



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ETNOBIOLOGIA**

**E CONSERVAÇÃO DA NATUREZA - PPGETNO**

**GABRIEL XAVIER BOLDORINI ARIERO**

**Fatores que influenciam a eficiência do controle biológico de predadores em cultivos agrícolas**

Recife-PE  
2022

GABRIEL XAVIER BOLDORINI ARIERO

## **Fatores que influenciam a eficiência do controle biológico de predadores em cultivos agrícolas**

Tese/dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Etnobiologia e Conservação da Natureza (UFRPE, UEPB, URCA e UFPE) como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Orientador:

Thiago Gonçalves Souza

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Recife-PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B687f

Ariero, Gabriel Xavier Boldorini Ariero

Fatores que influenciam a eficiência do controle biológico de predadores em cultivos agrícolas / Gabriel Xavier Boldorini Ariero Ariero. - 2022.

51 f.

Orientador: Thiago Goncalves Souza.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Etnobiologia e Conservação da Natureza, Recife, 2022.

1. Supressão de pragas. 2. Diversidade de predadores. 3. Cultivos. 4. Sazonalidade da precipitação. I. Souza, Thiago Goncalves, orient. II. Título

CDD 304.2

---

GABRIEL XAVIER BOLDORINI ARIERO

## **Fatores que influenciam a eficiência do controle biológico de predadores em cultivos agrícolas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Etnobiologia e Conservação da Natureza (UFRPE, UEPB, URCA e UFPE) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

**DISSERTAÇÃO DEFENDIDA E APROVADA EM 28/02/2022**

### **BANCA EXAMINADORA**

---

**Profa. Dra. Fernanda Maria Pereira de Oliveira**

---

**Prof. Dr. Pablo Augusto Poletto Antiqueira**

---

**Profa. Dra. Paula Munhoz de Omena**

---

**Profa. Dra. Karine Matos Magalhães**

---

**Prof. Dr. Thiago Gonçalves Souza**

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre está ao meu lado, nos melhores e piores momentos, por seu infinito amor e misericórdia. Agradeço também a minha família, por todo amor e apoio. Em especial, agradeço a meus pais e irmãos, que também sempre estiveram ao meu lado, sendo os melhores exemplos que eu poderia ter. Nunca esqueceria de todos os “puxões de orelha”, incentivos, sacrifícios e amor. Gostaria de agradecer também a mulher que amo, Joyce Carina, por todo o companheirismo, amor e dedicação. Estamos atravessando a pandemia juntos (fazendo esse mestrado também!!!), um dos piores momentos da história, não é fácil. Com você ao meu lado e eu ao seu, creio que as coisas fiquem um pouco mais leves, obrigado por tudo.

Gostaria de agradecer também a todos os membros do ECOFUN. Primeiramente, agradeço ao meu orientador e professor Thiago Gonçalves Souza (apesar de só chamá-lo de “professor”, e “senhor”, um dia eu melhoro). O senhor é o melhor orientador que eu poderia ter. Poderia citar as inúmeras vezes que me ajudou durante esse mestrado (profissionalmente ou não), mas prefiro dizer que sempre saio de nossas reuniões melhor que entrei. Espero continuar trabalhando com o senhor, e aprender muito mais, com essa pessoa incrível que o senhor é. Agradeço também a todos meus amigos do lab, é uma honra trabalhar e aprender com vocês. Todas as discussões de artigos e livros, todas as idas a campo, conversas, reclamações, fofocas e muita zoeira nas aulas online. Obrigado por tudo pessoal, vamos juntos por mais!

Gostaria de agradecer a FACEPE, pela concessão da bolsa de mestrado. Ao PPGETNO, à coordenação, todos os docentes, colegas e representantes discentes (vocês são feras!). Por último, agradeço a rural (vulgo UFRPE), e a todos os seus trabalhadores, que resistem em prol da educação pública, gratuita e de qualidade.

## Sumário

<b>Introdução geral</b> .....	5
<b>Objetivos e questionamentos</b> .....	5
<b>Estratégias de Pesquisa</b> .....	6
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	9
<b>Fundamentação Teórica</b> .....	10
<b>Controle biológico</b> .....	10
<b>Fatores que influenciam na relação entre predadores e presas</b> .....	11
<b>Cascata trófica e efeito contexto-dependente</b> .....	13
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	14
<b>Context dependent effects of vertebrate and invertebrate predators on pest control and crop productivity</b> .....	16
<b>Resumo</b> .....	17
<b>Introdução</b> .....	19
<b>Métodos</b> .....	21
<b>Estratégia de busca</b> .....	21
<b>Seleção dos estudos e coleta de dados</b> .....	22
<b>Análise de dados</b> .....	24
<b>Análises de viés de publicação</b> .....	25
<b>Resultados</b> .....	26
<b>Efeitos principais</b> .....	26
<b>Efeito da diversidade de predadores na supressão de pragas e produtividade</b> .....	26
<b>Efeito da estabilidade dos cultivos na supressão de pragas e produtividade</b> .....	27
<b>Efeito do clima na supressão de pragas</b> .....	27
<b>Viés de publicação</b> .....	27
<b>Discussão</b> .....	28
<b>Limitações e lacunas</b> .....	32
<b>Conclusão</b> .....	32
<b>Referências</b> .....	33
<b>Legendas das figuras</b> .....	39
<b>Considerações finais</b> .....	49

## **Introdução geral**

### **Objetivos e questionamentos**

Primeiramente, devido a pandemia provocada pelo covid-19, juntamente com meu orientador, tive que adaptar o projeto de dissertação. A princípio, iríamos realizar uma pesquisa com coletas de campo, envolvendo a interação entre predadores (aranhas) e presas na Caatinga. Entretanto, nesse contexto de impossibilidade de estudos de campo ou laboratório, e da nova realidade do “home office”, surgiu a oportunidade de realizarmos um estudo de síntese, especificamente, uma meta-análise sobre controle biológico.

Antes de iniciarmos de fato a meta análise, foi necessário que tivéssemos uma capacitação para entendermos melhor como esse tipo de estudo era feito. Ao contrário do que eu pensava, não era uma tarefa simples. Portanto, juntamente com todo o nosso laboratório, tive a oportunidade de aprender sobre esse tipo de pesquisa, através de um grupo de estudos com foco no livro *Handbook of meta analysis in ecology and evolution*, que contou com a presença de pessoas experientes na área, como a professora Julia Koricheva (autora do livro que deu ponta pé inicial ao nosso grupo de estudos) e o professor Gustavo Romero (que seguiu nos auxiliando no trabalho). Assim, após esse grupo de estudos pude seguir minha jornada de aprendizado dessa ferramenta, com outros cursos e então, nós começamos a desenvolver nossas perguntas, estratégias de buscas e outros aspectos do trabalho, relacionados ao tema central da dissertação, o controle biológico de pragas agrícolas por predadores.

Dessa forma, nosso objetivo principal nessa dissertação, foi compreender o efeito de predadores no controle biológico e se o clima e a estabilidade dos cultivos influenciam na

eficiência dos predadores na supressão de pragas e produtividade. Apesar da literatura apresentar outras revisões e meta-análises sobre o tópico, acreditamos que nosso estudo pode contribuir com um melhor entendimento sobre como funciona esse serviço ecossistêmico em diferentes contextos, ou seja, com uma diversidade de predadores, pragas, cultivos e locais. Portanto, embora exista a limitação imposta pela pandemia em relação a pesquisas de campo, a meta-análise nos permite responder perguntas mais amplas e identificar lacunas existentes na área. Além disso, acreditamos também que nosso estudo, por tratar de um serviço ecossistêmico, também pode gerar contribuições práticas, ao passo que pode destacar e valorizar predadores agentes do controle biológico e identificar em quais contextos eles são mais eficientes.

### **Estratégias de Pesquisa**

Como dito acima, a escolha de um estudo de síntese, especificamente uma meta-análise, se deu primeiramente pela pandemia e secundamente pela possibilidade de desenvolver e responder perguntas amplas. Dessa forma iniciamos nosso trabalho desenvolvendo a pergunta com auxílio da estratégia PICO (P = População, I = Intervenção, C = Comparador, O = Desfecho (Outcome)) (Sayers, 2008). Essa estratégia para desenvolver perguntas em estudos de revisão e meta-análise facilita outros processos desse tipo de estudo, pois ajuda a delimitar o tópico a ser estudado. Portanto, permitiu também, o desenvolvimento da chave de buscas dos artigos.

Pessoalmente, acredito que a etapa mais importante e complicada de um estudo de revisão ou meta-análise seja a construção da chave de busca. O processo de construção da chave de busca, ou seja, a combinação de palavras que utilizamos para buscas nas bases de

estudos (e.g., Web of Science, Scopus e Google Scholar) deve ser feito várias vezes, até que se encontre a chave mais adequada para o trabalho (Koricheva, Gurevitch e Mengersen, 2013). Assim, utilizando nossa pergunta delimitada pela estratégia PICO, nós escolhemos palavras relacionadas à pergunta, além de sinônimos. Também utilizamos operadores booleanos (e.g., AND, OR) para auxiliar na delimitação da busca. Nessa etapa, tivemos ajuda dos professores Gustavo Romero e Leonardo Chaves, devido a experiência em estudos de revisões e meta-análise, pois é preciso escolher a melhor chave de busca para sua pergunta, ou seja, aquela que consiga “captar” o maior número de estudos do tópico desejado, com o menor número possível de estudos indesejados.

Após a busca ser realizada, inicia-se a etapa mais longa da meta-análise, que foi a “triagem” de artigos. Nessa parte, existem vários softwares que podem auxiliar os pesquisadores, como o Mendeley e o Excel. Basicamente, escolhemos o excel pela familiaridade com o programa. Então, construímos nossa planilha de triagem de artigos, primeiramente examinando os títulos e resumos dos artigos, e excluindo aquelas que não atingiam nossos critérios. Os estudos que atingiram nossos critérios foram examinados por completo, assim nós pudemos identificar, de fato, quais estudos entrariam em nosso trabalho e quais não entrariam, além de poder justificar o motivo de inclusão ou não do trabalho (e.g., estudo fora do tópico, capítulo de livro). Assim como na ciência de forma geral, é bastante estimulado a transparência em estudos de meta análise, e principalmente nessa etapa (e.g., critérios utilizados, estudos incluídos e excluídos), para que seja possível, a reprodução ou utilização dos dados do estudo (Koricheva, Gurevitch e Mengersen, 2013).

O passo seguinte de nosso trabalho, foi a escolha de quais dados nós iríamos selecionar dos estudos. Essa etapa deve ser pensada previamente a busca, no entanto à medida que a

triagem de dados é realizada, os pesquisadores podem identificar tópicos (e.g., moderadores do efeito, novas variáveis) a serem incrementados ou lacunas (e.g., falta de estudos). Além disso, nessa etapa “retiramos” as informações necessárias para calcular a medida de tamanho de efeito (effect size) de cada estudo, no nosso caso, as médias, desvio padrão (ou erro padrão) e o tamanho da amostra.

Existem diversas medidas de tamanho de efeito, como por exemplo o Hedges’*d*, Coeficiente de correlação de Pearson e Correlação de Mantel (Koricheva, Gurevitch e Mengersen, 2013). Para nosso estudo, onde nosso objetivo foi entender como o clima e a estabilidade do cultivo afetam o controle biológico, isto é, comparando tratamentos com a exclusão e presença do predador, nós escolhemos uma medida de comparação de diferenças de médias padronizadas, o Hedges’*d* (Hedges, 1996). Além disso, o modelo utilizado para calcular o efeito geral dos predadores na supressão de pragas e produtividade dos cultivos foi o de Efeitos Aleatórios (Random-effects model), pois ele considera a variação entre e dentro de cada estudo, e pondera o tamanho de efeito por essa variação (Hedges, 1983; Riley, Higgins e Deeks, 2011). Essa escolha também se justifica pelo fato de existir grande heterogeneidade nos estudos de ecologia (não são como estudos clínicos, por exemplo, com maior controle). Na prática, esse modelo permitiu atribuir maior “peso” aos estudos com maior tamanho de amostra e menor variação (Hunter e Schmidt, 2000).

Por último, para transmitir as informações necessárias referentes às nossas estratégias de busca, seleção e análise de dados, viés de publicação, resultados e discussão de nossa meta-análise, utilizamos o artigo publicado por O’dea et al. (2021a), pois trata-se de um “guia” de como e quais itens devem ser reportados em uma meta-análise de ecologia. Dessa forma, nós

buscamos seguir as recomendações de transparência e reprodutibilidade em estudos de síntese (O’dea et al., 2021b).

## **Referências Bibliográficas**

HEDGES, L. V. A random effects model for effect sizes. *Psychological Bulletin*, v. 93, n. 2, p. 388–395, 1983.

HEDGES, L. V.; VEVEA, J. L. Estimating Effect Size Under Publication Bias: Small Sample Properties and Robustness of a Random Effects Selection Model. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, v. 21, n. 4, p. 299–332, dez. 1996.

HUNTER, J. E.; SCHMIDT, F. L. Fixed Effects vs. Random Effects Meta-Analysis Models: Implications for Cumulative Research Knowledge. *International Journal of Selection and Assessment*, v. 8, n. 4, p. 275–292, dez. 2000.

KORICHEVA, J.; GUREVITCH, J.; MENGERSEN, K. (EDS.). *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution*. Princeton: Princeton University Press, 2013.

O’DEA, R. E. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses in ecology and evolutionary biology: a PRISMA extension. *Biological Reviews*, v. 96, n. 5, p. 1695–1722, out. 2021a.

O’DEA, R. E. et al. Towards open, reliable, and transparent ecology and evolutionary biology. *BMC Biology*, v. 19, n. 1, p. 68, 9 abr. 2021b.

RILEY, R. D.; HIGGINS, J. P. T.; DEEKS, J. J. Interpretation of random effects meta-analyses. *BMJ*, v. 342, n. feb10 2, p. d549–d549, 10 fev. 2011.

SAYERS, A. Tips and tricks in performing a systematic review. *British Journal of General Practice*, v. 58, n. 547, p. 136.1-136, 1 fev. 2008.

# Capítulo 1

## Fundamentação Teórica

### Controle biológico

A biodiversidade possui seu valor intrínseco, além disso, também é importante por fornecer à humanidade serviços ecossistêmicos. Segundo Daily 1997, serviços ecossistêmicos podem ser compreendidos como condições e processos fornecidos por ecossistemas e suas espécies para sustentar a humanidade. Dessa forma, os serviços ecossistêmicos são componentes da natureza que beneficiam diretamente e indiretamente o bem-estar humano, como por exemplo a purificação do ar e água, mitigação de inundações e secas, polinização de cultivos e vegetação natural e controle de pragas agrícolas (Daily, 1997; Boyd e Banzhaf, 2007).

Esses serviços também são importantes do ponto de vista econômico, sendo estimado um valor de 125 trilhões de dólares por ano (em 2011) aos serviços ecossistêmicos (Constanza et al. 2014). Existem também desserviços ecossistêmicos, como os danos às plantações, provocados por pragas como insetos, caracóis, mamíferos, fungos, bactérias, vírus e ervas daninhas (Zhang et al., 2007). Somente no Brasil por exemplo, um país que tem grande parte da sua economia baseada na agricultura, insetos que são considerados pragas provocam uma perda média anual de 7.7% da produção dos principais cultivos, o que significa aproximadamente 25 milhões de toneladas de comidas, fibras e biocombustíveis perdidos, e conseqüentemente a perda de 17.7 bilhões de dólares por ano (considerando também gastos com inseticidas) (Oliveira et al., 2014). Portanto, existe a necessidade de formas naturais de

mitigar os danos provocados pelas pragas. O controle biológico de pragas é um serviço ecossistêmico relacionado à agricultura, e pode ser desempenhado por predadores como aranhas, vespas, pássaros, morcegos e parasitas (Zhang et al., 2007). Esses agentes do controle biológico têm potencial para mitigar os danos provocados pelas pragas, de fato, eles podem ser considerados eficientes através da proporção de pragas removidas em sua presença (Morris, Vandermeer e Perfecto, 2015).

### **Fatores que influenciam na relação entre predadores e presas**

Alguns fatores como a perda de habitats e as mudanças climáticas são duas das maiores ameaças à biodiversidade. Além disso, essas ameaças podem agir sinergicamente, e locais com altas temperaturas e baixa precipitação podem potencializar os efeitos da perda e fragmentação de habitats sobre a diversidade e densidade das espécies (Mantyka-pringle, Martin e Rhodes, 2012). É previsto ainda que com as mudanças climáticas, como o aumento de eventos extremos de seca ou chuva os sistemas agrícolas sejam afetados, e conseqüentemente a produção de alimentos para a humanidade, sendo previsto por exemplo que países que já sofrem com a fome (e.g., nos continentes Africano e Asiático) sejam ainda mais impactados (Wheeler e Von braun, 2013).

Outro fator preocupante é que tanto as mudanças climáticas, como a distribuição de hospedeiros podem influenciar na distribuição de patógenos e pragas de cultivos, com um esperado aumento de pragas em países de importância agrícola nos próximos anos (Bebber, Holmes e Gurr, 2014). Uma das atuais soluções para controlar pragas na agricultura é a utilização de pesticidas. No entanto, em geral esses químicos podem apresentar riscos aos ecossistemas como um todo e especificamente à saúde humana. Portanto, para alcançar a

segurança alimentar global é necessário novas práticas de agricultura, como desenvolvimento de novas tecnologias e manejos de sistemas agrícolas, assim como é importante também a ação de órgãos governamentais na solução desses problemas (Wheeler e Von braun; Oliveira et al., 2014; Nicolopoulou-Stamati et al., 2016).

Além disso, existem alternativas como a utilização de cultivos diversificados (espécies de plantas diferentes no mesmo cultivo) por exemplo, que podem ser uma maneira de mitigar o uso de pesticidas, uma vez que o controle biológico de pragas aumenta com a diversificação de cultivos em diferentes escalas (Redlich, Martin e Steffan-Dewenter, 2018). A estabilidade do habitat (cultivos perenes ou anuais) parece ser uma outra variável importante no controle biológico, uma vez que as taxas de sucesso na introdução de inimigos naturais de artrópodes foram maiores em cultivos perenes (e.g., pomares) em relação aos anuais (e.g., vegetais) (Hall, Ehler e Bisabri-Ershadi, 1980).

A diversidade de espécies de predadores também pode influenciar no controle biológico de pragas. Um dos mecanismos desse processo é a complementaridade de nicho entre inimigos naturais, que pode provocar o aumento na supressão de pragas. Por exemplo, diferentes agentes de controle biológico são mais eficazes em diferentes períodos de ocorrências das presas (Dainese et al., 2017). Todavia, a predação intraguilda, que é o consumo entre espécies que utilizam um mesmo recurso (Polis e Holt, 1992), pode atrapalhar esse efeito positivo da diversidade. Há alguns estudos que avaliam o efeito de múltiplas espécies de predadores na eficiência do controle biológico de pragas. Formigas, por exemplo, são importantes agentes de controle biológico em cultivos orgânicos de vegetais no Brasil e são mais eficientes em comunidades mais diversas, devido à complementaridade de nicho espacial e temporal (Frizzo et al., 2020). Entretanto, de forma geral, não existe um consenso sobre o efeito da diversidade

de espécies no controle biológico, e portanto, pode ser contexto-dependente (e.g., variar na magnitude e direção do efeito).

### **Cascata trófica e efeito contexto-dependente**

A identidade dos predadores envolvidos no controle biológico também pode influenciar em sua eficiência, entretanto esse efeito também pode ser contexto-dependente. Portanto, é preciso compreender as possíveis fontes que provocam essa variação nos resultados, desta forma, uma meta-análise pode ajudar nesse processo (Catford et al., 2022). Um estudo de exclusão de pássaros e morcegos em plantações de café na Costa Rica, provocou efeitos diferentes causados pelos predadores, uma vez que a exclusão de pássaros teve um maior efeito sobre artrópodes herbívoros enquanto a exclusão de morcegos teve um maior efeito em artrópodes predadores (Karp e Daily, 2014). Além disso, um estudo experimental demonstrou que morcegos podem não só atuar como inimigos naturais de insetos considerados pragas, por reduzir a herbivoria provocada por esses insetos, mas também aumentar indiretamente a produtividade em cultivos de vinho no Chile (Rodríguez-San Pedro et al., 2020).

Alguns estudos de sínteses como de revisões sistemáticas que avaliaram o potencial e eficiência de predadores como agentes do controle biológico já foram realizados. Para aranhas, por exemplo, foi demonstrado que esses organismos podem ser bons agentes de controle biológico contra insetos e outros invertebrados em ecossistemas de florestas, gramíneas e pomares (Nyffeler e Benz, 1987). Além disso, uma meta-análise apontou que a eficiência das aranhas na supressão de pragas e na produtividade do cultivo depende de muitos fatores como a diversidade e abundância desses predadores, as características das próprias aranhas (e.g., estratégias de caça das pragas, fatores climáticos (e.g., temperatura) e tipos de cultivo (Michalko et al., 2019).

Stiling e Cornelissen (2005) realizaram uma meta-análise sobre diversos aspectos que permeiam o controle biológico, como quais são as principais pragas e agentes estudados, as taxas de supressão de pragas, para uma ou várias espécies de agentes de

controle biológico e sobre a efetividade de inimigos naturais generalistas e especialistas. Contudo, apesar da importância do tema, até onde sabemos não foi feito nenhum estudo que avalie o quanto efeitos bióticos (diversidade dos predadores e estabilidade dos cultivos) e abióticos (clima) influenciam a efetividade do controle biológico na supressão de pragas e produtividade do cultivo abrangendo diferentes predadores em diversos tipos de cultivos globais.

### **Referências Bibliográficas**

BEBBER, D. P.; HOLMES, T.; GURR, S. J. The global spread of crop pests and pathogens: The global spread of crop pests and pathogens. *Global Ecology and Biogeography*, v. 23, n. 12, p. 1398–1407, dez. 2014.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, v. 63, n. 2–3, p. 616–626, ago. 2007.

CATFORD, J. A. et al. Addressing context dependence in ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 37, n. 2, p. 158–170, fev. 2022.

COSTANZA, R. et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, v. 26, p. 152–158, maio 2014

DAILY, G. C. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC: Island Press, 1997.

DAINESE, M. et al. High cover of hedgerows in the landscape supports multiple ecosystem services in Mediterranean cereal fields. *Journal of Applied Ecology*, v. 54, n. 2, p. 380–388, abr. 2017.

FRIZZO, T. L. M. et al. Ants provide biological control on tropical organic farms influenced by local and landscape factors. *Biological Control*, v. 151, p. 104378, dez. 2020.

HALL, R. W.; EHLER, L. E.; BISABRI-ERSHADI, B. Rate of Success in Classical Biological Control of Arthropods. *Bulletin of the Entomological Society of America*, v. 26, n. 2, p. 111–114, 15 jun. 1980.

KARP, D. S.; DAILY, G. C. Cascading effects of insectivorous birds and bats in tropical coffee plantations. *Ecology*, v. 95, n. 4, p. 1065–1074, abr. 2014.

- MANTYKA-PRINGLE, C. S.; MARTIN, T. G.; RHODES, J. R. Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. *Global Change Biology*, v. 18, n. 4, p. 1239–1252, abr. 2012.
- MICHALKO, R. et al. Global patterns in the biocontrol efficacy of spiders: A meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, v. 28, n. 9, p. 1366–1378, set. 2019.
- MORRIS, J. R.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. A Keystone Ant Species Provides Robust Biological Control of the Coffee Berry Borer Under Varying Pest Densities. *PLOS ONE*, v. 10, n. 11, p. e0142850, 12 nov. 2015.
- NICOLOPOULOU-STAMATI, P. et al. Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. *Frontiers in Public Health*, v. 4, 18 jul. 2016.
- NYFFELER, M.; BENZ, G. Spiders in natural pest control: A review. *Journal of Applied Entomology*, v. 103, n. 1–5, p. 321–339, 12 jan. 1987.
- OLIVEIRA, C. M. et al. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection*, v. 56, p. 50–54, fev. 2014.
- POLIS, G. A.; HOLT, R. D. Intraguild predation: The dynamics of complex trophic interactions. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 7, n. 5, p. 151–154, maio 1992.
- REDLICH, S.; MARTIN, E. A.; STEFFAN-DEWENTER, I. Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. *Journal of Applied Ecology*, v. 55, n. 5, p. 2419–2428, set. 2018.
- RODRÍGUEZ-SAN PEDRO, A. et al. Quantifying ecological and economic value of pest control services provided by bats in a vineyard landscape of central Chile. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 302, p. 107063, out. 2020.
- STILING, P.; CORNELISSEN, T. What makes a successful biocontrol agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological Control*, v. 34, n. 3, p. 236–246, set. 2005.
- WHEELER, T.; VON BRAUN, J. Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science*, v. 341, n. 6145, p. 508–513, 2 ago. 2013.
- ZHANG, W. et al. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, v. 64, n. 2, p. 253–260, dez. 2007.

## Capítulo 2

### **Context dependent effects of vertebrate and invertebrate predators on pest control and crop productivity**

Gabriel X. Boldorini<sup>1</sup>, Gustavo Q. Romero<sup>2</sup> & Thiago Gonçalves-Souza<sup>1,3</sup>

1. Programa de Pós-Graduação em Etnobiologia e Conservação da Natureza, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.

2. Laboratório de Interações Multitróficas e Biodiversidade, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

3. Laboratório de Síntese Ecológica e Conservação da Biodiversidade, Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.

Autor correspondente: [tgoncalves.souza@gmail.com](mailto:tgoncalves.souza@gmail.com)

A ser submetido para Journal of Applied Ecology

## Resumo

Pragas agrícolas provocam a perda de produção dos principais cultivos agrícolas no mundo. O controle biológico de pragas fornecido por inimigos naturais em cultivos agrícolas pode mitigar esses danos. Existem diversos fatores que podem influenciar no controle biológico, como a identidade e a diversidade de predadores. Entretanto, o clima e a estabilidade das plantas são fatores negligenciados. Aqui, nosso objetivo foi entender o tamanho do efeito do controle biológico de predadores na supressão de pragas e produtividade dos cultivos, e compreender se o clima e a estabilidade dos cultivos (perenes ou anuais) afetam o controle. Dessa forma, realizamos uma meta-análise global, com estudos que investigaram o efeito da remoção de predadores (e.g., artrópodes, aves, morcegos) na supressão de pragas e produtividade de cultivos. Incluímos em nossa meta-análise 61 estudos e 125 medidas de tamanho de efeito na supressão de pragas e 16 estudos com 19 medidas de tamanho de efeito sobre a produtividade. No geral, os predadores foram efetivos na supressão de pragas em diferentes cultivos, assim como no efeito em cascata, beneficiando a produtividade dos cultivos. Para as aves, o efeito da presença do predador na redução de pragas foi maior em estudos com múltiplas espécies de predadores. A redução das pragas não foi maior em cultivos perenes do que em anuais. Contudo a produtividade foi maior nos cultivos perenes. Além disso, os predadores foram mais eficientes na supressão das pragas em locais com maior sazonalidade de precipitação. A maior predação intraguilda em artrópodes pode ser uma explicação para a diferença entre o efeito na supressão de pragas entre esse grupo e de predadores aves de múltiplas espécies. Nossos resultados demonstram que a sazonalidade da precipitação, a estabilidade dos cultivos e a diversidade de predadores são fatores que modulam o efeito do controle biológico de predadores sobre pragas. Nós acreditamos que a literatura ainda carece de mais investigações sobre o efeito da precipitação sobre o controle biológico, assim como sobre outros grupos de predadores (e.g., morcegos) e no possível efeito em cascata sobre a produtividade.

Palavras-chave: Supressão de pragas, cultivos, diversidade de predadores, estabilidade do cultivo, sazonalidade da precipitação

## **Abstract**

Pests cause the loss of production of the main crops in the world. Pest biological control by natural enemies in crops can mitigate these damages. Several factors may influence biological control, such as the identity and diversity of predators. However, climate and crop stability are neglected. Here, we aim to understand the effect size of biological control on pest suppression and productivity. We also aim to understand if climate and crop stability (perennial or annual) affect the effect size. In this way, we did a meta-analysis to investigate the effect of predators exclusion (e.g., arthropods, birds, and bats) on pest suppression and productivity. We included in our meta-analysis 61 studies and 125 effect size measures on pest suppression and 16 studies with 19 effect size measures on crop productivity. In general, the predators were efficient on pest suppression as well as in cascading effect, benefiting crop productivity. The effect size on pest suppression was larger in studies with multiple bird predators than just one. The pest suppression wasn't larger in perennial crops than in annuals. Although crop productivity was larger in perennial crops. In addition, the predators were more efficient in sites with more rainfall seasonality. Predation intraguild on arthropods may be a possible explanation for larger effect in pest suppression in studies with multiple bird predators. Our results demonstrate that rainfall seasonality, crop stability, and predator diversity are factors that modulate the effect of biological control. Further investigation on other predator groups (e.g., bats) and cascading effects are needed.

Key-words: Pest suppression, crops, predators diversity, crop stability, rainfall seasonality

## Introdução

Apesar de as pragas agrícolas provocarem a perda de 30% na produtividade dos principais cultivos agrícolas no mundo (Oerke, 2006), a ação de inimigos naturais pode reduzir os efeitos negativos das pragas nesses cultivos. No controle biológico natural e de conservação (*sensu* Stenberg et al., 2021), esses agentes são residentes dos sistemas naturais gerando benefícios de supressão de pragas sem intervenção humana. Por outro lado, o controle biológico clássico depende da intervenção humana para adição dos agentes (Stenberg et al., 2021), que geralmente são parasitas e predadores como aves, morcegos e artrópodes. Porém, a eficiência de ação dos agentes vai depender de fatores bióticos como a diversidade de inimigos naturais (Letourneau et al., 2009). Stiling e Cornelissen (2005) demonstraram que a adição de um ou mais inimigos naturais reduzem em até um terço a abundância de pragas quando comparados à adição de um único inimigo. Entretanto, poucos estudos têm investigado como clima e da estabilidade dos cultivos (e.g., cultivo perene ou anual) afetam a intensidade do controle biológico de pragas fornecido por predadores (Stacey, 2003; Jamieson et al., 2012; but see Michalko et al., 2019).

Estudos prévios demonstraram que a variação no clima (temperatura e precipitação) e produtividade afetam a interação entre predadores e presas em sistemas naturais (Allan et al., 2015; Terraube et al., 2016; Matysioková e Remeš, 2022) e agroecossistemas (Montserrat, Sahún e Gusmán, 2013; Rand et al., 2020). A teoria prevê que a influência do clima sobre a eficiência do controle biológico depende de como o clima altera as relações tróficas através de efeitos *bottom-up* e *top-down* (Marino et al., 2018). Por exemplo, o aumento da temperatura favorece a incidência de pragas nos cultivos (Jamieson et al., 2012; Deutsch et al., 2018), mas também a pressão de predação sobre herbívoros (Rodríguez-Castañeda, 2013; Romero et al., 2018). Como resultado, temperaturas altas podem aumentar a taxa de consumo e afetar a colonização de presas o que, por sua vez, fortalece o controle *top-down* (Barton et al., 2009,

Wang et al., 2017). No entanto, a importância relativa do aumento de temperatura sobre a intensidade de predação é espacialmente variável sendo mais intensa em regiões frias (Marino et al., 2018). A seca, por sua vez, pode diminuir a abundância de presas e, conseqüentemente, reduzir a intensidade da predação (Barton e Schmitz, 2018). Por outro lado, o aumento da temperatura e produtividade podem fortalecer o controle *bottom-up* tanto pelo efeito direto sobre populações de predadores como pelo efeito indireto favorecendo populações de plantas e herbívoros. Porém, essas evidências são raramente obtidas em agroecossistemas, o que tem limitado nossa capacidade de prever o efeito do clima sobre o controle biológico e a produtividade de cultivos.

Além disso, a eficiência do controle biológico depende da estabilidade dos cultivos, que pode estar associada, por exemplo, com a natureza da lavoura, como se usa plantas anuais ou perenes. Plantações perenes são mais estáveis e tendem a favorecer populações de predadores (Pimentel et al., 2012; Vico e Brunsell, 2018), uma vez que o ciclo de vida é mais longo do que as anuais. Além disso, o aumento da temperatura, de CO<sub>2</sub> e do estresse hídrico provoca o aumento de danos foliares via herbivoria em plantas anuais mais intensamente do que em plantas perenes (Hamann et al., 2021). Outro fator biótico relevante é a diversidade de predadores (Straub e Snyder, 2006), que pode ter efeito positivo ou negativo que pode ser explicado, respectivamente, pela complementaridade de nicho e predação intraguilida (Straub, Finke e Snyder, 2008). Por um lado, a complementaridade de nicho fornecida por múltiplos predadores favorece a supressão de pragas através da complementaridade espacial (e.g., ocupando partes diferentes de uma planta), temporal (e.g., maior atividade em diferentes períodos do dia) ou trófica (e.g., predação de diferentes espécies) (Michalko, Pekár e Entling, 2018). Entretanto, a ocorrência de múltiplos predadores no mesmo cultivo pode aumentar a predação intraguilida e reduzir o potencial de supressão de pragas (Arim e Marquet, 2004; Finke e Denno, 2005).

Neste estudo, realizamos uma meta-análise global sintetizando estudos que investigaram o efeito da exclusão de predadores (artrópodes, aves, morcegos) na supressão de pragas e produtividade de cultivos. Além disso, utilizamos fatores bióticos (diversidade de predadores e estabilidade do cultivo) e abióticos (clima) que podem mediar o tamanho do efeito de predadores sobre cultivos. Para entender a relevância dos predadores no controle biológico e dos fatores que determinam esta importância relativa, fizemos as seguintes perguntas: (1) predadores afetam a supressão de pragas e produtividade de cultivos? (2) O efeito do predador na supressão de pragas e produtividade depende de fatores bióticos e abióticos? Especificamente, testamos as seguintes previsões: predadores reduzem a (1a) abundância de pragas e (1b) aumentam a produtividade dos cultivos; (2a) o aumento da diversidade de predadores favorece a eficiência da supressão de pragas e (2b) e aumenta a produtividade; (2c) a eficiência de predadores é maior em cultivos perenes do que anuais, o que favorece a supressão de pragas e (2d) produtividade; (2e) A eficiência de predadores na supressão de pragas será maior em locais mais quentes, (2f) chuvosos, (2g) e com menor variação de temperatura e precipitação.

## **Métodos**

### **Estratégia de busca**

Realizamos uma meta-análise de estudos primários que investigaram o efeito de predadores como agentes de controle biológico em cultivos. Para a formulação de nossas perguntas, utilizamos a estratégia PICO (Santos et al., 2007), onde a População foi considerada “predadores e pragas de sistemas agrícolas”; Intervenção a diversidade, tipo do cultivo e clima;

o Comparador, tratamento vs. controle (presença e ausência do predador); e (4) Desfecho (do inglês *outcome*), supressão de pragas (abundância) e produtividade do cultivo.

Fizemos as buscas dos estudos primários nas bases de dados Web of Science e Scopus. Nós utilizamos as seguintes palavras-chave: (Biocontrol OR "Biological Control" OR Pest NEAR/3 Control OR Predator NEAR/3 Prey) AND (Abundance OR Density OR "Crop yield" OR "Crop damage" OR "Seed set" OR "Fruit development" OR "Fruit production") AND (Crop OR Cropland OR Tillage OR Cultivation OR Plantation OR Garden). Nós também adicionamos os estudos utilizados na meta-análise de Díaz-Sieffer et al. (2021) com aves como predadores.

### **Seleção dos estudos e coleta de dados**

Para ser incluído na meta-análise, o estudo deveria investigar o efeito da presença de predadores em sistemas agrícolas utilizando a supressão de pragas e a produtividade como variáveis resposta. Para isso, foram considerados estudos manipulativos com tratamento e controle que podiam incluir tanto estudos com exclusão ou inclusão de predadores, sem restrições quanto aos anos de publicação e idiomas. Além disso, incluímos apenas estudos realizados em cultivos (estudos de campo), excluindo aqueles realizados em laboratórios ou em casas de vegetação.

Seguindo esses critérios, o processo de seleção de estudos foi realizado em 2 etapas. A primeira foi a análise dos títulos e resumos organizados no Excel para os estudos da Web of Science e Mendeley para os estudos da Scopus. Nessa etapa mantivemos artigos que tratavam explicitamente de predadores como agentes de controle biológico de pragas. Na segunda etapa,

fizemos a leitura completa dos artigos marcando todas as informações para a coleta dos dados e excluindo aqueles estudos não considerados nos critérios de inclusão.

Os dados obtidos dos estudos (média, desvio padrão/erro padrão/intervalo de confiança) foram extraídos em tabelas, texto, apêndices e figuras. Os dados apresentados em gráficos foram extraídos com o pacote Juicr versão 0.1 (Lajeunesse, 2021).

Os principais dados que coletamos dos estudos foram: coordenadas, tipo e estabilidade do cultivo, nome comum de predadores e pragas, assim como a ordem e espécie de predadores, pragas e plantas, tratamento, média, desvio padrão e número de amostra, e variável resposta (e.g., abundância de pragas, produtividade do cultivo). Os dados coletados das figuras, como médias e desvio padrão, foram transcritos com 2 casas decimais. Além disso, uma possível fonte de heterogeneidade aqui foi a variável resposta representando a supressão de pragas (i.e. abundância, densidade, porcentagem de pragas por planta/tratamento).

Para estudos que não apresentavam as coordenadas, nós coletamos no Geohack as coordenadas do local mais próximo que os estudos forneciam (e.g., parque, cidade, estado). A maioria dos estudos reportou o erro padrão ou intervalo de confiança como medida de variação, e para o cálculo do tamanho de efeito nós transformamos em desvio padrão. Além disso, por existir estudos com diferentes espaços temporais, coletamos o dado (média e desvio padrão) da última coleta feita no estudo, quando eles não reportavam uma medida geral. Os dados climáticos (média anual e amplitude da temperatura e precipitação anual e sazonalidade da precipitação) foram coletados do Worldclim 2.0 (Fick e Hijmans, 2017).

## Análise de dados

Nós calculamos o tamanho de efeito com Diferenças de Médias Padronizadas, conhecida como Hedges' *d*. Escolhemos essa medida pois selecionamos estudos que mediram a supressão de pragas comparando remoção vs. manutenção de predadores e adição vs. remoção de predadores. Como tivemos dois tipos de experimentos manipulativos (i.e., exclusão ou adição) invertemos as medidas dos estudos de adição para se adequar aos de exclusão (maioria dos estudos). Desse modo, calculamos o tamanho de efeito da seguinte maneira:

$$\text{Hedges' } d = (X_e - X_c) * J_m / SD_{pooled}$$

Na equação 1,  $X_e$  é a média dos locais sem exclusão ou com adição do predador e  $X_c$  é a média dos locais com exclusão.  $SD_{pooled}$  é o desvio padrão ponderado, e  $J_m$  é a correção para pequenos tamanhos de amostra.  $SD_{pooled}$  foi calculado usando o tamanho da amostra ( $N$ ) e o desvio padrão da média ( $SD$ ) de cada tamanho efeito:

$$SD_{pooled} = \frac{\sqrt{(N_e - 1)SD_e^2 + (N_c - 1)SD_c^2}}{N_e + N_c - 2}$$

E  $J_m$  foi calculado assim:

$$J_m = 1 - \frac{3}{4(N_e + N_c - 2)} - 1$$

Dessa forma, os valores negativos de tamanho de efeito representam que a presença do predador reduziu a abundância de pragas ou a produtividade do cultivo.

Todas as análises do estudo foram realizadas no RStudio 4.0.5 (R Development Core Team 2020) com o pacote Metafor (versão 3.0-2) (Viechtbauer, 2010). Utilizamos modelos lineares com efeitos aleatórios, que consideram a variância da amostra dentro e entre estudos (Hedges, 1983), com a função `rma`. Dessa forma, estudos com tamanhos de efeito mais precisos tiveram maior influência. Fizemos também análises com moderadores categóricos usando modelos mistos. Para a predição 2 (e, f, g) fizemos uma meta-regressão com o tamanho do efeito (Hedges'  $d$ ) como variável resposta e as variáveis climáticas como variáveis preditoras. Utilizamos os valores de AICc (critério de seleção de Akaike) para comparar modelos complexos (com todas as variáveis preditoras) e simples (removendo preditoras) com a função `anova.rma`.

### **Análises de viés de publicação**

Para acessar se nossos resultados estavam enviesados por um viés de publicação (i.e., artigos com resultados significativos são mais publicados) testamos de forma visual a relação do tamanho de efeito com o tamanho da amostra dos estudos através de gráficos de funil (Hedges e Vevea, 1996). Também testamos uma possível significância na assimetria dos gráficos de funil através do teste de regressão de Egger (Egger et al., 1997). Por último, onde a assimetria foi detectada, nós utilizamos a análise de “trim and fill” (Duval e Tweedie, 2000), que calcula novamente as médias e os intervalos de confiança após considerar a assimetria dos gráficos de funil.

## Resultados

Em nossa busca obtivemos 3.765 artigos da Web of Science e 1.190 artigos da Scopus (490 foram excluídos: revisões e capítulos de livro), totalizando 4.399 artigos após remoção de duplicatas. Fizemos a leitura completa de 116 artigos, além disso, adicionamos outros 32 estudos provenientes da meta-análise de Díaz-Sieffer et al. (2021). Nessa etapa, retiramos estudos que não atingiram nossos critérios de seleção, portanto, incluímos em nossa meta-análise sobre o efeito de predadores na supressão de pragas 61 estudos e 125 medidas de tamanho de efeito e, para o efeito na produtividade, 16 estudos com 19 medidas de tamanho de efeito.

### Efeitos principais

No geral, os predadores foram efetivos na supressão de pragas em diferentes cultivos agrícolas ( $d = -0.588$ , 95% CI =  $-0.699$  a  $-0.477$ ,  $p < 0.0001$ ), confirmando nossa primeira predição (1a) (Figura 1). Predadores vertebrados ( $d = -0.486$ , 95% CI =  $-0.605$  a  $-0.367$ ,  $p < 0.0001$ ), aves ( $d = -0.509$ , 95% CI =  $-0.629$  a  $-0.389$ ,  $p < 0.0001$ ) e artrópodes ( $d = -1.011$ , 95% CI =  $-1.302$  a  $-0.719$ ,  $p < 0.0001$ ) foram efetivos para a supressão de pragas. Além disso, os predadores (todos os grupos juntos) aumentaram a produtividade dos cultivos ( $d = -0.413$ , 95% CI =  $-0.120$  a  $-0.705$ ,  $p < 0.0043$ ) (predição 1b, Figura 3).

### Efeito da diversidade de predadores na supressão de pragas e produtividade

Acessamos o efeito da diversidade de predadores para aves e artrópodes (Figura 2). A redução de pragas por aves foi maior em estudos com múltiplas espécies de predadores ( $d = -0.555$ , 95% CI =  $-0.682$  a  $-0.429$ ,  $p < 0.0001$ ) do que em estudos com uma única espécie. Para artrópodes, a redução de pragas na presença de uma única espécie ( $d = -1.103$ , 95% CI =  $-1.489$

a -0.717,  $p < 0.0001$ ) não diferiu do efeito de múltiplas espécies ( $d = -0.927$ , 95% CI = -1.424 a -0.430,  $p = 0.0003$ ). Portanto, suportando parcialmente a predição (2a). Devido ao baixo número de estudos, não foi possível testar o efeito da diversidade de predadores sobre a produtividade (predição 2b).

### **Efeito da estabilidade dos cultivos na supressão de pragas e produtividade**

A supressão de pragas por predadores não diferiu entre cultivos anuais ( $d = -0.735$ , 95% CI = -0.937 a -0.534,  $p < 0.0001$ ) e perenes ( $d = -0.485$ , 95% CI = -0.616 a -0.355,  $p < 0.0001$ ) (predição 2c, Figura 4). Entretanto, o efeito de predadores na produtividade dos cultivos foi maior em cultivos perenes ( $d = -0.243$ , 95% CI = -0.058 a -0.428,  $p = 0.0102$ ) do que em cultivos anuais ( $d = -0.815$ , 95% CI = 0.015 a -1.645,  $p = 0.054$ ) (predição 2d, Figura 5).

### **Efeito do clima na supressão de pragas**

A sazonalidade da precipitação teve relação negativa com o tamanho de efeito de predadores sobre a supressão de pragas, indicando maior eficiência de predadores em locais com maior variação de precipitação (Estimate = -0.0064, CI = -0.0098 a -0.0030,  $p = 0.0002$ ) (predição 2g, Figura 6). Por outro lado, as variáveis médias anual de temperatura, precipitação anual e amplitude da temperatura foram removidas dos modelos lineares, o que sugere que tais variáveis não explicam a variação no tamanho do efeito entre os estudos.

### **Viés de publicação**

O teste de regressão para verificar a assimetria do gráfico de funil não detectou assimetria para o efeito total dos predadores na produtividade (Fig. 7a,  $z = 1.425$ ,  $p = 0.154$ ), mas sim para o efeito total dos predadores na supressão de pragas (Fig. 7b,  $z = -4.789$ ,  $p < 0.0001$ ), indicando que estudos com baixo ou nenhum efeito significativo são menos publicados. O número de estudos perdidos (para supressão de pragas) estimados pelo trim and fill foi de 22 (do lado direito da Fig. 7b). Além disso, o tamanho do efeito diminuiu após a correção (Efeito antes da correção:  $d = -0.588$ , 95% CI =  $-0.699$  a  $-0.477$ ,  $p < 0.0001$ ; Efeito após a correção:  $d = -0.431$ , 95% CI =  $-0.556$  a  $-0.306$ ,  $p < 0.0001$ ), apesar de permanecer significativo.

## **Discussão**

Nossos resultados demonstram que a presença de predadores diminuiu a abundância de pragas e aumentou a produtividade dos cultivos, o que dá suporte às predições 1a e 1b. No entanto, os efeitos benéficos dos predadores foram dependentes do contexto, uma vez que sua intensidade variou em resposta a fatores bióticos e abióticos. Primeiro, encontramos que o efeito positivo da diversidade de predadores na supressão de pragas (predição 2a) foi parcialmente suportado. Enquanto tratamentos com múltiplas espécies de aves foram mais eficientes no controle de pragas do que tratamentos com um único predador, este efeito não foi diferente para artrópodes. Da mesma forma, o efeito positivo na produtividade dos cultivos está associado com predadores vertebrados, mas não com invertebrados. Predadores favorecem a supressão de pragas tanto em cultivos anuais quanto perenes, rejeitando a predição 2c. Por outro lado, predadores aumentaram a produtividade somente em cultivos perenes, dando suporte parcial à predição 2d. O tamanho do efeito dos predadores sobre a supressão de pragas e produtividade também foi explicado por fatores abióticos (sazonalidade da precipitação). A

temperatura e precipitação anual não afetaram o tamanho do efeito de predadores sobre a supressão de pragas (rejeitando as previsões 2e, 2f). Ao contrário do esperado (previsão 2g), a supressão de pragas por predadores foi maior em regiões com maior sazonalidade da precipitação. Portanto, nossos resultados contribuem para uma melhor compreensão dos efeitos de fatores bióticos e abióticos que modulam o efeito de predadores na supressão de pragas e na produtividade de cultivos. Esses resultados abrem um questionamento importante para entendermos como a eficiência do controle biológico varia em relação a fatores bióticos e abióticos como, por exemplo, (1) a perda da diversidade de predadores de topo (*trophic downgrading* sensu Estes et al. 2011) pode reduzir ou anular os benefícios da biodiversidade para agroecossistemas no futuro? (2) Esses efeitos são dependentes da estabilidade do cultivo e do clima?

Assim como evidenciado por meta-análises em sistemas naturais ou agroecossistemas predadores aumentam a supressão de presas e pragas (Letourneau et al., 2009; Griffin, Byrnes e Cardinale, 2013). Porém, demonstramos que o efeito da diversidade de predadores sobre a supressão de pragas não é consistente entre diferentes grupos taxonômicos. Para as aves, experimentos comparando locais com múltiplas ou uma única espécie encontraram efeito sobre a supressão de pragas somente nos locais com várias espécies. Ao contrário, para artrópodes a diversidade de espécies não alterou sua eficiência no controle biológico. Essa diferença na supressão de pragas entre locais com alta e baixa diversidade de predadores pode ser explicada pela maior predação intraguildd entre predadores artrópodes (Gagnon et al., 2011) e em invertebrados terrestres do que em vertebrados (Vance-Chalcraft et al., 2007). Contudo, embora a predação intraguildd possa enfraquecer a supressão de herbívoros, não é comum que aumente as populações de pragas (Janssen et al., 2006; Douglass, Duffy e Bruno, 2008). Portanto, isso está de acordo com o que encontramos, pois embora o efeito na supressão de pragas tenha sido maior para múltiplas espécies de artrópodes, ele também foi positivo para os

estudos com uma única espécie desses predadores. Desse modo, nossos resultados reforçam a relação positiva entre diversidade de inimigos naturais e controle biológico, mas reforça que além da complementaridade de nicho, a predação intraguilda pode aumentar a competição entre predadores e reduzir ou anular o controle top-down.

Outro fator biótico relevante é a estabilidade do cultivo, que aqui foi representada por plantas com padrão de crescimento e investimento reprodutivo muito distintos. As comparações entre cultivos perenes (mais estáveis) e anuais demonstraram resultados contrastantes de predadores sobre a supressão de pragas e na produtividade. Primeiro, o efeito positivo de predadores sobre a produtividade dos cultivos só foi significativo em cultivos perenes. De fato, a maioria dos cultivos anuais apresentam alta variação de disponibilidade de recursos ao longo do tempo e, como resultado, inimigos naturais especialistas são desfavorecidos nesses sistemas, uma vez que geralmente possuem forte ligação com a praga (Welch e Harwood, 2014). Além disso, a estabilidade desses cultivos tem sido medida pela presença de outros cultivos ou ecossistemas naturais no entorno dos cultivos. Esses estudos enfatizam que a presença de plantas perenes no entorno aumenta a abundância e riqueza de inimigos naturais para pragas (Gareau, Letourneau e Shennan, 2013) e, desse modo, possuem maior controle de pragas (Morandin, Long, Kremen, 2014), e isso pode resultar num efeito positivo para a produtividade, via cascata trófica. Segundo, embora a produtividade tenha sido maior em cultivos perenes, os predadores foram um pouco mais eficientes na supressão das pragas nos cultivos anuais. Uma recente meta-análise em cultivos na América do Norte, Europa e Nova Zelândia mostrou que o controle de pragas não foi maior em cultivos com plantas perenes em seu entorno (Albrecht et al., 2020). Esses resultados contrastantes reforçam a necessidade de incluir outros potenciais fatores que influenciam o controle biológico.

Encontramos maior eficiência de predadores na supressão de pragas em cultivos com maior sazonalidade de precipitação, apesar de que temperatura e precipitação anual não estavam associadas com esses efeitos. A influência da variação mensal da precipitação foi encontrada em experimentos com controle biológico de afídeos (Diehl et al. 2013). Locais com maior variação na precipitação podem possuir maior diferença entre valores extremos (período seco ou chuvoso) e/ou concentração com um período chuvoso e longo período de seca. Estudos anteriores têm indicado que o efeito em cascata trófica aumenta em direção a valores extremos de temperatura e precipitação (Rodríguez-Castañeda, 2013). Conseqüentemente, é possível que locais com alta variabilidade na precipitação favoreçam a supressão de pragas por concentrar o efeito dos predadores em períodos específicos. Entretanto, o efeito da sazonalidade da precipitação sobre o controle biológico em cultivos é raramente explorado. Estudos anteriores desenvolvidos em ecossistemas naturais sugerem que em condições secas o efeito *top-down* pode ser enfraquecido (Trzcinski et al., 2016). A redução do efeito pode ser explicada pelo fato de predadores serem geralmente mais sensíveis em períodos secos e pela desestruturação da cadeia alimentar via redução da disponibilidade de recurso (Amundrud e Srivastava, 2016). Porém, essa relação pode ser mais explorada no futuro, investigando em especial se o efeito da sazonalidade da precipitação sobre a supressão de pragas varia com diferentes predadores e presas. Por exemplo, o consumo de presas de aranhas é afetado pela sazonalidade da precipitação de maneira diferente entre grupos taxonômicos de insetos, uma vez que Myriapoda e Collembola são mais consumidos em ambientes frios e com precipitação mais estável, ao passo que Isoptera, Lepidoptera, Psocoptera e Coleoptera em ambientes quentes com baixa estabilidade da precipitação (Birkhofer e Wolters, 2012).

## **Limitações e lacunas**

Uma das limitações do estudo é o viés de publicação existente, uma vez que a maioria dos estudos publicados tiveram efeito positivo de predadores na supressão de pragas e produtividade dos cultivos. Contudo, após correção, o efeito geral diminuiu mas não drasticamente. O número baixo de estudos com o efeito de predadores de diferentes grupos taxonômicos sobre a produtividade limita nossa capacidade de descrever alguns determinantes bióticos dos efeitos em cascata de predadores sobre cultivos. Dessa forma, para melhorar a compreensão do efeito indireto de predadores na produtividade via supressão de pragas será preciso mais estudos. Além disso, para as aves, o número de estudos comparando o efeito de múltiplas espécies de predadores foi consideravelmente maior do que daqueles comparando uma única espécie de predador. Portanto, nós sugerimos que mais estudos manipulem a diversidade de predadores para investigar tanto os efeitos sobre a supressão de pragas quanto na produtividade dos cultivos. Tais estudos serão extremamente relevantes para melhorar nossa capacidade de prever efeitos futuros da perda de diversidade (especialmente predadores) sobre o funcionamento ecossistêmico.

## **Conclusão**

Mostramos que predadores favorecem a supressão de pragas e produtividade de cultivos em agroecossistemas. Demonstramos também que o efeito de predadores na supressão de pragas e produtividade depende de fatores bióticos, como a diversidade de predadores e seus grupos biológicos e abióticos, como a sazonalidade da precipitação. Desse modo, com a intensificação da perda de predadores demonstrada em diversos ecossistemas naturais e agroecossistemas (*trophic downgrading*: Estes et al., 2011), é possível que ocorra o enfraquecimento do controle biológico, interferindo assim na capacidade de produção agrícola (see, e.g., Classen et al, 2014; Rodríguez-San Pedro et al., 2020). Uma vez que o controle

biológico pode influenciar na produtividade de cultivos alimentícios, é fundamental que existam ações focadas na conservação de predadores de topos a fim de garantir a segurança alimentar (Bommarco, Vico e Hallin, 2018). Assim, uma vez que a disponibilidade de água é um importante preditor para a riqueza de aves e artrópodes (Hawkins, Porter e Diniz-Filho, 2003; Prather et al., 2020), e é previsto o aumento da sazonalidade de precipitação (Feng, Porporato e Rodriguez-Iturbe, 2013; Konapala et al., 2020), nós encorajamos mais estudos manipulativos para compreender seu efeito no controle biológico. O biólogo Daniel Janzen (1979, p. 332) escreveu que “Herbívoros são responsáveis pela cafeína no seu café da manhã”, discutindo que as interações entre consumidores e níveis tróficos inferiores têm grande importância ecológica e evolutiva. De maneira semelhante, nosso estudo adiciona que herbívoros e predadores podem ser responsáveis pela cafeína no café da manhã, mas também a capacidade de reduzir pragas e aumentar produtividade dependem de fatores bióticos e abióticos.

## Referências

- Allan, B. J. M., Domenici, P., Munday, P. L., & McCormick, M. I. (2015). Feeling the heat: The effect of acute temperature changes on predator–prey interactions in coral reef fish. *Conservation Physiology*, 3(1), cov011. <https://doi.org/10.1093/conphys/cov011>
- Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N. M., Tschumi, M., Blaauw, B. R., Bommarco, R., Campbell, A. J., Dainese, M., Drummond, F. A., Entling, M. H., Ganser, D., Arjen de Groot, G., Goulson, D., Grab, H., Hamilton, H., Herzog, F., Isaacs, R., Jacot, K., Jeanneret, P., ... Sutter, L. (2020). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: A quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23(10), 1488–1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- Amundrud, S. L., & Srivastava, D. S. (2016). Trophic interactions determine the effects of drought on an aquatic ecosystem. *Ecology*, 97(6), 1475–1483. <https://doi.org/10.1890/15-1638.1>

- Arim, M., & Marquet, P. A. (2004). Intraguild predation: A widespread interaction related to species biology: Intraguild predation. *Ecology Letters*, 7(7), 557–564. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00613.x>
- Barton, B. T., Beckerman, A. P., & Schmitz, O. J. (2009). Climate warming strengthens indirect interactions in an old-field food web. *Ecology*, 90(9), 2346–2351. <https://doi.org/10.1890/08-2254.1>
- Barton, B. T., & Schmitz, O. J. (2018). Opposite effects of daytime and nighttime warming on top-down control of plant diversity. *Ecology*, 99(1), 13–20. <https://doi.org/10.1002/ecy.2062>
- Birkhofer, K., & Wolters, V. (2012). The global relationship between climate, net primary production and the diet of spiders: Global patterns of spider diets. *Global Ecology and Biogeography*, 21(2), 100–108. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00654.x>
- Bommarco, R., Vico, G., & Hallin, S. (2018). Exploiting ecosystem services in agriculture for increased food security. *Global Food Security*, 17, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.04.001>
- Classen, A., Peters, M. K., Ferger, S. W., Helbig-Bonitz, M., Schmack, J. M., Maassen, G., Schleuning, M., Kalko, E. K. V., Böhning-Gaese, K., & Steffan-Dewenter, I. (2014). Complementary ecosystem services provided by pest predators and pollinators increase quantity and quality of coffee yields. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1779), 20133148. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3148>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Díaz-Sieffer, P., Olmos-Moya, N., Fontúrbel, F. E., Lavandero, B., Pozo, R. A., & Celis-Diez, J. L. (2021). Bird-mediated effects of pest control services on crop productivity: A global synthesis. *Journal of Pest Science*. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01438-4>
- Diehl, E., Sereda, E., Wolters, V., & Birkhofer, K. (2013). Effects of predator specialization, host plant and climate on biological control of aphids by natural enemies: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 50(1), 262–270. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12032>
- Douglass, J. G., Duffy, J. E., & Bruno, J. F. (2008). Herbivore and predator diversity interactively affect ecosystem properties in an experimental marine community: Interacting changes in predator and prey diversity. *Ecology Letters*, 11(6), 598–608. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01175.x>
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2), 455–463. <https://doi.org/10.1111/j.0006-341X.2000.00455.x>

Egger, M., Smith, G. D., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ*, 315(7109), 629–634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>

Estes, J. A., Terborgh, J., Brashares, J. S., Power, M. E., Berger, J., Bond, W. J., Carpenter, S. R., Essington, T. E., Holt, R. D., Jackson, J. B. C., Marquis, R. J., Oksanen, L., Oksanen, T., Paine, R. T., Pickett, E. K., Ripple, W. J., Sandin, S. A., Scheffer, M., Schoener, T. W., ... Wardle, D. A. (2011). Trophic downgrading of planet earth. *Science*, 333(6040), 301–306. <https://doi.org/10.1126/science.1205106>

Feng, X., Porporato, A., & Rodriguez-Iturbe, I. (2013). Changes in rainfall seasonality in the tropics. *Nature Climate Change*, 3(9), 811–815. <https://doi.org/10.1038/nclimate1907>

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Finke, D. L., & Denno, R. F. (2005). Predator diversity and the functioning of ecosystems: The role of intraguild predation in dampening trophic cascades. *Ecology Letters*, 8(12), 1299–1306. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00832.x>

Gagnon, A.-È., Heimpel, G. E., & Brodeur, J. (2011). The ubiquity of intraguild predation among predatory arthropods. *PLoS ONE*, 6(11), e28061. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028061>

Gareau, T. L. P., Letourneau, D. K., & Shennan, C. (2013). Relative densities of natural enemy and pest insects within California hedgerows. *Environmental Entomology*, 42(4), 688–702. <https://doi.org/10.1603/EN12317>

Griffin, J. N., Byrnes, J. E. K., & Cardinale, B. J. (2013). Effects of predator richness on prey suppression: A meta-analysis. *Ecology*, 94(10), 2180–2187. <https://doi.org/10.1890/13-0179.1>

Hamann, E., Blevins, C., Franks, S. J., Jameel, M. I., & Anderson, J. T. (2021). Climate change alters plant–herbivore interactions. *New Phytologist*, 229(4), 1894–1910. <https://doi.org/10.1111/nph.17036>

Hawkins, B. A., Porter, E. E., & Felizola Diniz-Filho, J. A. (2003). Productivity and history as predictors of the latitudinal diversity gradient of terrestrial birds. *Ecology*, 84(6), 1608–1623. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[1608:PAHAPO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[1608:PAHAPO]2.0.CO;2)

Hedges, L. V. (1983). A random effects model for effect sizes. *Psychological Bulletin*, 93(2), 388–395. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.93.2.388>

- Hedges, L. V., & Vevea, J. L. (1996). Estimating effect size under publication bias: Small sample properties and robustness of a random effects selection model. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 21(4), 299. <https://doi.org/10.2307/1165338>
- Jamieson, M. A., Trowbridge, A. M., Raffa, K. F., & Lindroth, R. L. (2012). Consequences of Climate Warming and Altered Precipitation Patterns for Plant-Insect and Multitrophic Interactions. *Plant Physiology*, 160(4), 1719–1727. <https://doi.org/10.1104/pp.112.206524>
- Janssen, A., Montserrat, M., HilleRisLambers, R., Roos, A. M. de, Pallini, A., & Sabelis, M. W. (2006). Intraguild Predation Usually does not Disrupt Biological Control. In J. Brodeur & G. Boivin (Eds.), *Trophic and Guild in Biological Interactions Control* (p. 21–44). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4767-3\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-4767-3_2)
- Janzen, D. H. (1979). New horizons in the biology of plant defenses, in: *Herbivores: Their Interaction with Secondary Plant Metabolites* (G. A. Rosenthal and D. H. Janzen, eds.), pp. 331–350, New York: Academic Press.
- Konapala, G., Mishra, A. K., Wada, Y., & Mann, M. E. (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature Communications*, 11(1), 3044. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16757-w>
- Lajeunesse, M. J. (2021). juicr: Automated and Manual Extraction of Numerical Data from Scientific Images (0.1) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=juicr>
- Letourneau, D. K., Jedlicka, J. A., Bothwell, S. G., & Moreno, C. R. (2009). Effects of Natural Enemy Biodiversity on the Suppression of Arthropod Herbivores in Terrestrial Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 573–592. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120320>
- Marino, N. dos A. C., Romero, G. Q., & Farjalla, V. F. (2018). Geographical and experimental contexts modulate the effect of warming on top-down control: A meta-analysis. *Ecology Letters*, 21(3), 455–466. <https://doi.org/10.1111/ele.12913>
- Matysioková, B., & Remeš, V. (2022). Stronger negative species interactions in the tropics supported by a global analysis of nest predation in songbirds. *Journal of Biogeography*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/jbi.14321>.
- Michalko, R., Pekár, S., Dul'a, M., & Entling, M. H. (2019). Global patterns in the biocontrol efficacy of spiders: A meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 28(9), 1366–1378. <https://doi.org/10.1111/geb.12927>
- Michalko, R., Pekár, S., & Entling, M. H. (2019). An updated perspective on spiders as generalist predators in biological control. *Oecologia*, 189(1), 21–36. <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4313-1>

Montserrat, M., Sahún, R. M., & Guzmán, C. (2013). Can climate change jeopardize predator control of invasive herbivore species? A case study in avocado agro-ecosystems in Spain. *Experimental and Applied Acarology*, 59(1–2), 27–42. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9560-y>

Morandin, L. A., Long, R. F., & Kremen, C. (2014). Hedgerows enhance beneficial insects on adjacent tomato fields in an intensive agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 189, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.030>

Oerke, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

Pimentel, D., Cerasale, D., Stanley, R. C., Perlman, R., Newman, E. M., Brent, L. C., Mullan, A., & Chang, D. T.-I. (2012). Annual vs. Perennial grain production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 161, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.025>

Prather, R. M., Castillioni, K., Welti, E. A. R., Kaspari, M., & Souza, L. (2020). Abiotic factors and plant biomass, not plant diversity, strongly shape grassland arthropods under drought conditions. *Ecology*, 101(6). <https://doi.org/10.1002/ecy.3033>

Rand, T. A., Waters, D. K., Srygley, R. B., & Branson, D. H. (2020). Tri-trophic interactions are resilient to large shifts in precipitation levels in a wheat agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 106981. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106981>

Rodríguez-Castañeda, G. (2013). The world and its shades of green: A meta-analysis on trophic cascades across temperature and precipitation gradients: Trophic interactions across gradients. *Global Ecology and Biogeography*, 22(1), 118–130. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2012.00795.x>

Rodríguez-San Pedro, A., Allendes, J. L., Beltrán, C. A., Chaperon, P. N., Saldarriaga-Córdoba, M. M., Silva, A. X., & Grez, A. A. (2020). Quantifying ecological and economic value of pest control services provided by bats in a vineyard landscape of central Chile. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 302, 107063. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107063>

Romero, G. Q., Gonçalves-Souza, T., Kratina, P., Marino, N. A. C., Petry, W. K., Sobral-Souza, T., & Roslin, T. (2018). Global predation pressure redistribution under future climate change. *Nature Climate Change*, 8(12), 1087–1091. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0347-y>

Santos, C. M. da C., Pimenta, C. A. de M., & Nobre, M. R. C. (2007). The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 15(3), 508–511. <https://doi.org/10.1590/S0104-11692007000300023>

- Stacey, D. (2003). Climate and biological control in organic crops. *International Journal of Pest Management*, 49(3), 205–214. <https://doi.org/10.1080/0967087031000085042>
- Stenberg, J. A., Sundh, I., Becher, P. G., Björkman, C., Dubey, M., Egan, P. A., Friberg, H., Gil, J. F., Jensen, D. F., Jonsson, M., Karlsson, M., Khalil, S., Ninkovic, V., Rehmann, G., Vetukuri, R. R., & Viketoft, M. (2021). When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. *Journal of Pest Science*, 94(3), 665–676. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01354-7>
- Stiling, P., & Cornelissen, T. (2005). What makes a successful biocontrol agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological Control*, 34(3), 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.02.017>
- Straub, C. S., Finke, D. L., & Snyder, W. E. (2008). Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biological Control*, 45(2), 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.05.013>
- Straub, C. S., & Snyder, W. E. (2006). Species identity dominates the relationship between predator biodiversity and herbivore suppression. *Ecology*, 87(2), 277–282. <https://doi.org/10.1890/05-0599>
- Terraube, J., Villers, A., Poudré, L., Varjonen, R., & Korpimäki, E. (2017). Increased autumn rainfall disrupts predator–prey interactions in fragmented boreal forests. *Global Change Biology*, 23(4), 1361–1373. <https://doi.org/10.1111/gcb.13408>
- Trzcinski, M. K., Srivastava, D. S., Corbara, B., Dézerald, O., Leroy, C., Carrias, J.-F., Dejean, A., & Céréghino, R. (2016). The effects of food web structure on ecosystem function exceeds those of precipitation. *Journal of Animal Ecology*, 85(5), 1147–1160. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12538>
- Vance-Chalcraft, H. D., Rosenheim, J. A., Vonesh, J. R., Osenberg, C. W., & Sih, A. (2007). THE INFLUENCE OF INTRAGUILD PREDATION ON PREY SUPPRESSION AND PREY RELEASE: A META-ANALYSIS. *Ecology*, 88(11), 2689–2696. <https://doi.org/10.1890/06-1869.1>
- Viechtbauer, W. (2010). Conducting Meta-Analyses in R with the metafor Package. *Journal of Statistical Software*, 36(3). <https://doi.org/10.18637/jss.v036.i03>
- Vico, G., & Brunsell, N. A. (2018). Tradeoffs between water requirements and yield stability in annual vs. Perennial crops. *Advances in Water Resources*, 112, 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.12.014>

Wang, Y.-J., Nakazawa, T., & Ho, C.-K. (2017). Warming impact on herbivore population composition affects top-down control by predators. *Scientific Reports*, 7(1), 941. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01155-y>

Welch, K. D., & Harwood, J. D. (2014). Temporal dynamics of natural enemy–pest interactions in a changing environment. *Biological Control*, 75, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.01.004>

## Legendas das figuras

Figura 1: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por grupos de predadores sobre a supressão de pragas. Valores de Hedges’*d* negativos representam maior supressão de pragas. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

Figura 2: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por grupos/diversidade de predadores sobre a supressão de pragas. Valores de Hedges’*d* negativos representam maior supressão de pragas. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras representam o intervalo de confiança, as que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

Figura 3: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por grupo de predadores sobre a produtividade. Valores de Hedges’*d* negativos representam maior produtividade. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras representam o intervalo de confiança, as que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

Figura 4: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por estabilidade de cultivos sobre a supressão de pragas. Valores de Hedges’*d* negativos representam maior supressão de pragas. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras representam o intervalo de confiança, as que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

Figura 5: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por estabilidade de cultivos sobre a produtividade. Valores de Hedges’*d* negativos representam maior produtividade. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras representam o intervalo de confiança, as que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

Figura 6: Relação entre a Sazonalidade da Precipitação e o tamanho de efeito dos predadores na supressão de pragas. Valores de Hedges'd negativos representam maior produtividade. Os pontos que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito não significativos. O tamanho dos pontos representa a robustez do tamanho de efeito (inverso da variância).

Figura 7a: Os pontos pretos representam os tamanhos de efeito na produtividade de cada estudo. Pontos que estão dentro da faixa branca tem valor de p maior que 0.1; na faixa cinza escuro (ao lado da branca) entre 0.10 e 0.05; na faixa cinza claro entre 0.05 e 0.01 e para fora do funil o valor de p é menor que 0.01.

Figura 7b: Os pontos pretos representam os tamanhos de efeito na supressão de pragas de cada estudo. Pontos que estão dentro da faixa branca tem valor de p maior que 0.1; na faixa cinza escuro (ao lado da branca) entre 0.10 e 0.05; na faixa cinza claro entre 0.05 e 0.01 e para fora do funil o valor de p é menor que 0.01.

fig.1

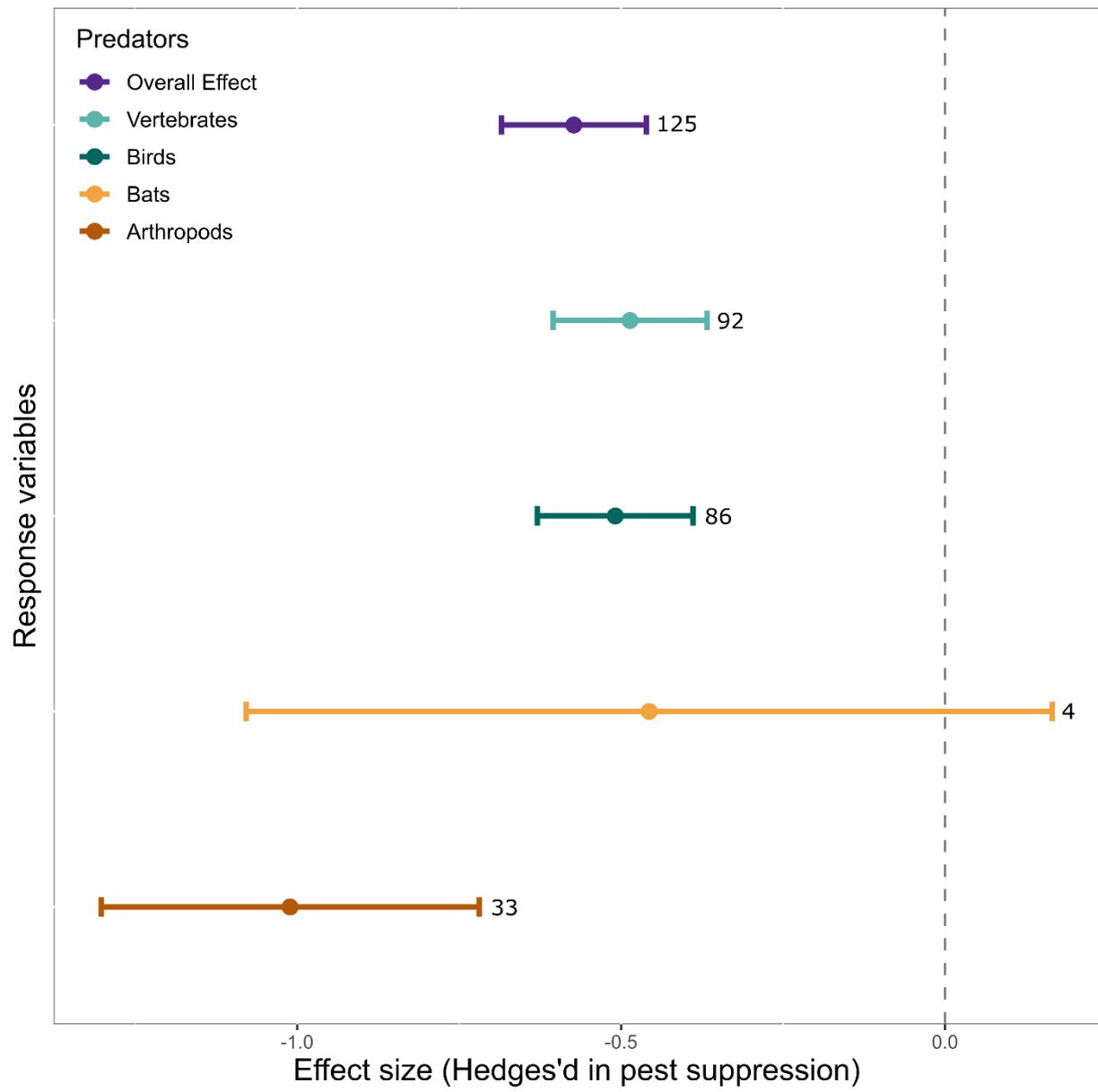


fig.2

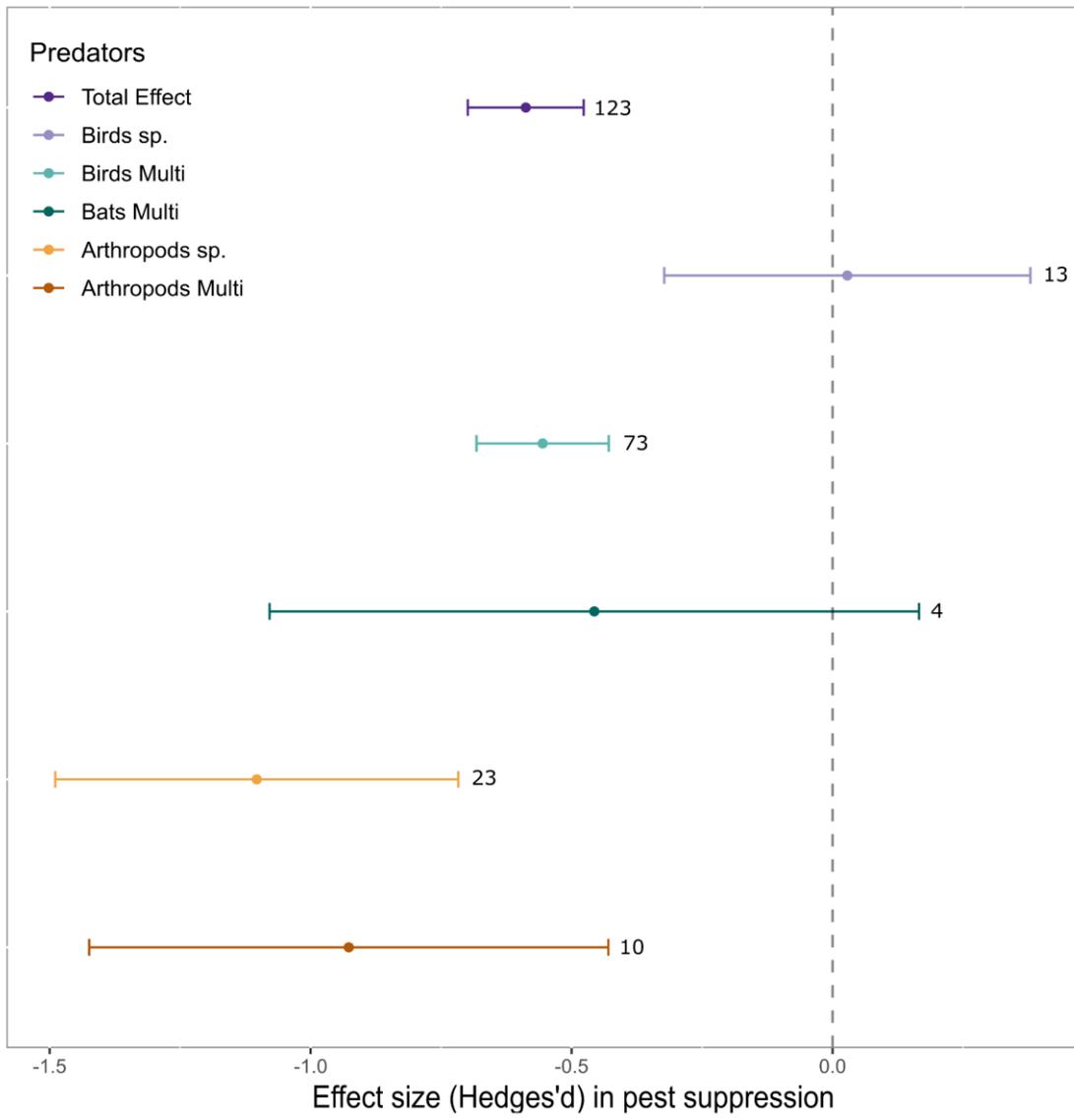


fig.3

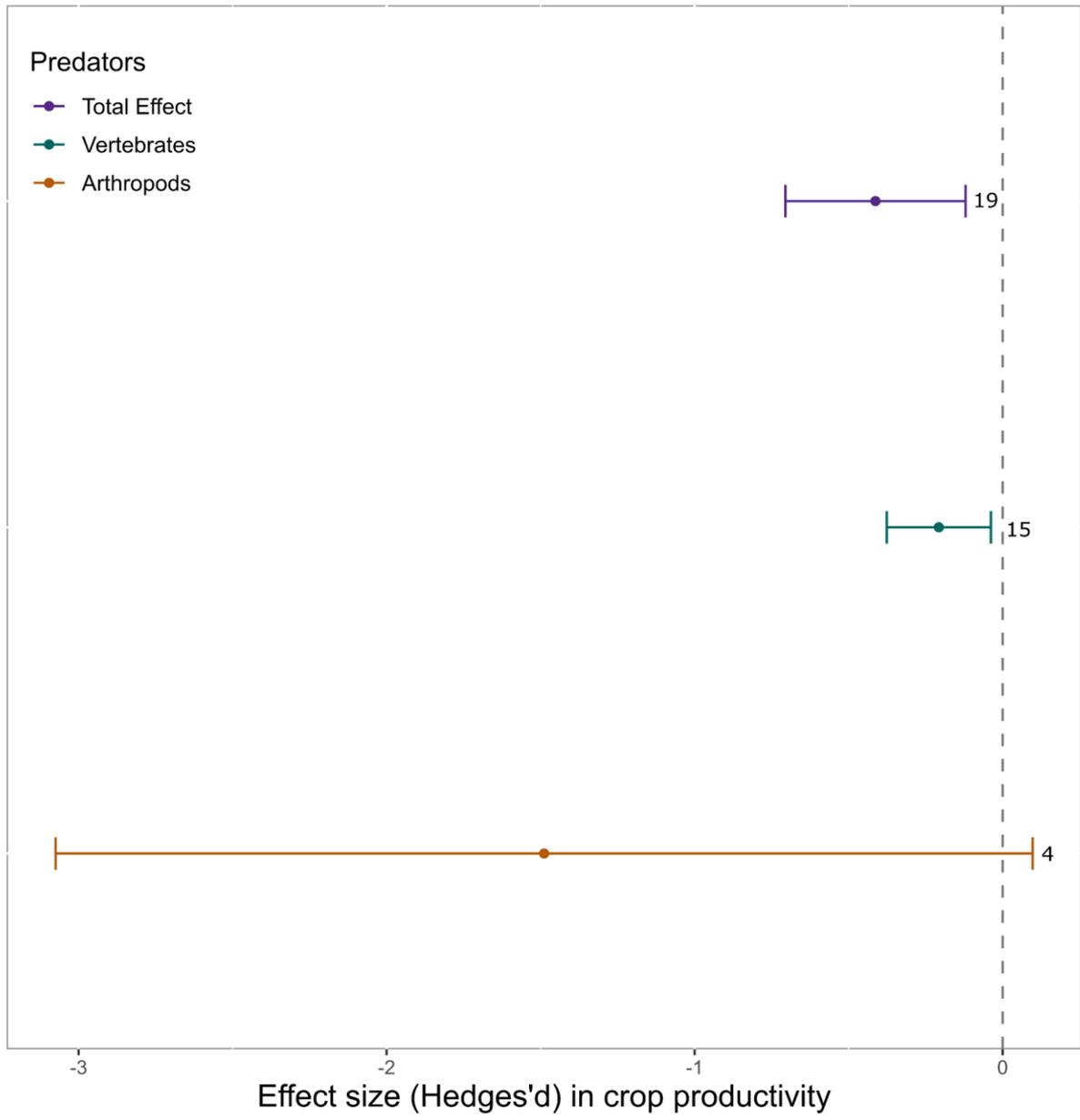


fig.4

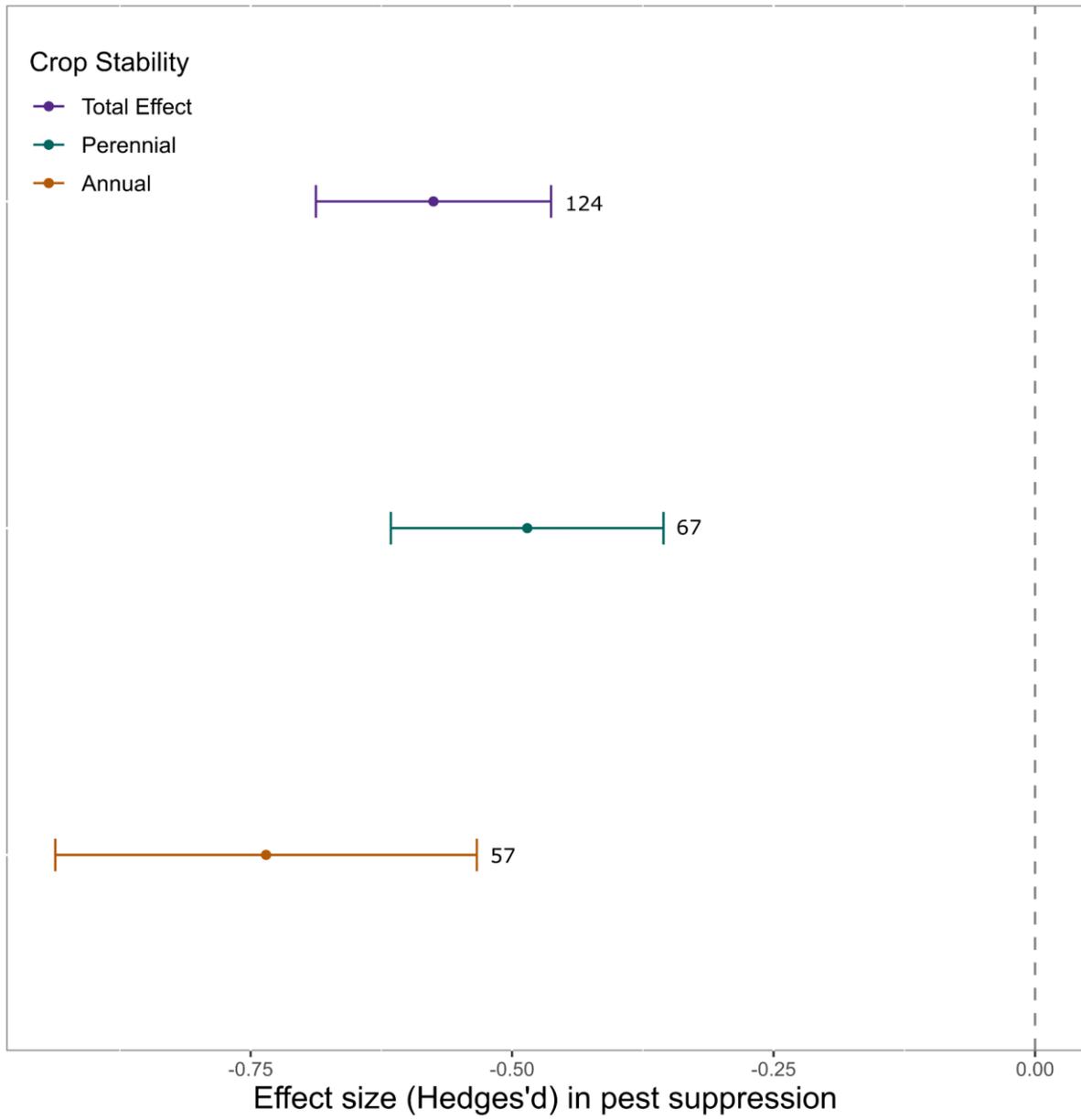


fig.5

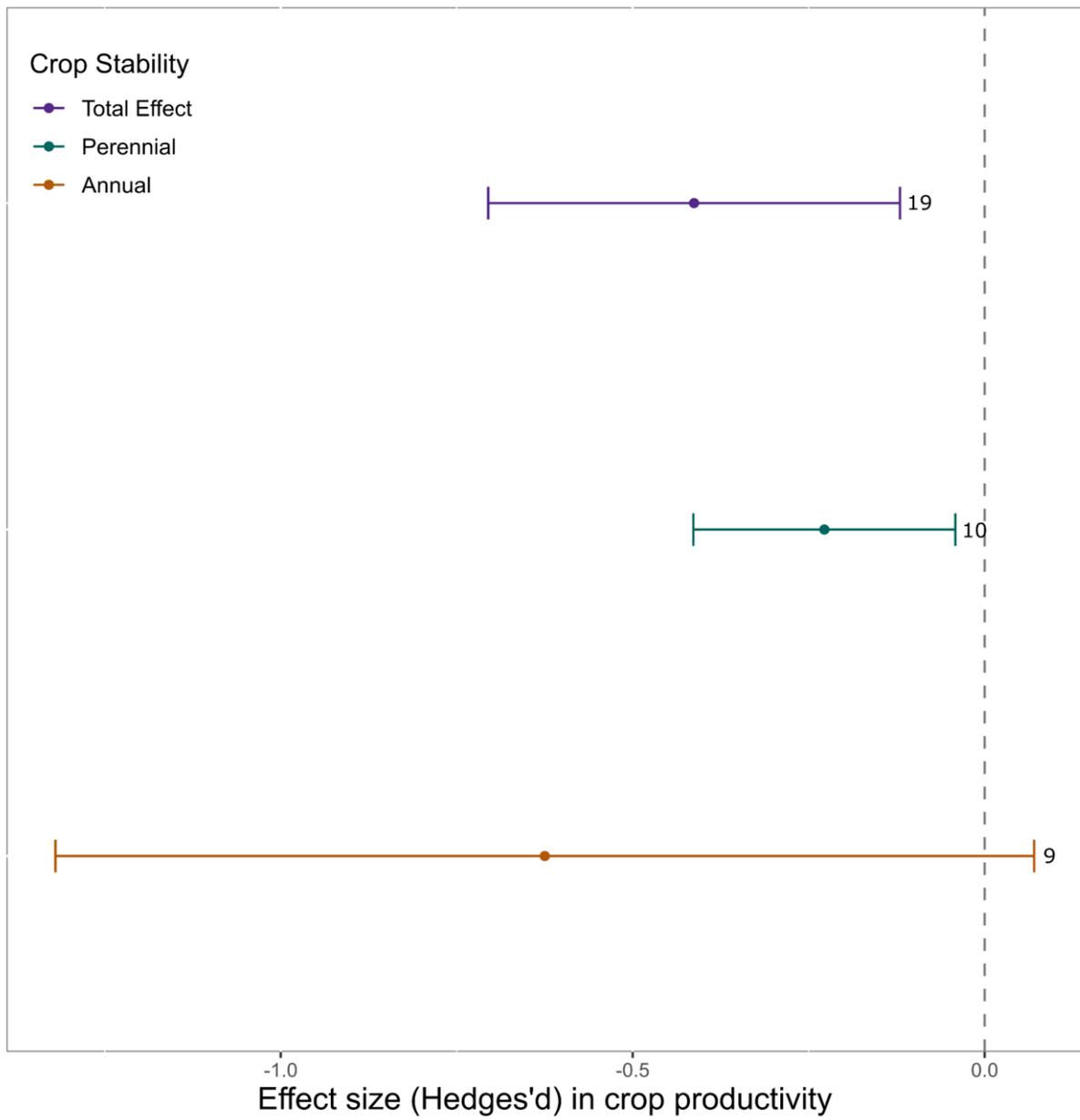


fig.6

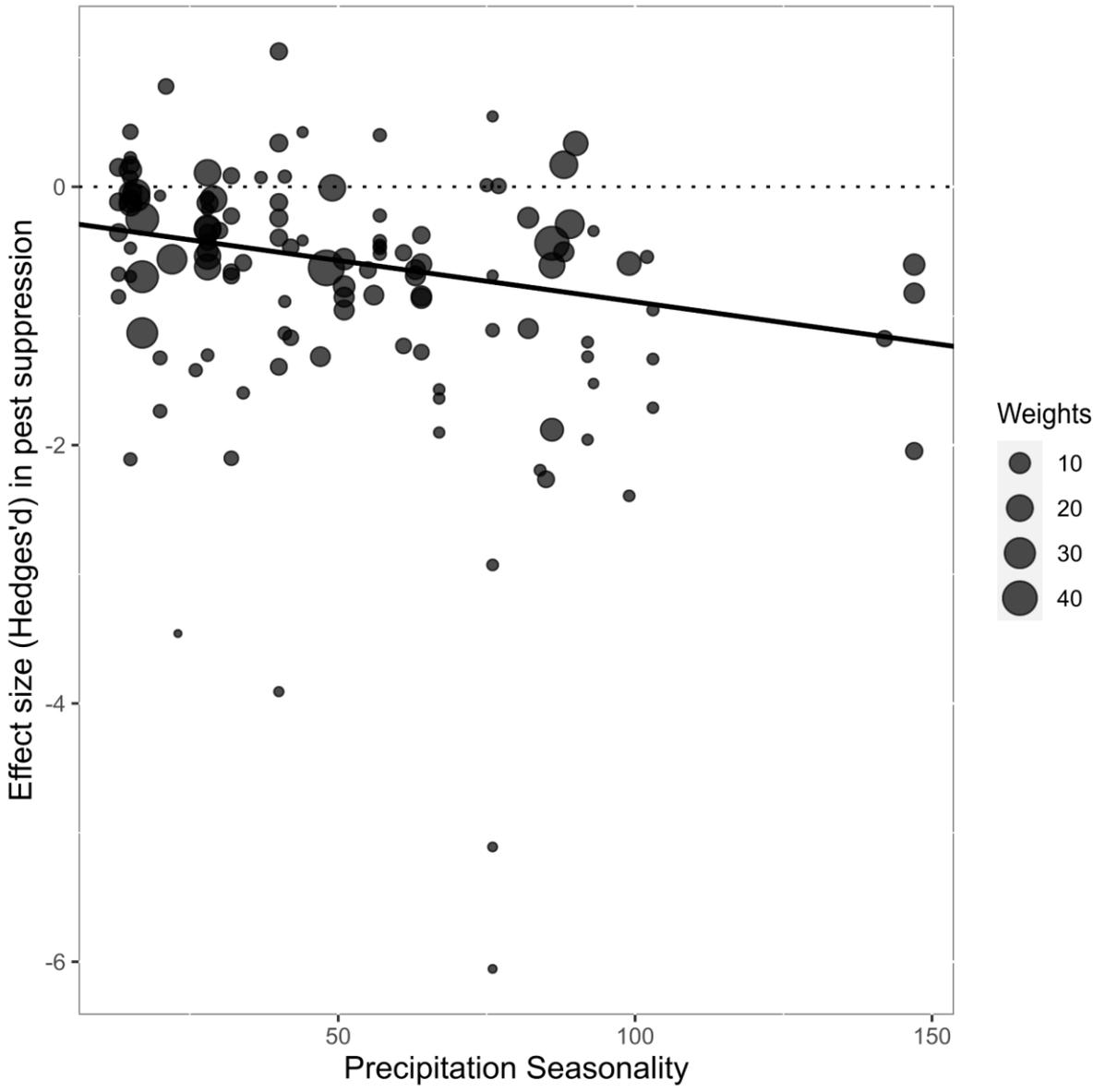


fig.7a

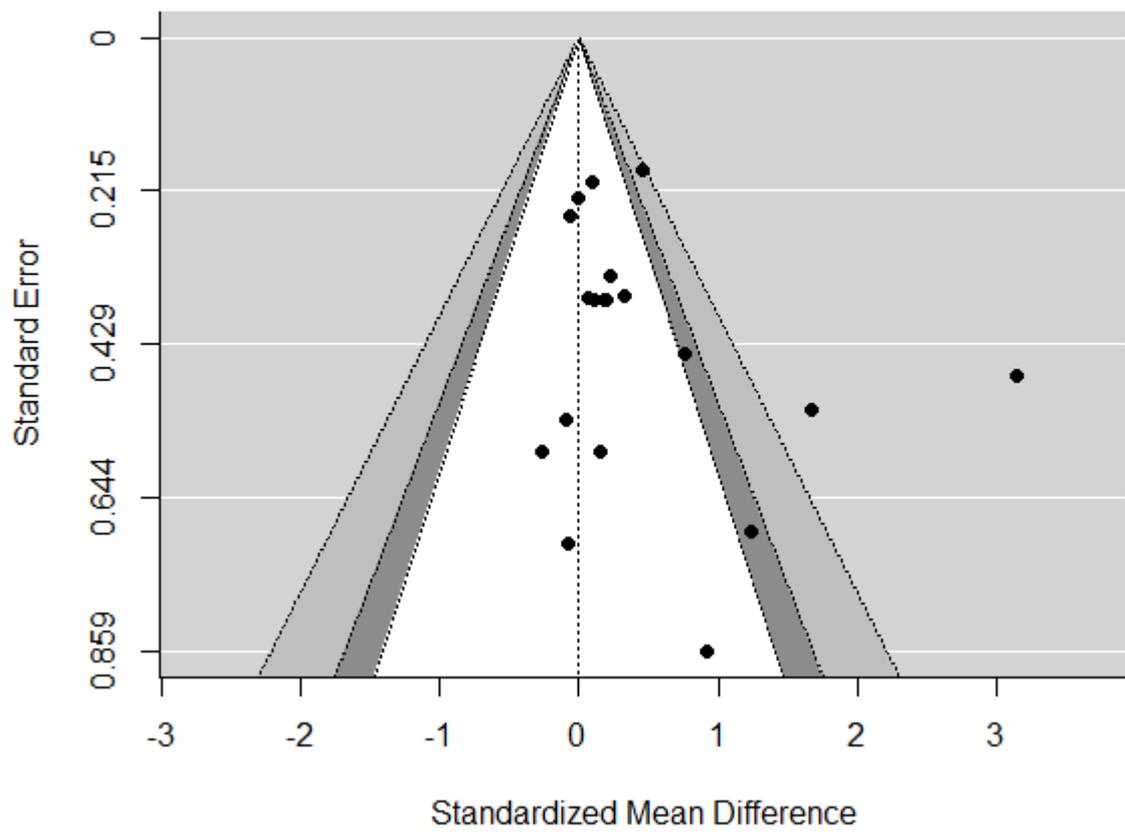
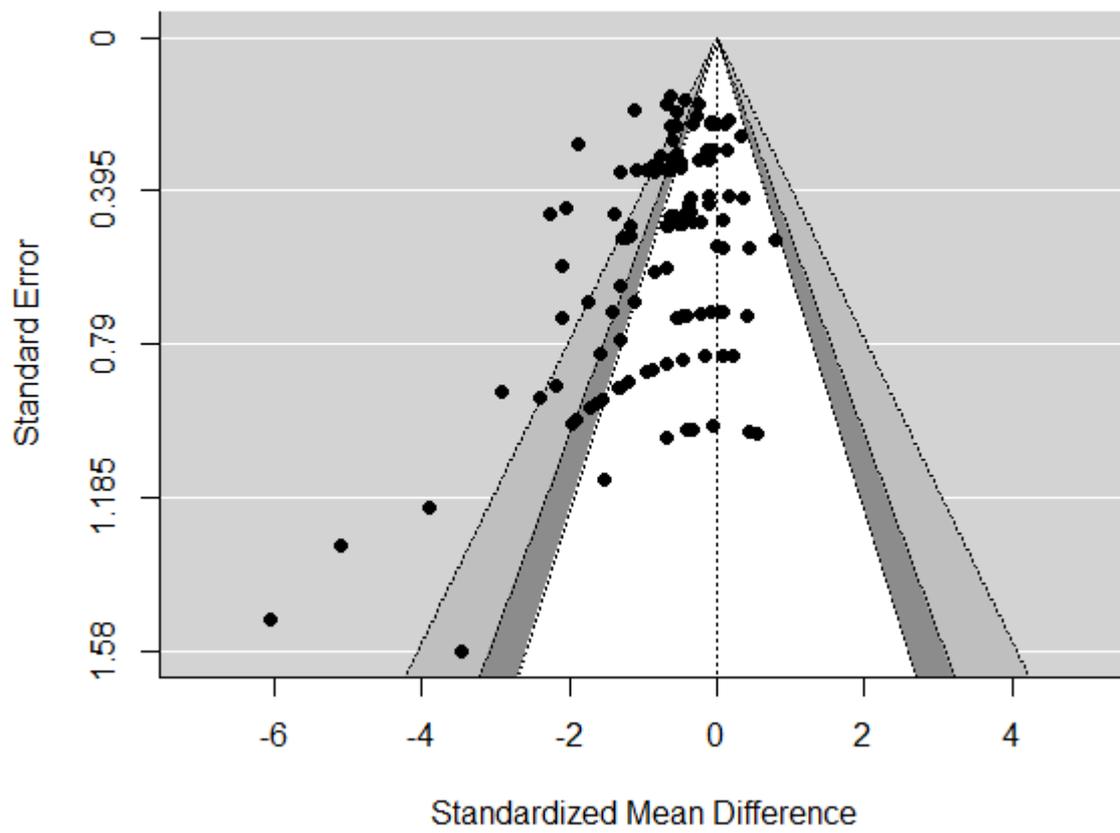


fig.7b



### Capítulo 3

## **Considerações finais**

Nossos resultados apontam que predadores são eficientes para a supressão de pragas e assim, são benéficos a produtividade dos cultivos. Todavia, esse efeito depende de fatores bióticos e abióticos. A diversidade de predadores foi positiva para a supressão de pragas, ou seja, aparentemente a complementaridade de nicho favoreceu o controle biológico. Além disso, a estabilidade do cultivo, também modulou o efeito dos predadores, uma vez que a produtividade foi maior em cultivos perenes, indicando que esses cultivos são benéficos para a ação dos predadores. Por último, o efeito de predadores na supressão de pragas foi maior em locais com maior sazonalidade da precipitação, o que indica que a maior variabilidade do regime de chuva nesses locais é positiva para o controle biológico.

Dessa forma, podemos concluir que nossos resultados apontam que a perda de predadores nos cultivos pode prejudicar não só a supressão das pragas, como também a produtividade, afetando diretamente os sistemas de produção alimentícias. Além disso, mostramos que a efetividade do controle biológico é contexto-dependente. Portanto, são necessárias ações para a conservação de predadores de topo, assim como mais avaliações de outros fatores bióticos e abióticos que possam afetar o controle biológico.