasitism rates in introduced populations of *Pseudacteon tricuspis*, a parasitoid of *Solenopsis invicta*. **BioControl**, v. 50, p. 127-141, 2005.

PATROCK, R.J.W.; PORTER, S.D.; GILBERT, L.E.; FOLGARAIT, P.J. Distributional patterns of *Pseudacteon* associated with the *Solenopsis saevissima* complex in South America. **Journal of Insect Science**, v.9, n. 60, p. 1-18, 2009.

PESQUERO, M.A.; CAMPIOLO, S.; FOWLER, H.G. Phorids (Diptera: Phoridae) associated

with mating swarms of *Solenopsis saevissima* (Hymenoptera: Formicidae). **Florida Entomologist**, v.76, p. 179-181, 1993.

PORTER, S.D.; PLOWES, R.M.; CAUSTON, C.E. The fire ant decapitating fly, *Pseudacteon bifidus* (Diptera: Phoridae): host specificity and attraction to potential food items. **Florida Entomologist**, v.101, n. 1, p. 55-60, 2018.

RHOADES, W.C.; DAVIS, D.R. Effects of meteorological factors on the biology and control of the imported fire ant. **J. Econ. Entomol.**, v.60, n. 2, p. 554-558, 1967.

SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO L.G.; SILVA F.F.; CARVALHO A.M. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.108, p. 1-7, 2012

SOUZA, D.J.; DELLA LUCIA, T.M.C.; LACERDA, F.G. Fundação pleométrica em *Solenopsis saevissima* (Hymenoptera: Formicidae) em laboratório. **Acta Biologica Leopoldensia**, v.26, n.2, p. 259-270, 2004.

TRAGER, J.C. A revision of the fire ants, *Solenopsis geminate* group (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). **J. N.Y. Entomo. Soc.**, v.99, p. 141-198, 1991.

TSCHINKEL, W.R. Distribution of the fire ants *Solenopsis invicta* and *S. geminata* (Hymenoptera: Formicidae) in Northern Florida in relation to habitat and disturbance. **Ann. Entomol. Soc. Am.**, v.81, n. 1, p. 76-81, 1988.

TSCHINKEL, W.R. The reproductive biology of fire ant societies: Fire ant females have many and varied reproductive options. **BioScience**, v.48, p. 145-156, 1998.

VINSON, S.B. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae). **Am. Entomol.**, v.43, p. 23-39, 1997.

WUELLNER, C.T. Male aggregation by *Solenopsis richteri* Forel (Hymenoptera: Formicidae) and associated mating behavior in Argentina. **Journal of Insect Behavior**, v.13, n. 5, p. 751-756, 2000.

3 DIVERSIDADE NAS ESTRATÉGIAS DE FUNDAÇÃO EM FORMIGAS LAVAPÉS NEOTROPICAIS *Solenopsis saevissima* (SMITH, 1855)

ABSTRACT

The establishment of new colonies by isolated or associated queens is common in the neotropical fire ant *Solenopsis saevissima*, as in both cases there are costs and benefits during the process. This diversity in establishing foundation strategies can be very advantageous for queens as there are physiological and ecological restrictions that will be influential during this phase considered critical to the success or failure of a colony. Thus, the aim of this study was to evaluate the diversity of *S. saevissima* founding strategies under experimental conditions through the reproductive success of colonies in haplometrose and pleometrose. To this end, six groups of newly fertilized sister queens were assembled containing ten repetitions in each grouping of 01, 02, 03, 04, 05 and 06 queens. All six foundations associations had reproductive success, but the highest percentage of success was recorded in the group of 05 queens, this group was also the one that first reached post-emergence, generated a greater number of workers and queens had the highest survival rate. In all groups in pleometrosis, the occurrence of oophagia was observed during the experiment. Regarding the development phase of the biological cycle, the mortality rate of queens was higher at the beginning of the foundation, before and during oviposition, and at the end of the experiment, after emergence. The reproductive success of *S. saevissima* in different types of queen sisters associations during foundation can be very favorable, especially in environments where the availability of adequate foundation sites is scarce.

Keywords: Cooperation. Haplometrosis. Nesting Behavior. Pleometrosis. Reproductive success.

3.1 INTRODUÇÃO

A fundação de uma colônia é uma fase crítica para himenópteros sociais, por representar o sucesso ou o fracasso reprodutivo de uma rainha, que pode iniciar sua colônia de forma isolada (haplometrose) ou cooperativa (pleometrose). No entanto, em ambos os casos o sucesso dependerá dos custos e dos benefícios associados em cada estratégia (BARTZ e HÖLLDOBLER, 1982; REEVE, 1991; TSCHINKEL, 2006; PREZOTO et al., 2015; SHAFFER et al., 2016).

Rainhas de lava-pés *Solenopsis* Westwood, 1840 fundam suas colônias tanto em ambientes naturais quanto em áreas urbanas, mas nas últimas décadas estas formigas tem obtido grande sucesso em ocupar novas áreas, onde se tornam as principais pragas urbanas (WOJICK, 1986; MORRISON et al., 2004; PACHECO e VASCONCELOS, 2007; DREES et al., 2012). Devido ao sucesso em ocupar ambientes alterados, elas podem causar graves acidentes em humanos, por suas dolorosas ferroadas (HAIGHT e TSCHINKEL, 2003; TANKERSLEY, 2008; HADDAD JR e LARSSON, 2015)

Nas estratégias de fundação, a haplometrose possui ausência de competição reprodutiva entre rainhas é um fator vantajoso para seu sucesso, fazendo com que esta direcione seu gasto energético para o cuidado com a prole. Na pleometrose os benefícios estão associados a maior produção e proteção da prole, aumento da chance de sobrevivência da rainha durante a fundação, e uma diminuição do desgaste metabólico provocado pelo forrageio (BARTZ e HÖLLDOBLER, 1982; TSCHINKEL e HOWARD, 1983; RISSING e POLLOCK, 1986).

O estado fisiológico das rainhas influencia na estratégia de fundação, pois aquelas com maiores reservas de energia tendem a fundar de forma independente (KELLER e PASSERA, 1989; ROSS e KELLER, 1995; SUNDSTROM, 1995; DEHEER e TSCHINKEL, 1998). Nas restrições ecológicas, a escassez de locais apropriados para nidificação, principalmente em áreas alteradas, como o ambiente urbano, é um fator relevante já que rainhas recém-fecundadas de *Solenopsis invicta* Buren, 1972 têm atração por cavidades, o que favorece a formação de pleometrose. Além disso, rainhas são mais propensas a compartilhar estas cavidades quando estes são mais rasos (TSCHINKEL, 1988).

Em lava-pés, aparentemente a pleometrose parece ser uma relação vantajosa para as fêmeas, por haver cooperação entre as mesmas (TSCHINKEL e HOWARD, 1983; RISSING e POLLOCK 1988; ADAMS e TSCHINKEL, 1995; TSCHINKEL, 1998; DEHEER e TSCHINKEL, 1998), no entanto, estas associações podem levar a casos de interações agressivas tanto entre as rainhas fundadoras quanto entre rainhas e operárias (BERNASCONI e KELLER, 1996). Assim como descrito por Adams e Tschinkel (1995) para *S. invicta*, a associação de fundadoras pode alterar a densidade e o tamanho das colônias, além de afetar a intensidade de competição entre elas, já que quanto maior o número de rainhas associadas maior a competição.

A formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), nativa do Brasil, obteve muito sucesso em se estabelecer em ambientes urbanizados (BUENO e CAMPOS-FARINHA, 1999; BUENO et al., 2017), apesar destes não serem tão favoráveis a nidificação, já que solos e vegetação são mais escassos em relação a um ambiente natural. No entanto, é

comum observar a sua ocorrência em locais de pouca disponibilidade de cavidades naturais, mostrando que esta espécie consegue se adaptar a áreas urbanas. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar, em condições laboratoriais, se *S. saevissima* possui diversidade nas estratégias de fundação, através do sucesso reprodutivo das colônias em haplometrose e em pleometrose.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com rainhas obtidas de revoadas isoladas ocorridas em 2017 e 2018, em colônias localizadas em área urbana do município de Juiz de Fora (21° 46' 29.49" S, 43° 22' 6.26" W, 800 m de altitude), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil, região de clima tropical de altitude do tipo Cwa (SÁ-JUNIOR et al., 2012).

Para a criação das rainhas em condições artificiais, foram distribuídos aleatoriamente, 210 exemplares, em recipientes plásticos de 400 ml, redondos e transparentes. Para a formação da haplometrose, 10 rainhas foram mantidas individualmente, e para a formação de pleometrose, foram montados 10 repetições para cada tipo de fundação com 02, 03, 04, 05 e 06 rainhas (Figura 03). Todos os grupos foram montados com rainhas irmãs, ou seja, obtidas do mesmo voo nupcial.

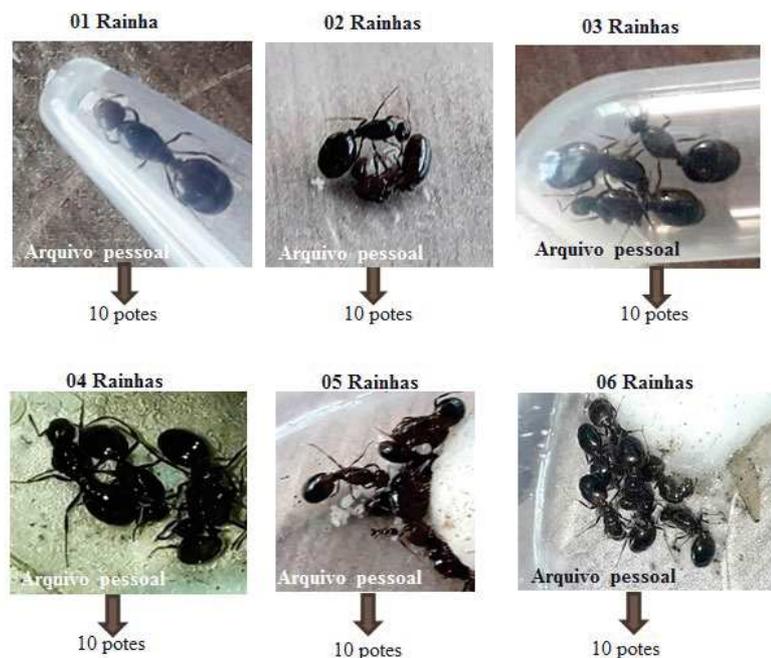


Figura 03 – Formação dos agrupamentos de haplometrose e de pleometrose com 02, 03, 04, 05 e 06 rainhas de formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil.

Para avaliar os períodos de desenvolvimento do ciclo da colônia foi quantificado o tempo de duração dos cinco estágios biológicos, classificados em (Figura 04):

- Período Pré-Ovo (PPO) - período do dia da revoada até a oviposição;
- Período Ovo (PO) - período de surgimento do primeiro ovo até a primeira larva.
- Período Larva (PL) - período de surgimento da primeira larva até a primeira pupa.
- Período Pupa (PP) - período de surgimento da primeira pupa até a primeira operária.
- Período Pós-Emergência (PPE) - após o surgimento da primeira operária.



Figura 04 – Período de desenvolvimento do ciclo biológico de formigas lava-pés neotropicais *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil.

Foi considerado pré-emergência o período de pré-ovo até o período de início da pós-emergência. A vistoria das colônias foi feita diariamente para se quantificar o surgimento dos diferentes estágios imaturos de desenvolvimento, bem como a mortalidade dos indivíduos. O sucesso reprodutivo das rainhas foi avaliado a partir do surgimento das primeiras operárias produzidas em cada colônia, considerando-se como bem sucedida a colônia que produziu uma ou mais operárias. O final do experimento se deu com a morte do último adulto, aos 168 dias.

A ocorrência de oofagia foi registrada pela evidência de resquícios de fragmentos de ovos espalhados nos recipientes, bem como pela observação comportamental direta.

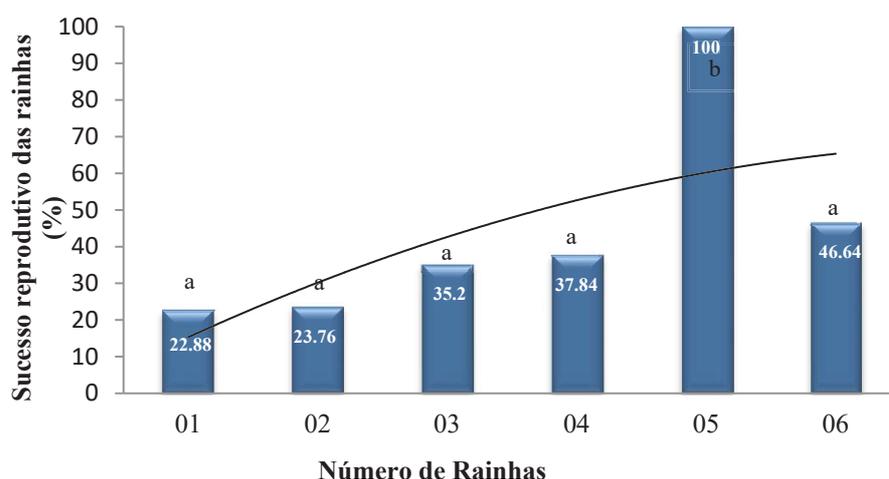
Os dados foram analisados estatisticamente através dos Testes de normalidade Shapiro-Wilk, para avaliar a distribuição normal dos dados, e o Teste-*t* de Student para se verificar a diferença entre o sucesso reprodutivo dos agrupamentos de rainhas, para o total de operárias geradas por fundação e o número de rainhas mortas em relação a fase de desenvolvimento da

colônia. O teste de Correlação de Spearman foi aplicado para correlacionar o número de operárias produzidas pelo número de fundadoras. Todas as análises foram feitas pelo software freeware BioEstat versão 5.3 (Ayres et al., 2015).

3.3 RESULTADOS

Todos os agrupamentos de rainhas testados alcançaram sucesso reprodutivo, com destaque para as colônias fundadas por 05 rainhas que obteve 100% de sucesso, diferindo estatisticamente ($p < 0.001$) dos demais agrupamentos (Figura 05). A haplometrose obteve menor sucesso reprodutivo (22,88%), em relação a pleometrose com 02 rainhas (23,76%). A linha de tendência indica haver um número máximo ideal de fundadoras ($n = 05$) e que fundações com 06 ou mais rainhas não irão refletir no sucesso reprodutivo de uma colônia (Figura 05).

Houve correlação positiva ($r = 0,9429$) entre o número de fundadoras e a quantidade de operárias produzidas e o maior número de operárias por recipientes foi alcançado nas fundações com 05 rainhas ($n = 13$ operárias). Para os grupos múltiplos com 06, 04, 03 e 02 rainhas o máximo de operárias produzidas em uma única colônia foi de nove, oito, oito e seis, respectivamente, enquanto que na haplometrose o máximo foi de seis operárias.

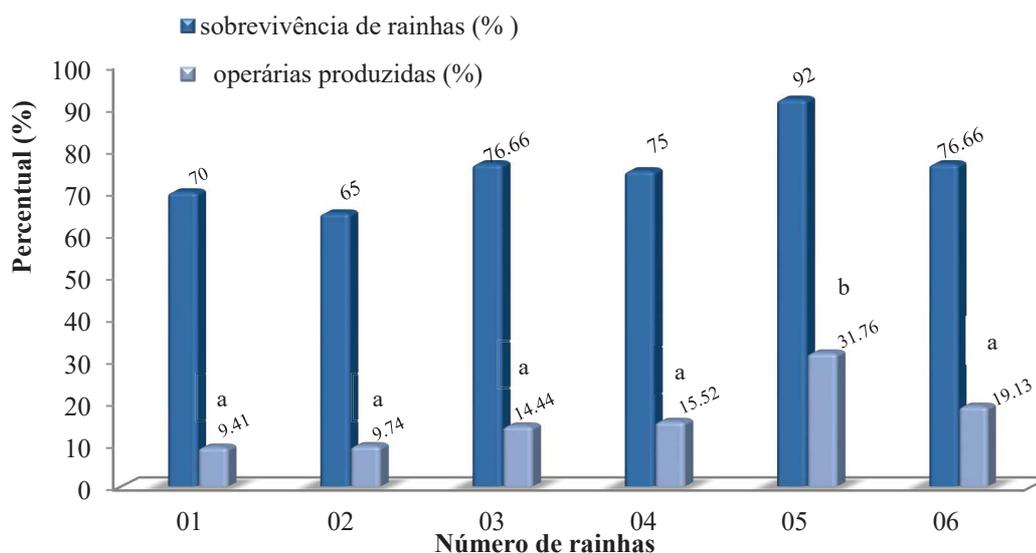


*Colunas com letras desiguais diferem entre si estatisticamente, pelo Teste- t ($p < 0.001$).

Figura 05 – Sucesso reprodutivo de rainhas de formigas lava-pés neotropicais *Solenopsis saevissima*, em haplometrose e em pleometrose, em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.

A sobrevivência das rainhas, até o início da pós-emergência, foi maior nas fundações

com 05 rainhas (92%), seguida por 06 e 03 rainhas (76,66%), 04 (75%), 01 (70%) e 02 (65%), e a produção de operárias, também foi maior em 05 rainhas (31,76%), seguida por 06 rainhas (19,13%), 04 (15,52%), 03 (14,44%), 02 (9,74%) e 01 (9,41%). A produção total de operárias por tipo de fundação foi significativamente maior ($p < 0.001$) na pleometrose com 05 rainhas em relação as demais, enquanto que a haplometrose teve a menor produção (Figura 06).



*Letras distintas entre si apresentam diferenças estatísticas pelo Teste-*t* de Student ($p < 0.001$)

Figura 06 – Sobrevivência de rainhas até a pós-emergência e produção de operárias de formigas lava-pés neotropicais *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855) de acordo com o tipo de fundação, em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.

A primeira oviposição aconteceu na haplometrose e o tempo médio de duração do período ovo em pleometrose variou de 3,9 dias (com 03 rainhas), 4,1 dias (com 04 rainhas), 4,2 (com 02 e 05 rainhas) e 5,5 (com 06 rainhas), e em haplometrose o tempo médio foi de 4,9 dias. Os dados estatísticos mostram que não houve diferença significativa ($p=0.1088$) entre os grupos de fundadoras.

Em pleometrose, não houve diferença estatística ($p=0,1893$) no tempo médio de desenvolvimento de ovo, que variou de 58,2 ($\pm 1,85$) dias para fundações com 05 rainhas a 65,2 ($\pm 2,73$) dias para 06 rainhas (Figura 07). Para o desenvolvimento dos estágios de larva ($21,7 \pm 1,21$ dias) e de pupa ($15,8 \pm 0,73$ dias) foi mais rápido em fundações haplométricas, diferente do período de amadurecimento dos ovos ($66,1 \pm 4,32$ dias).

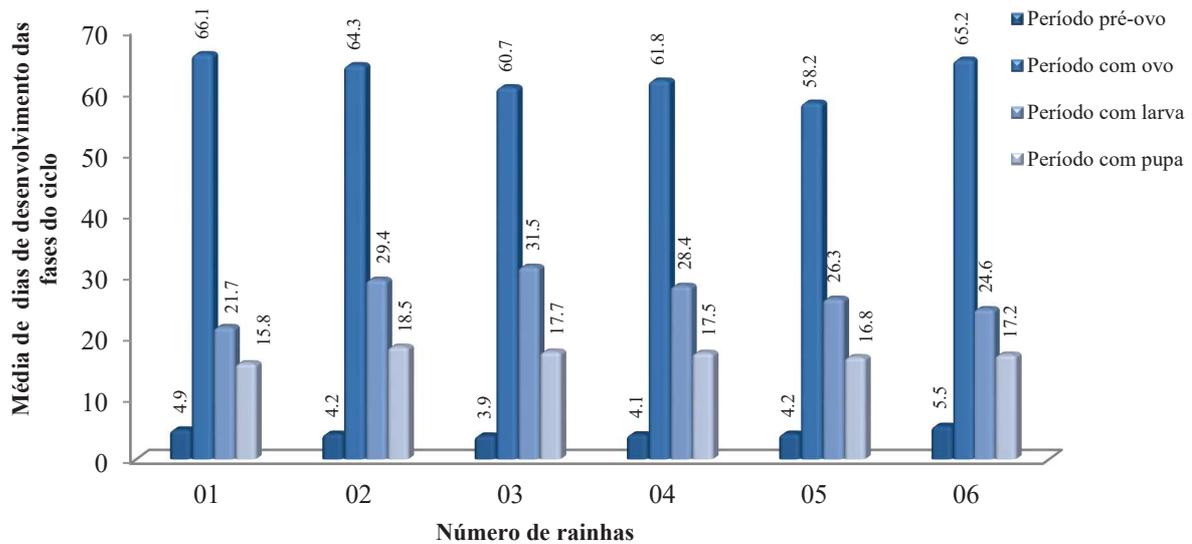
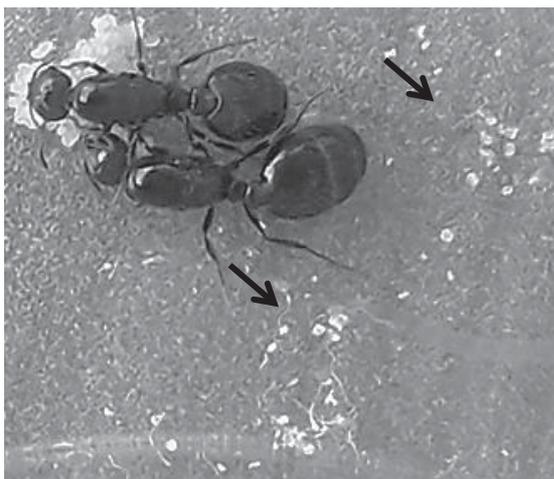


Figura 07– Média de dias de desenvolvimento dos estágios biológicos de formigas lava-pés neotropicais *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em relação ao tipo de fundação, em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.

A duração média do período de pré-emergência foi de 108,2 dias para haplometrose e de 116,4; 114,8; 112,8; 106,5 e 113,5 dias para pleometrose com 02, 03, 04, 05 e 06 rainhas, respectivamente. E colônias com 05 rainhas tiveram o menor tempo de duração de pré-emergência.

Durante o período com larva, foi registrada a emergência de moscas parasitóides (forídeos *Pseudacteon* sp.) em quatro (6,66%) colônias pleométricas. Nos seis grupos em pleometrose foi registrado o comportamento de oofagia realizadas pelas rainhas (Figura 08), e interações agressivas entre elas não foi observada.

A mortalidade das rainhas esteve concentrada em dois momentos do ciclo, no início da fundação durante os períodos pré-ovo (n=19) e ovo (n=18) e no período de pós-emergência (n=52) (Tabela 02), havendo diferença estatística entre os cinco estágios biológicos em relação ao período de pós-emergência com o período pré-ovo ($p < 0.001$) e período de pós-emergência com período ovo ($p < 0.001$).



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

Figura 08 – Evidencia de oofagia realizados por rainhas pleometróticas de formigas lava-pés neotropicais *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855) em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. As setas indicam os resquícios dos fragmentos de ovos.

Tabela 02–Mortalidade de rainhas de acordo com os estágios biológicos de formigas lava-pés neotropicais *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), de acordo com o tipo de fundação, em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, Brasil

Períodos de desenvolvimento dos estágios biológicos	Mortalidade (%)					
	01 rainha	02 rainhas	03 rainhas	04 rainhas	05 rainhas	06 rainhas
Período Pré-ovo	20 ^a	15 ^a	16.66	10	2	11.66 ^b
Período ovo	20 ^a	25 ^a	13.34	12.5	6	6.66 ^b
Período Larva	0	0	3.34	0	0	3.34 ^b
Período Pupa	0	5 ^a	0	0	0	0
Período Pós-emergência	60 ^a	55 ^a	66.66	77.5	92	78.34 ^b

^{a,b} Há diferenças estatísticas pelo Teste-*t* de Student ($p < 0.001$)

3.4 DISCUSSÃO

Todos os agrupamentos testados alcançaram sucesso embora com grande variação, o que demonstra haver uma diversidade de estratégias de fundação em *S. saevissima* em regiões neotropicais, cujo arranjo ótimo parece ser a associação entre 05 rainhas.

O maior sucesso reprodutivo no grupo com 05 rainhas se deve ao fato de todas as colônias atingirem a pós-emergência em menor tempo e produzindo um maior número de operárias, o que favorece a colônia visto que elas atuam de forma ativa no cuidado com a prole,

na manutenção e na ampliação da colônia. Segundo Bartz e Hölldobler (1982), Tschinkel e Howard (1983), Tschinkel (1993), Adams e Tschinkel (1995), o número total de operárias criadas pela colônia durante a fase claustral está correlacionado positivamente com o número de fundadora até um máximo, depois declina com rainhas adicionais. Em *S. invicta*, Tschinkel (1993) verificou que o número de trabalhadores produzidos atinge um máximo entre 04 e 07 rainhas, e Tschinkel e Howard (1983), afirmam que em laboratório, grupos com 05 fundadoras produzem mais operárias do que grupos com 10 ou 15 rainhas, dados semelhantes ao do presente estudo.

O sucesso reprodutivo das rainhas em haplometrose foi menor e pouco diferiu da pleometrose com 02 rainhas, o que sugere que fundações pleométricas com um número reduzido de rainhas não seja mais vantajoso que fundar sozinha sua colônia.

A decisão de adotar uma ou outra estratégia de fundação (haplometrose ou pleometrose) pode também estar ligada à densidade e a proximidade espacial entre colônias adultas, como sugerido por Diehl-Fleig e Araújo (1996) para *Acromyrmex striatus* (Roger, 1803) e por Souza et al. (2004) para *S. saevissima*. Assim, em ambiente natural com menor densidade populacional e com abundância de locais adequados para nidificação, é de se supor que a haplometrose possa ter mais sucesso, enquanto que em ambiente urbano a pleometrose com número máximo ideal de rainhas seria mais favorável ao sucesso da nova colônia.

Diferentes estudos (RISSING e POLLOCK, 1988; SOMMER e HÖLLDOBLER, 1995; BERNASCONI e KELLER, 1996) relatam que a emergência das primeiras operárias induz ao surgimento de comportamentos agressivos entre os membros da colônia. A oofagia em pleometrose, como também relatado por Adams e Tschinkel (1995) pode ser um indicativo da ocorrência de uma competição entre rainhas, seja por liderança na oviposição ou por recursos como espaço e alimento. Este comportamento de predação de ovos afeta diretamente a taxa de trabalhadoras a serem geradas dentro da colônia.

Em *Solenopsis* sp., o surgimento das operárias pode trazer diversos benefícios tais como o aumento de chance de sucesso na construção do ninho (PEETERS e ANDERSEN, 1989), o aumento de sobrevivência através do primeiro inverno (TSCHINKEL e HOWARD, 1983), permite a produção antecipada de trabalhadores (BARTZ e HOLLDOBLER, 1982), ou melhora a capacidade competitiva da colônia em lutas com outras colônias incipientes (BARTZ e HOLLDOBLER 1982; RISSING e POLLOCK 1987, 1991; TSCHINKEL 1992a; ADAM e TSCHINKEL, 1995).

A duração média do período de pré-emergência foi superior ao relatado na literatura, tais como por Souza et al. (2004) para *S. saevissima* no Brasil com cerca de 30 dias; e para *S.*

invicta em regiões temperadas Tschinkel (1988; 1992b) cita 30 dias e Markin et al. (1972) de 20-24 dias. O maior tempo de desenvolvimento dos imaturos registrado no presente estudo pode estar relacionado ao estresse causado pela criação em condições laboratoriais, as quais foram mantidas na ausência de estímulos naturais como escuridão total, ausência de galerias e de contato com a terra, o que pode também ter influenciado na temperatura interna dos recipientes. Como se sabe para *S. invicta*, a temperatura do solo é um importante fator que regula a taxa de reprodução e de crescimento das colônias (PORTER e TSCHINKEL, 1993; KORZUKHIN et al., 2001), e influencia na sobrevivência da prole e na longevidade das operárias (ASANO e CASSIL, 2012).

Para *S. saevissima*, o tempo de postura foi superior ao relatado na literatura, como Souza et al. (2004) registraram 3 dias para mesma espécie e Markin et al. (1972) 2-3 dias para *S. invicta*. Tanto para larvas e pupas, os tempos também foram superiores aos de estudos com *S. invicta* (FINCHER e LUND, 1967; PETRALIA e VINSON, 1978) que relatam que as larvas eclodem em cerca de 8 a 10 dias e demoram de 6 a 10 dias para se tornarem pupas. Markin et al. (1972) relatam tempo de larva de 6 a 8 dias e de pupas de 14 a 15 dias e para Hölldobler e Wilson (1990) o período de ovo até pupa dura de 20 a 45 dias.

A ocorrência de moscas parasitóides (forídeos *Pseudacteon* sp.) retiradas de algumas colônias sugere que a contaminação se deu no momento da revoada, já que os recipientes eram mantidos fechados. Assim supõe-se que algumas rainhas quando coletadas já haviam sido infectadas e tal relação tenha afetado a sua capacidade de executar o cuidado com a prole, de forma ideal para o desenvolvimento saudável dos mesmos (JOUVENAZ, 1983; PORTER e PESQUERO, 2001; CALCATERRA et al., 2005; CALCATERRA et al., 2007). Segundo Briano et al. (2012) a presença de forídeos afeta a capacidade de forrageamento de *S. invicta*, levando a uma redução de até 50% na eficiência, fato este que poderia impactar no desenvolvimento dos indivíduos.

A taxa de mortalidade em rainhas em haplometrose foi menor, considerando que por estarem sozinhas, sua morte representa o insucesso de sua colônia. Cabe destacar que nos casos de rainhas duplas, quando uma morre outra assume o controle da colônia isoladamente. Tal situação é relatada por Hölldobler e Wilson (1977), em que os autores citam que várias rainhas começam uma colônia pleométrica, mas por vezes, apenas uma sobrevive e mantém as atividades da colônia.

Com a avaliação do percentual de mortes de rainhas ao longo do experimento, pode se afirmar que o período inicial de pré-ovo e de ovo (como relatado por Tschinkel, 1998 para *S. invicta*), bem como o período de pós-emergência são os períodos mais críticos a sobrevivência

das mesmas, visto que no início a rainha deve executar todas as funções essenciais a manutenção da colônia, entre escolher um bom local de nidificação, patrulhar a área contra inimigos naturais, manter suas reservas de energia e proteger a prole, além de evitar competição com demais rainhas, em pleometrose. No período de pós-emergência, apesar de contar com a ajuda de operárias na divisão das tarefas das colônias, a agressividade por competição por recursos pode ser um problema maior.

A diversidade da formiga lava-pé neotropical *S. saevissima* nas estratégias de fundações pode ser um fator que muito contribui para o seu sucesso em áreas urbanas, onde locais adequados de nidificação nem sempre estão facilmente disponíveis, tendo assim que buscar frestas, comumente pequenas, já estabelecidas no ambiente (TSCHINKEL, 1998).

3.5 CONCLUSÃO

A formiga lava-pé neotropical *S. saevissima* apresenta diversidade quanto as estratégias de fundações, o que pode ser muito vantajoso no sucesso de dispersão de novas colônias. No entanto, parece existir um número ideal de associações de rainhas, onde um número mais restrito pode afetar a eficiência da parceria, mas que também um número além do ideal pode ser prejudicial, possivelmente por fatores de competição. Assim, em condições laboratoriais, as associações principalmente com 05 rainhas se mostraram a mais vantajosas, por terem obtido maior sucesso reprodutivo, produziram maior número de operárias e maior taxa de sobrevivência das rainhas.

REFERÊNCIAS

ADAMS, E.S.; TSCHINKEL, W.R. Effects of foundress number on brood raids and queen survival in the fire ant *Solenopsis invicta*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 37,p. 233-242, 1995.

ASANO, E.; CASSIL, D.L. Modeling temperature-mediated fluctuation in colony size in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Journal of Theoretical Biology**, v.305, p. 70-77, 2012.

AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.S. **Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**, Instituto Mamirauá, Belém, Brasil, 2015.

BARTZ, S.H.; HÖLLDOBLER, B. Colony founding in *Myrmecocystus mimicus* Wheeler (Hymenoptera: Formicidae) and the evolution of foundress associations. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v.10, p.137-147, 1982.

BERNASCONI, G.; KELLER, L. Reproductive conflicts in cooperative associations of fire ant queens (*Solenopsis invicta*). **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 263, p. 509-513, 1996.

BRIANO, J.; CALCATERRA, L.; VARONE, L. Fire ants (*Solenopsis* spp.) and their natural enemies in Southern South America. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2012, p 1-19, 2012.

BUENO, O.C.; CAMPOS-FARINHA, A.E.C. As formigas domésticas. In: Mariconi FAM (ed.) **Insetos e outros invasores de residências**, pp 135-180. FEALQ, Piracicaba, São Paulo, 1999.

BUENO, O.C.; CAMPOS, A.E.; MORINI, M.S.C. **Formigas em ambientes urbanos no Brasil**. Canal 6, Bauru, São Paulo, 2017.

CALCATERRA, L.A.; PORTER, S.D.; BRIANO, J.A. Distribution and abundance of fire ant decapitating flies (Diptera: Phoridae: *Pseudacteon* spp.) in three regions of southern South America. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 98, p. 85-95, 2005.

CALCATERRA, L.A.; VANDER MEER, R.K.; PITTS, J.P.; LIVORE, J.P.; TSUTSUI, N.D. Survey of *Solenopsis* fire ants and their parasitoid flies (Diptera: Phoridae: *Pseudacteon* spp.) in Central Chile and Central Western Argentina. **Annals of the Entomological Society of America**, v.100, p. 512-521, 2007.

DEHEER, C.J.; TSCHINKEL, W.R. The success of alternative reproductive tactics in monogyne populations of the ant *Solenopsis invicta*: significance for transitions in social organization. **Behavioral Ecology**, v. 9, 130-135, 1998.

DIEHL-FLEIG, E.; ARAÚJO, A.M. Haplometrosis and pleometrosis in the ant *Acromyrmex striatus* (Hymenoptera: Formicidae). **Insectes sociaux**, v. 43, p. 47-51, 1996.

DREES, B.M.; BARR, C.L.; VINSON, S.B.; GOLD, R.E., MERCHANT, R. E.; RIGGS, N.; LENNON, L.; RUSSELL, S.; NESTER, P. **Managing imported fire ants in urban areas.** Bulletin 1191. University of Georgia, 2012.

FINCHER, G.T.; LUND, H.O. Notes on the biology of the imported fire ant *Solenopsis saevissima richteri* Forel in Georgia. **Journal of the Georgia Entomological Society**, v. 2, p. 91-94, 1967.

HADDAD JUNIOR, V.; LARSSON, C.E. Anaphylaxis caused by stings from the *Solenopsis invicta*, lava-pés ant or red imported fire ant. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 90, p. 22-25, 2015.

HAIGHT, K.L.; TSCHINKEL, W.R. Patterns of venom synthesis and use in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Toxicon**, v. 42, p. 673-682, 2003.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E.O. The number of queens: an important trait in ant evolution. **Naturwissenschaften**, v. 64, p.8-15, 1977.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E.O. **The Ants**. Harvard University Press, Cambridge, 1990.

JOUVENAZ, D.P. Natural enemies of fire ants. **Florida Entomologist**, v. 66, p. 111–12, 1983.

KELLER, L.; PASSERA, L. Size and fat content of gynes in relation to the mode of colony founding in ants (Hymenoptera; Formicidae). **Oecologia** , v.80, 236-240, 1989.

KORZUKHIN, M.D.; PORTER, S.D.; THOMPSON, L.C.; WILEY, S. Modeling temperature-dependent range limits for the fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in the United States. **Physiological and Chemical Ecology**, v.30, p. 645- 655, 2001.

MARKIN, G.P.; DILLIER, J.H.; COLLINS, H.L. Colony founding by queens of the red imported fire ant *Solenopsis invicta*. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 65, p. 1053-1058, 1972.

MORRISON, L.W.; PORTER, S.D.; DANIELS, E.; KORZUKHIN, M.D. Potential global range expansion of the invasive fire ant *Solenopsis invicta*. **Biological Invasions**, v. 6, p. 183-191, 2004.

PACHECO, R.; VASCONCELOS, H.L. Invertebrate conservation in urban areas: ants in the Brazilian Cerrado. **Landscape Urban Plan**, v. 81, p.193-199, 2007.

PEETERS, C.; ANDERSEN, A.N. Cooperation between dealate queens during colony foundation in the green tree ant, *Oecophylla smaragdina*. **Psyche**, v. 96, p. 39-44, 1989.

PETRALIA, R.S.; VINSON, S.B. Feeding in the larvae of the imported fire ant, *Solenopsis invicta*: Behavior and morphological adaptations. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 71, p. 643-648, 1978.

PORTER, S.D.; PESQUERO, M.A. Illustrated key to *Pseudacteon* decapitating flies (Diptera: Phoridae) that attack *Solenopsis saevissima* complex fire ants in South America. **Florida Entomologist**, v. 84, p. 69-699, 2001.

PORTER, S.D.; TSCHINKEL, W.R. Fire ant thermal preferences: behavioral control of growth and metabolism. **Behavioral Ecology and Sociobiology** , v.32, p.321-329, 1993.

PREZOTO, F.; CASTRO, M.M.; SOUZA, A.R.; GOBBI, N. Foundress association in the paper wasp *Polistes simillimus* (Hymenoptera: Vespidae). **Florida Entomologist**, v. 98, p. 556-559, 2015.

REEVE, H.K. *Polistes*. In: Ross KG, Matthews RW (eds.), **The Social Biology of Wasps**, pp. 99-148. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA. 1991

RISSING, S.W.; POLLOCK, G.B. Social interaction among pleometrotic queens of *Veromessor pergandei* (Hymenoptera:Formicidae) during colony foundation. **Animal Behaviour**, v. 34, p. 226-233, 1986.

RISSING, S.W.; POLLOCK, G.B. Queen aggression, pleometrotic advantage and brood raiding in the ant *Veromessor pergandei* (Hymenoptera: Formicidae). **Animal Behaviour**, v. 35,

p. 975-981, 1987.

RISSING, S.W.; POLLOCK, G.B. Pleometrosis and polygyny in ants. In: Jeanne RL (ed.) **Interindividual behavioral variability in social insects**, pp. 179-222, Westview Press: Boulder, Colorado, 1988.

RISSING, S.W.; POLLOCK, G.B. An experimental analysis of pleometrotic advantage in the desert seed-harvester ant *Messor pergandei* (Hymenoptera; Formicidae). **Insectes Sociaux**, v. 38, p. 205-211, 1991.

ROSS, K.G.; KELLER, L. Ecology and evolution of social organization: Insights from Fire Ants and Other Highly Eusocial Insects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 26, p. 631-656, 1995.

SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO L.G.; SILVA F.F.; CARVALHO A.M. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.108, p. 1-7, 2012

SHAFFER, Z.; SASAKI, T.; HANEY, B.; JANSSEN, M.; PRATT, S.C.; FEWELL, J.H. The foundress's dilemma: group selection for cooperation among queens of the harvester ant, *Pogonomyrmex californicus*. **Nature Scientific Reports**, v.6, 2016

SOMMER, K.; HÖLLDOBLER, B. Colony founding by queen association and determinants of reduction in queen number in the ant *Lasius niger*. **Animal Behaviour**, v. 50, p. 287-294, 1995.

SOUZA, D.J.; DELLA LUCIA, T.M.C.; LACERDA, F.G. Fundação pleométrica em *Solenopsis saevissima* (Hymenoptera: Formicidae) em laboratório. **Acta Biologica Leopoldensia**, v.26, n.2, p. 259-270, 2004.

SUNDSTRDM, L. Queen acceptance and nestmate recognition in monogyne and polygyne colonies of the ant *Formica truncorum*. **Animal Behaviour**, v. 53, p. 499-510, 1997.

TANKERSLEY, M.S. The stinging impact of the imported fire ant. **Current Opinion in**

Allergy and Clinical Immunology, v. 8, p. 354-359, 2008.

TSCHINKEL, W.R. Colony growth and the ontogeny of work polymorphism in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 22, p. 103-115, 1988

TSCHINKEL, W.R. Brood raiding in the fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae): laboratory and fields observations. **Annals of the Entomological society of America**, v. 85, p. 638-646, 1992a.

TSCHINKEL, W.R. Brood raiding and the population dynamics of founding and incipient colonies of the fire ants, *Solenopsis invicta*. **Ecological Entomology**, v. 17, p. 179-188, 1992b.

TSCHINKEL, W.R. Sociometry and sociogenesis of colonies of the fire ant *Solenopsis invicta* during one annual cycle. **Ecological Monographs**, v. 64, p. 425-457, 1993.

TSCHINKEL, W.R. An experimental study of pleometrotic colony founding in the fire ant, *Solenopsis invicta*: what is the basis for association? **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 43, p.247-257, 1998.

TSCHINKEL, W.R. **The fire ant**. Harvard University Press. Cambridge, 2006.

TSCHINKEL, W.R.; HOWARD, D.F. Colony founding by pleometrosis in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 12, p.103-113, 1983

WOJICK, D.P. Observations on the biology and ecology of fire ants in Brazil. In: LOFGREN, C.S.; VANDER MEER, R.K. (Eds). **Fire ants and leaf-cutting ants – Biology and Management**, pp. 88-103. Wetview Press. Boulder Co. 1986

4 INVESTIMENTO COMPORTAMENTAL DE FORMIGAS LAVA-PÉS NEOTROPICAIS *Solenopsis saevissima* (SMITH, 1855) DURANTE A FASE CRÍTICA DO ESTABELECIMENTO DA COLÔNIA

ABSTRACT

Behavioral investment of fire ant queens during the foundation of a new colony may be related to a lone foundation (haplometrose) or a group foundation (pleometrose). Thus, the objective of the present study was to evaluate, through behavioral records, how *Solenopsis saevissima* queens behave during preemergence until the 3rd postemergence week, in haplometrose and pleometrose, in the initial periods of the colony. For this, an ethogram of queens and workers were elaborated, to later evaluate the behavioral budget in both types of foundations. From a total behavioral budget of 8014 minutes of observation, it can be seen that the queen's behavioral acts change according to the colony cycle period (pre-egg period, egg period, larvae period, pupal period and post-emergence period), and that at first are directed to behaviors of exploration and interaction with the environment, such as walking and antennating the container and the tube. From the appearance of the first eggs, larvae or pupae, the interaction with the offspring becomes more intense. The post-emergence was first hit by haplometrose queens and the minimum workers started to actively protect the immature as well as do other activities. Thus, the period of the colony's development cycle is a determining factor in the manifestation of queens' behavior, which shows whether the foundation is alone or in groups.

Keywords: Ethogram Exploration. Foundation. Immature. Parental Care.

4.1 INTRODUÇÃO

Rainhas de formigas lava-pés *Solenopsis* Westwood, 1840 apresentam diferentes estratégias reprodutivas quanto ao início de uma nova colônia, em que, ou iniciam sozinhas (haplometrose) ou em grupo (pleometrose) (MARKIN et al., 1972; TSCHINKEL e HOWARD, 1983; RISSING e POLLOCK, 1987; BERNASCONI e KELLER, 1996; RISSING et al., 1989; NONACS, 1990; DEHEER e TSCHINKEL, 1998; RISSING et al., 2000; TSCHINKEL, 2013), e partir daí estas se mantem dentro de uma câmara e, utilizam suas reservas nutricionais para criar sua prole até a emergência da primeira operária (período claustral) (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990). Devido ao fato do período de pré-emergência envolver um período discreto (fase claustral), entender o comportamento de rainhas de lava-pés nesse momento do ciclo ainda

é um tema que carece de maiores estudos.

Embora lava-pés seja um grupo abundante no continente americano, com espécies nativas na América do Sul e espécies invasoras nas américas Central e do Norte (Tschinkel, 1988a; 2013), onde recebem *status* de pragas (TSCHINKEL, 1993a; COLLIN e SCHEFFRAHN, 2001; PITTS et al., 2018), são poucos os estudos que caracterizam a descrição comportamental de rainhas durante a fase claustral, principalmente em espécies neotropicais como é o caso de *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855). Isso se dá pela dificuldade de observação, o que limita o entendimento sobre a variação de comportamento de rainhas isoladas e em grupos.

Dada a importância de se investigar melhor o repertório comportamental de rainhas e operárias de lava-pés neotropicais *S. saevissima*, em diferentes períodos do ciclo biológico da colônia e em fundações isoladas e em grupo, o presente estudo objetivou avaliar em quais atividades rainhas e operárias investem seu tempo, durante o estabelecimento da colônia.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

As rainhas foram coletadas de uma revoada no dia 03 de outubro de 2017, período de estação chuvosa (SÁ-JÚNIOR et al., 2012), localizada no campus da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), município de Juiz de Fora (21° 46' 29.49" S, 43° 22' 6.26" W, 800 m de altitude), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.

A revoada teve início por volta das 10h e a obtenção das rainhas ocorreu por volta das 16h e uma distância de aproximadamente 200 metros da colônia original, quando foram encontradas as rainhas já sem asas (fecundadas) no solo, em busca de cavidades naturais.

As 55 rainhas coletadas foram distribuídas, aleatoriamente, em recipientes plásticos transparentes de 400 ml. Para a formação dos grupos em haplometrose foram mantidas individualmente 10 rainhas, e para os grupos em pleometrose, foram montados 10 potes com duas rainhas e cinco potes com cinco rainhas. Cada recipiente continha algodão umedecido e um microtubo do tipo *ependorf* (1,5mL) a fim de fornecer um abrigo. A cada dois dias os recursos alimentares, mel diluído em água a 50% e proteína de sardinha ou de frango, eram repostos e neste momento o algodão também era umedecido.

Os registros comportamentais das rainhas e das operárias mínimas foram realizados no período de pré-emergência até a 3ª semana da pós-emergência. A elaboração dos etogramas foi feita pelo método *ad libitum*, com 10 horas de observação para haplometrose e pleometrose, e para as frequências comportamentais aplicou-se o método Animal Focal (ALTMANN, 1974).

As sessões para registros das frequências foram feitas em períodos de um minuto com intervalos de um minuto, durante a manhã (de 8h às 12h) e a tarde (de 13h às 15h), totalizando 8014 minutos de esforço amostral, correspondendo 3869 para haplometrose e 4145 para pleometrose.

O orçamento comportamental (%) foi obtido a partir das frequências de cada ato comportamental exibido pelas rainhas e de operárias (organizados em categorias) (Quadro 1), em cada período de desenvolvimento da colônia, definido abaixo:

- Período Pré-Ovo (PPO): período anterior a oviposição até o surgimento do 1º ovo;
- Período Ovo (PO): período de ovo até o surgimento da 1ª larva;
- Período Larva (PL): período do encontro da 1ª larva até o surgimento da 1ª pupa.
- Período Pupa (PP): período do encontro da 1ª pupa até o surgimento da 1ª operária.
- Período Pós-Emergência (PPE): período após a emergência da 1ª operária.

Quadro 1 – Categorias comportamentais e descrição dos atos exibidos por lava-pés *Solenopsis saevissima*, em haplometrose e pleometrose e em diferentes períodos de desenvolvimento da colônia, em condições laboratoriais, 2017.

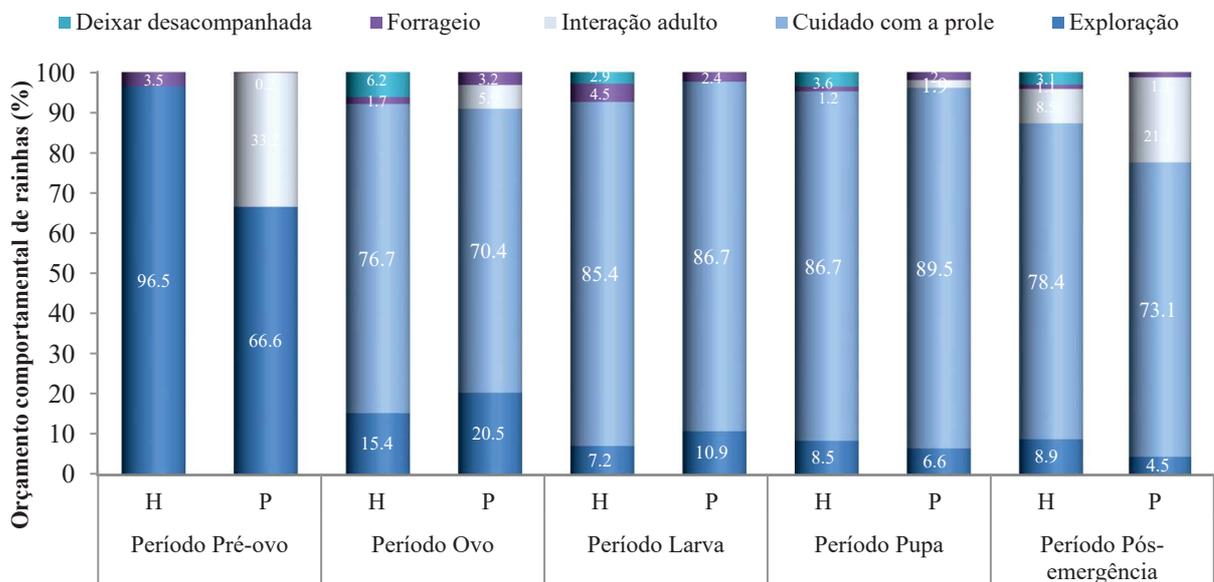
Categorias comportamentais	Atos comportamentais	Descrição dos atos executados
Exploração	Andar no tubo	Mover-se aleatoriamente pelo tubo e antenar a parede do mesmo
	Andar no recipiente	Mover-se aleatoriamente pelo recipiente e antenar a parede do mesmo
	Antenar tubo	Antenar a parede do tubo
	Antenar recipiente	Antenar recipiente
	Parada no tubo	Permanecer imóvel dentro do tubo
	Parada no recipiente	Parada dentro do recipiente
	Debaixo do algodão	Parada debaixo do algodão
Cuidado com a prole	Antenar ovo	Tocar ovos com antena
	Antenar larva	Tocar larvas com antena
	Antenar pupa	Tocar pupas com antena
	Carregar prole	Prender a prole na mandíbula e deslocar para outro local
	Mandibular larva	Tocar larva com a mandíbula
	Mandibular pupa	Tocar pupa com a mandíbula
Interação com adulto	Antenar rainha	Tocar rainha com antena
	Antenar operária	Tocar operárias com antena
Forageio	No algodão de água	Tocar a mandíbula no algodão e permanecer por algum tempo
	No mel	Tocar a mandíbula no mel e permanecer por algum tempo
	Na proteína	Tocar a mandíbula na proteína e permanecer por algum tempo

Os dados foram analisados estatisticamente através dos Testes de normalidade Shapiro-Wilk, para avaliar a distribuição normal dos dados, e o Teste-*t* de Student para se verificar a diferença entre atos comportamentais executados por operárias e rainhas e em relação ao ciclo da colônia. ~/xx Todas as análises foram feitas pelo software freeware BioEstat versão 5.3 (Ayres et al., 2015).

4.3 RESULTADOS

Dentre os 18 atos comportamentais registrados, rainhas em haplometrose e em pleometrose exibiram o repertório comportamental semelhante, havendo também uma equivalência no percentual de execução dos mesmos, já que não houve diferença estatística ($p=0,2059$) entre o tempo gasto de execução para nenhum dos atos comportamentais, nem período da colônia (Figura 09).

Mas ao analisar os períodos do ciclo da colônia (PPO, PO, PL, PP e PPE) houve alterações nos atos comportamentais das rainhas, que no início foram direcionados a exploração e interação com o ambiente, tais como andar e antenar com o recipiente e com o tubo, e depois foram substituídos por cuidado com a prole (Figura 09).



Período de desenvolvimento da colônia em Haplometrose (H) e em Pleometrose (P)

Figura 09 - Orçamento comportamental (%) de rainhas de lava-pés *Solenopsis saevissima* em haplometrose e em pleometrose, mantidas em condições laboratoriais, nos cinco períodos de desenvolvimento estudados.

Tanto na haplometrose quanto na pleometrose os comportamentos exploratórios foram mais realizados no PPO (96,5% e 66,6%, respectivamente; $p=0,2051$). Após a oviposição, no PO, a frequência da exploração reduziu para 15,4% em haplometrose e 20,5% em pleometrose ($p=0,2222$), e continuou em declínio nos períodos seguintes de desenvolvimento.

Com a oviposição, houve o surgimento de comportamentos relacionados ao cuidado com a prole (76,7% em haplometrose e 70,4% em pleometrose; $p=0,4997$). No PL a intensidade de interação com a prole, principalmente com a larva, aumentou para 85,4% em haplometrose e 86,7% em pleometrose ($p=0,4791$) e continuou aumentando no PP para 86,7% e 89,5%, respectivamente ($p=4727$). Os comportamentos de deixar a prole desacompanhada e de interação com adultos só foram registrados em rainhas isoladas, este último só passou a acontecer no período de pós-emergência.

Todas as rainhas ingeriram água, em todos os cinco períodos da colônia, enquanto que somente rainhas isoladas foram no mel durante PPO.

Em pleometrose a interação rainha-rainha (33,2%), através da antenação, foi o segundo comportamento mais realizado no PPO e após a oviposição a ocorrência deste foi reduzida (5,9%). Já no PPE houve uma elevação na frequência de interação (21,1%), devido aos contatos entre operária-rainha e operária-operária. O contato físico durante a interação entre adultos envolveu comportamentos de identificação, através da antenação.

Durante todos os períodos de experimento não foram registradas interações agressivas entre as rainhas. No entanto, em dois grupos com rainhas duplas, uma foi despedaçada e retirada do tubo e, em outro recipiente uma rainha ocupou o tubo, onde ovipositou e permaneceu cuidando dos ovos, enquanto a outra permaneceu de fora, sem ovipositar e colaborar no cuidado dentro do tubo.

No PPO, rainhas isoladas executaram significativamente ($p<0,001$) mais comportamentos de andar pelo recipiente (9,73%), forragear na água (2,54%) e permanecer debaixo do algodão (36,25%), enquanto rainhas em grupo antenaram com tubo mais vezes (21,32%) e permanecem mais tempo paradas dentro do tubo (22,76%) (Tabela 3).

Em pleometrose a antenação com outras rainhas (33,32%) foi o comportamento mais executado e por vezes as rainhas conseguiam antenar dois indivíduos ao mesmo tempo. Este tipo específico de antenação foi registrado em todas as interações entre indivíduos e nos diferentes períodos do ciclo da colônia em pleometrose.

Quanto a escolha do local de oviposição, rainhas isoladas preferiram debaixo do algodão (45,64%), seguido por dentro do tubo (37,14%) e no recipiente fora do contato com algodão (17,22%). Rainhas pleométricas ovipositaram mais no tubo (51,23%), seguido por no

recipiente fora do algodão (34,46%) e debaixo do algodão (14,31%).

As rainhas em haplometrose foram as primeiras a ovipositar, no terceiro dia após, o voo nupcial, sendo a oviposição de rainhas pleométricas registrada no quarto dia. Ambas interagiram (antear) significativamente mais com os ovos ($p < 0,0031$) em relação às demais atividades. Antear tubo (5,74%) e carregar ovos na mandíbula (4,12%) foram mais significativamente ($p < 0,001$) executados por rainhas isoladas, enquanto andar no recipiente (3,75%) forragear na água (3,44%) para rainhas em grupo. O comportamento de deixar os ovos desacompanhados foi registrado apenas na haplometrose (6,21%), enquanto que antear rainhas (6,53%) somente em pleometrose.

Tabela 3 – Percentual (%) dos atos exibidos por rainhas e operárias de lava-pés *Solenopsis saevissima*, em haplometrose e pleometrose e em diferentes períodos de desenvolvimento da colônia, em condições laboratoriais, 2017.

Atos comportamentais	HAPLOMETROSE (%)					PLEOMETROSE (%)				
	PPO	PO	PL	PP	PPE	PPO	PO	PL	PP	PPE
Andar no tubo	8.5	4.5	1.06	3.02	1.51	7.12	3.9	2.89	2.01	1.12
Andar no recipiente	9.73	1.55	2.12	0.92	-	0.94	3.78	1.29	1.74	-
Antear tubo	12.2	5.74	2.18	1.55	1.26	21.32	3.35	2.78	1.13	-
Antear recipiente	15.31	1.01	1.02	1.58	-	-	10.2	1.15	1.76	-
Parada no tubo	14.5	2.59	1.54	0.51	0.43	22.76	1.21	2.21	0.45	0.48
Debaixo de algodão	36.2	-	-	-	-	14.32	-	-	-	-
Antear ovo	-	72.57	21.09	11.15	7.15	-	74.76	20.96	20.3	6.23
Carregar ovo	-	4.12	2.29	1.17	1.15	-	2.01	1.21	1.69	1.99
Antear larva	-	-	32.28	21.6	9.36	-	-	31.15	20.12	7.34
Mandibular pupa	-	-	28.19	26.16	2.5	-	-	28.46	27.02	2.91
Antear pupa	-	-	-	17.58	7.09	-	-	-	19.42	6.51
Mandibular pupa	-	-	-	-	0.96	-	-	-	7.1	0.66
Ir no algodão com água	2.54	1.71	5.02	1.14	0.37	0.22	3.44	2.21	2.15	0.45
Ir no mel	0.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Antear rainha	-	-	-	-	-	33.32	6.53	-	2.11	4.72
Antear operária	-	-	-	-	3.02	-	-	-	-	2.65
Deixar prole desacompanhada	-	6.21	3.21	3.21	1.12	-	-	-	-	-

Onde: PPO - período pré-ovo; PO - período com ovo; PL - período com larva; PP - período com pupa; PPE - período de pós-emergência.

No PL, os comportamentos mais frequentes ($p < 0,0017$) para haplometrose e pleometrose foram antear larva (32,28% e 31,15%), antear ovos (21,09% e 20,96%) e mandibular larva (28,19% e 28,46%). Ao comparar os comportamentos das rainhas e o tipo de

fundação, houve diferença estatística ($p < 0,001$) somente para forrageio na água (5,02%) e carregar prole na mandíbula (2,29%), nos dois casos mais executadas pelas rainhas em haplometrose.

No período com pupas, as rainhas em haplometrose investiram significativamente ($p < 0,0021$) mais tempo em interação com as larvas, como mandibular (29,16%) e antenar (21,6%), em seguida com as pupas (antenar 17,58% e mandibular 10,41%) e com ovos (antenar 11,15%). Rainhas em grupo também investiram mais tempo ($p < 0,0034$) com as larvas (mandibular 27,02% e antenar 20,12%), mas em seguida investiram nos ovos (antenar 20,3%) e menos nas pupas (antenar 19,42% e mandibular 7,1%), além de visitaram mais o algodão com água e carregaram mais a prole.

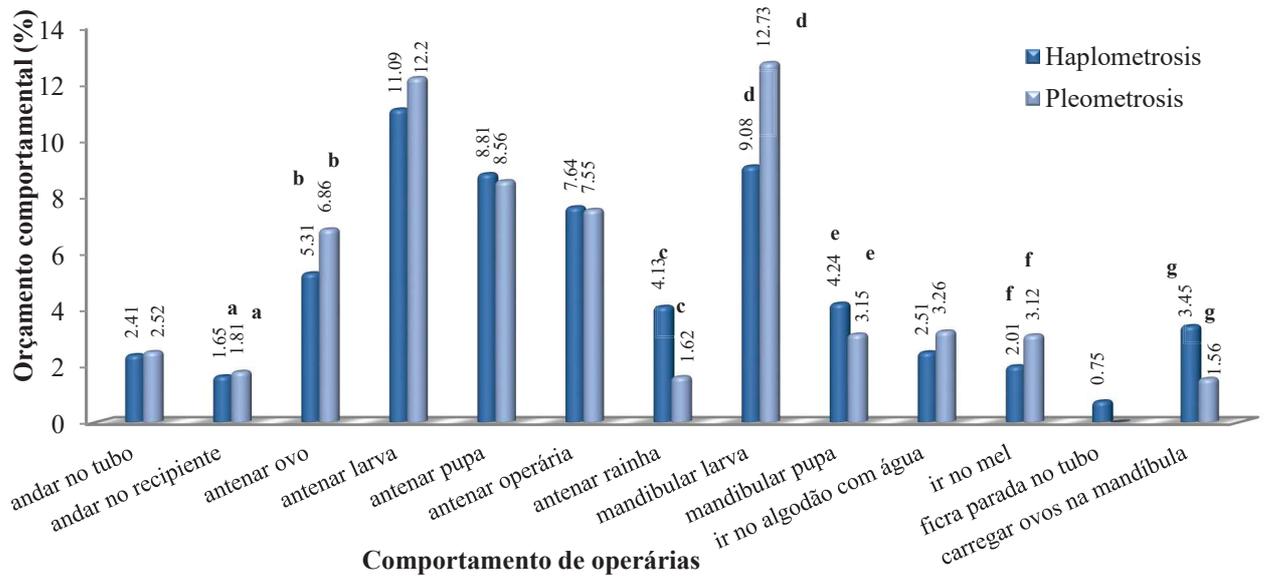
Rainhas isoladas e em grupo investiram significativamente ($p < 0,0092$) maior tempo na antenação com prole, sendo respectivamente, 7,15% e 6,23% com ovos, 9,36% e 7,24% com larvas, 7,09% e 6,51% com pupas e 3,02% e 2,65% com operárias.

A pós-emergência foi alcançada primeiramente pelas colônias haplométricas (após 106 dias de revoada), enquanto que colônias contendo duas rainhas fundadoras atingiram a pós-emergência em 110 dias e colônias com cinco fundadoras em 125 dias.

Comportamentos de andar e antenar tubo; antenar ovo, larva, pupa ($p < 0,001$) e operária; mandibular pupa e deixar prole desacompanhada foram mais executados por rainhas em haplometrose. Enquanto que antenar outra rainha, mandibular larva, forragear no algodão com água, permanecer parada no tubo e carregar prole na mandíbula foram mais executados por rainhas pleométricas.

No PPE, tanto na haplometrose quanto na pleometrose, houve uma redução na exibição de comportamentos das fundadoras no que se refere ao cuidado com a prole, e as primeiras operárias passaram a assumir esta função (Figura 10). Para operárias mínimas antenação com coespecíficos (prole e adultos) se manteve como atividade mais executada ($p < 0,0038$), sendo que as originadas de fundação em haplometrose antenaram mais, respectivamente, com pupas, outras operárias e rainhas, do que com ovos e larvas, como registrado para operárias pleométricas.

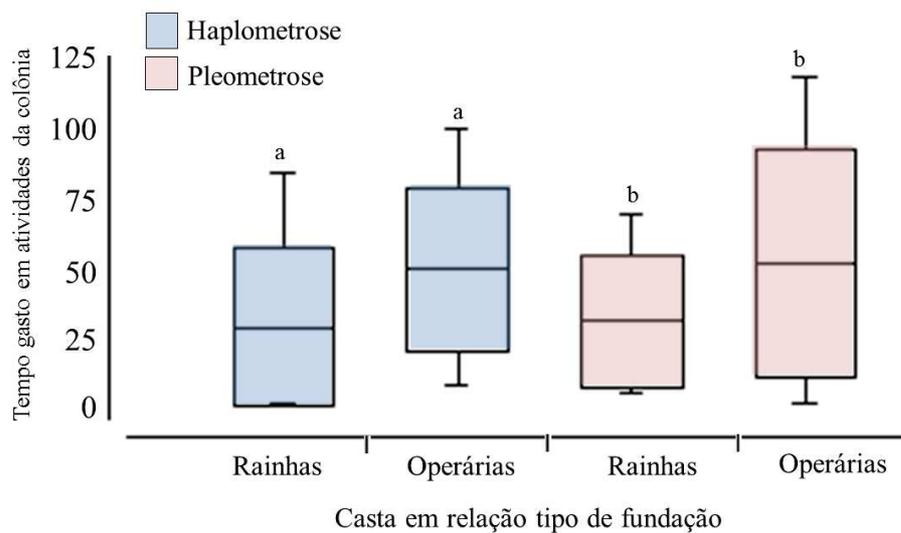
Operárias de colônias múltiplas mandibularam significativamente mais larvas ($p < 0,0045$), enquanto que pupas ($p < 0,0090$) foram mais mandibuladas por operárias de colônias fundadas por uma rainha. Além disso, elas visitaram o mel (2,01% haplometrose e 3,12% pleometrose) e o algodão embebido na água (2,51% haplometrose e 3,26% pleometrose), mais do que as rainhas.



*Colunas com letras iguais diferem entre si estatisticamente, a 5% de significância pelo teste Mann-Whitney.

Figura 10 - Orçamento comportamental de operárias mínimas de formigas lava-pés *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855) em período de pós-emergência (PPE), em condições laboratoriais, em 2017.

Em geral, operárias ($48,58 \pm 29,55$ na haplometrose e $50,64 \pm 40,82$ na pleometrose) investiram significativamente mais tempo nas atividades da colônia em relação às rainhas ($27,63 \pm 28,92$ na haplometrose e $29 \pm 24,02$ na pleometrose) ($p < 0,004$) (Figura 11).



*Barras com letras iguais diferem entre si significativamente a 5% de significância pelo Teste- *t*.

Figura 11 - Média e desvio padrão do tempo (minutos) gasto por rainhas e operárias mínimas de formigas lava-pés *Solenopsis saevissima* em atividades da colônia, em haplometrose e em pleometrose, em condições laboratoriais, em 2017.

4.4 DISCUSSÃO

De modo geral, rainhas isoladas ou em grupo, exibiram repertório comportamental semelhante tanto nos atos executados quanto no tempo gasto, e os comportamentos exploratórios, apresentados no início da fundação, se mostraram importantes como forma de garantir uma escolha adequada do local de nidificação, e após a oviposição, os comportamentos relacionados com o cuidado da prole foram substituindo os exploratórios. Como parte do sucesso de uma fundação se deve a escolha de um local adequado para construção do ninho e postura dos ovos, é esperado que uma boa parcela do tempo seja destinado a exploração e a interação com o ambiente. E a antenação com o recipiente e com tubo se torna essencial como reconhecimento do espaço físico.

Rainhas isoladas investiram mais tempo na exploração do ambiente, na interação e proteção da prole e no forrageio, pois por estarem sozinhas elas devem executar todas as tarefas na fase inicial da colônia para garantir o sucesso da mesma (TSCHINKEL, 2003; 2013). Além disso, permanecerem mais tempo debaixo do algodão o que pode estar associado a escolha do local de oviposição, já que metade delas ovipositaram neste local. O contato físico com o algodão aliada ao escurecimento da área promovido pelo mesmo, pode ter atraído as fêmeas na escolha deste como ponto ideal de proteção e conforto, o que seria mais próximo das câmaras subterrâneas de uma colônia natural, como é comum na fase claustral (TSCHINKEL, 1998). Rainhas em pleometrose, provavelmente por se sentirem mais seguras, tenderam a ovipositar no tubo de *ependorf*, uma vez que juntas poderiam vigiar e proteger melhor sua prole.

Rainhas em haplometrose se dedicaram mais as atividades referentes ao cuidado com a prole e, por consequência, suas colônias atingiram primeiro a pós-emergência, pois através destes cuidados, pode-se apressar o surgimento de operárias para que estas assumam as tarefas dentro da colônia (CASSILL e TSCHINKEL, 1999a), já que atuam ativamente na proteção dos imaturos.

A interação entre indivíduos se mostrou efetiva através de contatos físicos diretos, como antenação, assim, rainhas em pleometrose se antenaram com frequência, e segundo Adam e Tschinkel (1995) e Tschinkel (1998) o período de desenvolvimento mais crítico de uma colônia é a fundação, nos casos de rainhas múltiplas a antenação de coespecíficos é uma interação essencial para estabelecer a cooperação e a harmonia na colônia. Como no presente estudo as rainhas foram obtidas do mesmo vôo nupcial, isso eleva o grau de parentesco e diminui as interações agressivas.

A oviposição ocorrida entre o 3º e o 4º dia após a revoada corroboram com dados obtidos

por Souza et al. (2004) para *S. saevissima*. Já para *S. invicta*, Tschinkel (1993) relata que cinco dias após o início da fundação mais de 40% dos ovos se encontram em estágios mais avançados de desenvolvimento. A redução dos comportamentos de exploração e interação com o ambiente, após a oviposição e o aumento nos comportamentos de cuidado com a prole, garante o sucesso de desenvolvimento dos ovos e estimula a rainha a manter este cuidado (TSCHINKEL, 1993b).

Rainhas em pleometrose antenaram mais com os ovos, já que por haver mais de uma rainha elas se revezavam na execução deste comportamento. Quando os potes eram manipulados, as rainhas que ovipositaram do recipiente, tanto em haplometrose quanto em pleometrose, carregavam os ovos na mandíbula e os deslocavam para outro local, como uma forma de buscar um novo local mais protegido. Esses comportamentos demonstram a atenção das rainhas no que tange a vulnerabilidade dos ovos, através da antenação, quando podem detectar irregularidades.

Rainhas isoladas deixaram, em alguns momentos, suas proles sozinhas ao saírem para forragear ou para monitorar o ambiente, diferentemente em pleometrose em que os ovos sempre permaneciam protegidos por uma rainha, enquanto outra saía para forragear ou explorar.

Independente do tipo de fundação as rainhas direcionaram maior esforço de cuidado com larvas, o que reflete no sucesso de desenvolvimento no estágio larval, considerando sua necessidade de serem nutridas pelos adultos (GLUNN et al., 1981; HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; CASSILL e TSCHINKEL, 1995,1999b). Além disso, Tschinkel (1988b) ao alimentar larvas de *S. invicta* com corantes, verificou que este foi transferido pelas operárias para as rainhas e ovos, segundo o autor larvas de 4º instar pode ser uma casta digestiva e metabólica que processa proteína para produção de ovos, pelas rainhas.

Diferente do que acontece durante a fase claustral em ambiente natural, rainhas isoladas foram observadas forrageando no mel. Acredita-se que embora possam sobreviver a este período utilizando suas reservas, a disponibilidade de carboidratos, fez com que as elas buscassem o recurso, provavelmente para compensar o gasto energético no momento da fundação. E a ausência de forrageio, reforça as considerações que as rainhas possuem uma reserva nutritiva para garantir sua sobrevivência e a manutenção da colônia na fase claustral (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990; CASSILL e TSCHINKEL, 1995). Estudo realizado por Tschinkel (1993) mostra que rainhas de *S. invicta* em haplometrose perderam 54% de seu peso, 73% de gordura e 67% de energia e porcentagem de gordura diminuiu de 44% para 33% em relação a quantidade de progênie produzida. Isso concorda com Keller e Passera (1989) que afirmam que rainhas isoladas necessitam de maior reserva de nutrientes, e por isso mantem nível mais elevado de gordura que rainhas em grupo, e esta gordura é consumida entre o vôo

nupcial e a emergência dos primeiros adultos. Já a obtenção de água foi registrada em todos os tipos de fundação e em todos os períodos, ocorrendo imediatamente após o algodão ser umedecido. Provavelmente a umidade desempenha um papel crucial na manutenção da homeostasia na colônia, sendo por isso bastante procurada pelas rainhas.

Rainhas que fundaram em grupos parecem investir seu sucesso reprodutivo em quantidade, pois ovipositam mais e formaram uma “massa” única de ovos, como observado no presente trabalho, e assim, todas participam do cuidado com a prole, a fim de garantir que os imaturos se desenvolvam.

Na pós-emergência, as operárias assumiram as tarefas de forrageio, enquanto que o tempo das rainhas nestas atividades reduzem, permanecendo ocupada com a oviposição. Tanto em haplometrose quanto em pleometrose, operárias antenam de forma mais frequentes com as larvas, já que estas necessitam de cuidados mais específicos como alimentação. Também foi observada o forrageio de operárias mínimas no mel e no algodão embebido na água, o que indica uma necessidade em obter recursos do ambiente, tanto para manterem suas atividades vitais, quanto para nutrirem as larvas. Assim, as operárias vão gradativamente substituindo as funções que até então eram realizadas pelas rainhas, seja ela no cuidado da prole, inspeção das colônias e forrageio.

A preferência por nidificarem em câmaras subterrâneas pré-existentes como relatado por Souza et al. (2004) para a mesma espécie, pode ser um fator relevante na escolha da estratégia de fundação. Assim, em ambiente urbano, onde há uma menor disponibilidade de locais para nidificação, iniciar uma colônia em associação com outras rainhas é mais vantajoso do que isoladamente, e isso se reflete no sucesso desta espécie em ocupar o ambiente urbano, como observado por Zeringóta et al. (2014), no mesmo local deste estudo.

4.5 CONCLUSÃO

Os atos e as frequências comportamentais de rainhas de *S. saevissima* sofrem alterações de acordo com o período do ciclo da colônia, mas não em relação ao tipo de fundação. No início da fundação os comportamentos são direcionados a exploração e a interação com o ambiente e após o surgimento dos primeiros imaturos, a interação com a prole se torna mais intensa. Com o surgimento das operárias, estas assumem o cuidado da prole e manutenção da colônia. Assim, o período do ciclo de desenvolvimento é um fator determinante na manifestação dos comportamentais das rainhas, seja em grupo ou isoladas.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, E.S.; TSCHINKEL, W.R. Effects of foundress number on brood raids and queen survival in the fire ant *Solenopsis invicta*. **Behav. Ecol. Sociobiol.**, v. 37, p. 233 – 242, 1995.
- ALTMANN, J. Observational study of behavior: Sampling methods. **Behavior**, v. 49, p. 227-267, 1974.
- AYRES, M.; AYRES JUNIOR, M.; AYRES, D.L.A.S. **Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. Instituto Mamirauá. Belém. 2015.
- BERNASCONI, G.; KELLER, L. Reproductive conflicts in cooperative associations of fire ant queens (*Solenopsis invicta*). **Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.** v. 263, p. 509-513, 1996.
- DEHEER, C.J.; TSCHINKEL, W.R. The success of alternative reproductive tactics in monogyne populations of the ant *Solenopsis invicta*: significance for transitions in social organization. **Behavioral Ecology**, v. 9, n. 2, p. 130-135, 1998.
- CASSILL, D.L.; TSCHINKEL, W.R. Allocation of liquid food to larvae via trophallaxis in colonies of the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Anim. Behav.**, v. 50, p. 801-813, 1995.
- CASSILL, D.L.; TSCHINKEL, W.R. Effects of colony-level attributes on larval feeding in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Insectes Sociaux**, v. 46, p. 261–266, 1999a.
- CASSILL, D.L.; TSCHINKEL, W.R. Regulation of diet in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Journal of Insect Behavior** , v.12, n. 3, p. 307-328, 1999b.
- COLLIN, L.; SCHEFFRAHN, R.H. **Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta* Buren (Insecta: Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae)**, UF/IFAS Extension, University of Florida, 2001.
- GLUNN, F.J.; HOWARD, D.F.; TSCHINKEL, W.R. Food preference in colonies of the fire ant *Solenopsis invicta*. **Insectes Sociaux**, v. 28, n. 2, p. 217-222, 1981.

HÖLLDOBLER B, WILSON EO. **The Ants**. Cambridge: Harvard University Press, pp. 732. 1990.

KELLER, L.; PASSERA, L. Size and fat content of gynes in relation to the mode of colony founding in ants (Hymenoptera: Formicidae). **Oecologia**, v. 80, p. 236-240, 1989.

MARKIN, G.P.; COLLINS, H.L.; DILLIER, J.H. Colony founding by queens of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. **Ann Entomol Soc Am.**, v. 65, p. 1053-1058, 1972.

NONACS, P. Size and kinship affect success of co-founding *Lasius pallitarsis* queens. **Psyche: J.Entomol.**, v. 97, p. 217–228, 1990.

PITTS, J.P.; CAMACHO, G.P.; GOTZEK, D.; MCHUGH, J.V.; ROSS, K.G. Revision of the fire ants of the *Solenopsis saevissima* species-group (Hymenoptera: Formicidae). **Proc. Entomol. Soc. Wash.**, v. 120, n. 2, p. 308 - 411, 2018.

RISSING, S. W.; POLLOCK, G. B. Queen aggression, pleometrotic advantage and brood raiding in the ant *Veromessor pergandei* (Hymenoptera, Formicidae). **Anim. Behav.**, v.35, p. 975-981, 1987.

RISSING, S. W., POLLOCK, G. B., HIGGINS, M. R., HAGEN, R. H.; SMITH, D. R. Foraging specialization without relatedness or dominance among co-founding ant queens. **Nature**, v. 338, p. 420-422, 1989.

RISSING, S. W., JOHNSON, R. A.; MARTIN, J. W. Colony founding behavior of some desert ants: geographic variation in metrosis. **Psyche** (Stuttg.), v. 103, p. 95–101, 2000.

SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO L.G.; SILVA F.F.; CARVALHO A.M. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.108, p. 1-7, 2012

SOUZA, D.J.; DELLA LUCIA, T.M.C.; LACERDA, F.G. Fundação pleométrica em *Solenopsis saevissima* (Hymenoptera: Formicidae) em laboratório. **Acta Biologica Leopoldensia**, v. 26, n. 2, p. 259-270, 2004.

TSCHINKEL, W.R.; HOWARD, D. Colony founding by pleometrosis in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 12, p. 103–113, 1983.

TSCHINKEL, W.R. Distribution of the fire ants *Solenopsis invicta* and *S. geminata* (Hymenoptera: Formicidae) in Northern Florida in relation to habitat and disturbance. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 81, n. 1, p. 76–81, 1988a.

TSCHINKEL, W.R. Social control of egg-laying rate in queens of the fire ants, *Solenopsis invicta*. **Physiological Entomology**, v. 13, p. 327-350, 1988b.

TSCHINKEL, W.R. **The fire ant (*Solenopsis invicta*): still unvanquished**. Biological pollution: the control and impact of invasive exotic species. Ed. BN. MacKnight, Indiana Acad. Sci., Indianapolis, 261pp. 1993a.

TSCHINKEL, W.R. Resource allocation, brood production and cannibalism during colony founding in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 33, n. 4, p. 209-223, 1993b.

TSCHINKEL, W.R. An experimental study of pleometrotic colony founding in the fire ant, *Solenopsis invicta*: what is the basis for association? **Behav. Ecol. Sociobiol.**, v. 43, p. 247-257, 1998.

TSCHINKEL, W.R.; MIKHEYEV, A.S.; STORZ, S.R. Allometry of workers of the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Journal of Insect Science**, v. 3, p. 2-11, 2003.

TSCHINKEL, W.R. The morphometry of *Solenopsis* fire ants. **Plos One**, v. 8, n. 11, p. 1-22, 2013.

ZERINGÓTA, V.; CASTRO, M.M.; DELLA LUCIA, T.M.C.; PREZOTO, F. Nesting of the fire ant *Solenopsis saevissima* (Hymenoptera: Formicidae) in an urban environment. **Florida Entomologist**, v. 97, p. 668-673, 2014.

5 EFICÁCIA FORMICIDA DO TIMOL, CARVACROL, EUGENOL E (E)-CINAMALDEÍDO SOBRE LAVA-PÉS *Solenopsis saevissima* (SMITH, 1855)

ABSTRACT

The use of pesticides to urban pests control has been strongly questioned due to the impacts on human health and the environment, so more studies are needed to verify the effectiveness of natural substances as biocides. To investigate the efficacy of fire ants control (*Solenopsis saevissima*) by compounds of plants, the aim of this study was to evaluate the formicidal activity of eugenol, (E)-cinnamaldehyde, carvacrol and thymol in *S. saevissima* workers under laboratory conditions. For this purpose 9600 workers were distributed in Petri dishes with filter paper containing of the test substances diluted in DMSO 1%. Were tested the concentrations of 0.078; 0.156; 0.312; 0.625; 1.25; 2.5; 5 and 10 mg/mL for eugenol and (E)-cinnamaldehyde and 0.015; 0.031; 0.62; 0.125; 0.25; 0.5; 0.75 and 1 mg/mL for carvacrol and thymol. After 24 hours of exposure, there was 100% mortality for all substances at concentrations from 0.5 mg/mL for thymol, 0.75 mg/mL for carvacrol, 2.5 for eugenol and 5 mg/mL for (E)-cinnamaldehyde. The LC₅₀ was 0.10mg/mL for thymol, 0.15 mg/mL for carvacrol, 0.87mg/mL for eugenol and 1.08mg/mL for (E)-cinnamaldehyde. All tested compounds showed formicidal activity for *S. saevissima*, being thymol and carvacrol with better efficacy.

Keywords: Biocides. Control. Insecticides. Monoterpenes. Phenylpropanoids.

5.1 INTRODUÇÃO

As formigas lava-pés (*Solenopsis* Westwood, 1840) exibem comportamentos defensivos de agressividade quando suas colônias são perturbadas. Ao contato direto com uma colônia, as operárias se fixam na pele da vítima com a mandíbula e com a extremidade posterior do abdome ferream várias vezes, até que as mesmas sejam removidas podendo causar graves acidentes em humanos e animais (LOFGREN et al., 1975; SOLLEY et al., 2002). Por sua abundância, acredita-se que no Brasil a espécie *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855) seja responsável pelo maior número de acidentes de importância médica (MALASPINA, 2004; FOX, 2010), que comumente causam lesões desagradáveis, mas temporárias, como ardência, queimação e prurido, mas dependendo do número de ferroadas e da sensibilidade da pele pode haver reações alérgicas graves, infecções secundárias, necrose de pele, náuseas, vômitos,

choque anafilático, dificuldade de respiração, coma e até a morte (DESHAZO et al., 1984; RHOADES et al., 1989; FUNASA, 2001; TANKERSLEY, 2008; HADDAD JUNIOR et al., 2009; FOX, 2010; CASTRO et al., 2014).

Os riscos de acidentes estão associados ao seu hábito de nidificarem próximo a habitações humanas, como áreas abertas, gramados, quintais de residência e escolas, passeios públicos (ZENG et al., 2005; FOX, 2010; ZERINGÓTA et al., 2014). No entanto, o principal método de controle desta praga urbana é o uso de tratamentos químicos, como iscas e inseticidas tradicionais que prejudicam a saúde humana e o meio ambiente, principalmente pelos impactos a organismos não alvos (LOFGREN et al., 1975; ADAMS et al., 1983; LOFGREN, 1986; ADAMS et al., 1988; DREES e GOLD, 2003; WILLIAMS e DESHAZO, 2004; CHENG et al., 2008; ADESSO et al., 2017).

Assim, pesquisas que utilizam compostos químicos bioativos de plantas no controle de pragas são uma alternativa ao uso dos produtos sintéticos (VOGT et al., 2002; APPEL et al., 2004; CHENG et al., 2004), devido a sua biodegradabilidade, rápida ação, seletividade, baixo custo de produção, reduzida toxicidade a organismos não alvos e menor risco a saúde humana (ROEL, 2001; MORAGAS e SCHNEIDER, 2003). E os compostos voláteis provenientes do metabolismo secundário de plantas têm sido considerados fontes em potencial de substâncias biologicamente ativas (KELSEY, 1984), tais como: timol (derivado do alecrim-pimenta, do tomilho e do orégano), carvacrol (derivado do orégano), o (E)-cinamaldeído (derivado da canela) e o eugenol (derivado do cravo, canela, sassafrás e mirra). Destes o timol e o carvacrol são monoterpenos e o eugenol e (E)-cinamaldeído fenilpropanóides

Estudos têm mostrado que os óleos essenciais do orégano e do tomilho apresentam atividades bactericidas (COSENTINO et al., 1999; ULTEE et al., 2000; CRISTANI et al., 2007; VERAS et al., 2013), fungicidas (CHENG et al., 2004;) inseticidas (ELLER et al., 2014), acaricidas e carrapaticidas (NOVELINO et al., 2007; GOMES et al., 2012; MELLO et al., 2014; ARAÚJO et al., 2015; 2016; FERREIRA et al., 2018; NOVATO et al., 2018), moluscicidas (FERREIRA et al., 2009; 2010; GUSMÃO et al., 2018; SALAMA et al., 2012; SILVA Jr et al., 2018; GOMES et al., 2019), e possuem carvacrol, timol (isômeros) e o eugenol como elementos majoritários (ÖZKAN e ERDOGAN, 2001; BAKALI et al., 2008).

Estudos com compostos bioativos que avaliam a mortalidade (CHENG et al., 2008; TANG et al., 2013; ZHANG et al., 2017; ADESSO et al., 2017) e/ou repelência (VOGT et al., 2002; APPEL et al., 2004; CHEN, 2005; STERNBERG et al., 2006; CHEN et al., 2008; CHEN, 2009; ZHANG et al., 2014; KAFLE e SHIH, 2013; WANG et al., 2014) em *S. invicta* tem sido cada vez mais comuns, já que esta espécie, por ser invasoras, se tornou praga em diferentes

países por onde se dispersou.

Assim, a fim de investigar a eficácia no controle de formigas lava-pés *S. saevissima* por substâncias de origem vegetal o objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial de ação formicida do eugenol, (E)-cinamaldeído, timol e carvacrol, em condições laboratoriais, visando o uso de substâncias que reduzam o impacto ambiental.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Ecologia Comportamental e Bioacústica, da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Minas Gerais, nos períodos junho a julho de 2017 e janeiro de 2018, onde foram testados, em operárias de *S. saevissima*, *in vitro*, quatro substâncias de origem vegetal, o eugenol P.A., o (E)-cinamaldeído P.A., o timol P.A. e o carvacrol P.A., adquiridos pela empresa Sigma-Aldrich Brasil, com grau de pureza superior a 98%.

Foram acondicionadas 10 operárias por placa de Petri (140x15mm) contendo papel filtro impregnado com 1 ml da substância teste, sendo três repetições para cada uma das oito concentrações de cada substância, além do grupo-controle contendo o Dimetilsulfóxido (DMSO) a 1% (Figura 12), totalizando 9600 operárias sendo 2400 para cada substância testada.

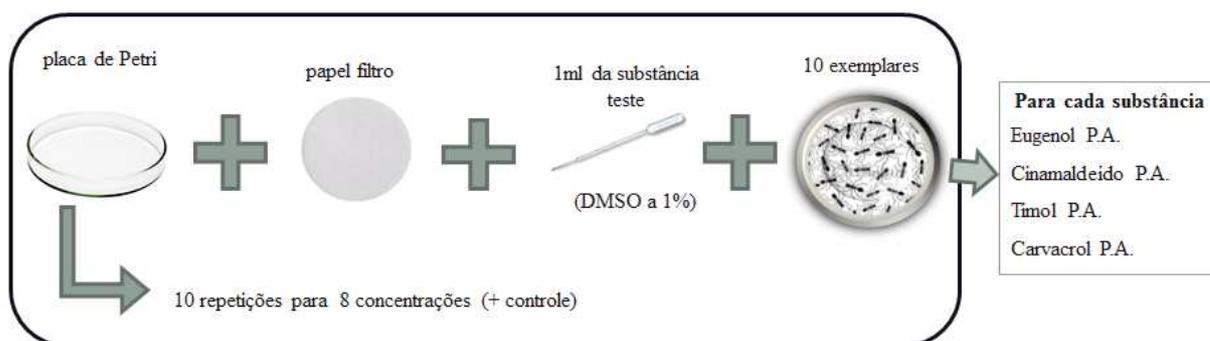


Figura 12 – Montagem do experimento em placas de Petri, para teste de biocidas no controle de formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil.

As oito concentrações testadas para timol e carvacrol foram 0,015; 0,031; 0,62; 0,125; 0,25; 0,5; 0,75 e 1 mg/mL), já para (E)-cinamaldeído e eugenol 0,078; 0,156; 0,312; 0,625; 1,25; 2,5; 5 e 10 mg/mL, todas diluídas em DMSO a 1%. As diferentes concentrações entre os

compostos foram baseadas em um estudo piloto que detectou a concentração mínima letal para as operárias de *S. saevissima*.

Após a introdução das formigas e a distribuição da substância teste, as placas foram lacradas com fita adesiva, para impedir a saídas das mesmas (Figura 13). Em seguida, as placas foram mantidas em estufa incubadora (tipo B.O.D.) por 24 horas, com temperatura média de 25° C, umidade relativa de 75% e 12 horas fotoperíodo, quando era feita a quantificação de mortalidade/letalidade dos indivíduos.



Figura 13 – Placa de Petri lacrada com substância teste dissolvida em DMSO e 10 operárias de formiga lava-pé neotropical *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), em condições laboratoriais, em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, Brasil.

Para a análise estatística dos dados, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, além do ANOVA seguido do pós-teste Tukey, através do programa BioEstat 5.0 (AYRES et al., 2007). A concentração letal de 50% (CL50) foi calculado pelo método probit, usando o programa POLOPC (LeOra Software, 1987).

5.3 RESULTADOS

As substâncias testadas se mostraram com potencial formicida por causarem 100% de letalidade de operárias nas concentrações testadas mais elevadas, após 24 horas da aplicação dos compostos e não havendo mortalidade no grupo controle.

O timol se mostrou mais eficiente, pois em concentrações baixas de 0,5 mg/mL alcançou mortalidade de 100% e 0,125 mg/mL matou 55,66% das operárias. Enquanto o carvacrol alcançou mortalidade de 100% nas concentrações a partir de 0,75 mg/mL, e a mortalidade de

50% também foi obtida em 0,125 mg/mL, como o timol (Figura 14).

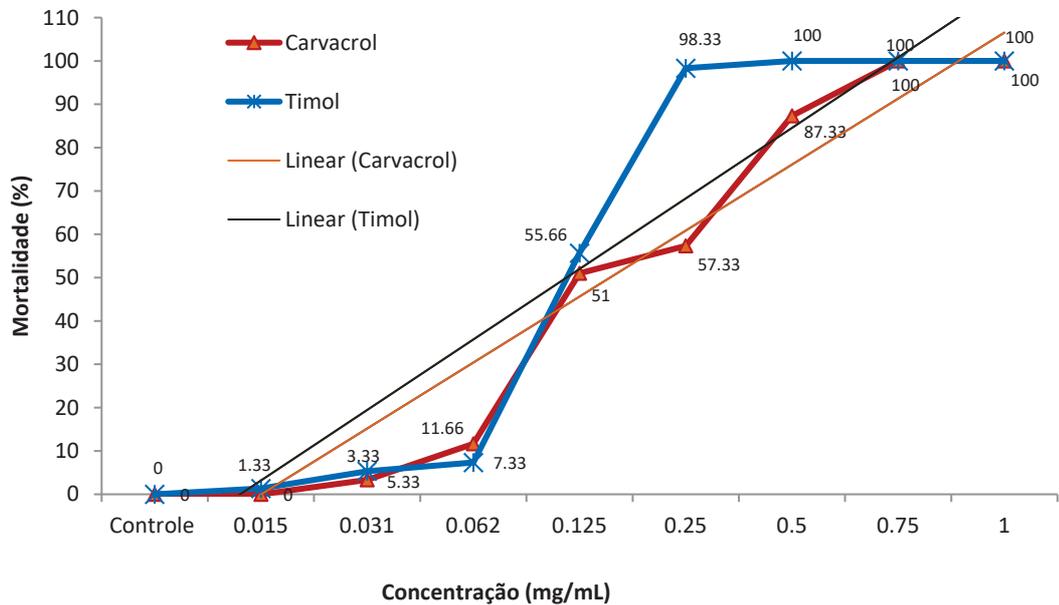


Figura 14 - Mortalidade de operárias de formigas lava-pés (*Solenopsis saevissima*) tratadas em diferentes concentrações de carvacrol e timol, em condições laboratoriais.

Como comprovado no teste-piloto, o eugenol e o (E)-cinamaldeído foram menos eficazes quanto a mortalidade das operárias já que o eugenol alcançou 100% de letalidade em concentrações a partir de 2,5mg/mL e o (E)-cinamaldeído de 5 mg/mL (Figura 15).

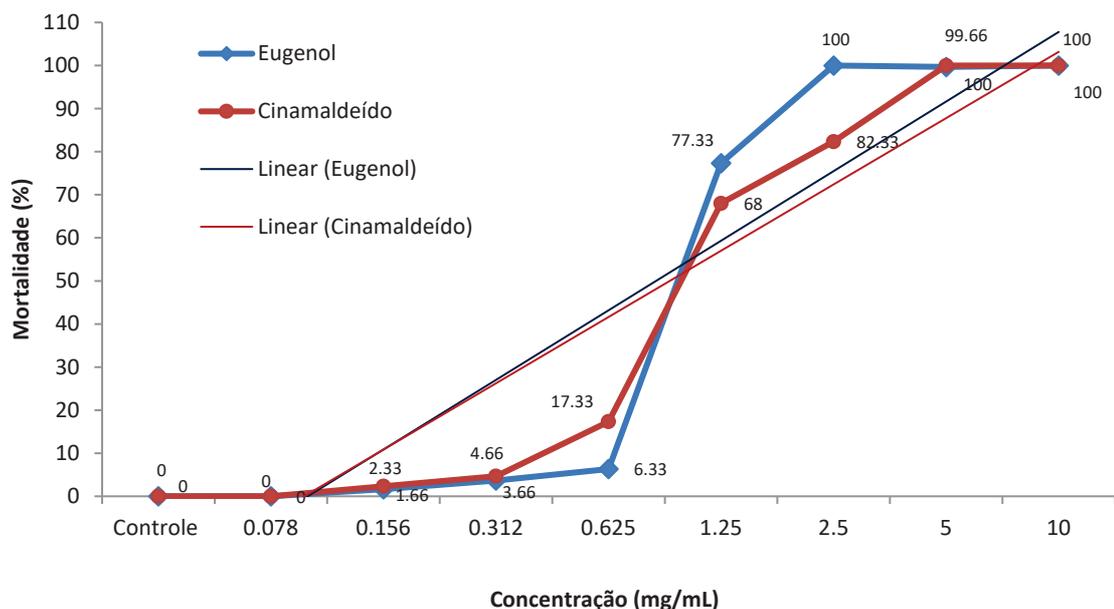


Figura 15 - Mortalidade de operárias de formigas lava-pés (*Solenopsis saevissima*) tratadas em diferentes concentrações de eugenol e (E)-cinamaldeído, em condições laboratoriais.

No que se refere a concentração letal (CL), para o timol a CL₅₀ foi de 0,10 mg/mL e a CL₉₀ de 0,22 mg/mL, enquanto que para o carvacrol a CL₅₀ foi de 0,15 mg/mL e a CL₉₀ de 0,48 mg/mL. A CL₅₀ do eugenol foi de 0,87 mg/mL e a CL₉₀ de 1,77 mg/mL, enquanto que para o (E)-cinamaldeído a CL₅₀ foi de 1,08 mg/mL e a CL₉₀ de 2,86 mg/mL (tabela 4)

Tabela 04 – Concentração Letal 50% (CL₅₀) e 90% (CL₉₀) de operárias de formigas lava-pés (*Solenopsis saevissima*) tratadas em diferentes concentrações das substâncias timol, carvacrol, eugenol e (E)-cinamaldeído, em condições laboratoriais.

Substâncias	CL ₅₀	IC - 95	CL ₉₀	IC - 95	p value
Timol P.A.	0.10	0.09 – 0,12	0.22	0.19 – 0.32	<0.01
Carvacrol P.A.	0.15	0.13 – 0.18	0.48	0.39 – 0.72	<0.01
Cinamaldeido P.A.	1.08	0.94 – 1.24	2.86	2.31 – 4.34	<0.01
Eugenol P.A.	0.87	0.77 – 0.98	1.77	1.48 – 2.53	<0.01

IC – Intervalo de Confiança

Em relação a média de mortalidade de operárias não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre timol e carvacrol e entre eugenol e (E)-cinamaldeído dentro de mesmas concentrações, excetuando as concentrações de 0,25 e 0,062 (timol e carvacrol) e de 0,625 mg/mL (eugenol e (E)-cinamaldeído) (tabela 5).

Tabela 05 – Média e desvio padrão de mortes de operárias de formigas lava-pés (*Solenopsis saevissima*) tratadas em diferentes concentrações das substâncias timol, carvacrol, eugenol e (E)-cinamaldeído, em condições laboratoriais.

Concentração (mg/ml)	Média± desvio padrão		Concentração (mg/ml)	Média± desvio padrão	
	Timol	Carvacrol		Eugenol	(E)-cinamaldeído
1,0	100±0 ^c	100±0 ^c	10	100±0 ^c	100±0 ^c
0,75	100±0 ^c	100±0 ^c	5	99,66±0,57 ^c	100±0 ^c
0,5	100±0 ^c	87,33±4,72 ^c	2,5	100±0 ^c	82,33±3,51 ^b
0,25	98,33±1,52 ^c	57,33±4,04 ^b	1,25	77,33±4,72 ^b	68±4,58 ^b
0,125	55,66±6,02 ^b	51±5 ^b	0,625	6,33±2,08 ^a	17,33±3,5 ^a
0,062	7,33±5,03 ^a	11,66±4,16 ^a	0,312	3,66±3,51 ^a	4,66±2,08 ^a
0,031	5,33±2,51 ^a	3,66±1,52 ^a	0,156	1,66±1,52 ^a	2,33±1,52 ^a
Controle	0	0	Controle	0	0

Valores médios de mesma letra na mesma não diferiram significativamente pelo Teste Tukey ($p < 0,01$)

O timol ($p=0,0051$) e carvacrol ($p= 0,0059$) causaram mortalidade significativa em relação ao controle a partir da concentração 0,125 mg/mL, já o eugenol ($p=0,0045$) e o (E)-cinamaldeído ($p= 0,0034$) causaram mortalidade com diferença significativa a partir da concentração 1,25 mg/mL.

5.4 DISCUSSÃO

Diferentes estudos (OI e WILLIAMS, 1996; VOGT et al., 2002; APPEL et al., 2004; STERNBERG et al., 2006; CHEN et al., 2008; CHENG et al. 2008; CHEN, 2009; TANG et al., 2013; KAFLE e SHIH 2013; WANG et al., 2014a; b; ZHANG et al., 2014; ZHANG et al., 2017) vêm testando o potencial formicida de biocidas em formigas lava-pés *S. invicta*, tanto em testes de mortalidade quanto de repelência, mas nenhum destes investigaram a eficácia de ação sobre *S. saevissima*.

Cheng et al. (2008) em teste toxicidade em formigas lava-pés *S. invicta* de (E)-cinamaldeído nas concentrações de 2%, 1% e 0,5% diluído em etanol, obtido do óleo essencial de *Cinnamomum osmophloeum*, relatam que na concentração de 2% houve a mortalidade de 100% em 40 minutos (CL_{50} de 18,5 min), em 1% em 60,0 min (CL_{50} 24,2 min) e 0,5% em 90,0 min (CL_{50} 31,3 min). A mortalidade do controle foi de 28,3% após 90,0 minutos, mostrando que o etanol tinha um efeito de baixa toxicidade.

Quanto ao eugenol, Kafkl e Shih (2013) testaram a toxicidade e a repelência em formigas, dos compostos bioativos do cravo (eugenol, acetato de eugenol, e beta-cariofileno) em concentrações de 0,25; 0,5; 1 e 2 ml/cm²; e verificaram que 6h após o tratamento, o eugenol matou formigas a uma taxa mais rápida que as demais substâncias, sendo que CL_{50} do eugenol foi 1,7±3 vezes menor que os demais. Além disso, verificaram que o cravo em pó é tóxico para as operárias, mesmo em uma taxa de aplicação muito baixa de 0,34 mg/cm², que matou 74%. Segundo Enan (2001) o eugenol é um neuro-inseticida contra formigas carpinteiras, *Camponotus pennsylvanicus* (DEGEER, 1773).

Adesso et al. (2017) verificaram a eficiência do óleo de cedro amarelo (cipreste) do Alasca, *Cupressus nootkatensis*, que tem em sua composição cerca de 6% de carvacrol e timol, em formigas híbridos de *S. invicta* e *Solenopsis richteri* Forel, 1909 em concentrações de 0,1%, 0,5%, 0,75%, 1% e 2%. Após 24 horas obtiveram mortalidade de 40% na concentração de 0,1% e de 80% em 2%, a CL_{50} e a CL_{90} foram de 0,26% e 4,65%, respectivamente, valores superiores aos do presente estudo para as mesmas substâncias.

Vários outros estudos demonstram a bioatividade de diferentes óleos essenciais contra

lava-pés *S. invicta*, como por exemplo, óleo de menta e canela (APPEL et al. 2004, CHENG et al. 2008), o intermedeol e o calicarpenal, derivados da amora americana (*Callicarpa americana* L., Verbenaceae) e amora japonesa (*Callicarpa japonica* Thunb.) (CHEN et al. 2008) e o óleo de laranja (VOGT et al., 2002)

Em experimentos realizados por Wiltz et al. (2007) detectaram que lava-pés sofreram ação de repelência por não atravessar barreiras químicas de manjerição, citronela, limão, óleos de chá hortelã-pimenta para alcançar uma câmara de alimentação. Da mesma forma, que foram impedidas de se alimentar de algodão embebido em solução de açúcar sobre um pedaço de papel de filtro tratado com óleo de cedro (ELLER et al. 2014).

Tang et al. (2013) avaliaram a atividade inseticida de 8 óleos essenciais de cânfora (*Cinnamomum camphora* (L.); eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.); artemísia *Artemisia annua* (L.), artemísia (*Artemisia argyi* H. Lév. & Vaniot) e wintergreen (*Ilex chinensis* Sims), crisântemo (*Dendranthema indicum* (L.) Des Moul.), de aguarrás (*Pinus massoniana* Cordeiro.) e de forsítia (*Forsythia suspense* (Thunb.) Vahl), e seus estudos mostraram que a cânfora, eucalipto, artemísia e wintergreen tem potencial como fumigantes naturais para operárias de *S. invicta* e que podem ser usado como substitutos para inseticidas químicos.

No Brasil, estudos que avaliam a eficácia destas substâncias em carrapatos têm sido realizados. Novato et al. (2018) avaliam a atividade de carvacrol, timol, eugenol e seus respectivos derivados acetilados (acetato de carvacrol, acetato de timol e acetato de eugenol) em larvas de *Rhipicephalus microplus* (Canestrini 1888) em concentrações de 0,312; 0,625; 1,25; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 e 15,0 mg/mL. O timol e o carvacrol resultaram em 100% de mortalidade a partir da concentração de 2,5 mg/mL, acetato de carvacrol a partir da concentração de 5,0 mg/mL, e para os demais a mortalidade a 100% foi alcançada em concentração de 15,0 mg/mL).

Em testes de combinação, Novato et al. (2015) avaliaram o efeito combinado de timol, carvacrol e (E)-cinamaldeído em *Amblyomma sculptum* (Berlese, 1888) e larvas de *Dermacentor nitens* (Neumann, 1897). Para *A. sculptum*, o menor valor de CL₅₀ foi obtido para (E)-cinamaldeído (1,40 mg/mL), seguido por timol (2,04 mg/mL) e carvacrol (3,49 mg/mL) e para *D. nitens*, foram de 1,68; 2,17 e 3,33 mg/mL, respectivamente. Para larvas de *A. sculptum*, somente as combinações entre carvacrol/timol e carvacrol/(E)-cinamaldeído apresentaram efeito sinérgico moderado. Para larvas de *D. nitens*, as combinações entre timol/carvacrol apresentaram efeito sinérgico, enquanto as demais apresentaram efeito aditivo ou antagônico.

Araújo et al. (2016), detectaram que os valores de CL₅₀ em larvas de *R. microplus* foram

semelhantes para timol (1,53 mg/mL) e carvacrol (1,76 mg/mL), enquanto eugenol (4,67 mg/mL) diferiu substancialmente. Para larvas de *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806) foram semelhantes para timol (2,98 mg/mL) e carvacrol (3,29 mg/mL) e diferindo para eugenol (5,19 mg/mL). Assim, combinações de carvacrol/timol, carvacrol/eugenol e timol/eugenol têm efeitos sinérgicos em larvas *R. microplus* e *R. sanguineus*. Segundo Daemon et al. (2009) a baixa sensibilidade de *R. sanguineus* a essas substâncias pode estar relacionada a uma menor permeabilidade cuticular das larvas.

Assim, produtos naturais pode ser uma excelente fonte de repelentes e de controle contra formigas lava-pés, no entanto, os óleos essenciais são voláteis e a sua eficácia, a campo, pode ser alterada com o tempo de exposição ao ar, com a temperatura do ambiente, com a incidência da luz solar e com a umidade do ar e também do solo. Portanto, se faz importantes estudos que foquem no desenvolvimento de formulações de melhor eficácia, estabilidade e custos reduzidos dos compostos bioativos contra as formigas lava-pés, já que estes são uma alternativa mais segura em relação aos inseticidas sintéticos de contato.

5.5 CONCLUSÃO

As substâncias testadas apresentam eficácia formicida para *S. saevissima*, destacando-se o timol e o carvacrol que tiveram melhor potencial como agente de controle.

REFERÊNCIAS

ADAMS, C.; BANKS, W.; LOFGREN, C.; SMITTLE, B.; HARLAN, D. Impact of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), on the growth and yield of soybeans. **J. Econ. Entomol.**, v.76, n. 5, p. 1129-1132, 1983.

ADAMS, C.; BANKS, W.; LOFGREN, C. Red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): Correlation of ant density with damage to two cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). **J. Econ. Entomol.** , v. 81, n. 3, p. 905-909, 1988.

ADDESSO, K. M.; OLIVER, J. B.; O'NEAL, P. A.; YOUSSEF, N. Efficacy of nootka oil as a biopesticide for management of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology**, v.110, n. 4, p.1547–1555, 2017.

APPEL, A. G.; GEHRET, M. J.; TANLEY, M. J. Repellency and toxicity of mint oil granules to red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). **J. Econ. Entomol.**, v. 97, p. 575- 580, 2004.

ARAÚJO, L.X.; NOVATO, T.P.L.; ZERINGÓTA, V.; MATOS, R.S.; SENRA, T.O.S.; MATURANO, R.; PRATA, M.C.A; DAEMON, E.; MONTEIRO, C.M.O. Acaricidal activity of thymol against larvae of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) under semi-natural conditions. **Parasitology Research**, v. 114, n. 9, 3271-6, 2015.

doi: 10.1007/s00436-015-4547-3

ARAÚJO, L.X.; NOVATO, T.P.L.; ZERINGÓTA, V.; MATURANO, R.; MELO, D.; SILVA, B. C. da; DAEMON, E.; CARVALHO, M. G. de; MONTEIRO, C. M. O. Synergism of thymol, carvacrol and eugenol in larvae of the cattle tick, *Rhipicephalus microplus*, and brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus*. **Medical and Veterinary Entomology**, doi: 10.1111/mve.12181. 2016

AYRES, M.; AYRES JUNIOR, M.; AYRES, D.L.A.S. **Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. Instituto Mamirauá. Belém, 2015.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils: a review. **Food Chem Toxicol.**, v. 46, n. 2, p. 446-75, 2008

CASTRO, M.M.; FERNANDES, E.F.; SANTOS-PREZOTO, H.H.; PREZOTO, F. Formigas em ambientes urbanos: importância e risco à saúde pública. **CES Revista**, v. 28, n. 1, p. 103-117, 2014.

CHEN, J. Assessment of repellency of nine phthalates against red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) workers using ant digging behavior. **J. Entomol. Sci.**, v.40, p. 368-377, 2005.

CHEN, J. Repellency of an over-the-counter essential oil product in China against workers of red imported fire ants. **J. Agr. Food. Chem.**,v. 57, p. 618-622, 2009.

CHEN, J.; CANTRELL, C. L.; DUKE, S. O.; ALLEN, M. L. Repellency of callicarpenal and intermedeol against workers of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). **J. Econ. Entomol.**, v.101, n. 2, : 265-271, 2008.

CHENG, S.S., WU, C.L., CHANG, H.T., KAO, Y.T., CHANG, S.T. Antitermitic and antifungal activity of essential oil of *Calocedrus formosana* leaf and its composition. **J. Chem. Ecol.**, v. 30, p. 1957- 1967, 2004

CHENG, S.S.; LIN, J.Y.; LIN, C.Y.; HSUI, Y.R.; LU, M.C.; WU, W.J.; CHANG, S.T. Terminating red imported fire ants using *Cinnamomum osmophloeum* leaf essential oil. **Bioresource Technol.**, v. 99, p. 889-893. 2008.

COSENTINO, S.; TUBEROSO, C.I.G.; PISANO, B.; SATTA, M.; MASCIA, V.; ARZEDI, E.; PLAMAS, E.. In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian *Thymus* essential oils. **Lett Appl Microbiol.**, v. 29, n.2, p. 130-5, 1999.

CRISTANI, M.; D'ARRIGO, M.; MANDALARI, G.; CASTELLI, F.; SARPIETRO, M.G.; MICIELI, D.; VENUTI, V.; BISIGNANO, G.; SAIJA, A.; TROMBETTA, D. Interaction of four monoterpenes contained in essential oils with model membranes: implications for their antibacterial activity. **J Agric Food Chem.**, v. 55, n. 15, p. 6300-8, 2007.

DAEMON, E.; MONTEIRO, C.M.O.; ROSA, L.S.; CLEMENTE, M.A.; ARCOVERDE, A. Evaluation of the acaricide activity of thymolon engorged and unengorged larvae of *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1808) (Acari: Ixodidae). **Parasitology Research**, v. 105, p. 495-497.

DESHAZO, R.D.; GRIFFING, C.; KWAN, T.H.; BANKS, W.A.; DVORAK, H.F. Dermal hypersensitivity reactions to imported fire ants. **J Allergy Clin Immunol.**, v. 74, p. 841-847, 1984.

DREES, B.; GOLD, R. Development of integrated pest management programs for the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae). **J. Entomol. Sci.**, v. 38, n. 2, p. 170-180, 2003.

ELLER, F.J.; VANDER MEER, R.K.; BEHLE, R.W.; FLOR-WEILER, L.B.; PALMQUIST,

D.E. Bioactivity of cedarwood oil and cedrol against arthropod pests. **Environ. Entomol.**, v. 43, p. 762–766, 2014.

ENAN, E. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. **Comp. Biochem. Physiol.**v. 130, p. 325-337, 2001.

FERREIRA, P. A.; SOARES, G.L.G.; D'ÁVILA,S.; BESSA, E.C.A. The influence of caffeine and thymol on the survival growth and reproduction of *Subulina octona* (Bruguère, 1789) (Mollusca, Subulinidae). **Brazilian Archives of Biology and Technnology**, v. 52, n.4, p.945-952. 2009.

FERREIRA P.; SOARES, G.L.G.; D'ÁVILA, S.; BESSA, E.C.A. Influência da cafeína sobre a sobrevivência, crescimento e reprodução de *Bradybaena similaris* (Férussac, 1821) (Mollusca, Xanthonychidae), com diferentes idades. *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 12, n. 2, p. 47-53, 2010.

FERREIRA, F.M.; DELMONTE, C. C.; NOVATO, T. L. P.; MONTEIRO, C.M.O.; DAEMON, E.; VILELA, F. M. P.; AMARAL, M. P. H. Acaricidal activity of essential oil of *Syzygium aromaticum*, hydrolate and eugenol formulated or free on larvae and engorged females of *Rhipicephalus microplus*. **Medical and Veterinary Entomology**, v.32, p. 41–47, 2018.

FOX, E.G.P. Biologia, morfologia e bioquímica de veneno da formiga lava-pés *Solenopsis saevissima* Smith (Insecta, Hymenoptera, Formicidae). 2010. 123f. Tese de doutorado - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. 2010

FUNASA. Manual de diagnóstico e tratamento de acidentes por animais peçonhentos. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Brasília. 2001

GOMES, G.A.; MONTEIRO, C.M.O.; SENRA, T.O.S.; ZERINGÓTA, V.; CALMON, F.; MATOS, R.S.; DAEMON, E.; GOIS, R.W.S.; SANTIAGO G.M.P.; CARVALHO M.G. Chemical composition and acaricidal activity of essential oil from *Lippiasidoides* on larvae of *Dermacentor nitens* (Acari: Ixodidae) and larvae and engorged females of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Parasitology Research.**, v. 111, n.6, p. 2423–2430, 2012.

GOMES, P.R.B.; REIS, J.B.; SILVA, J.C.; OLIVEIRA, R.W.S; PAULA, M. do L. de; LOUZEIRO, H.C.; MOUCHEREK FILHO, V.E.; FONTENELE, M.A. Avaliação da toxicidade e atividade moluscicida do óleo essencial *Cinnamomum zeylanicum* Blume contra o caramujo *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818). **Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.**, v. 48, n. 1, p. 112-127, 2019

GUSMÃO; M.H.A.; GUEDES, M.S.; LEANDRO, A.C.; ABREU, P.F. Atividade moluscicida do extrato aquoso de *Agave americana* (Asparagaceae) sobre *Bradybaena siilaris* (Férussac, 1821) (Mollusca, Bradybaenidae). **Analecta**, v.4, n., p. 149-161, 2018

HADDAD JUNIOR, V. Identificação de enfermidades agudas causadas por animais e plantas em ambientes rurais e litorâneos: auxílio à prática dermatológica. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, v. 84, p. 343-348, 2009.

KAFKL, L.; SHIH, C.J. Toxicity and Repellency of Compounds from Clove (*Syzygium aromaticum*) to Red Imported Fire Ants *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology**, v.106, n.1, p. 131-135, 2013.

KELSEY, R.G.; REYNOLDS, G.W.; RODRIGUEZ, E. In: Rodriguez, E.; Healey, P.L.; Mhenta, I.; eds.; **Biology and Chemistry of plant trichomes**. Plenum Press: New York, 1984.

LOFGREN, C. S.; BANKS, W. A.; GLANCEY, B. M. Biology and control of imported fire ants. **Annual Review of Entomology.**, v. 20, p. 1-30, 1975.

LOFGREN, C. S. The economic importance and control of imported fire ants in the United States, pp. 227–56. In S. B. VINSON (ed.), **Economic impact and control of social insects**. Greenwood, Westport, CT, 1986

MALASPINA, O. Veneno de formigas: alergia e saúde pública. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Entomologia**. Gramado, RS. CD-ROM, 2004.

MELLO, V.; PRATA, M. C. A.; SILVA, M. R.; DAEMON, E.; SILVA L.S.; GUIMARÃES, F.D.G.; MENDONÇA, A. E.; FOLLY, E.; VILELA, F.M.P.; AMARAL, L.H.; CABRAL, L.M.;

AMARAL, M.P.H. Acaricidal properties of the formulations based on essential oils from *Cymbopogon winterianus* and *Syzygium aromaticum* plants. **Parasitology Research**, v.113, n.12, p. 4431-4437, 2014.

MORAGAS, W.M.; SCHNEIDER, M.O. Biocidas: suas propriedades e seu histórico no Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 10, p. 26-40, 2003.

NOVATO, T.; GOMES, G.A.; ZERINGÓTA, V.; FRANCO, C.T.; OLIVEIRA, D.R.; MELO, D.; CARVALHO, M.G.; DAEMON, E.; MONTEIRO, C.M.O. In vitro assessment of the acaricidal activity of carvacrol, thymol, eugenol and their acetylated derivatives on *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Veterinary Parasitology**, v. 260, p. 1–4, 2018.

NOVELINO, A.M.S.; DAEMON, E.; SOARES, G.L.G. Avaliação da atividade repelente do timol, mentol, salicilato de metila e ácido salicílico sobre larvas de *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p. 700-4, 2007.

OI, D. H.; WILLIAMS, D.F. Toxicity and repellency of potting soil treated with bifenthrin and tefluthrin to red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). **J. Econ. Entomol.**, v. 89, n. 6, p. 1526-1530, 1996.

ÖZKAN, A.; ERDOĞAN, A. A comparative evaluation of antioxidant and anticancer activity of essential oil from *Origanum onites* (Lamiaceae) and its two major phenolic components. **Turk J Biol.**, v. 35, p.735-42, 2011.

RHOADES, R.B.; STAFFORD, C.T.; JAMES, F.K. JR. Survey of fatal anaphylactic reactions to imported fire ants stings. **J Allergy Clin Immunol** , v.84, p. 159-162, 1989.

ROEL, A. R. Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o desenvolvimento rural sustentável. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v.2, p.43-50, 2001.

SALAMA, M., TAHER, E.; EL-BAHY, M. Molluscicidal and mosquitocidal activities of the essential oils of *Thymus capitatus* Hoff. et Link. and *Marrubium vulgare* L. **Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo**, v.54, n. 5, p. 281-286, 2012

SILVA JR., V. O.; TOLEDO, A.M.O.; ABREU, P.F. Uso de extrato aquoso de pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.) em testes de sobrevivência sobre *Achatina fulica* (Bowdich, 1822) (Mollusca, Gastropoda). **Revista Brasileira de Zoociências**, v.19, n. 1, p. 142-150, 2018

SOLLEY, G. O.; VANDERWOUDE, C.; KNIGHT, G. K. Anaphylaxis due to red imported fire ant sting. **MJA**, v. 176, n. 3, p. 521-523, 2002.

STERNBERG, T.; PERRY, G.; BRITTON, C. Grass repellency to the red imported fire ant. **Rangeland Ecol Manage**, n.59, p. 330-333, 2006

TANG,L.; SUN,Y.Y.; ZHANG,Q.P.; ZHOU,Y.; ZHANG, N.; ZHANG, Z.X. Fumigant activity of eight plant essential oils against workers of red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. **Sociobiology** , v.60, n. 1, p. 35-40. 2013.

TANKERSLEY, M.S. The stinging impact of the imported fire ant. **Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology**, v. 8, p. 354–359, 2008.

ULTEE, A.; SLUMP, R.A.; STEGING, G.; SMID, E.J. Antimicrobial activity of carvacrol toward *Bacillus cereus* on rice. **J Food Prot**. v.63, v. 5, p. 620-4, 2000.

VERAS, H.N.H.; RODRIGUES, F.F.G.; BOTELHO, M.A.; MENEZES, I.R.A.; COUTINHO, H.D.M.; COSTA, J.G.M. Enhancement of aminoglycosides and β -lactams antibiotic activity by essential oil of *Lippia sidoides* Cham. and the Thymol. **Arab J Chem.**, v.10, n. 2, p. 2790-2795, 2013.

VOGT J.T.; SHELTON T. G.; MERCHANT, M.E; RUSSELL, S.A.; TANLEY, M. J.; APPEL, A. G. Efficacy of three citrus oil formulations against *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae), the red imported fire. **J. Agric. Urban Entomol.**, v.19, n. 3, p. 159-171, 2002.

WANG, K.; TANG, L.; ZHANG, N.; ZHOU, Y.; LI, W.; LI, H.; CHENG, D., ZHANG, Z. Repellent and fumigant activities of *Eucalyptus globulus* and *Artemisia carvifolia* essential oils against *Solenopsis invicta*. **Bulletin of Insectology**, v.67, n. 2, p. 207-211, 2014.

WANG, J.; QIU, X.; ZENG, L.; XU, Y. Interference of plant essential oils on the foraging behavior of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). **Florida Entomologist**, v. 97, n.2, p. 454-460, 2014.

WILLIAMS, D. F.; DESHAZO, R. D. Biological control of fire ants: an update on new techniques. **Ann. Allergy, Asthma Immunol.**, v. 93, n. 1, p. 15-22, 2004.

WILTZ, B. A.; SUITER, D. R.; GARDNER, W.A. Deterrency and toxicity of essential oils to Argentine and red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). **J. Entomol. Sci.**, v. 42, p. 239 -249, 2007.

ZHANG, N.; TANG, L.; HU, W.; WANG, K.; ZHOU, Y.; LI, H.; HUANG, C.; CHUN, J.; ZHANG, Z. Insecticidal, fumigant, and repellent activities of sweet wormwood oil and its individual components against red imported fire ant workers (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Insect Science**, v.14, n.1, p. 201-204, 2014.

ZHANG, Y.; FU, J. T.; HUANG, C. L.; CHENG, D.M.; HUANG, R.L.; ZHANG, Z.X. Insecticidal Activity of the Soil in the Rhizosphere of *Viburnum odoratissimum* against *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 64, n. 1, p. 1-6, 2017.

ZENG, L.; LU, Y.Y.; HE, X.F.; ZHANG, W.Q.; LIANG, G.W. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* that invaded mainland China and an infestation in Wuchuan, Guangdong. **Chinese Bull. Entomol.**, v.42, n. 2, p.144-148, 2005.

ZERINGÓTA, V.; CASTRO, M.M.; DELLA LUCIA, T.M.C.; PREZOTO, F. Nesting of the fire ant *Solenopsis saevissima* (Hymenoptera: Formicidae) in an urban environment. **Florida Entomologist** , v. 97, p. 668-673, 2014.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo traz relevantes contribuições para a sociedade a partir de uma melhor compreensão sobre o comportamento das formigas lava-pés durante a fundação da colônia, que é fundamental para a sobrevivência da colônia, bem como métodos mais inovadores de controle.

O entendimento mais detalhado sobre a história natural de *S. saevissima* em seu ambiente nativo, permite conhecer sobre a influência das condições climáticas no voo nupcial, dando destaque a precipitação após um período seco. E sobre o comportamento, as operárias auxiliam na proteção dos reprodutores, durante o evento, os machos se lançam em voo primeiro que as fêmeas e, ambos utilizam superfície mais elevadas para facilitar o voo. Rainhas, depois de fecundadas, perdem suas asas e procuram cavidades pré-existentes no solo.

Durante a fundação, elas apresentam uma diversidade nas estratégias reprodutivas, sendo que fundações pleométricas são mais vantajosas que as fundações haplométricas, e o arranjo ótimo foi de um grupo com 05 rainhas.

Os comportamentos exibidos pelas rainhas são determinantes para o sucesso do ciclo de desenvolvimento da colônia, no que envolve comportamentos de exploração e cuidado com a prole e, na pós-emergência, com o surgimento das primeiras operárias, estas assumem um papel crucial na manutenção da colônia, participando ativamente no cuidado dos ovos, com as larvas e com as pupas, mudando assim o orçamento comportamental das rainhas que agora passam a investir mais tempo na reprodução se comparada com a fase inicial do ciclo.

Como método de controle, pode-se verificar que as substâncias bioativas testadas, timol, carvacrol, (E)-cinamaldeído e eugenol, tiveram ação formicida, sendo que o timol e o carvacrol apresentaram melhor eficácia em baixas concentrações testadas, sendo assim uma ótima alternativa para a diminuição do impacto ambiental provocada pelos métodos tradicionais de controle.

7. REFERENCIAS

ADAMS, C.; BANKS, W.; LOFGREN, C.; SMITTLE, B.; HARLAN, D. Impact of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), on the growth and yield of soybeans. **J. Econ. Entomol.**, v.76, n. 5, p. 1129-1132, 1983.

ADDESSO, K. M.; OLIVER, J. B.; O'NEAL, P. A.; YOUSSEF, N. Efficacy of nootka oil as a biopesticide for management of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology**, v.110, n. 4, p.1547–1555, 2017.

APPEL, A. G.; MACK, T. P. Repellency of milled aromatic cedar to domiciliary cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae and Blattidae). **J. Econ. Entomol.**, v.82, p. 152-155, 1989.

APPEL, A. G.; GEHRET, M. J.; TANLEY, M. J. Repellency and toxicity of mint oil granules to red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). **J. Econ. Entomol.**, v. 97, p. 575- 580, 2004.

ARAÚJO, L.X.; NOVATO, T.P.L.; ZERINGÓTA, V.; MATOS, R.S.; SENRA, T.O.S.; MATURANO, R.; PRATA, M.C.A; DAEMON, E.; MONTEIRO, C.M.O. Acaricidal activity of thymol against larvae of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) under semi-natural conditions. **Parasitology Research**, v. 114, n. 9, p. 3271-6, 2015.

ARAÚJO, L.X.; NOVATO, T.P.L.; ZERINGÓTA, V.; MATURANO, R.; MELO, D.; SILVA, B. C. da; DAEMON, E.; CARVALHO, M. G. de; MONTEIRO, C.M.O. Synergism of thymol, carvacrol and eugenol in larvae of the cattle tick, *Rhipicephalus microplus*, and brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus*. **Medical and Veterinary Entomology**, doi: 10.1111/mve.12181, 2016.

ASCUNCE, M.S.; YANG, C.C.; OAKLEY, J.; CALCATERRA, L.; WU, W.; SHIH, C.; GOUDET, J.; ROSS, K.G.; SHOEMAKER, D. Global Invasion history of the fire ant *Solenopsis invicta*, **Science**, v. 331, p. 1066-1068, 2011.

BUENO O. C.; BUENO, F.C. **Controle de formigas em áreas urbanas**. In: PINTO, Alexandre de Sene; ROSSI, Marta Maria; SALMERON, Eloisa (Orgs.). Manejo de pragas urbanas.

Piracicaba: CP2, p. 68-77, 2007.

BUENO, O.C.; CAMPOS-FARINHA, A.E.C. **As formigas domésticas**. In: MARICONI, Francisco de Assis Menezes (Org.). *Insetos e Outros invasores de residências*. Piracicaba: FEALQ, p. 136-180, 1999.

CALIFORNIA. Department of Food and Agriculture. **Red imported fire ants**. Disponível em: <<http://www.cdfa.ca.gov/PHPPS/pdep/rifa>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

CAMPOS-FARINHA, A. E. C.; JUSTI- JUNIOR, J.; BERGMANN, E. C.; ZORZENON, F. J.; RODRIGUES NETTO, S. M. Formigas urbanas. **Boletim Técnico do Instituto Biológico**, São Paulo, n. 8, p. 5-20, 1997.

CASSILL, D.; TSCHINKEL, W.R. Regulation of Diet in the Fire Ant, *Solenopsis invicta*. **Journal of Insect Behavior**, v. 12, n. 3, p. 307-328, 1999.

CASSILL, D.; TSCHINKEL, W.R.; VINSON, S. B. Nest complexity, group size and brood rearing in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Insectes soc.**, v. 49, p. 158–163, 2002

CASTRO, M.M.; FERNANDES, E.F.; SANTOS-PREZOTO, H.H.; PREZOTO, F. Formigas em ambientes urbanos: importância e risco à saúde pública. **CES Revista**, v. 28, n. 1, p. 103-117, 2014

CHENG, S.S., WU, C.L., CHANG, H.T., KAO, Y.T., CHANG, S.T. Antitermitic and antifungal activity of essential oil of *Calocedrus formosana* leaf and its composition. **J. Chem. Ecol.**, v. 30, p. 1957- 1967, 2004.

COATS, J. R. Risks from natural versus synthetic insecticides. **Annu. Rev. Entomol.**, v.39, p. 489-515, 1991.

COSENTINO, S.; TUBEROSO, C.I.G.; PISANO, B.; SATTA, M.; MASCIA, V.; ARZEDI, E.; PLAMAS, E. In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian *Thymus* essential oils. **Lett Appl Microbiol.**, v. 29, n.2, p. 130-5, 1999.

CRISTANI, M.; D'ARRIGO, M.; MANDALARI, G.; CASTELLI, F.; SARPIETRO, M.G.; MICIELI, D.; VENUTI, V.; BISIGNANO, G.; SAIJA, A.; TROMBETTA, D. Interaction of four monoterpenes contained in essential oils with model membranes: implications for their antibacterial activity. **J Agric Food Chem.**, v. 55, n. 15, p. 6300-8, 2007.

DAVIS JR, L. R.; VANDER MEER, R. K.; PORTER, S.D. Red imported fire ants expand their range across the West Indies. **Florida Entomologist.** v. 84. p. 735-736, 2001

DEJEAN, A.; CORBARA, B.; CÉRÉGHINO R.; LEPONCE, M.; ROUX, O.; ROSSI, V.; DELABIE, J. H. C.; COMPIN, A. Traits allowing some ant species to nest syntopically with the fire ant *Solenopsis saevissima* in its native range. **Insect Science**, v. 22, p. 289–294, 2015.

DELLA LUCIA, T.M.C. **Hormigas de importancia económica en la región neotropical.** In: FERNÁNDEZ, Fernando (Org.). Introducción a las hormigas de la región neotropical. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, p. 337-349, 2003.

ELLER, F.J.; VANDER MEER, R.K.; BEHLE, R.W.; FLOR-WEILER, L.B.; PALMQUIST, D.E. Bioactivity of cedarwood oil and cedrol against arthropod pests. **Environ. Entomol.**, v. 43, p. 762–766, 2014.

FERREIRA, P. A.; SOARES, G.L.G.; D'ÁVILA, S.; BESSA, E.C.A. The influence of Caffeine and Thymol on the survival growth and reproduction of *Subulina octona* (Bruguère, 1789) (Mollusca, Subulinidae). **Brazilian Archives of Biology and Technnology**, v. 52, n.4, p. 945-952, 2009

FERREIRA, F.M.; DELMONTE, C. C.; NOVATO, T.L.P.; MONTEIRO, C.M.O.; DAEMON, E.; VILELA, F.M.P.; AMARAL, M.P.H. Acaricidal activity of essential oil of *Syzygium aromaticum*, hydrolate and eugenol formulated or free on larvae and engorged females of *Rhipicephalus microplus*. **Medical and Veterinary Entomology**, v.32, p. 41–47, 2018.

FOX, E.G.P. **Biologia, morfologia e bioquímica de veneno da formiga lava-pés *Solenopsis saevissima* Smith (Insecta, Hymenoptera, Formicidae).** 2010. 123f. Tese de doutorado - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2010.

FUNASA. **Manual de diagnóstico e tratamento de acidentes por animais peçonhentos.** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Brasília. 2001.

GLUNN, F.J.; HOWARD, D.F.; TSCHINKEL, W.R. Food preference in colonies of the fire ant *Solenopsis invicta*. **Insectes Soc.**, v. 28, n. 2, p. 217-222, 1981.

GOMES, P.R.B.; REIS, J.B.; SILVA, J.C.; OLIVEIRA, R.W.S; PAULA, M. do L. de; LOUZEIRO, H.C.; MOUCHEREK FILHO, V.E.; FONTENELE, M.A. Avaliação da toxicidade e atividade moluscicida do óleo essencial *Cinnamomum zeylanicum* Blume contra o caramujo *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818). **Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.**, v. 48, n. 1, p. 112-127, 2019

GUTRICH, J.J.; VANGELDER, E.; LOOPE, L. Potential economic impact of introduction and spread of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, in Hawaii. **Environmental Science & Policy**, v.10, p. 685 – 696, 2007

HADDAD JUNIOR, V. Identificação de enfermidades agudas causadas por animais e plantas em ambientes rurais e litorâneos: auxílio à prática dermatológica. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, Rio de Janeiro, v. 84, p. 343-348, 2009.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E.O. **The Ants**. Cambridge: Harvard University Press. 732 p., 1990.

HOWARD, D.F.; TSCHINKEL W.R. The Effect of Colony Size and Starvation on Food Flow in the Fire Ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 7, n. 4, p. 293-300, 1980.

JOUVENAZ, D. P. Approaches to biological control of fire ants in United States. In: VANDER MEER, R. K.; JAFFE, K.; CEDENO, A. (eds.). **Applied myrmecology, a world perspective**. Westview Press, Boulder. 176 p., 1990.

KELSEY, R.G.; REYNOLDS, G.W.; RODRIGUEZ, E. In: Rodriguez, E.; Healey, P.L.; *Mhenta*, I.; eds.; **Biology and Chemistry of plant trichomes**. Plenum Press: New York, 1984.

KYODO, 2017. Fire ants, including two queens, make way to Kyoto via China; em <https://www.japantimes.co.jp/news/2017/10/15/national/fire-ants-including-two-queens-make-way-kyoto-via-china/#.Xa2Dc2jQeUk>. Acessado em 21 de outubro de 2018

LOFGREN, C.S.; BANKS, W.A.; GLANCEY, B.M. Biology and control of imported fire ants. **Annu. Rev. Entomol.**, v.20, p.1-30, 1975.

LOFGREN, C. S. The economic importance and control of imported fire ants in the United States, pp. 227–56. In S. B. VINSON (ed.), **Economic impact and control of social insects**. Greenwood, Westport, CT., 1986

LU, Y.; WANG, L.; XU, Y.; ZENG, L.; LI, N. Correlation of the nest density and the number of workers in bait traps for fire ants (*Solenopsis invicta*) in Southern China. **Sociobiology**, v. 59, n. 3, p. 1197-1204, 2012

MACIEL, T.T.; CASTRO, M.M.; BARBOSA, B.C.; FERNANDES, E.F.; SANTOS-PREZOTO, H.H.; PREZOTO, F. Foraging behavior of fire ant *Solenopsis saevissima* (Smith) (Hymenoptera: Formicidae) in *Felis catus* Linnaeus (Carnivora: Felidae) carcass. **Sociobiology**, v. 62, n. 4, p. 610-612, 2015.

MALASPINA, O. Veneno de formigas: alergia e saúde pública. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Entomologia**. Gramado, RS. CD-ROM. 2004.

MARKIN, G.P.; DILLER, J.H.; HILL, S.O.; BLUM, M.S.; HERMANN, H.R. Nuptial flights and flight ranges of the imported fire ant, *Solenopsis saevissima richteri* (Hymenoptera: Formicidae). **J. Ga. Entomol. Soc.**, v.6, p. 145-156, 1972.

MENDONÇA, R.F.; SANTOS-PREZOTO, H.H.; PREZOTO, F. Actions of the fire ant *Solenopsis saevissima* (Smith) (Hymenoptera: Formicidae) on a big-eared opossum carcass. **Florida Entomologist**, v.102, n. 2, p. 435-467, 2019

MORAGAS, W.M.; SCHNEIDER, M.O. Biocidas: suas propriedades e seu histórico no Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 10, p. 26-40, 2003.

MORRISON, L.W., PORTER, S.D., DANIELS, E., KORZUKHIN, M.D. Potential global range expansion of the invasive fire ant, *Solenopsis invicta*. **Biological Invasions**. v. 6. p. 183-191, 2004.

MURRAY, C.; PINKHAM, C. **Towards a Decision Support Tool to Address Invasive Species in Garry Oak & Associated Ecosystems in BC**. Prepared by ESSA Technologies Ltd., Victoria, B.C. for the GOERT Invasive Species Steering Committee, Victoria, p. 96, 2002.

NOVATO, T.; GOMES, G.A.; ZERINGÓTA, V.; FRANCO, C.T.; OLIVEIRA, D.R.; MELO, D.; CARVALHO, M.G.; DAEMON, E.; MONTEIRO, C.M.O. In vitro assessment of the acaricidal activity of carvacrol, thymol, eugenol and their acetylated derivatives on *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Veterinary Parasitology**, v. 260, p. 1–4. 2018.

NOVELINO, A.M.S.; DAEMON, E.; SOARES, G.L.G. Avaliação da atividade repelente do timol, mentol, salicilato de metila e ácido salicílico sobre larvas de *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p. 700-4, 2007

PENICK, C.A.; TSCHINKEL, W.R. Thermoregulatory brood transport in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Insectes Sociaux**, v.55, n. 2, p. 176-182. 2008.

PITTS, J.P.; MCHUGH, J.V.; ROSS, K.G. Cladistic analysis of the fire ants of the *Solenopsis saevissima* species-group (Hymenoptera: Formicidae). **Zoologica Scripta**, v.34, n. 5, p. 493-505. 2005.

PITTS, J.P.; CAMACHO, G.P.; GOTZEK, D.; MCHUGH, J.V.; ROSS, K.G. Revision of the fire ants of the *Solenopsis saevissima* species-group (Hymenoptera: Formicidae). **Proc Entomol Soc Wash**, v. 120, n. 2, p. 308 – 411. 2018.

PORTER, S.D.; SAVIGNANO, D.A. Invasion of polygyne fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. **Ecology**. v. 71, n. 6, p. 2095-2106. 1990

PORTER, S.D.; EIMEREN, B. V.; GILBERT, L. E. Invasion of red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae): microgeography of competitive replacement. **Annals of the**

Entomological Society of America. v. 81, p. 913-918. 1988.

PORTER, S.D.; FOWLER, H. G.; MACKAY, W. P. Fire ant mound densities in the United States and Brazil (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology.** v. 85, n. 4, p. 1154-1161. 1992.

RHOADES, W.C.; DAVIS, D.R. 1967. Effects of meteorological factors on the biology and control of the imported fire ant. **J. Econ. Entomol.**, v. 60, n. 2, p. 554–558. 1967.

RISSING, S.; POLLOCK, G. An experimental analysis of pleometric advantage in *Messor pergandei*. **Ins Soc.**, v. 63, p. 205–211. 1991.

ROSS, K. G.; GOTZEK, D.; ASCUNCE, M. S.; SHOEMAKER, D. Species delimitation: a case study in a problematic ant taxon. **Systematic Biology.** v. 59. p. 1-23. 2009.

SALAMA, M., TAHER, E.; EL-BAHY, M. Molluscicidal and mosquitocidal activities of the essential oils of *Thymus capitatus* Hoff. et Link. and *Marrubium vulgare* L. **Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo**, v.54, n. 5, p. 281-286. 2012

SILVA JR., V. O.; TOLEDO, A.M.O.; ABREU, P.F. Uso de extrato aquoso de pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.) em testes de sobrevivência sobre *Achatina fulica* (Bowdich, 1822) (Mollusca, Gastropoda). **Revista Brasileira de Zociências**, v.19, n. 1, p. 142-150. 2018

TANKERSLEY, M.S. The stinging impact of the imported fire ant. **Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology**, v. 8, p. 354–359. 2008.

TRAGER, J.C. A revision of the fire ants, *Solenopsis geminate* group (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). **J. N.Y. Entomo. Soc.**, v.99, p. 141-198, 1991.

TSCHINKEL, W.R. Colony growth and the ontogeny of worker polymorphism in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 22, p.103-115. 1988.

TSCHINKEL, W. R. Distribution of the fire ants *Solenopsis invicta* and *S. geminata*

(Hymenoptera: Formicidae) in Northern Florida in relation to habitat and disturbance. **Ann. Entomol. Soc. Am.**, v.81, n. 1, p. 76-81, 1988.

TSCHINKEL, W.R. Sociometry and sociogenesis of colonies of the fire ant *Solenopsis invicta* during one annual cycle. **Ecological Monographs**, v.64, p. 425–457. 1993.

TSCHINKEL, W.R. Stimulation of fire ants queen fecundity by a highly specific brood stage. **Entomological Society of America**, v.88, n. 6, p.876-882. 1995.

TSCHINKEL, W.R. The reproductive biology of fire ant societies: Fire ant females have many and varied reproductive options. **BioScience**, v.48, p. 145-156. 1998.

TSCHINKEL, W.R.; MIKHEYEV, A.S.; STORZ, S.R. Allometry of workers of the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Journal of Insect Science**, v.3, p. 2-11, 2003.

TSCHINKEL, W. R. **Fire ants**. Cambridge: Harvard University Press. 744 p. 2006.

TSCHINKEL, W.R. The morphometry of *Solenopsis* fire ants. **PLoS ONE**, v. 8, n. 11, e79559. 2013 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079559>

ULTEE, A.; SLUMP, R.A.; STEGING, G.; SMID, E.J. Antimicrobial activity of carvacrol toward *Bacillus cereus* on rice. **J Food Prot.** v. 63, v. 5, p. 620-4. 2000.

VERAS, H.N.H.; RODRIGUES, F.F.G.; BOTELHO, M.A.; MENEZES, I.R.A.; COUTINHO, H.D.M.; COSTA, J.G.M. Enhancement of aminoglycosides and β -lactams antibiotic activity by essential oil of *Lippia sidoides* Cham. and the Thymol. **Arab J Chem.**, v.10, n. 2, p. 2790-2795. 2013.

VINSON, S. B.; GREENBERG, L. The biology, physiology and ecology if imported fire ants. In: VINSON, S. B. (ed.). **Economic Impact and Control of Social Insects**. Praeger Publishers. N. Y. p. 193-222. 1986

VINSON, S.B. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae). **Am. Entomol.**, v.43, p. 23-39, 1997.

VOGT J.T.; SHELTON T. G.; MERCHANT, M.E; RUSSELL, S.A.; TANLEY, M. J.; APPEL, A. G. Efficacy of three citrus oil formulations against *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae), the red imported fire. **J. Agric. Urban Entomol.**, v.19, n. 3, p. 159-171. 2002

YANG, C.; SHOEMAKER, D.D.; WU, W.; SHIH, C. Population genetic structure of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, in Taiwan. **Insectes Sociaux**, v. 55. p. 54-65. 2008.

YIJUAN,X.; YONGYUE, L.; LING, Z.; GUANGWEN L. Foraging behavior and recruitment of red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren in typical habitats of South China. **Acta Ecologica Sinica**, v. 27, n. 3, p. 855–861. 2007.

ZENG, L.; LU, Y.Y.; HE, X.F.; ZHANG, W.Q.; LIANG, G.W. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* that invaded mainland China and an infestation in Wuchuan, Guangdong. **Chinese Bull. Entomol.**, v.42, n. 2, p.144-148. 2005.

ZERINGÓTA, V.; CASTRO.M.M; DALLA LUCIA, T.M.C; PREZOTO, F. Nesting of the fire ant *Solenopsis saevissima* (Hymenoptera: Formicidae) in an urban environment. **The Florida Entomologist**, Lutz, v. 97, n. 2, p. 668- 673. 2014.