



Atividade inseticida do extrato etanólico de *Eugenia dysenterica* (Myrtaceae) sobre formigas cortadeiras

Insecticidal activity of the ethanol extract of *Eugenia dysenterica* (Myrtaceae) on leaf-cutting ants

M. V. Faleiro¹; J. H. Faleiro²; R. C. Oliveira³; E. C. Rocha¹; J. M. Q. Luz^{3*}; A. S. Arruda¹

¹Unidade Universitária de Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, 7578-000, Ipameri-GO, Brasil

²Departamento de Química, Universidade Federal de Goiás, 75704-020, Catalão-GO, Brasil

³Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 38410-337, Uberlândia-MG, Brasil

*jmagno@ufu.br

(Recebido em 04 de março de 2022; aceito em 06 de outubro de 2022)

O método de controle mais empregado para formiga cortadeira *Atta laevigata* (Smith, 1858) é o químico sintético. Porém, este é considerado grande gerador de problemas ambientais e para a saúde humana. Alternativas e métodos naturais de controle, como a utilização de extratos de plantas podem somar benefícios no sistema ecológico. Com isso, objetivou-se avaliar o potencial inseticida do extrato etanólico de *Eugenia dysenterica* (Mart.) (Myrtaceae) no controle de formiga cortadeira. O bioensaio foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com seis concentrações de extrato de cagaiteira (0; 0,001; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1 g mL⁻¹) e 3 repetições. As operárias de formiga cortadeira (adultos) foram colocadas em caixas gerbox embebidas com os extratos vegetais. As formigas cortadeiras, no teste de superfície de contato, apresentam mortalidade conforme o aumento das concentrações do extrato. A taxa de mortalidade foi variável de acordo com a parte da planta utilizada no extrato, sendo a maior mortalidade relacionada aos extratos provenientes das flores de cagaiteira.

Palavras-chave: *Atta laevigata*, bioinseticida, inseticida natural.

The control method most used for leaf-cutting ant *Atta laevigata* (Smith, 1858) is the synthetic chemical, however, this is considered a major generator of environmental and human health problems. Natural alternatives and methods, such as the use of plant extracts, can add benefits to the ecological system. Thus, the objective was to evaluate the insecticidal potential of the ethanol extract of *Eugenia dysenterica* (Mart.) in the control of leaf-cutting ants. The bioassay was carried out in a completely randomized design, with six concentrations of cagaiteira extract (0; 0.001; 0.025; 0.05; 0.075; 0.1 g mL⁻¹) and 3 replicates. The leaf-cutting ant workers (adults) were placed in gerboxes soaked with plant extracts. Leaf-cutting ants, in the contact surface test, show mortality with increasing concentration of the extract. The mortality rate varied according to the part of the plant used in the extract, with the highest mortality related to extracts from cagaiteira flowers.

Keywords: *Atta laevigata*, bioinsecticide, natural insecticide.

1. INTRODUÇÃO

As formigas cortadeiras pertencem à família Formicidae da ordem Hymenoptera e se dividem entre os gêneros *Atta* e *Acromyrmex*. São insetos de grande importância ecológica e econômica, afetando a biodiversidade, a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes no ecossistema natural [1]. Os prejuízos causados por estes insetos podem ser expressivos em uma gama de espécies cultivadas com finalidade comercial, sendo as estimativas destas perdas a nível global em torno de bilhões de dólares [2].

As formigas cortadeiras são consideradas pragas de difícil controle devido às muitas estratégias de defesa e alta seletividade na coleta de plantas [3]. Algumas moléculas sintéticas utilizadas como ingredientes ativos no controle de formigas cortadeiras foram restringidas do mercado devido a pesquisas que as classificaram como poluentes orgânicos persistentes [4]. Tal cenário exige que emergjam alternativas que possam auxiliar no manejo destas importantes pragas, sendo necessário encontrar formas viáveis e seguras em relação ao impacto ambiental, à saúde humana e aos organismos presentes no ecossistema [4, 5].

A exigência e aumento da demanda por novos pesticidas bioracionais e ecologicamente corretos também estão relacionados ao crescimento do número de produtores orgânicos e consumidores ambientalmente conscientes [6]. Atualmente, substâncias de origem vegetal são utilizadas como bioinseticidas na agricultura familiar, especialmente com base em conhecimentos tradicionais [7, 8]. Estudos, como o de Silva et al. (2019) [9], revela que diferentes espécies vegetais têm ação repelente e inseticida no controle de insetos pragas, podendo citar espécies como *Ruta graveolens* L. (Rutaceae); *Aloe vera* L. (Asphodeloideae), entre outras.

Resultados de pesquisas com o uso de extratos de plantas com ação biocida ou de repelência abordam que o controle das pragas é tão eficaz quanto inseticidas sintéticos. No entanto, apresenta vantagens de preservação dos artrópodes não-alvo e pode ser utilizado como agente de associação de métodos e promover um controle integrado, o que colabora com a ampliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas [10].

Segundo Jung et al. (2013) [11], a família Myrtaceae possui resultados interessantes na ação inseticida no controle da formiga cortadeira *Atta sexdens* (Linnaeus). Deste modo, pesquisas que utilizam plantas da família Myrtaceae (cagaiteira, pitangueira, por exemplo) no controle das formigas cortadeiras são atrativas.

A cagaiteira (*Eugenia dysenterica* Mart. Ex DC.) apresenta amplo potencial econômico e ecológico, o que atrai interesse de diversos setores. A sua utilização engloba a alimentação, fármacos, fonte de fibras, vitaminas, minerais, antioxidantes e medicina popular, sendo a colheita racional, considerada como fonte de renda e de destaque social para a comunidade local do bioma Cerrado [12, 13].

Os compostos bioativos da cagaiteira (fenóis, taninos hidrolisáveis, flavonóis, flavanonas, xantonas, flavonas, esteróides livres e saponinas) são capazes de exercer efeitos antifúngicos, como reportado por Malheiros et al. (2019) [14]. Apesar dos esparsos relatos positivos de atividade antifúngica, antiviral e inseticida de extratos de Myrtaceae [15], maiores informações sobre a concentração do extrato e qual parte da planta possui melhores efeitos sobre os alvos, trazem grandes benefícios para obter maior eficiência de uso dos recursos naturais.

Testes em laboratórios avaliando o efeito do extrato de *Gleichenella pectinata* (Willd.) (Pteridófito – Gleicheniaceae), sobre adultos de *Atta laevigata*, foram realizados por Moliterno e Abreu (2016) [16], no qual revelaram que a concentração dos extratos determina a melhor eficiência do extrato sob a mortalidade de formigas. *A. laevigata*, conhecida como saúva cabeça de vidro, destaca-se como uma das principais espécies de formigas cortadeiras e como uma das principais espécies causadoras de danos econômicos nos sistemas agrícolas e florestais, afetando a produção final e acarretando gastos intensos de controle [2]. Neste contexto, objetivou-se avaliar a ação inseticida do extrato etanólico de *E. dysenterica* no controle de *A. laevigata*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparo do extrato etanólico de *E. dysenterica*

O material vegetal de *E. dysenterica* foi obtido na Universidade Federal de Catalão – UFCAT, município de Catalão – GO (18°09'57" S e 47°56'47" W, altitude de 835 m). Flores, folhas e galhos foram coletados no início do mês de agosto e as sementes após maturação e queda dos frutos no fim do mês de setembro e início de outubro, em árvore adulta e que apresentava bom estado de conservação.

Foi desidratado a temperatura ambiente por sete dias e em seguida, moído em processador moinho de facas GRINDOMIX GM 200 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, US), no qual o pó vegetal foi transferido para um erlenmeyer com 500 mL de etanol absoluto (99,5%) e mantido neste por um período de 7 dias. Em seguida, realizou-se a filtração para separar a massa sólida do solvente extrator líquido, obtendo assim extratos etanólicos de cada parte vegetal (flor, folha, galho e semente). O procedimento de extração da massa vegetal foi repetido como descrito anteriormente para aumentar a eficiência da extração dos metabólitos presentes na planta. Posteriormente, o solvente etanólico obtido foi evaporado em rotaevaporador rotativo (Fisatom, modelo 801, com banho de aquecimento redondo Fisatom, modelo 550 e bomba de hidrovácuo

da marca VACUUBRAND GMBH + CO KG, modelo ME 1C), a uma pressão de 175MBar à temperatura de 40 °C, sendo obtidos os extratos brutos etanólicos concentrados de *E. dysenterica*. Os extratos foram acondicionados sob refrigeração a 4 °C por 90 dias.

2.2 Ensaio biológico: superfície de contato

O ensaio biológico foi conduzido no laboratório BioGen – Cerrado, na Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Ipameri. As operárias de *A. laevigata* usadas foram coletadas em diferentes formigueiros na Unidade de Ipameri, nas seguintes coordenadas geográficas 17°43'00" S e 48°08' 41" W e altitude de 793 m. A coleta foi realizada com o auxílio de uma pinça entomológica no olheiro do formigueiro e o acondicionamento foi em recipiente plástico.

O ensaio foi realizado usando caixas gerbox e papel filtro (90 mm de diâmetro), utilizando uma pipeta, foram aplicadas as diferentes concentrações do extrato etanólico de *E. dysenterica* (extrato vegetal de flor, folha, galho e semente), que estavam acondicionadas em geladeira à temperatura de 4 °C (adaptada de Marcomini et al. (2009) [17]).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 6 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas diferentes concentrações do extrato vegetal 0 (testemunha, disco embebido em água destilada); 0,001; 0,025; 0,05; 0,075 e 0,1 g mL⁻¹ diluídos em 4 mL de água destilada, sendo que o mesmo foi aplicado para cada extrato vegetal (flor, folha, galho e semente) [17]. Depois de aplicados os extratos, foram liberados 10 insetos adultos de *A. laevigata* em cada caixa gerbox para avaliação da mortalidade a cada 6 h por um período de 72 h. As caixas gerbox foram colocadas em uma sala sem controle de ambiente para simular as condições naturais.

A tendência temporal de mortalidade das formigas foi avaliada utilizando a porcentagem de formigas mortas por cada concentração de extrato das diferentes partes da planta. Para avaliar se houve influência das concentrações testadas para cada parte da planta (flor, folha, galho e semente) na proporção de formigas mortas, os dados provenientes de três tempos (6, 36 e 72 horas) foram submetidos à análise de Deviance a partir de um modelo linear generalizado binomial e foram estimadas as concentrações que proporcionaram mortalidade de 50 e 90% (CL₅₀ e CL₉₀) das formigas. Adicionalmente, a esses dados foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e foram realizadas comparações múltiplas dos tratamentos com o teste de LSD em sua forma não paramétrica.

As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R versão 4.1 [18], utilizando o pacote agricolae [19].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os extratos testados proporcionaram mortalidade em formigas cortadeiras no decorrer do tempo de 72 horas (Figura 1), sendo que, a porcentagem de mortalidade aumentou com o uso das maiores concentrações do extrato.

Para o extrato de flor a concentração 0,1 g mL⁻¹, apresentou mortalidade de 100% ao final do tempo analisado. Nas demais concentrações os resultados foram inferiores, sendo visível que todos os extratos etanólicos de flor possuem efeito inseticida, visto que ao final do tempo analisado a menor concentração apresentava 50% de mortalidade.

O extrato etanólico de folha em suas 18 horas iniciais apresentou baixa porcentagem de mortalidade, no entanto, ao decorrer das 72 h analisadas verificou-se aumento acelerado na mortalidade nas formigas cortadeiras *A. laevigata*, principalmente para concentração entre 0,025 à 0,1 g mL⁻¹ que atingiram 60% e 90% de mortalidade, respectivamente. Para a concentração 0,001 g mL⁻¹ a mortalidade foi de apenas 10%.

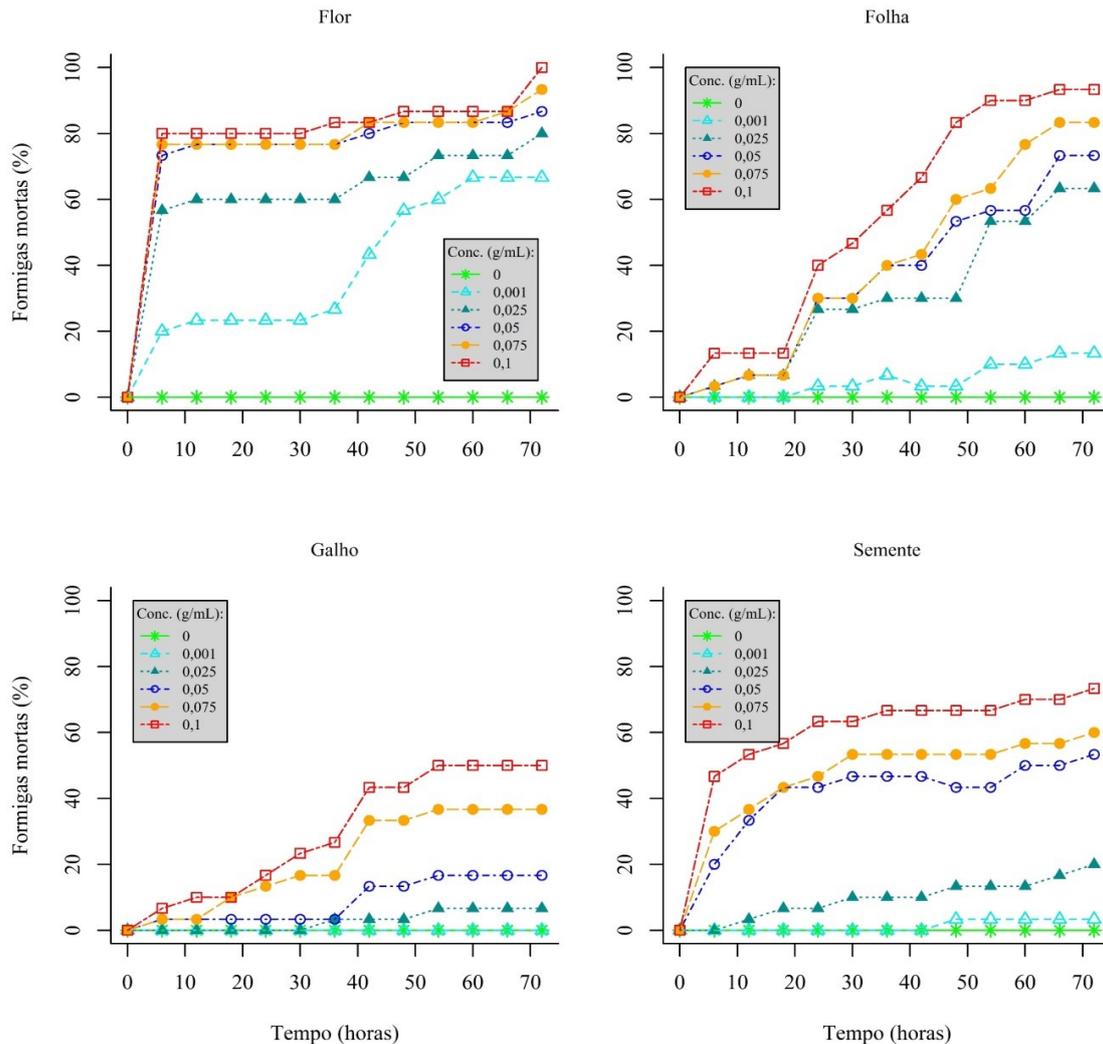


Figura 1: Porcentagem de mortalidade de formigas cortadeiras *Atta laevigata* mortas em função do tempo exposto a superfície de contato ao extrato etanólico de *Eugenia dysenterica*, em diferentes concentrações e produzido a partir de flores, folhas, galhos ou sementes. Conc. se refere às concentrações.

Vale ressaltar que a ação tardia do extrato etanólico de folha pode ser favorável, uma vez que os extratos vegetais são utilizados para fabricar os inseticidas granulados e a ação lenta se torna desejável, uma vez que as formigas operárias devem viver tempo suficiente para entrar em contato com o princípio ativo do inseticida granulado e sobreviver até distribuir a isca para as outras formigas operárias dentro dos ninhos e a rainha [20].

No extrato de galho, a concentração (0,1 g mL⁻¹) apresentou maior mortalidade (50%) que as demais. Vale ressaltar que todas as concentrações estabilizaram às 54 horas de teste, deste modo, tendo somente ação inicial, o que pode justificar a menor mortalidade ao longo das 72 horas.

O extrato etanólico de semente apresentou um pico inicial na mortalidade, sendo este nas 18 horas iniciais de estudo, depois houve tendência a estabilizar a mortalidade. Com 0,1 g mL⁻¹ do extrato ocorreu mortalidade de 70% das formigas em um período de 72 horas de estudo. No entanto, notou-se que as concentrações de 0,075 e 0,05 g mL⁻¹, acompanham a anterior, com valor mínimo de 50% de mortalidade.

Foi possível visualizar que ocorreu efeito inseticida nos extratos de diferentes partes da planta, tendo maior mortalidade para flor seguida de folha e semente (Figura 2). Por sua vez, o extrato proveniente dos galhos proporcionou menor mortalidade de formigas que as demais partes da planta, principalmente a partir de 36 horas de contato (Figura 2). Todas as concentrações testadas apresentaram efeito inseticida, corroborando com dados de Jung et al. (2013) [11], que em análise

da atividade inseticida de *Eugenia uniflora* sobre *A. laevigata*, concluíram que o óleo essencial e o extrato etanólico em todas as concentrações apresentaram potencial inseticida.

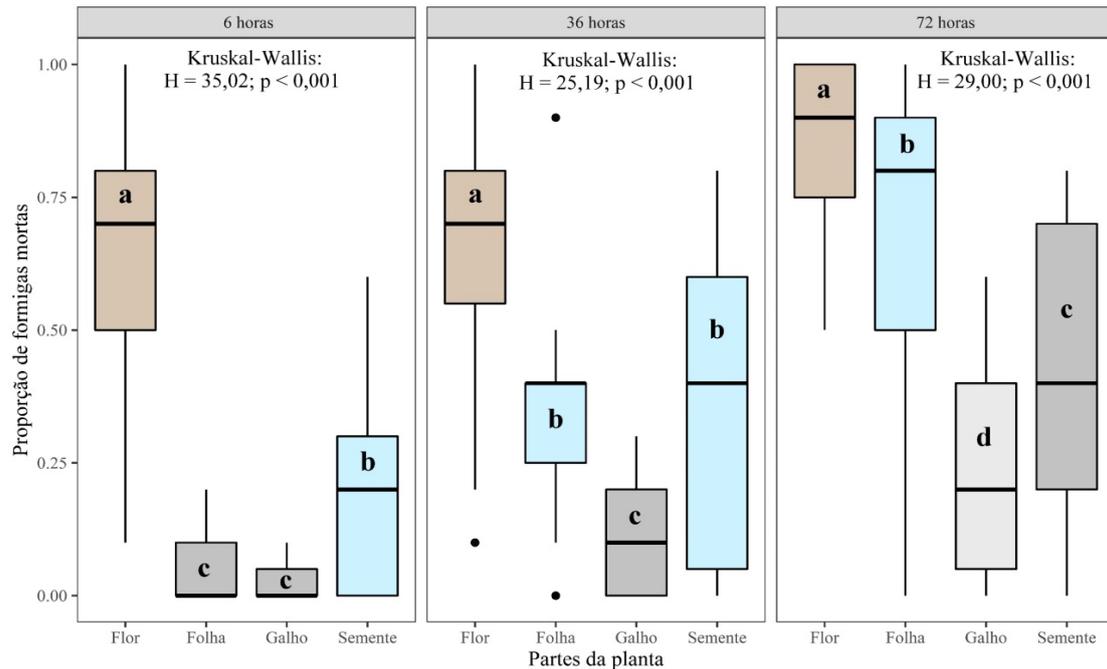


Figura 2: Comparação da proporção de formigas cortadeiras *Atta laevigata* mortas (em 6, 36 e 72 horas) em decorrência do contato com os extratos etanólicos de *Eugenia dysenterica* provenientes de diferentes partes da planta. As letras indicam o resultado do teste a posteriori LSD.

A análise de Deviance para o tempo de 6 horas demonstrou efeito significativo para os extratos de flor e semente ($P < 0,05$), tendo também para o tempo de 36 horas a ação significativa para o extrato etanólico de folha (Tabela 1). Já para o tempo final de avaliação (72 horas) todos os extratos apresentaram ação inseticida, podendo assim justificar uma ação lenta em alguns extratos visto que todos apresentaram potencial inseticida significativo para CL_{50} e CL_{90} .

Tabela 1: Influência das concentrações na mortalidade de formigas sob os extratos etanólicos de flor, folha, galho e semente de *Eugenia dysenterica*. Legenda: CL_{50} e 90 = doses que proporcionaram mortalidade de 50 e 90% das formigas; EP = erro padrão; NE = não estimada.

		Flor	Folha	Galho	Semente
6 horas	Deviance	7,686	0,870	0,561	5,025
	Valor de P	0,006	0,351	0,454	0,025
	CL_{50} (EP) – g mL ⁻¹	0,014	NE	NE	0,020
	CL_{90} (EP) – g mL ⁻¹	0,029	NE	NE	0,043
36 horas	Deviance	7,634	4,077	2,517	7,723
	Valor de P	0,006	0,043	0,113	0,005
	CL_{50} (EP) – g mL ⁻¹	0,014	0,024	NE	0,015
	CL_{90} (EP) – g mL ⁻¹	0,029	0,059	NE	0,038
72 horas	Deviance	9,864	11,251	5,208	8,113
	Valor de P	0,002	> 0,001	0,022	0,004
	CL_{50} (EP) – g mL ⁻¹	0,009	0,011	0,020	0,014
	CL_{90} (EP) – g mL ⁻¹	0,020	0,021	0,052	0,030

Para o tempo de 72 horas todos os extratos demonstraram concentração letal significativa, tendo-se assim efeito inseticida nas diferentes partes vegetais de *E. dysenterica* estudada. As proporções de metabólitos secundários em partes das plantas ocorrem em diferentes níveis (sazonais e diários; intra e interespecífica). Diversos fatores ocasionam variações no conteúdo de metabólitos secundários de plantas, entre eles a safra, a idade da planta, a altitude e a sazonalidade, fatores fisiológicos (por exemplo, afetados pelo estresse de água), a luminosidade e o estado nutricional da planta [21].

Tabela 2: Proporção mediana de formigas mortas em função do tempo (6; 36 e 72 horas).

6 horas				
Conc. (g mL ⁻¹)	Flor (H = 16,150; p = 0,006)	Folha (H = 10,711; p = 0,057)	Galho (H = 7,125; p = 0,212)	Semente (H = 18,071; p = 0,003)
0	0 c	0	0	0 c
0,001	0,2 bc	0	0	0 c
0,025	0,6 ab	0	0	0 c
0,05	0,8 a	0	0	0,2 b
0,075	0,7 a	0	0	0,3 ab
0,1	0,8 a	0,1	0,1	0,5 a
36 horas				
Conc. (g mL ⁻¹)	Flor (H = 15,887; p = 0,007)	Folha (H = 15,712; p = 0,008)	Galho (H = 15,873; p = 0,007)	Semente (H = 17,076; p = 0,004)
0	0 c	0 b	0 b	0 c
0,001	0,2 bc	0 b	0 b	0 c
0,025	0,7 ab	0,3 a	0 b	0,1 b
0,05	0,8 a	0,4 a	0 b	0,5 a
0,075	0,7 a	0,4 a	0,2 a	0,6 a
0,1	0,8 a	0,4 a	0,3 a	0,7 a
72 horas				
Conc. (g mL ⁻¹)	Flor (H = 14,842; p = 0,011)	Folha (H = 16,654; p = 0,005)	Galho (H = 17,877; p = 0,003)	Semente (H = 17,784; p = 0,003)
0	0 c	0 c	0 d	0 d
0,001	0,6 bc	0,1 c	0 d	0 d
0,025	0,9 ab	0,7 b	0,1 c	0,2 c
0,05	0,9 ab	0,8 b	0,2 b	0,6 b
0,075	1 ab	0,9 ab	0,4 a	0,7 ab
0,1	1 a	0,9 a	0,5 a	0,7 a

Medianas seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). Conc. se refere às concentrações.

No tempo 6 horas foi possível visualizar que extratos de folha e galho não apresentaram efeito significativo em função da concentração. Extratos de flor e semente apresentaram influência na mortalidade em função da concentração, sendo que concentrações maiores permitem maior número de mortalidade. Para flor concentrações de 0,025 a 0,1 g mL⁻¹ não possuem diferença significativa. Já para o extrato de semente tem-se maior efeito inseticida para concentração 0,1 e 0,075 g mL⁻¹ (Tabela 2).

No tempo de 36 horas permaneceu o comportamento de aumento de concentração e consequentemente o maior número de formigas mortas. Tendo para todos os extratos etanólicos de *E. dysenterica* efeito significativo para as concentrações testadas em função da mortalidade das formigas cortadeiras (Tabela 2). O tempo final do estudo (72 horas) apresentou comportamento semelhante aos anteriores, sendo consequência da concentração o maior número de formigas mortas. Todos os extratos apresentaram diferença estatística em função da dose (Tabela 2).

Diante do estudo de superfície de contato é visível que a espécie *E. dysenterica* possui potencial inseticida no controle de formigas cortadeiras. Na literatura, alguns metabólitos secundários já foram vinculados com a ação de inseticidas e repelentes para espécies de formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, tais como sesquiterpenos não oxigenados, sesquiterpenos oxigenados [4], p-cimeno, limoneno, linalo, acetato de sulcatila [22], geraniol e R- citronelal [23].

Em teste de campo, Buteler et al. (2019) [2] distribuíram nas trilhas de formigas cortadeiras papéis de filtro e pedaços alimentares contendo óleo de *tea tree* a 1%, sendo observado que os insetos evitaram passar por onde os papéis se encontravam e os recursos alimentares contendo *tea tree* a 1% não foram coletados, demonstrando ser esta espécie um potencial recurso para alternativas sustentáveis de controle desta praga. Perri et al. (2017) [6] em teste em ambiente controlado (condições de laboratório) relataram que óleo essencial de *Aristolochia trilobata* foi eficaz em repelir formigas. A azadiractina (neem) também é outra espécie de planta que tem efeito conhecido sobre a mortalidade das formigas [3].

Franco et al. (2013) [24] em avaliação da aplicação de extratos vegetais no desenvolvimento de fungos simbiotes das formigas cortadeiras, encontraram resultados promissores para os extratos aquosos preparados de componentes das espécies vegetais de Juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), Sangra d'água (*Croton urucurana*) e Alho (*Allium sativum*) para o controle de *A. laevigata*. Melo et al. (2020) [25] ao utilizar óleos essenciais de plantas aromáticas (*M. lundiana* e *A. trilobata*) verificaram efeito tóxico simbiótico dos compostos majoritários dos óleos, sendo tóxicos tanto para as formigas cortadeiras operárias (*A. balzani*) como para os fungos que são os alimentos das formigas, indicando o uso potencial e efetivo de metabólitos de espécies aromáticas para o manejo de formigas.

A alta eficiência dos extratos como formicida destaca a relevância do uso dos recursos alternativos por ser viável e de baixo custo, comparados aos preços dos inseticidas sintéticos. A diversificação promovida pelo uso de metabólitos de plantas atribui à sustentação da cadeia produtiva em longo prazo [26], através da ampla atividade fisiológica e em consequência redução na probabilidade de desenvolvimento de insetos com resistência [27], desde que manejado de forma adequada. Vale lembrar que, os bioinseticidas também podem levar ao surgimento de indivíduos resistentes em uso recorrente, sem a devida rotação de princípios ativos e demais ações orientadas pelo manejo integrado de pragas. Os compostos entram para ampliar o portfólio disponível para o manejo, considerando o longo do tempo.

Os inseticidas botânicos (óleos essenciais, flavonoides, alcaloides, glicosídeos, ésteres e ácidos graxos) de acordo com sua diversidade, podem agir de diferentes formas: repelentes, inibidores de alimentação, tóxicos, retardadores de crescimento, quimioesterilizantes e atrativos [28]. Vale ressaltar a importância de aplicar diferentes metodologias de ação inseticida quando se realiza a preparação de um novo produto ou extrato, fortalecendo dessa forma o manejo integrado de pragas.

Este trabalho contribui com o conhecimento das potencialidades fitotóxicas da espécie *E. dysenterica*, criando subsídios para utilização destes extratos em novas pesquisas para o desenvolvimento de inseticidas naturais. Estudos como este se tornam importantes à medida que as atividades biológicas das espécies nativas ganham destaque e são atreladas à conservação dos recursos naturais. Restando o incentivo e desenvolvimento de novas pesquisas com o objetivo de aprimorar e complementar estes resultados, a fim de desenvolver no futuro um produto comercial.

4. CONCLUSÃO

As formigas cortadeiras, no teste de superfície de contato, apresentam mortalidade conforme o aumento das concentrações do extrato. A taxa de mortalidade foi variável de acordo com a parte da planta utilizada no extrato, sendo a maior mortalidade relacionada aos extratos provenientes das flores de cagaiteira.

5. AGRADECIMENTOS

Os nossos agradecimentos às seguintes instituições: Universidade Estadual de Goiás – UEG / Unidade de Ipameri, Universidade Federal de Catalão – UFCAT e a Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Umuarama.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Montoya-Lerma J, Giraldo-Echeverri C, Armbrrecht I, Farji-Brener A, Calle Z. Leaf-cutting ants revisited: towards rational management and control. *Int J Pest Manag.* 2012 Sep;58(3):225-47. doi: 10.1080/09670874.2012.663946
2. Buteler M, Alma AM, Herrera ML, Gorosito NB, Fernández PC. Novel organic repellent for leaf-cutting ants: tea tree oil and its potential use as a management tool. *Int J Pest Manag.* 2019 Aug;67(5):1-9. doi: 10.1080/09670874.2019.1657201
3. Amaral KD, Gandra LC, de Oliveira MA, de Souza DJ, Della Lucia TMC. Effect of azadirachtin on mortality and immune response of leaf-cutting ants. *Ecotoxicology.* 2019 Dec;28:1190-7. doi: 10.1007/s10646-019-02124-z
4. Rocha AG, Oliveira B, Melo CR, Sampaio TS, Blank AF, Lima AD, et al. Lethal effect and behavioral responses of leaf-cutting ants to essential oil of *Pogostemon cablin* (Lamiaceae) and its nanoformulation. *Neotrop Entomol.* 2018 Dec;47(6):769-99. doi: 10.1007/s13744-018-0615-6
5. Castaño-Quintana K, Montoya-Lerma J, Giraldo-Echeverri C. Toxicity of foliage extracts of *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) on *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) workers. *Ind Crop Prod.* 2013 Jan;44:391-5. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.11.039
6. Perri D, Gorosito N, Fernandez P, Buteler M. Plant-based compounds with potential as push-pull stimuli to manage behavior of leaf-cutting ants. *Entomol Exp Appl.* 2017 May;163(2):150-9. doi: 10.1111/eea.12574
7. Pavela R. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects - A review. *Plant Protect Sci.* 2016 Jul;52:229-41. doi: 10.17221/31/2016-PPS
8. Feitosa-Alcantara R, Bacci L, Blank AF, Alves PB, Silva IMA, Soares CA, et al. Essential oils of *Hyptis pectinata* chemotypes: isolation, binary mixtures and acute toxicity on leaf-cutting ants. *Molecules.* 2017 Apr;22(4):1-14. doi: 10.3390/molecules22040621 1-13
9. Silva RBL, Medeiros FA, Souto, RN. Espécies vegetais usadas como repelentes e inseticidas no estado do Amapá, BR. *Rev Bras Agroecol.* 2019 Set;14(2):41-52. doi: 10.33240/rba.v14i3.22799
10. Tembo Y, Mkindi AG, Mkenda PA, Mpumi N, Mwanauta R, Stevenson PC, et al. Belmain pesticidal plant extracts improve yield and reduce insect pests on legume crops without harming beneficial arthropods. *Front Plant Sci.* 2018 Sep;28:1-10. doi: 10.3389/fpls.2018.01425
11. Jung PH, Silveira AC, Nieri EM, Potrich M, Silva ERL, Refatti M. Atividade inseticida de *Eugenia uniflora* L. e *Melia azedarach* L. sobre *Atta laevigata* Smith. *Floresta e Ambient.* 2013 Jun;20(2)191-6. doi: 10.4322/floram.2013.015
12. Daza LD, Fujita A, Granato D, Fávaro-Trindade CS, Genovese MI. Functional properties of encapsulated Cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extract. *Food Biosci.* 2017 Jun;18:15-21. doi: 10.1016/j.fbio.2017.03.003
13. Costa T, Rodrigues DB, Melo CPOF, Souza AG, Garcia EM, Taroco HA, et al. Discovering the secrets of Cagaiteira (*Eugenia dysenterica*), an awakening of Cerrado. *Sci Elec Arch.* 2017 Aug;10:45-9. doi: 10.36560/1042017463
14. Malheiros RP, Santos FS, Machado LL, Mapeli AM. Phytochemical characterization and effect of cagaiteira leaf extracts on *Aspergillus* sp. *Floresta e Ambient.* 2019 Feb;26(2):1-7. doi: 10.1590/2179-8087.002917
15. Moura GS, Oliveira IJ, Bonome LTS, Franzener G. *Eugenia uniflora* L.: potential uses as a bioactive plant. *Arq Inst Biol.* 2018 Jun;85:1-9. doi: 10.1590/1808-1657000752017
16. Moliterno AAC, Abreu PF. Atividade inseticida dos extratos aquosos de *Gleichenella pectinata* Willd. Ching (Gleicheniaceae) contra *Atta laevigata* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae). *Ces Rev.* 2016 Jun;30(1):56-68.
17. Marcomini AM, Alves LFA, Bonini AK, Mertz NR, Santos JC. Atividade inseticida de extratos vegetais e do óleo de nim sobre adultos de *Alphitobius diaperinus* Panzer (Coleoptera, Tenebrionidae). *Arq Inst Biol.* 2009 Jun;76(3):409-16.
18. R CORE TEAM. Language and environment for statistical computing. Vienna (AT): R. Foundation for Statistical Computing; 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

19. Mendiburu F. *Agricolae*: Statistical procedures for agricultural research. R package version. 2017;1:2-8. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
20. Della Lucia TMC, Araújo MS. Formigas cortadeiras: Atualidades no combate. In: Zambolim L, editor. *Manejo integrado: Doenças, pragas e plantas daninhas*. Viçosa (MG): Suprema Gráfica; 2000. p. 245-273.
21. Gobbo-Neto L, Lopes NP. Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Quím Nova*. 2007 Apr;30(2):374-81. doi: 10.1590/S0100-40422007000200026
22. de Oliveira BMS, Melo CR, Alves PB, Santos AA, Santos ACC, Santana ADS, et al. Essential oil of *Aristolochia trilobata*: synthesis, routes of exposure, acute toxicity, binary mixtures and behavioral effects on leaf-cutting ants. *Molecules*. 2017 Feb;22(3):335. doi: 10.3390/molecules22030335
23. de Oliveira JL, Campos EVR, Pereira AES, Pasquoto T, Lima R, Grillo R, et al. Zein nanoparticles as eco-friendly carrier systems for botanical repellents aiming sustainable agriculture. *J Agric Food Chem*. 2018 Jan;66(6):1330-40. doi: 10.1021/acs.jafc.7b05552
24. Franco AA, Peres AR, Souza MFP, Queiroz MS, Assis JMF. Ação de extratos vegetais sobre o desenvolvimento de fungos simbioses das formigas cortadeiras. *Eng Ambient - Espírito Santo do Pinhal*. 2013 Feb;10(1):103-13.
25. Melo Carlisson R, Oliveira BMS, Santos ACC, Silva JE, Ribeiro GT, Blank AF, et al. Synergistic effect of aromatic plant essential oils on the ant *Acromyrmex balzani* (Hymenoptera: Formicidae) and antifungal activity on its symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Agaricales: Agaricaceae). *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020 May;27:17303-13. doi: 10.1007/s11356-020-08170-z
26. Sousa NJ, Rezende EH, Crespo I, Granados MB, Rodrigues CR. Controle de formigas cortadeiras utilizando sementes de gergelim. *Enciclopédia Biosfera*. 2019 Jun;16(29)1-8. doi: 10.18677/EnciBio_2019A40
27. Lobo-Echeverri T, Galindo VM, Aubad P, Ortiz-Reyes A, Preciado LM, Sánchez M, et al. Inhibition of *Leucoagaricus gongylophorus* with *Carica papaya*: an alternative to control the leaf-cutter ant *Acromyrmex octospinosus*. *Int J Pest Manag*. 2019 May;65(105):1-14. doi: 10.1080/09670874.2019.1610812
28. Hikal WM, Baeshen RS, Ahl HAHS-A. Botanical insecticide as simple extractives for pest control. *Cogent Biol*. 2017 Jul;3(1)1-16. doi: 10.1080/23312025.2017.1404274 1-16