



PALOMA CERIBELLI ANDRADE

**INFLUÊNCIA DE PISTAS QUÍMICAS DE ARANHAS SOBRE
A AÇÃO DE HERBÍVOROS**

**LAVRAS-MG
2024**

PALOMA CERIBELLI ANDRADE

**INFLUÊNCIA DE PISTAS QUÍMICAS DE ARANHAS SOBRE A AÇÃO DE
HERBÍVOROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof^a. Dr^a Carla Rodrigues Ribas
Orientadora

Prof. Dr. Thiago Gechel Kloss
Coorientador

**LAVRAS – MG
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Andrade, Paloma Ceribelli.

Influência de pistas químicas de aranhas sobre a ação de
herbívoros / Paloma Ceribelli Andrade. - 2024.

35 p. : il.

Orientador(a): Carla Rodrigues Ribas.

Coorientador(a): Thiago Gechel Kloss.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Cascata trófica. 2. Pistas químicas. 3. Risco de predação. I.
Ribas, Carla Rodrigues. II. Kloss, Thiago Gechel. III. Título.

PALOMA CERIBELLI ANDRADE

**INFLUÊNCIA DE PISTAS QUÍMICAS DE ARANHAS SOBRE A AÇÃO DE
HERBÍVOROS**

**INFLUENCE OF SPIDER CHEMICAL CUES ON THE BEHAVIOR OF
HERBIVORES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em: 21 de maio de 2024
Maria Fernanda Gomes Villalba Peñafior - UFLA
Camila Vieira Curti - USP

Prof^a. Dr^a Carla Rodrigues Ribas
Orientadora

Prof. Dr. Thiago Gechel Kloss
Coorientador

**LAVRAS – MG
2024**

A Deus, pois todas as coisas são para sua glória.

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, e também a todos os professores e funcionários do Departamento de Ecologia e Conservação.

À CAPES, pois o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao professor Dr. Paulo Pompeu e à professora Dr^a Maria Fernanda Peñaflor, por aceitarem participar da minha banca de qualificação e por todas as sugestões para melhorar o meu trabalho. E também à professora Dr^a Camila Vieira e Dr^a Maria Fernanda Peñaflor, por aceitarem fazer parte da banca de defesa da dissertação.

Agradeço imensamente ao professor Dr. Khalid Haddi e aos seus alunos e ex-alunos do MEET, Maria, Ezequiel, Thamiris, Artur e Carol, por me ajudarem nas criações, concederem espaço, fornecerem material e por toda a paciência que tiveram ao ensinarem essa bióloga de campo a trabalhar em laboratório. Muito Obrigada.

Agradeço à minha orientadora, professora Dr^a Carla Ribas, pela paciência, orientação e direcionamento acadêmico feito com tanta dedicação, e por ter aceitado orientar o meu trabalho. Agradeço ao Laboratório de Formigas, onde passei muitas horas estudando e escrevendo, e aos membros do laboratório, Ícaro, Marília, Guilherme, Camila, Dara e Letícia, pela ajuda e companhia durante meus estudos. Quero agradecer especialmente à Mikaelly, por toda ajuda e suporte com as coletas, no decorrer do experimento, no cuidado com as criações e no pós-experimento. Saiba que esse trabalho aconteceu graças a você!

Agradeço ao meu coorientador, professor Dr. Thiago Kloss, que me orienta desde o início da minha graduação. Muito obrigada pelo tempo dedicado a esse trabalho, pela orientação impecável, pela paciência e amizade. E também ao seu Laboratório de Ecologia e Comportamento da UFV, especialmente ao Ítalo e Alex que me ajudaram com as análises.

Ao meu noivo, Wendel, por ser o meu maior incentivador. Aos meus pais por acreditarem em mim. Também agradeço às amigas maravilhosas que fiz em Lavras, vocês ficarão em meu coração.

Agradeço a Deus, por ser o meu refúgio e fortaleza, e socorro bem presente.

A todos, meu sincero muito obrigada!

“Conheça sua própria felicidade, só precisa de paciência... ou dê-lhe um nome mais fascinante, chame-a de esperança.”

Jane Austen

RESUMO GERAL

Predadores podem alterar o comportamento de presas herbívoras, o que indiretamente pode beneficiar as plantas consumidas por essas presas. As presas podem detectar os predadores através de pistas químicas deixadas no ambiente e responder ao risco de predação modificando características comportamentais. Aqui, avaliamos se pistas químicas de aranhas saltadoras podem afetar as interações herbívoro-planta. Especificamente, examinamos se a presença desses sinais leva a: (i) redução do deslocamento de insetos herbívoros, (ii) redução no investimento reprodutivo desses insetos e (iii) a uma redução no consumo foliar. Para isso, conduzimos experimentos que avaliam o deslocamento de pulgões verdes (*Myzus persicae*) em placas de Petri com e sem pistas químicas de aranhas (*Cotinusa* aff. *gemmea*). Também avaliamos o investimento reprodutivo dos pulgões nestas placas com e sem a presença de pistas, avaliando o tempo de reprodução e a quantidade de descendentes produzidos. Por fim, quantificamos a herbivoria em folhas de feijão com e sem pistas químicas de aranhas. Observamos que os pulgões permaneceram mais tempo imóveis e aumentaram o tempo de reprodução na presença de pistas químicas. Porém, as pistas químicas, não afetaram a quantidade de descendentes produzidos pelos pulgões. Por fim, observamos uma redução na herbivoria realizada por insetos mastigadores nas folhas com a presença de pistas químicas das aranhas. Concluímos que os pulgões são capazes de detectar as pistas químicas de aranhas saltadoras e podem interpretar esse sinal como um risco de predação. A detecção dessas pistas químicas gera uma redução no deslocamento desses herbívoros e resulta em uma redução no consumo das folhas das plantas com pistas químicas de aranhas Salticidae. Desta forma, sugerimos que as pistas químicas de aranhas saltadoras são importantes componentes para a estruturação das interações planta-herbívoro, o que pode promover efeitos positivos para as comunidades vegetais.

Palavras-chave: Cascata trófica, Forrageamento, Pistas químicas, Risco de predação.

ABSTRACT

Predators can alter the behavior of herbivorous prey, which can indirectly benefit the plants consumed by these prey. Prey can detect predators through chemical cues left in the environment and respond to predation risk by modifying behavioral traits. Here, we evaluate whether chemical cues from jumping spiders can affect herbivore-plant interactions. Specifically, we examine whether the presence of these cues leads to: (i) reduced movement of herbivorous insects, (ii) reduced reproductive investment of these insects, and (iii) reduced leaf consumption. To achieve this, we conducted experiments assessing the movement of green aphids (*Myzus persicae*) in Petri dishes with and without chemical cues from spiders (*Cotinusa* aff. *gemmea*). We also evaluated the reproductive investment of aphids in these dishes by assessing reproductive time and the number of offspring produced. Finally, we quantified herbivory on bean leaves with and without spider chemical cues. We observed that aphids remained immobile for longer periods and increased their reproductive time in the presence of chemical cues. However, the chemical cues did not affect the number of offspring produced by the aphids. Lastly, we observed a reduction in herbivory by chewing insects on leaves with spider chemical cues. We conclude that aphids can detect chemical cues from jumping spiders and interpret this signal as a predation risk. The detection of these chemical cues leads to reduced movement of these herbivores and results in reduced leaf consumption on plants with spider chemical cues. Thus, we suggest that chemical cues from jumping spiders are important components in structuring plant-herbivore interactions, which can promote positive effects on plant communities.

Keywords: Trophic cascade, Foraging, Chemical cues, Predation risk.

Impactos sociais, tecnológicos, econômicos e culturais

Esse trabalho buscou compreender um pouco mais sobre o fenômeno de cascata trófica e os aspectos ecológicos envolvidos no efeito que é propagado pelos níveis tróficos. Predadores influenciam a população de suas presas através do consumo direto e pelos efeitos que não são mediados pelo consumo. Isso significa que a simples presença do predador no ambiente faz com que as presas adotem estratégias antipredação, como alterações comportamentais importantes que podem afetar reprodução e forrageio. Uma forma das presas detectarem seus predadores é através das pistas químicas deixadas no ambiente. Esse trabalho avaliou pela primeira vez se pistas químicas de aranhas saltadoras (grupo mais abundante na vegetação, com melhor visão e modo de caça ativo) podem influenciar as interações inseto-planta, e reduzir a herbivoria. Foram encontrados resultados positivos, tanto para o comportamento dos herbívoros, que foi afetado pela presença das pistas químicas de aranhas, quanto à herbivoria, que foi reduzida nas plantas com a presença de pistas químicas das aranhas. Esses resultados podem ser discutidos com vários aspectos ecológicos, mostrando a importância dessas aranhas como predadoras na regulação das comunidades, como também aspectos agrônômicos, trazendo novas ideias em relação às interações inseto-planta e alternativas sustentáveis relacionadas ao controle biológico.

Social, technological, economic and cultural impacts

This study aimed to better understand the phenomenon of trophic cascades and the ecological aspects involved in the effect propagated through trophic levels. Predators influence their prey populations through direct consumption and non-consumptive effects. This means that the mere presence of a predator in the environment causes prey to adopt antipredation strategies, such as significant behavioral changes that can affect reproduction and foraging. One way prey detects their predators is through chemical cues left in the environment. This study was the first to evaluate whether chemical cues from jumping spiders (the most abundant group in vegetation, with better vision and active hunting mode) can influence insect-plant interactions and reduce herbivory. Positive results were found, both in the behavior of herbivores, which was affected by the presence of spider chemical cues, and in herbivory, which was reduced on plants with spider chemical cues. These results can be discussed in various ecological aspects, showing the importance of these spiders as predators in regulating communities, as well as

agronomic aspects, bringing new ideas regarding insect-plant interactions and sustainable alternatives related to biological control.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS	13
SEGUNDA PARTE	15
ARTIGO	15
EFEITO INDIRETO PROVOCADO POR PISTAS QUÍMICAS DE ARANHAS	16
RESUMO	17
INTRODUÇÃO	18
MATERIAL E MÉTODOS	20
Espécies utilizadas no estudo	20
Efeito de pistas químicas da aranha no comportamento do herbívoro	20
Efeito de pistas químicas da aranha no investimento reprodutivo do herbívoro	21
Efeito de pistas químicas da aranha na herbivoria	22
Análises estatísticas	23
RESULTADOS	24
DISCUSSÃO	26
AGRADECIMENTOS	29
REFERÊNCIAS	29
2. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO GERAL

Predadores influenciam a cadeia trófica de duas maneiras: através do consumo direto de suas presas, afetando a riqueza e abundância das espécies, ou gerando efeitos indiretos em outros níveis tróficos (SCHMITZ et al., 2010). Esses efeitos indiretos, também chamados de efeitos que não são mediados por consumo, são decorrentes de alterações comportamentais das presas que, detectando o risco de predação, podem responder com alterações comportamentais, fisiológicas, reprodutivas (ABRAMS, 2007), afetando o restante das interações tróficas. Portanto, apenas a presença dos predadores no ambiente já é capaz de gerar efeitos importantes na estrutura das comunidades.

As presas podem detectar seus predadores através de informações químicas deixadas no ambiente (HERMANN; LANDIS, 2017). Para artrópodes, esse rastro químico já é um forte sinal de risco de predação que altera a mobilidade, dispersão e investimento reprodutivo de vários insetos herbívoros (STORM; LIMA, 2008; KEMPRAJ et al., 2020). Essas modificações são especialmente importantes para o nível trófico das plantas (ROMERO et al., 2008). Isso porque o efeito em cascata gerado pela pressão dos predadores resulta no controle dos herbívoros, beneficiando, indiretamente, o nível dos produtores da herbivoria, o que aumenta sua biomassa (HAIRSTON, 1960; SCHMITZ, 2003). Para entender os efeitos de pistas químicas de predadores no ambiente, as aranhas têm sido um bom modelo de estudo (SCHMITZ, 1997; PERSONS; RYPSTRA, 2001; BUCHER, 2015), devido a sua diversidade e diferentes modos de caça, o que permite uma fácil manipulação em experimentos.

Aranhas são importantes predadores cuja presença na vegetação é comumente encontrada na natureza (ROMERO; VASCONCELLOS-NETO, 2004), especialmente a família Salticidae, o grupo mais abundante da ordem das aranhas, conhecida popularmente como papa-moscas ou aranhas saltadoras (ROMERO, 2006). Essas aranhas não constroem teias permanentes no ambiente para captura de presas, mas sim, caçam ativamente caminhando e saltando pela vegetação, deixando um rastro químico que consiste em vestígios de seda, gotículas de fezes e pegadas químicas (BUCHER et al., 2014). Mesmo sendo um grupo de aranhas pequenas, possuem a melhor visão entre as aranhas (Annabel, 2017), e são muito abundantes e ágeis, o que as torna importantes predadoras capazes de gerar efeitos de consumo direto significativos (MILLER et al., 2013). Entretanto, justamente pela sua alta mobilidade e abundância, é interessante compreender também os efeitos não consumistas

gerados pelas pistas químicas deixadas na vegetação e se as presas herbívoras respondem a esses traços com táticas antipredadoras.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar se as pistas químicas de aranhas saltadoras *Cotinusa* aff. *gemmea* são capazes de afetar as interações planta-herbívoro. Avaliamos se as pistas químicas deixadas por indivíduos de *Cotinusa* aff. *gemmea* em folhas afetam o comportamento e reprodução de pulgões verdes (*Myzus persicae*) e se as pistas químicas dessas aranhas saltadoras reduzem o consumo de folhas realizado por insetos mastigadores.

REFERÊNCIAS

- ABRAMS, P. A. Defining and measuring the impact of dynamic traits on interspecific interactions. **Ecology**, v. 88(10), p. 2555–2562, 2011
- BUCHER R, BINZ H, MENZEL F, ENTLING M. H. Spider cues stimulate feeding, weight gain and survival of crickets. **Ecological Entomology**, v. 39, p. 667–673, 2014
- BUCHER, R., MENZEL, F. & ENTLING, M.H. Risk of spider predation alters food web structure and reduces local herbivory in the field. **Oecologia**, v. 178, p. 571–577, 2015
- HERMANN, S.L., LANDIS, D.A. Scaling up our understanding of non-consumptive effects in insect systems. **Current opinion in Insect Science**. v. 20, p. 54-60, 2017
- KEMPRAJ, V., PARK, S.J. & TAYLOR, P.W. Forewarned is forearmed: Queensland fruit flies detect olfactory cues from predators and respond with predator-specific behaviour. **Scientific Reports**. v. 10, 7297, 2020
- MILLER, J.R., AMENT, J.M. & SCHMITZ, O.J. Fear on the move: predator hunting mode predicts variation in prey mortality and plasticity in prey spatial response. **Journal Animal Ecological**. v. 83, p. 214–222, 2013
- PERSONS, M.H. & RYPSTRA, A.L. Wolf spiders show graded antipredator behavior in the presence of chemical cues from different sized predators. **Journal Chemical Ecological**. v. 27, p. 2493–2504, 2001
- ROMERO, G. Q. Geographic Range, Habitats, and Host Plants of Bromeliad-living Jumping Spiders (Salticidae). **Biotrópica**. v. 38(4), p. 522-530, 2006
- ROMERO, G. Q., & VASCONCELLOS-NETO, J. Foraging by the flower-dwelling spider, *Misumenops argenteus* (Thomisidae), at high prey density sites. **Journal of Natural History**, v. 38(10), p. 1287–1296, 2004
- ROMERO, G. Q., SOUZA, J. C., S. & VASCONCELLOS-NETO, J. Anti-herbivore protection by mutualistic spiders and the role of plant glandular trichomes. **Ecology**. v. 89(11), p. 3105-3115, 2008
- SCHMITZ, O. J. Top predator control of plant biodiversity and productivity in an old-field ecosystem. **Ecology Letters**, v. 6(2), p. 156–163, 2003
- SCHMITZ, O. J., BECKERMAN, A. P., & O'BRIEN, K. M. Behaviorally mediated trophic cascades: effects of predation risk on food web interactions. **Ecology**, v. 78 (5), p. 1388-1399. 1997
- SCHMITZ, O. J., HAWLENA, D., & TRUSSELL, G. C. Predator control of ecosystem nutrient dynamics. **Ecology Letters**, v. 13(10), p. 1199–1209, 2010
- STORM, J. J. & LIMA, S. L. Predator-naïve fall field crickets respond to the chemical cues of wolf spiders. **Canadian Journal of Zoology**. v. 86(11), p. 1259–1263, 2008

TERRY, J., ANNABLE. Association of a white-banded jumping Spider *Hypoblemum albovittatum* (Salticidae: Araneomorphae: Aranaea) with an Anemone Stinkhorn Fungus *Aseroe rubra* (Phallaceae: Basidiomycota). **Victorian naturalist**, v. 134(5), p 150, 2017

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

EFEITO INDIRETO PROVOCADO POR PISTAS QUÍMICAS DE ARANHAS

Artigo regido conforme normas do periódico científico ECOLOGICAL ENTOMOLOGY, versão preliminar.

Paloma Ceribelli¹, Thiago Gechel Kloss² e Carla Rodrigues Ribas¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Departamento de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Naturais, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Campus Universitário, 37200-900, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

²Laboratório de Ecologia e Comportamento, Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

RESUMO

1. Os animais podem detectar seus predadores através de pistas químicas deixadas no ambiente. Essas pistas podem influenciar o comportamento de presas herbívoras potencialmente afetando as plantas que elas consomem.
2. Neste estudo, investigamos o impacto das pistas químicas de aranhas saltadoras (*Cotinusa aff. gemmea*) nas interações entre herbívoros e plantas. Avaliamos se, na presença de pistas químicas, pulgões verdes (*Myzus persicae*) reduzem o deslocamento e diminuem o investimento reprodutivo. Ademais, se há redução da herbivoria na presença de pistas químicas.
3. Observamos que a presença das pistas químicas levou os pulgões a permanecerem mais tempo imóveis e a aumentarem o tempo de início da reprodução. No entanto, não houve impacto significativo na quantidade de descendentes produzidos. Também ocorreu uma redução no consumo foliar por insetos mastigadores.
4. Concluimos que os pulgões detectam e interpretam as pistas químicas como um risco de predação, alterando seu comportamento, mas esse efeito pode não ser tão forte quanto o esperado em relação ao investimento reprodutivo. A redução na herbivoria pode ser atribuída às modificações comportamentais em resposta ao risco de predação, levando os herbívoros mastigadores a evitarem plantas com pistas químicas.
5. Portanto, as pistas químicas de aranhas saltadoras desempenham um papel importante na estruturação das interações planta-herbívoro, gerando efeitos indiretos na cadeia trófica.

Palavras-chave: Cadeia trófica, Interação inseto-planta, Herbivoria, Pistas químicas, Risco de predação.

INTRODUÇÃO

Na dinâmica de interações tróficas, predadores exercem uma pressão direta em suas presas (Ripple & Beschta, 2012) podendo alterar sua abundância e a estrutura populacional. A importância da presença de predadores para as redes tróficas vai além do consumo direto das suas presas, pois a simples presença desses predadores pode afetar o comportamento de vários organismos. Isso ocorre porque muitos animais possuem estratégias antipredação, que são ajustadas de acordo com a intensidade do risco de predação. Sendo assim, as presas podem detectar seus predadores por meio de informações visuais, auditivas, olfativas, táteis e químicas (Lima & Dill, 1990; Barnes et al., 2002), o que pode influenciar o comportamento e a ação desses organismos no ambiente (Abrams, 2007; Hermann & Landis, 2017).

Em artrópodes, a presença de predadores no ambiente pode impulsionar mudanças comportamentais relacionadas especialmente com o forrageio (Abrams, 2007). Vários insetos são capazes de detectar rastros químicos de seus predadores, o que provoca alteração na mobilidade e dispersão dos indivíduos (Storm e Lima, 2008; Ninkovic et al., 2013; Kempraj et al, 2020), o que pode ocasionar, conseqüentemente, alterações nas taxas de consumo alimentar. Dessa forma, a simples presença de predadores pode gerar ajustes comportamentais com conseqüências importantes para a sobrevivência das presas no ambiente (Lima e Dill, 1990; Persons et al, 2002).

O efeito gerado pelas táticas preventivas das presas para evitar os predadores pode estender-se, de forma indireta, a níveis tróficos inferiores nas redes tróficas (Brett & Goldman, 1996; Romero et al., 2008). Por exemplo, detectando os sinais de predação, as presas herbívoras podem mudar seu comportamento de forma a reduzir o consumo das plantas e, conseqüentemente, promover um aumento da biomassa vegetal (Hairston, 1960; Lee et al., 2023). Um exemplo deste efeito foi observado pela presença do rastro químico da aranha *Pisaura mirabilis*, que alterou a comunidade de insetos que visitavam e/ou consumiam urtigas (*Urtica Dioica*) onde estava presente, reduzindo consideravelmente a herbivoria (Bucher et al., 2015). Esse efeito no comportamento dos herbívoros ocorreu porque o rastro químico das aranhas, que consiste em vestígios de seda, gotículas de fezes e pegadas químicas (Bucher, 2014), são detectados pelas presas, o que gerou um efeito cascata, afetando tanto os consumidores primários quanto a vegetação.

Esses efeitos são especialmente importantes para aranhas que ocorrem em vegetação, como as aranhas papa-moscas, da família Salticidae. Essa família é composta por 672 gêneros e mais de 5000 espécies, constituindo 13% da ordem Araneae (World Spider Catalogue,

2023), sendo a família mais diversa da ordem e com ampla distribuição pelo mundo. As aranhas saltadoras, embora possam construir abrigos de teias temporários, não tecem teias de captura, e sim, caçam ativamente suas presas, saltando de um local para o outro. Como o modo de caça de um predador impacta diretamente a mortalidade de presas (Miller et al., 2013), também é importante considerar o modo de caça para compreender os efeitos não consumistas que se estendem pelas redes tróficas. Por esse motivo, é relevante investigar o efeito das pistas químicas de uma aranha caçadora e com alta frequência em plantas, que deixa um rastro químico enquanto forrageia ativamente no ambiente, diferente das aranhas senta-e-espere, que constroem armadilhas persistentes em um único local (Preisser et al., 2007). Os efeitos não consumistas de um predador são tão importantes quanto os efeitos consumistas, ou até mesmo mais impactantes, na determinação da estrutura e do funcionamento dos ecossistemas (Preisser et al., 2005). Portanto, compreender como as pistas químicas deixadas por aranhas caçadoras influenciam as interações tróficas é essencial para uma visão abrangente do funcionamento do ecossistema. Ao investigarmos esses efeitos, ampliamos nosso entendimento sobre o papel das aranhas saltadoras na regulação das populações de presas e na cadeia trófica.

O objetivo principal deste estudo foi testar se pistas químicas da aranha saltadora *Cotinusa* aff. *gemmea*. (Araneae: Salticidae) podem afetar o comportamento e a ação de insetos herbívoros em plantas. Primeiramente, investigamos a resposta comportamental e reprodutiva de pulgões na presença de pistas químicas da aranha. Testamos as hipóteses de que o herbívoro (i) reduz o deslocamento no ambiente, prevendo que o tempo em movimento dos pulgões na presença de pistas químicas será menor que o dos pulgões sem a presença de pistas químicas; e (ii) diminui o investimento reprodutivo, prevendo que o número de ninfas produzidas pelos pulgões na presença de pistas químicas será menor. Por fim, avaliamos se os estímulos químicos da aranha beneficiam indiretamente o nível trófico das plantas, testando a hipótese de que (iii) as plantas com a presença de pistas químicas da aranha sofrem menor herbivoria, prevendo que as folhas das plantas com presença de pistas químicas terão menor área de remoção por herbívoros.

MATERIAL E MÉTODOS

Espécies utilizadas no estudo

Obtivemos as fêmeas adultas de *Cotinusa* aff. *gemmea* em plantas localizadas na Trilha das Lagoas, da Universidade Federal de Lavras (21° 13' 46.586" S, 44° 58' 45.229" W). Coletamos as aranhas com o auxílio de guarda-chuva entomológico, no período de março de 2023 a setembro de 2023. Mantivemos as aranhas durante o experimento em uma sala de criação a 23°C, com fotoperíodo de 12h, do Laboratório de Entomologia Molecular e Ecotoxicologia (MEET) do Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras. As aranhas foram individualizadas em potes plásticos, forrados com papel toalha. Uma tira de papel sulfite dobrada várias vezes foi inserida em cada pote, possibilitando que as aranhas pudessem se esconder entre as dobras. Para manter a umidade, inserimos um pedaço de algodão nos potes e umedecemos o mesmo três vezes por semana. A alimentação das aranhas foi realizada uma vez por semana, sendo constituída por um indivíduo vivo de *Drosophila suzukii*, obtido de criação do MEET.

Como modelo de herbívoro, utilizamos o pulgão verde generalista *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). As fêmeas de *M. persicae* utilizadas foram obtidas a partir de uma colônia de criação do MEET. A colônia foi estabelecida em 2016 e é mantida em câmara climatizada com temperatura a 20±2°C, umidade relativa a 70±10% e fotoperíodo de 16h. A planta hospedeira dos pulgões foi a Joá-de-capote, *Nicandra physalodes* (Polemoniales: Solanaceae) e as folhas foram obtidas de um cultivo em vasos, realizado em casa de vegetação do MEET.

Por fim, a planta utilizada para mensurar a herbivoria foi o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). As sementes foram obtidas em uma feira no município de Lavras – MG. Cada grão foi semeado individualmente em vasos plásticos de 5 L contendo terra (horizonte A de um latossolo vermelho-amarelo distrófico) misturado com esterco bovino e adubados uma vez com 10g de fertilizante NPK 4 14 8. Os vasos foram irrigados uma vez ao dia e permaneceram em casa de vegetação até as plantas completarem 30 dias.

Efeito de pistas químicas da aranha no comportamento do herbívoro

Para avaliar se as pistas químicas de aranhas podem alterar o comportamento de herbívoros, inserimos uma aranha fêmea adulta de *C.* aff. *gemmea* em 20 placas de Petri de

vidro (35 x 10mm), que foram previamente limpas com álcool 70% e forradas com papel filtro. As aranhas foram mantidas nas placas, por 24 horas, em sala climatizada (23°C e 70% de umidade). Outras 20 placas de Petri do mesmo tamanho também foram forradas com papel filtro e mantidas na mesma sala até o início do bioensaio, mas sem a presença de aranhas (controle).

Em cada placa, colocamos um único indivíduo de *M. persicae*. Alternamos a ordem de inoculação dos pulgões nas placas de tratamento e controle, inserindo e filmando um pulgão de cada vez. Para avaliar o comportamento dos pulgões, filmamos as fêmeas de cada placa com o auxílio de uma Webcam Full HD 1080p, posicionada em uma estrutura fixa com iluminação artificial. A gravação foi iniciada após dois minutos do posicionamento de cada placa, para que houvesse um período de aclimação para os pulgões. As gravações foram intercaladas entre placas do tratamento e controle. Todas as filmagens foram conduzidas em laboratório, com temperatura padronizada em 23°C. O tempo de gravação dos vídeos foi de cinco minutos e o parâmetro comportamental medido foi o tempo em que o pulgão permaneceu imóvel. Todas as placas foram filmadas ao longo de três dias.

Efeito de pistas químicas da aranha no investimento reprodutivo do herbívoro

Para investigar se as pistas químicas de aranhas podem afetar o investimento reprodutivo de herbívoros, preparamos 36 placas de Petri de vidro de 100 x 20 mm com 0,6 g de hidrogel e 70 ml de água. A solução foi deixada em repouso por 30 minutos até que se formasse a camada gelatinosa (Silva et al, 2023). Em seguida, uma folha de *N. physalodes* foi inserida cuidadosamente em cada placa sobre o hidrogel já hidratado e o excesso das folhas que ficaram por fora da placa foi cortado com uma tesoura. Logo após, fotografamos as placas individualmente a fim de mensurarmos a área foliar. Um indivíduo de *C. aff. gemmea* foi inserido em cada placa do tratamento, totalizando 18 placas. As outras 18 placas, em que não foram inseridas aranhas, serviram como o grupo controle. Fechamos todas as 36 placas com fita crepe para que não houvesse contaminação por outros animais e para que as aranhas não saíssem de dentro delas. Todas as placas foram levadas à câmara climatizada, com temperatura mantida a 20±2°C, umidade relativa a 70±10% e fotoperíodo de 16h. Após 24h, retiramos as aranhas e inserimos uma fêmea adulta de *M. persicae* em cada uma das 36 placas.

A idade dos pulgões foi padronizada previamente para esse experimento, com o objetivo de obter indivíduos com o mesmo potencial reprodutivo. Oito dias antes, isolamos

ninfas recém-nascidas da colônia em uma placa com o mesmo tipo de substrato. Assim, garantimos que no início do bioensaio todos os indivíduos estivessem com a mesma idade (e estágio de crescimento) para não afetar o tempo de reprodução.

Após a inserção dos pulgões, todas as placas foram vedadas com fita crepe para que não houvesse contaminação e para que os pulgões não saíssem. As placas foram levadas à mesma câmara climatizada. A cada 1 hora, durante as primeiras oito horas de experimento, todas as placas foram avaliadas com o objetivo de registrar o tempo de nascimento da primeira ninfa (proxy de reprodução). Além disso, a cada 24 horas, desde o início do bioensaio, todas as ninfas eclodidas foram contabilizadas e removidas das placas para que pudéssemos utilizar o número de ninfas produzidas por dia e no total como um proxy representando a reprodução dos herbívoros. A avaliação das placas foi realizada ao longo de quatro dias, totalizando 96 horas de avaliação.

Efeito de pistas químicas da aranha na herbivoria

Com o objetivo de avaliar se as pistas químicas de aranhas podem reduzir a herbivoria, conduzimos um experimento manipulativo com plantas de feijão em vasos. O experimento foi realizado no período de 1 a 27 de outubro de 2023.

Dividimos os vasos em dois grupos experimentais. Nos vasos do primeiro grupo (N=36), inserimos uma aranha de *C. aff. gemma*, e fechamos cada vaso com tecido *voil*. O tecido foi utilizado para evitar que as aranhas saíssem das plantas e também para que não houvesse contato das plantas com herbívoros do ambiente. Nos vasos do segundo grupo (N=37), não colocamos a aranha, mas realizamos o mesmo procedimento de envolver cada vaso com tecido *voil*, o que também evitou o contato com herbívoros do ambiente. Os vasos foram dispostos de forma intercalada, considerando a presença ou ausência de aranhas, distantes 80 cm entre si. Todos os vasos permaneceram fechados por um período de 2 dias, o que permitiu a inoculação de pistas químicas das aranhas nas folhas da planta. Após esse período, removemos o tecido *voil* e as aranhas e as plantas ficaram expostas à herbivoria em uma área experimental da Universidade Federal de Lavras, próxima a um fragmento de floresta. Como as pistas químicas deixadas pelas aranhas nas plantas podem decair em um curto período de tempo (Bucher et al., 2014), após dois dias, removemos os herbívoros presentes nas plantas com pincéis e inserimos as aranhas novamente nas plantas, que foram fechadas com tecido por mais dois dias. Esse processo foi repetido três vezes. O experimento foi realizado em dois blocos, espaçados no tempo, sendo 35 vasos (17 tratamento e 18

controle) no período de 1 a 13 de outubro e 38 vasos (19 tratamento e 19 controle) no período de 15 a 27 de outubro, totalizando 73 vasos.

Ao final do experimento, coletamos e fotografamos todas as folhas de cada planta. Em cada folha, quantificamos a herbivoria através da área removida por mastigadores, estimada utilizando o software ImageJ (versão 1.8.0_172).

Análises estatísticas

Para testar se pistas químicas afetam a movimentação dos pulgões, ajustamos um modelo linear generalizado misto utilizando a função *glmer*, com distribuição de erros Gamma. O tempo em que o pulgão permaneceu imóvel foi considerado como variável resposta e a presença/ausência de pistas das aranhas foi considerada como variável preditora. A data de realização das observações em cada placa foi considerada como variável aleatória.

Para o experimento de investimento reprodutivo, ajustamos modelos lineares generalizados mistos (GLMM), usando a função *glmer*. Consideramos como variáveis respostas: (i) o tempo de nascimento da primeira ninfa, (ii) número de ninfas produzidas diariamente e (iii) número total de ninfas produzidas. A presença/ausência de pistas das aranhas foi considerada como variável preditora e o tamanho da folha e a data de realização dos experimentos foram consideradas como variáveis aleatórias nos modelos. Para avaliar o efeito da presença de estímulo químico sobre o número de ninfas produzidas diariamente e o número total de ninfas, ajustamos GLMM com distribuição de erros Gamma. Para avaliar o efeito sobre o tempo de nascimento da primeira ninfa, ajustamos GLMM com distribuição de erros Poisson.

Por fim, para avaliar se a herbivoria é afetada pelas pistas químicas, ajustamos um GLMM usando a função *glmmTMB*, com distribuição de erros tweedie, inserindo no modelo a taxa de área removida (herbivoria controlada pelo tamanho da folha) como variável resposta e a presença/ausência de pistas químicas de aranhas como variável preditora. A identidade de cada planta e a data de realização de cada repetição foram consideradas como variável aleatória.

Testamos os pressupostos dos modelos lineares generalizados mistos usando a função *simulateResiduals* dentro do pacote DHARMA (Hartig, 2022). Para comparar os efeitos no melhor modelo, utilizamos a Anova do tipo III com o pacote *car* (Fox e Weisberg, 2019). Realizamos todas as análises no R v4.3.2 (Equipe do R Core 2023).

RESULTADOS

Observamos que os pulgões permaneceram imóveis $105,2 \pm 81,8s$ (média \pm d.p) na presença de pista química das aranhas (Figura 1), o que constituiu 3,08 vezes mais tempo do que na ausência de pista química ($34,21 \pm 52,7s$). Logo, observamos que houve diferença no comportamento dos pulgões na presença de pista química de aranhas ($\chi^2_{1} = 8,54$; $p = 0,03$).

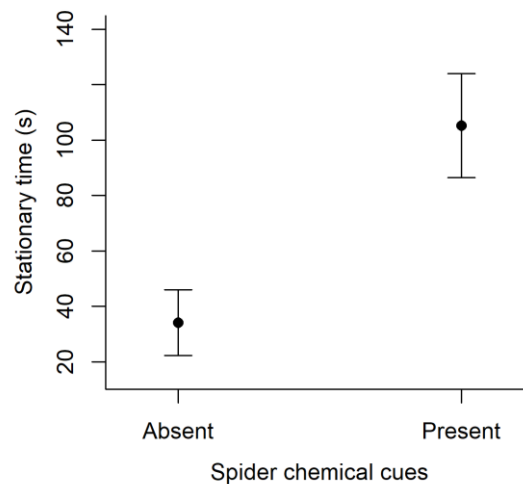


Figura 1: Tempo em que os pulgões *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) permaneceram imóveis na presença e ausência de pistas químicas de aranhas *Cotinusa* aff. *gemmea*. O ponto central representa a média de cada grupo e as barras representam o desvio padrão.

Para o investimento reprodutivo (Tabela 1), não houve diferença entre o número total e diário de ninfas produzidas em folhas com e sem pista química ($F_{(1,32)} = 0,97$, $p = 0,33$; $F_{(1,32)} = 1,71$, $p = 0,19$, respectivamente) (Figura 2a). Porém, observamos que os pulgões levaram 1,4 vezes mais tempo para produzir a primeira ninfa na presença de pistas químicas (Figura 2B). Logo, houve diferença no tempo de nascimento da primeira ninfa em relação a presença de pistas químicas das aranhas ($\chi^2 = 5,19$; $p = 0,02$).

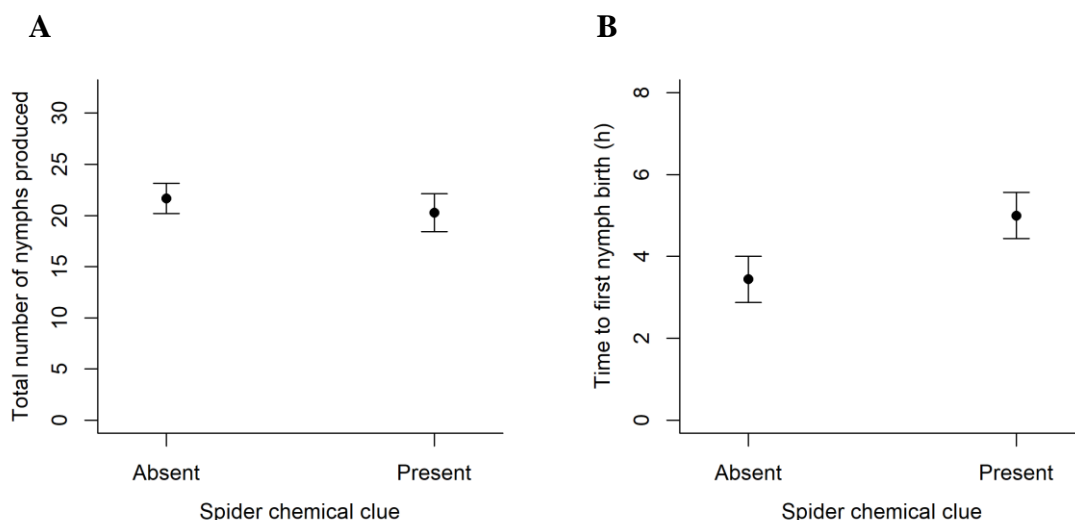


Figura 2: Investimento reprodutivo de *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) criados em folhas de *Nicandra physalodes* com e sem pistas químicas de aranhas *Cotinusa* aff. *gemmea*. **A:** Número total de ninfas produzidas ao longo de 5 dias. **B:** Tempo (horas) até o nascimento da primeira ninfa. O ponto central representa a média de cada grupo e as barras representam o desvio padrão.

Tabela 1: Parâmetros reprodutivos de *Myzus persicae* na presença e na ausência de pistas químicas de aranhas *Cotinusa* aff. *gemmea*. Valores representam média+DP.

	Ausência de pista das aranhas	Presença de pista das aranhas	P value
Natalidade diária	5.60±1.67 ^a	5.12±1.92 ^a	0.3
Natalidade total	23.5±6.23 ^a	23±7.82 ^a	0.1
Tempo até o 1º nascimento (h)	3.4±2.38 ^a	5±2.40 ^b	0.02

Natalidade diária: média do número de ninfas produzidas diariamente. **Natalidade total:** média do número total de ninfas produzidas em 05 dias. **Tempo até o 1º nascimento (h):** média do tempo gasto (em horas) desde a inserção do pulgão até o nascimento da primeira ninfa.

Por fim, constatamos que a área foliar removida por mastigadores foi reduzida na presença de pistas químicas (figura 3), registrando-se uma diminuição de duas vezes, de 0,65% para 0,31% ($\chi^2=4.9$; $p=0.02$). Os herbívoros mastigadores consumiram uma área de

$0,301 \pm 2,779 \text{ cm}^2$ em um total de $46,1 \pm 27,8 \text{ cm}^2$ no grupo controle, enquanto na presença de pistas químicas consumiram $0,155 \pm 1,143 \text{ cm}^2$ em um total de $49,8 \pm 30,9 \text{ cm}^2$.

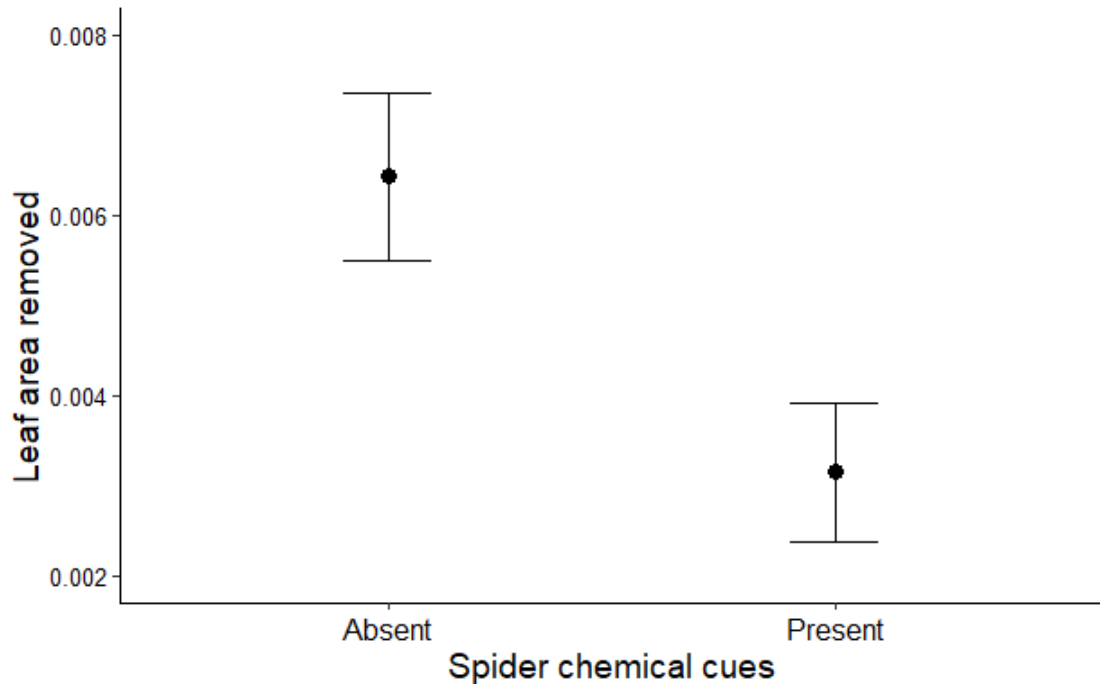


Figura 3: Consumo foliar realizado por herbívoros mastigadores em plantas com e sem pistas químicas da aranha *Cotinusa* aff. *gemmea*. O ponto central representa a média de cada grupo e as barras representam o desvio padrão.

DISCUSSÃO

Testamos pela primeira vez se pistas químicas de aranhas saltadoras influenciariam o comportamento de herbívoros, gerando efeitos indiretos na cadeia trófica. Como esperado, detectamos que as pistas químicas foram capazes de afetar as interações herbívoro-planta, provavelmente por terem gerado um efeito de risco de predação. Essas pistas induziram alterações comportamentais e afetaram a reprodução nos herbívoros e ainda foram capazes de diminuir o consumo foliar. Ou seja, observamos efeitos diretos das aranhas nos herbívoros que indiretamente afetaram as plantas. Nosso trabalho discute como os sinais químicos deixados por essas aranhas podem ter efeitos cascata, afetando tanto os consumidores primários quanto a vegetação.

No primeiro experimento, observamos que os pulgões reduziram a locomoção na presença de pistas químicas. Isso pode ser relacionado à capacidade desses insetos de

detectarem o rastro químico deixado pelas aranhas, interpretando como uma possível ameaça (Lima e Dill, 1990). O principal comportamento antipredador registrado para os pulgões é o de desprender-se das folhas e cair para partes inferiores ou para o substrato (Harrison e Preisser, 2016; Humphreys et al., 2021), porém, nosso experimento foi conduzido em laboratório com os pulgões inseridos em placas de Petri, e por isso não havia possibilidade de tal comportamento. Entretanto, a redução do deslocamento desses indivíduos pode sinalizar que a presença de pistas químicas dos predadores promove uma redução na atividade alimentar desses herbívoros.

Eessa redução na locomoção que observamos pode estar associada a outro comportamento antipredador já observado: os pulgões liberam um feromônio de alarme volátil como aviso do risco para os próximos (Keiser e Mondor, 2014). Não está claro em nossos experimentos, mas pode ser que os pulgões permaneceram mais tempo imóveis na presença de pistas de aranhas pois estavam parados na posição de secretar o feromônio. Esta é uma hipótese válida considerando que esse comportamento já foi avaliado em estudos de risco de predação.

Em relação ao efeito da pista química de aranhas na reprodução dos herbívoros, o tempo de nascimento da primeira ninfa também diferiu, pois os pulgões demoraram 1,4 vezes mais tempo para produzir a primeira ninfa na presença de pistas químicas de aranhas. Um tempo prolongado para iniciar a reprodução pode indicar um período maior de avaliação do ambiente (Lima e Dill, 1990) devido ao risco de predação. Ou ainda, significar uma mudança fisiológica causada pelo estresse de lidar com o risco de predação. O investimento reprodutivo de insetos é constantemente afetado por estresse proveniente de fatores abióticos (Aira et al., 2007; Ramniwas, et al., 2023). Pode ser que o risco de predação tenha desencadeado um estresse alterando, por exemplo, a taxa metabólica, e por esse motivo houve uma demora no nascimento da primeira ninfa. Existe ainda a possibilidade de os pulgões terem respondido ao risco de predação alterando a qualidade da prole. Por exemplo, besouros *Leptinotarsa decemlineata* reduzem a quantidade de ovos sob o risco de predação, porém produzem ovos maiores (Tigreros et al., 2019). É provável que os pulgões também respondam ao risco alterando alguma característica na qualidade da prole, e por esse motivo houve diferença no tempo do nascimento da primeira ninfa, mas precisaríamos avaliar as diferenças na qualidade das ninfas. Sugerimos que essa resposta é a mais provável pelo fato já ter sido observado em outros insetos na mesma situação de risco.

O tempo médio do primeiro nascimento foi afetado, mas foi compensado ao longo do experimento, pois o número médio total de ninfas produzidas não diferiu entre os tratamentos.

Entretanto, em outros trabalhos, já foi observado uma redução no número de ninfas produzidas ao longo de três dias na presença de pistas químicas da joaninha *Harmonia axyridis* (Hermann et al., 2021), predador natural dos pulgões (coevolução predador-presa). Joaninhas são conhecidas por consumirem uma média de 60 pulgões por dia (Devikarani et al., 2012), o que sugere que seu impacto no investimento reprodutivo dos pulgões pode ser mais significativo que o de aranhas, pela sua capacidade de consumirem a prole por completo. Sendo assim, pode ser que os pulgões tenham respondido proporcionalmente ao risco (Puttlitz et al., 1999; Persons e Rypstra, 2001). As aranhas são predadores generalistas, mas não representam uma ameaça tão forte quanto joaninhas. Assim, os pulgões identificaram o risco, mas seguiram seu sucesso reprodutivo (Singh e Singh, 2022).

Por fim, encontramos redução da herbivoria (área removida da folha) em folhas com a presença de pistas químicas de aranhas saltadoras. Nossos resultados são semelhantes à estudos anteriores no qual foi observado a redução da herbivoria em plantas com seda de aranhas (Rypstra e Buddle, 2013) e plantas com apenas o rastro químico de aranhas (Bucher et al., 2015). Enquanto Bucher (2015) utilizou uma aranha lobo relativamente grande e que constrói teias permanentes no ambiente, nós testamos se haveria um efeito semelhante com uma aranha pequena, muito abundante e com estratégia de forrageamento diferente. O modo de caça do predador é importante pois, a depender do seu tipo, os efeitos gerados nas presas podem ser diferentes. Os efeitos de predadores senta-e-espera, que deixam sinais mais persistentes no ambiente, parecem ser mais fortes do que o de predadores ativos quando observamos alterações nas características diretas das presas, como o crescimento, fecundidade e densidade (Preisser et al., 2007; Romero e Srivastava, 2010). Já os efeitos de predadores mais ativos, geralmente estão associados aos níveis de atividade de movimento das presas (Schmitz, 2007). De fato, em nosso estudo, o comportamento de forrageamento das presas foi afetado pelas pistas químicas da aranha saltadora. É provável que as presas tenham evitado ou diminuído o consumo de plantas com a presença de sinais da aranha como uma estratégia anti-predação, afim de diminuir os riscos de encontro com o predador, que é altamente móvel (Miller et al., 2013), afetando, então, os níveis de atividade de forrageamento, o que desencadeou um efeito indireto e benéfico nas plantas.

Concluimos que insetos herbívoros podem identificar as pistas químicas de aranhas e responder ao risco de predação alterando seu comportamento e gerando efeitos indiretos na cadeia trófica, reduzindo o consumo foliar por artrópodes. Mostramos que aranhas saltadoras, mesmo tendo um modo de caça ativo que geraria um impacto consumista maior (Miller et al., 2013), ainda são capazes de gerar efeitos não consumistas com suas pistas químicas. Isso

pode ser atribuído à sua abundância na vegetação e alimentação generalista (Romero, 2006) que faz com que insetos as identifiquem como predadoras. Também mostramos que esses efeitos não consumistas parecem ser mais fortes para insetos mastigadores, pois não encontramos diferenças na herbivoria para sugadores e minadores. Seria interessante investigar individualmente como insetos de diferentes grupos respondem ao risco de predação de aranhas saltadoras, para compreender melhor o impacto desse grupo na comunidade. Aqui, podemos observar o potencial dessas aranhas como predadoras que geram efeitos cascata na comunidade, pois as presas conseguem identificar seu rastro químico e respondem ao risco de predação. Nossos resultados destacam que aranhas saltadoras desempenham um papel crucial como predadores, influenciando as interações entre herbívoros e plantas e moldando, com seus efeitos não consumistas, as complexas interações que são especialmente relevantes para a manutenção e funcionamento das comunidades.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Também queremos agradecer ao Laboratório de Entomologia Molecular e Ecotoxicologia por ceder o espaço, fornecer material e as espécies utilizadas nesse estudo.

REFERÊNCIAS

- Abrams, P.A. (2007). Defining and measuring the impact of dynamic traits on interspecific interactions. *Ecology*, 88(10): 2555–2562. <https://doi.org/10.1890/06-1381.1>
- Aira, M., Domínguez, J., Monroy, F., *et al.* (2007) Stress promotes changes in resource allocation to growth and reproduction in a simultaneous hermaphrodite with indeterminate growth. *Biological Journal*. 91(4): 593-600. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2007.00822.x>

Brett, M.T., & Goldman, C.R. (1996). A meta-analysis of the freshwater trophic cascade. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 93(15): 7723–7726.

<https://doi.org/10.1073/pnas.93.15.772>

Bucher, R., Binz, H., Menzel, F., *et al.* (2014) Spider cues stimulate feeding, weight gain and survival of crickets. *Ecological Entomological*. 39:667–673. <https://doi.org/10.1111/een.1213>

Bucher, R., Menzel, F. & Entling, M.H. (2015) Risk of spider predation alters food web structure and reduces local herbivory in the field. *Oecologia* 178: 571–577.

<https://doi.org/10.1007/s00442-015-3226-5>

Dai, Y. *et al.* (2009) Effect of *Thrips tabaci* on anatomical features, photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of *Hypericum sampsonii* leaves. *Crop Protection*. 28(4): 327-332. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.11.012>

Harrison, K.V. & Preisser, E.L. (2016) Dropping Behavior in the Pea Aphid (Hemiptera: Aphididae): How Does Environmental Context Affect Antipredator Responses? *Journal of Insect Science*. 16(1): 89. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iew066>

Haruka, A., Issei, O. (2019). Changing Leaf Geometry Provides a Refuge from a Parasitoid for a Leaf Miner. *Zoological Science*. 36(1): 31-37. <https://doi.org/10.2108/zs180062>

Hermann, S.L., Landis, D.A. (2017) Scaling up our understanding of non-consumptive effects in insect systems. *Current opinion in Insect Science*. 20: 54-60.

<https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.03.010>

Hermann, S.L., Bird, S.A., Ellis, D.R. *et al.* (2021) Predation risk differentially affects aphid morphotypes: impacts on prey behavior, fecundity and transgenerational dispersal morphology. *Oecologia*. 197: 411-419. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-05037-z>

Humphreys, R.K., Ruxton, G.D. & Karley, A.J. (2021) Post-Dropping Behavior of Potato Aphids (*Macrosiphum euphorbiae*). *Journal Insect Behaviour*. 34: 223–239.

<https://doi.org/10.1007/s10905-021-09784-y>

Kats, L.B, Dill, L.M (1998). The scent of death: chemosensory assessment of predation risk by prey animals. *Ecoscience*. 5: 361 -394. <https://doi.org/10.1080/11956860.1998.11682468>

Keiser, C.N. & Mondor, E.B. (2014) Cues of predation risk induce instar- and genotype-specific changes in pea aphid colony spatial structure. *Ethology*. 121(2): 144-151. <https://doi.org/10.1111/eth.12325>

Kemprij, V., Park, S.J. & Taylor, P.W. (2020) Forewarned is forearmed: Queensland fruit flies detect olfactory cues from predators and respond with predator-specific behaviour. *Scientific Reports*. 10: 7297. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64138-6>

Lee, Z. A., Cohen, C.B. Baranowski, A.K. et al (2023). Auditory predator cues decrease herbivore survival and plant damage. *Ecological Society of America*. 104(4): 4007. <https://doi.org/10.1002/ecy.4007>

Miller, J.R., Ament, J.M. & Schmitz, O.J. (2013) Fear on the move: predator hunting mode predicts variation in prey mortality and plasticity in prey spatial response. *Journal Animal Ecological*. 83:214–222. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12111>

Ninkovic, V., Feng, Y., Olsson, U. et al. (2013). Ladybird footprints induce aphid avoidance behavior. *Biological Control*. 65(1): 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.07.003>

Persons, M.H. & Rypstra, A.L. (2001) Wolf spiders show graded antipredator behavior in the presence of chemical cues from different sized predators. *Journal Chemical Ecological*. 27:2493–2504. <https://doi.org/10.1023/A:1013679532070>

Persons, M.H., Walker, S.E. & Rypstra, A.L. (2002) Fitness costs and benefits of antipredator behavior mediated by chemotactile cues in the wolf spider *Pardosa milvina* (Araneae: Lycosidae). *Behavioral Ecology*. 13(3): 386–392. <https://doi.org/10.1093/beheco/13.3.386>

Preisser, E.L. & Orrock, J.L. (2012) The allometry of fear: interspecific relationships between body size and response to predation risk. *Ecosphere*. 3: 77. <https://doi.org/10.1890/ES12-00084.1>

- Preisser, E.L., Orrock, J.L. & Schmitz, O.J. (2007) Predator hunting mode and habitat domain alter nonconsumptive effects in predator–prey interactions. *Ecology*, . 88(11): 2744–2751. <https://doi.org/10.1890/07-0260.1>
- Puttlitz, M.H., *et al.* (1999). Threat-sensitive predator avoidance by larval Pacific treefrogs (Amphibia, Hylidae). *Ethology*. 105:449–456. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.1999.00416.x>
- Ramniwas, S., Tyagi, P.K., Sharma., A. *et al.* (2023) Editorial: Abiotic stress and physiological adaptive strategies of insects. *Frontiers in Physiology*. 14:1210052. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1210052>
- Romero, G.Q. (2006) Geographic Range, Habitats, and Host Plants of Bromeliad-living Jumping Spiders (Salticidae). *Biotropica*. 38(4): 522-530. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00173.x>
- Romero, G.Q., Souza, J.C. & Vasconcellos-Neto, J. (2008). Anti-herbivore protection by mutualistic spiders and the role of plant glandular trichomes. *Ecological Society of America*. 89(11): 3105-3115. <https://doi.org/10.1890/08-0267.1>
- Romero, G.Q. & Srivastava, D.S. (2010) Food-web composition affects cross-ecosystem interactions and subsidies. *Journal of Animal Ecology*, 79, 1122–1131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01716.x>
- Schmitz, O. J. (2003). Top predator control of plant biodiversity and productivity in an old-field ecosystem. *Ecology Letters*. 6(2): 156–163. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00412.x>
- Schmitz, O.J. (2007) Predator diversity and trophic interactions. *Ecology*, 88: 2415-2426. <https://doi.org/10.1890/06-0937.1>
- Silva, A.P.N., Chagas, C.F., de Andrade Alves, E.L. *et al.* (2003) Hydrogel as an alternative to agar for laboratory rearing of the green peach aphid *Myzus persicae*. *CABI Agriculture and Bioscience*. 4: 13. <https://doi.org/10.1186/s43170-023-00155-5>

Storm, J.J. & Lima, S.L. (2008) Predator-naïve fall field crickets respond to the chemical cues of wolf spiders. *Canadian Journal of Zoology*. 86(11):1259–1263.

<https://doi.org/10.1139/Z08-114>

Tigreros, N., Norris, R.H. & Thaler, J. S. (2019) Maternal effects across life stages: larvae experiencing predation risk increase offspring provisioning. *Ecological Entomology*.

44(6):738-744. <https://doi.org/10.1111/een.12752>

Wilder, S. M. Jill DeVito, Matthew H. Persons, and Ann L. Rypstra (2005). The effects of moisture and heat on the efficacy of chemical cues used in predator detection by the wolf spider *Pardosa milvina* (araneae, lycosidae). *The Journal of Arachnology*. 33(3): 857-861

<https://doi.org/10.1636/S03-64.1>

2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em nosso trabalho, observamos que as pistas químicas de aranhas saltadoras foram detectadas pelos insetos avaliados foram capazes de detectar que responderam ao risco de predação. Esse é um importante indicativo de que aranhas saltadoras são eficazes predadoras que podem gerar efeitos em cascata na cadeia trófica.

Os herbívoros utilizados nos experimentos alteraram seu comportamento na presença de pistas químicas, permanecendo mais tempo imóveis em comparação aos herbívoros do controle sem pistas químicas. Isso pode ser um importante indicativo de que os insetos podem detectar o perigo através das pistas químicas deixadas no ambiente. Também observamos que as pistas químicas afetaram a reprodução dos herbívoros, pois eles demoraram mais tempo para produzir a primeira ninfa na presença de pistas químicas do que no controle, porém, as pistas químicas não afetaram o investimento reprodutivo final, pois não houve diferença no número total de descendentes produzidos nos dois grupos. A reprodução, apesar de demandar um alto gasto de energia que deve ser avaliado frente ao risco de predação, ainda é o mecanismo mais eficaz de garantir descendentes, e por esse motivo, pode ser que os herbívoros não interromperam a produção da prole, apesar de detectarem o risco no local.

Também vimos que as pistas químicas geraram efeitos cascata significativos em campo, reduzindo a herbivoria nas plantas. O consumo foliar em plantas que continham pistas químicas de aranhas foi reduzido quase pela metade em comparação com as plantas sem pistas químicas. Nossos resultados mostraram que esse efeito foi importante para insetos mastigadores, mas para insetos sugadores e minadores não houve diferença na herbivoria. Sugerimos que essa resposta no comportamento de forrageamento seja investigada individualmente com diferentes grupos de insetos com guildas diferentes. Assim poderemos compreender a particularidade das respostas ao risco em diferentes insetos. Esse resultado também mostra que há a possibilidade dos herbívoros mastigadores ou evitarem as plantas com a presença de pistas químicas, ou reduzirem o consumo das mesmas. Essas possibilidades podem ser investigadas em estudos futuros para compreender qual a decisão que os herbívoros tomam frente ao risco de predação.

Nossos resultados destacam a relevância de aranhas saltadoras como predadoras na estrutura e funcionamento das comunidades. Aqui, discutimos como elas afetam a cadeia trófica não só com o consumo direto de presas, mas também por meio efeitos indiretos desencadeados por suas pistas químicas. Os herbívoros podem detectar seu rastro químico e responder ao risco de predação com alterações comportamentais, gerando um efeito de casca

trófica que, por fim, pode beneficiar as plantas. Esses achados nos fornecem novas ideias em relação às interações inseto-planta, principalmente aos efeitos gerados pela resposta dos herbívoros ao risco de predação, além de ressaltar a importância dos efeitos não consumistas de aranhas caçadoras para compreender melhor as complexas interações que fazem parte das comunidades e ecossistemas.