



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

O papel do marsupial *Gracilinanus agilis* (Burmeister, 1854) como predador da principal praga da soja no Cerrado brasileiro

Guilherme Gonçalves dos Reis

Orientador: Prof. Dr. Emerson Monteiro Vieira

Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Brasília – DF

Março de 2019

Agradecimentos

Ao Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia por ceder a oportunidade e a infraestrutura para desempenhar o meu projeto de pesquisa.

Às agências de fomento Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal (FAP/DF) pelo auxílio da bolsa remunerada e pelo financiamento do projeto de pesquisa, respectivamente.

À equipe da Fazenda Água Limpa, Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília e à propriedade rural Rancho do Vovô, que me concederam a permissão necessária para realizar amostragens de pequenos mamíferos em seus domínios.

Ao Prof. Dr. Emerson Monteiro Vieira pela orientação e pela paciência.

Aos membros da banca por disponibilizarem seu tempo para contribuir neste trabalho.

À toda equipe do laboratório de Ecologia de Vertebrados pelos conselhos, pelas ajudas e pelos ensinamentos que me foram concedidos, em especial ao Dr. Nícolas Ferreira de Camargo, que me auxiliou em grande parte do desenvolvimento desse projeto.

À Prof. Dra. Gabriela Bielefeld Nardoto e a toda equipe de seu laboratório, pela parceria na pesquisa, pelos ensinamentos e pela disponibilização de seu espaço.

Ao Dr. Raúl Laumann por criar e ceder os percevejos marrons, que foram fundamentais para o desenvolvimento desse estudo.

Às pessoas que me ajudaram em campo, nas análises estatísticas e nas ideias de como conduzir esse estudo da melhor maneira possível.

Aos colegas de mestrado e doutorado que compartilharam seus momentos de dificuldades, de sucessos e de descontrações, aos quais sou muito grato por toda a força e pelo carinho que sempre transmitiram a mim.

À minha família, em especial a minha tia Marta Morais Gomes, de quem tanto sinto falta e que nos foi tirada de forma precoce vítima do câncer. Dedico essa conquista especialmente a ela!

E a você: que nesse momento dedica seu tempo para ler essa pesquisa.

Meu muito obrigado!

Sumário	
Resumo	1
Abstract	2
Introdução	3
Material e métodos	7
<i>Área de estudo</i>	7
<i>Espécies estudadas</i>	12
<i>Captura de G. agilis, E. heros e análise de fezes</i>	13
<i>Análise isotópica</i>	15
<i>Valoração do serviço ecossistêmico</i>	17
<i>Potencial de predação de G. agilis</i>	17
<i>Densidade de G. agilis</i>	17
<i>Estimativas do serviço prestado de G. agilis</i>	18
Resultados	20
<i>Análise isotópica</i>	21
<i>Distância x predação de E. heros</i>	22
<i>Valoração do serviço ecossistêmico de G. agilis</i>	22
Discussão	28
Referências	32
Material Suplementar	44

Resumo

A criação de pastos e plantações para abastecimento da população mundial tem levado a uma perda significativa da vegetação natural e conseqüente perda das funções ecossistêmicas. Tendo a produção de soja como principal atividade agrícola no Brasil e sabendo-se que essa é atacada por diversas pragas, soluções sustentáveis que visem controlar as pragas agrícolas são altamente desejáveis, especialmente àquelas que gerem um menor custo aos agricultores. No presente estudo, investiguei a interação entre a principal praga da soja, o percevejo marrom (*Euschistus heros*), com a comunidade de pequenos mamíferos predadores em florestas nativas do Cerrado, com ênfase na espécie mais abundante dessas áreas, o marsupial *Gracilinanus agilis*. Eu avaliei a possível dispersão do inseto para áreas naturais próximas a uma plantação de soja e se a distância entre a plantação e essas áreas naturais influencia na intensidade de predação do inseto por *G. agilis*. Constatei a presença de fragmentos de percevejo marrom nas fezes de três espécies de pequenos mamíferos nativos, dois roedores (*Cerradomys scotti* e *Rhipidomys macrurus*) e um marsupial (*G. agilis*), sendo que *E. heros* foi bem mais frequente nas fezes desse último. Eu obtive uma alta sobreposição dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ entre três grupos de percevejos distintos: os obtidos das fezes de *G. agilis* nas florestas naturais após a colheita da soja, os capturados na plantação de soja e os percevejos criados em laboratório alimentados exclusivamente dessa leguminosa. Esse padrão indica que os percevejos marrons predados por *G. agilis* dispersaram da soja para áreas naturais. Adicionalmente, o consumo da praga agrícola por *G. agilis* em florestas nativas foi inversamente relacionado à distância da plantação de soja, mas essa relação foi significativa somente no período de entressafra, quando não há mais soja disponível na área de cultivo. Isso sugere a dispersão dessa praga em busca de abrigo e alimento na ausência do recurso preferido (soja). O potencial de *G. agilis* na predação de *E. heros* (101,8 percevejos/noite, avaliado com animais em cativeiro) e o valor potencial que este pode representar em termos de gastos para os agricultores deve ser considerado para ações de manejo. Portanto, a conservação de áreas naturais próximas às plantações representa um aumento da predação da população de *E. heros* que sobrevive no período de entressafra, acarretando em uma menor utilização potencial de pesticidas e redução da contaminação do solo e dos alimentos.

Palavras-chave: dispersão, *Euschistus heros*, regulação, serviço ecossistêmico, soja

Abstract

The establishment of pastures and plantations for feeding the world population has led to a significant loss of natural vegetation and consequent loss of ecosystem functions. With the soybean production as the main agricultural activity in Brazil and knowing that this legume is attacked by several pests, sustainable solutions for controlling the agricultural pests are highly demanded, especially those that generate a lower cost to farmers. In the present study, I investigated the interaction between the main soybean pest, the brown stink bug (*Euschistus heros*), and the small mammal community from native forests of the Brazilian savanna (locally known as Cerrado), with emphasis on the most abundant small mammal in these areas, the marsupial *Gracilinanus agilis*. I evaluated the possible dispersal of the insect to natural areas close to a soybean plantation and whether the distance between the plantation and these natural areas influences the intensity of predation upon this insect by *G. agilis*. I recorded fragments of the brown stink bug in the feces of three species of native small mammals, two rodents (*Cerradomys scotti* and *Rhipidomys macrurus*) and one marsupial (*G. agilis*), with *E. heros* being much more frequent in the feces of the latter. I obtained a high overlap of $\delta^{15}\text{N}$ isotopic values considering brown stink bugs from three distinct sources: those collected from the feces of *G. agilis* individuals living in the natural forests, those captured in soybean plantation, and brown stink bugs reared in laboratory fed exclusively with soybean. This pattern indicates that brown stink bugs preyed by *G. agilis* dispersed from soybean plantation to natural areas. In addition, pest consumption by *G. agilis* in natural forest areas was inversely related to distance from the soybean plantation, but this relationship was significant only in the dry season, when there is no soybean available in the area of cultivation. This pattern suggests a dispersion of these pests in search of shelter and food in the absence of its preferred resource (soybean). The potential of *G. agilis* as predator of *E. heros* (101.8 brown stink bugs/night, evaluated with animals in captivity) and the potential value that this may represent in terms of cost reduction for farmers should be considered for management actions. Therefore, the conservation of natural areas close to the plantations represents an increase in the predation of the *E. heros* population that survives in the off-season period, resulting in a potential lower use of pesticides and a reduction in soil and food contamination.

Key-words: dispersion, ecosystem service, *Euschistus heros*, regulation, soybean

Introdução

Uma das principais atividades antrópicas que afetam negativamente a biodiversidade atualmente é a conversão de habitats naturais em pastagens e plantações, que têm por objetivo a provisão de bens de consumo para o abastecimento humano e manutenção de criações animais (Brink et al., 1977). Essa conversão, em geral inevitável, causa a redução da diversidade e prejudica uma série de serviços prestados pela biodiversidade, como a dispersão de sementes, polinização e controle biológico (Costanza et al., 1997; Melo et al., 2003; Losey e Vaughan, 2006). A determinação dos serviços ecossistêmicos naturais providos por espécies nativas em ambientes ameaçados é importante para a conservação dessas espécies e para indicar possíveis estratégias de manejo que favoreçam o bem-estar humano.

Aproximadamente 40% de toda a superfície terrestre do planeta foi modificada pelas atividades antrópicas de pastagem e cultivos agrícolas (Foley et al., 2005). Essas atividades se intensificaram na região tropical nas últimas décadas, em especial na América Latina (Fearnside, 2001). No Brasil, o principal ramo de atividade na agricultura é a soja (*Glycine max*, (L.) Merrill), que obteve uma rápida expansão devido ao baixo custo das terras em comparação com a região temperada (Fearnside, 2001). A partir da década de 90 a liberação do mercado ao exterior propiciou um aumento das produções agrícolas na região tropical (Barona et al., 2010), o que fez do Brasil o segundo maior produtor de soja do mundo, com uma produção anual equivalente a 114 milhões de toneladas (Cattelan e Dall’Agnol, 2018). Com isso, a conversão de áreas naturais em cultivos de soja foi intensificada nos biomas brasileiros, principalmente nas regiões de transição Cerrado-Amazônia, ameaçando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Ratter et al., 1997; Fearnside 2001; Cerri et al., 2018).

O Cerrado é considerado um dos 34 “hotspots” do mundo, ou seja, uma das áreas com grande biodiversidade e endemismo que apresentam altas taxas de desmatamento (Mittermeier et al., 2004). Com uma área original de 2 milhões de km² e representando cerca de 25% da área do país (Ratter et al., 1997; Bustamante et al., 2004), mais de 40% desse bioma já foi convertido para diferentes usos da terra (Sano et al., 2019) e apenas 3% de todo o território é protegido por lei (Françoso et al., 2015). Nessa região, o sistema predominante de rotação de cultivos é entre a soja e o milho (Cerri et al., 2018), contudo, para a soja, cerca de 37% de toda a produção mundial é

ameaçada pela ação de pragas agrícolas, como ervas daninhas, patógenos e insetos pragas (Oerke, 2006).

Uma das pragas que se destacam pela capacidade de causar danos às plantações de soja no Cerrado é o percevejo marrom, *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Hemiptera: Pentatomidae), nativo da região neotropical e atualmente considerado a mais importante praga da soja na América do Sul, causando danos na qualidade dos grãos que podem chegar a 30% da safra e representando em muitos casos mais de 80% dos percevejos pragas nas plantações de soja (Nunes e Corrêa-Ferreira, 2002, Panizzi et al., 2012). A expansão da soja na região tropical propiciou também um aumento da distribuição geográfica de insetos que se adaptaram a esse recurso (Panizzi e Slansky, 1985). Por exemplo, além de altamente abundante no Brasil, *E. heros* foi registrado pela primeira vez na Argentina em 2009, sugerindo um aumento de sua amplitude de distribuição geográfica (Panizzi e Slansky, 1985; Saluso et al., 2011).

O uso de pesticidas no intuito de reduzir os danos das pragas agrícolas foi amplamente inserido na agricultura, especialmente a partir da década de 60, atingindo rapidamente uma produção e venda acima de meio bilhão de libras por ano nos Estados Unidos (MacIntyre 1987; Oerke, 2006). Somente nesse país, o gasto anual desses compostos pelos agricultores foi estimado em 4,1 bilhões de dólares, referentes ao uso aproximado de 320 toneladas desses produtos (Pimentel et al., 1991). Desde 2008, o Brasil é considerado o maior consumidor de pesticidas do mundo, com um crescimento de 190% em um período de 10 anos (Rocha e Grisolia, 2018). O uso indiscriminado dessas substâncias causam problemas ambientais severos e danos à saúde humana e, somente na safra de 2011, o uso de agrotóxicos utilizados nas lavouras do Brasil foi de aproximadamente 853 milhões de litros, o que corresponde a uma média de exposição de 4,5 litros de agrotóxicos por habitante (Carneiro et al., 2015).

Para evitar esses danos causados ao ser humano e ao ambiente, uma forma sustentável de reduzir pragas agrícolas é através de serviços ecossistêmicos providos por seus inimigos naturais. Serviços de controle biológico são desempenhados por várias espécies, economizando bilhões de dólares por ano (Costanza et al., 1997; Losey e Vaughan, 2006; Oerke, 2006; Bengtsson, 2015). Essa função ecológica desempenhada por animais pode intensificar os lucros do agricultor devido às melhorias da quantidade e qualidade das safras, além da menor utilização de produtos agrotóxicos, reduzindo os danos causados ao ambiente (Cleveland et al., 2006; Federico et al., 2008). Contudo, devido às mudanças antrópicas da atualidade, estima-se uma perda de serviços

ecossistêmicos que varia de 4,3 a 20,2 trilhões de dólares por ano (Costanza et al., 2014). Dentre essas mudanças, fatores como a perda de hábitat e fragmentação têm impactado negativamente o controle biológico, ocasionando em uma perda de biodiversidade e reduzindo o potencial desse serviço ecossistêmico (Fahrig, 2003).

Diversos são os animais identificados como inimigos naturais de *E. heros*, especialmente insetos parasitoides da família Platygastridae (Panizzi e Corrêa-Ferreira 1997). Esses inimigos naturais podem ser criados e multiplicados para a utilização no controle biológico dessa espécie, auxiliando na regulação das populações da praga (Peres e Corrêa-Ferreira 2004). Vertebrados, como aves e morcegos, também desempenham importantes serviços ecossistêmicos ao reduzir populações de insetos praga em vários sistemas de cultivo (Tremblay et al., 2001; Cleveland et al., 2006; Jones e Sieving, 2006). Por exemplo, o pequeno marsupial *Gracilinanus agilis* (Burmeister, 1854) (Didelphimorphia: Didelphidae) é um predador do percevejo marrom em áreas naturais de cerradão, embora a ocorrência desse inseto nas fezes desse mamífero ocorra principalmente no período de entressafra (Camargo et al., 2014). Isso sugere que *E. heros* se dispersa da plantação de soja para áreas naturais no período em que esse recurso não está mais disponível, conforme é apontado por poucos estudos que avaliaram o padrão de ocorrência desse inseto na região sul do país (Panizzi e Rossi, 1991; Panizzi e Niva, 1994; Panizzi e Vivan, 1997). Porém, o conhecimento sobre o que ocorre com *E. heros* após a colheita do seu principal recurso (soja) em ambientes naturais, especialmente no Cerrado, ainda é limitado.

A identificação dos processos de deslocamento das populações de insetos pragas de plantações é importante para se determinar ações de manejo que visem reduzir e controlar essas populações. Por meio da análise de isótopos estáveis (SIA, *Stable Isotopes Analysis*) é possível inferir se a origem dos indivíduos de *E. heros* encontrados em florestas naturais é proveniente de plantações de soja. Isso porque a análise isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) e do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) fornecem informações relevantes sobre a dieta dos animais. Por exemplo, o $\delta^{15}\text{N}$ é comumente utilizado para inferir a posição trófica dos organismos, uma vez que existe um enriquecimento de aproximadamente 3‰ (três por mil) entre a fonte alimentar e o consumidor (DeNiro e Epstein, 1981; Minagawa e Wada, 1984; Zanden et al., 1997). Já o $\delta^{13}\text{C}$ é utilizado para inferir se a origem do recurso assimilado é proveniente de plantas C_3 ou C_4 , uma vez que plantas do grupo fotossintético C_4 discriminam diferencialmente os isótopos do CO_2 na fotossíntese

($\delta^{13}\text{C}$: -11 a -15‰) quando comparadas às plantas C3 ($\delta^{13}\text{C}$: -24 a -33‰) (DeNiro e Epstein, 1978).

A avaliação em conjunto desses dois elementos tem potencial para indicar se *E. heros* se dispersa da soja para ambientes naturais, pois o $\delta^{15}\text{N}$ de leguminosas (*e.g.*, soja) é próximo de 0‰, devido às interações mutualísticas dessa planta com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, especialmente as do gênero *Rhizobium* (Steele et al., 1983) e, portanto, seus valores de $\delta^{15}\text{N}$ possuem uma baixa variação, comparado às plantas nativas de diferentes fitofisionomias do Cerrado. Por exemplo, o $\delta^{15}\text{N}$ de plantas nativas varia de -4,37 a 3,43‰ para cerradão e de -2,06 a 4,01‰ para mata de galeria (Camargo A. C., dados não publicados). Sendo assim, caso os percevejos marrons encontrados em florestas naturais tenham se alimentado da soja, devem possuir valores enriquecidos de $\delta^{15}\text{N}$ com uma baixa amplitude de variação. Além disso, o $\delta^{13}\text{C}$ pode auxiliar na confirmação dessa dispersão caso os valores isotópicos de percevejos de florestas naturais também sejam provenientes de plantas C₃, ou seja, do grupo fotossintético ao qual a soja pertence.

Diversos estudos têm utilizado a SIA para responder questões ecológicas. Através da representação bi-dimensional dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ é possível analisar diferentes aspectos do nicho isotópico, geralmente chamados de *niche spaces* (Layman et al., 2007). No *niche space* formado por esses dois elementos é possível entender, por exemplo, a posição trófica das espécies (Castro et al., 2016; Majdi e Traunspurger, 2017), mudanças sazonais na dieta (Gómez et al., 2018) e preferências alimentares entre diferentes espécies numa comunidade (Galetti et al., 2016).

No presente estudo, investiguei as relações de *E. heros* com comunidades de pequenos mamíferos de florestas nativas próximas a uma plantação de soja em uma região no Cerrado brasileiro. Meu objetivo foi valorar e avaliar o serviço ecossistêmico de *G. agilis*, espécie dominante nessas comunidades, como predador dessa importante praga agrícola. Para isso, eu avaliei a assinatura isotópica de *E. heros* ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) obtidos na plantação de soja, em florestas naturais (nas fezes de *G. agilis*) e também de *E. heros* criados em laboratório, alimentados exclusivamente com soja. Também quantifiquei a ocorrência desse inseto na dieta desse marsupial ao longo do ano, por meio de análise de conteúdo fecal. Eu pretendi testar as seguintes hipóteses: (i) após a colheita da soja, *E. heros* se dispersa das plantações de soja para áreas naturais próximas; (ii) *Gracilinanus agilis* é um relevante predador natural de *E. heros*, se alimentando com frequência desse inseto, principalmente no período de entressafra,

quando consome percevejos originários da plantação de soja; (iii) a taxa de predação varia em função da distância das áreas naturais em relação a plantação de soja. Sendo assim, caso os percevejos se dispersem das áreas de soja para as florestas naturais, eu esperava encontrar valores isotópicos similares entre insetos coletados nas três condições descritas (plantação de soja, florestas naturais e criados exclusivamente com soja). Caso a dispersão do inseto seja de fato sazonal, eu esperava encontrar uma maior frequência da espécie nas amostras de fezes provenientes do período da entressafra. Além disso, se indivíduos de *E. heros* se deslocam da plantação de soja para as florestas naturais, deveria haver uma relação inversa entre a distância dessas florestas em relação à plantação e o consumo do inseto por *G. agilis*. Com a dispersão sendo dependente da disponibilidade de soja nas plantações, essa relação entre distância da plantação-fonte e frequência de consumo deveria diminuir (ou não existir) no período de safra (época chuvosa). Por fim, avaliei também se outras espécies de pequenos mamíferos também consomem percevejos marrons, podendo contribuir na regulação dessa praga agrícola. Minha expectativa quanto a isso é que outros pequenos mamíferos também sejam predadores de *E. heros*, uma vez que a predação de insetos é comum entre esses animais (Redford e Dorea, 1984).

Material e métodos

Área de estudo

Eu amostréi quatro manchas naturais de cerradão, sendo três pertencentes ao Jardim Botânico de Brasília (JB2, JB3 e JB4) e uma à Fazenda Água Limpa-UnB (FAL), todas localizadas no interior da Área de Proteção Ambiental Gama e Cabeça de Veado, que possui uma área aproximada de 15.000 hectares de vegetação contínua de diferentes fitofisionomias do Cerrado (Figura 1). A nomenclatura e numeração dessas manchas foram padronizadas de acordo com estudos anteriores realizados nos mesmos locais e pelo mesmo laboratório responsável pelo presente estudo (*e.g.*, Mendonça et al., 2015). Adicionalmente, amostréi uma mancha de mata de galeria, adjacente a uma propriedade rural e circundada por cultivo de soja. Tais manchas de cerradão e de mata de galeria estão a diferentes distâncias de uma plantação de soja (Tabela 1), o que possibilita testar a hipótese de que áreas mais próximas da soja possivelmente terão uma maior intensidade de predação do percevejo marrom por *G. agilis* que as manchas naturais mais distantes.

A plantação de soja estudada possui uma área aproximada de 1.900 hectares. O plantio ocorre no início da estação chuvosa, a partir do mês de setembro, e a colheita com o fim dela, entre os meses de março e abril. Nessa plantação ocorrem infestações de *E. heros*, que são mais densas na fase de maturação da soja (*i.e.*, no momento em que exibem grãos e vagens), entre os meses de fevereiro e março.

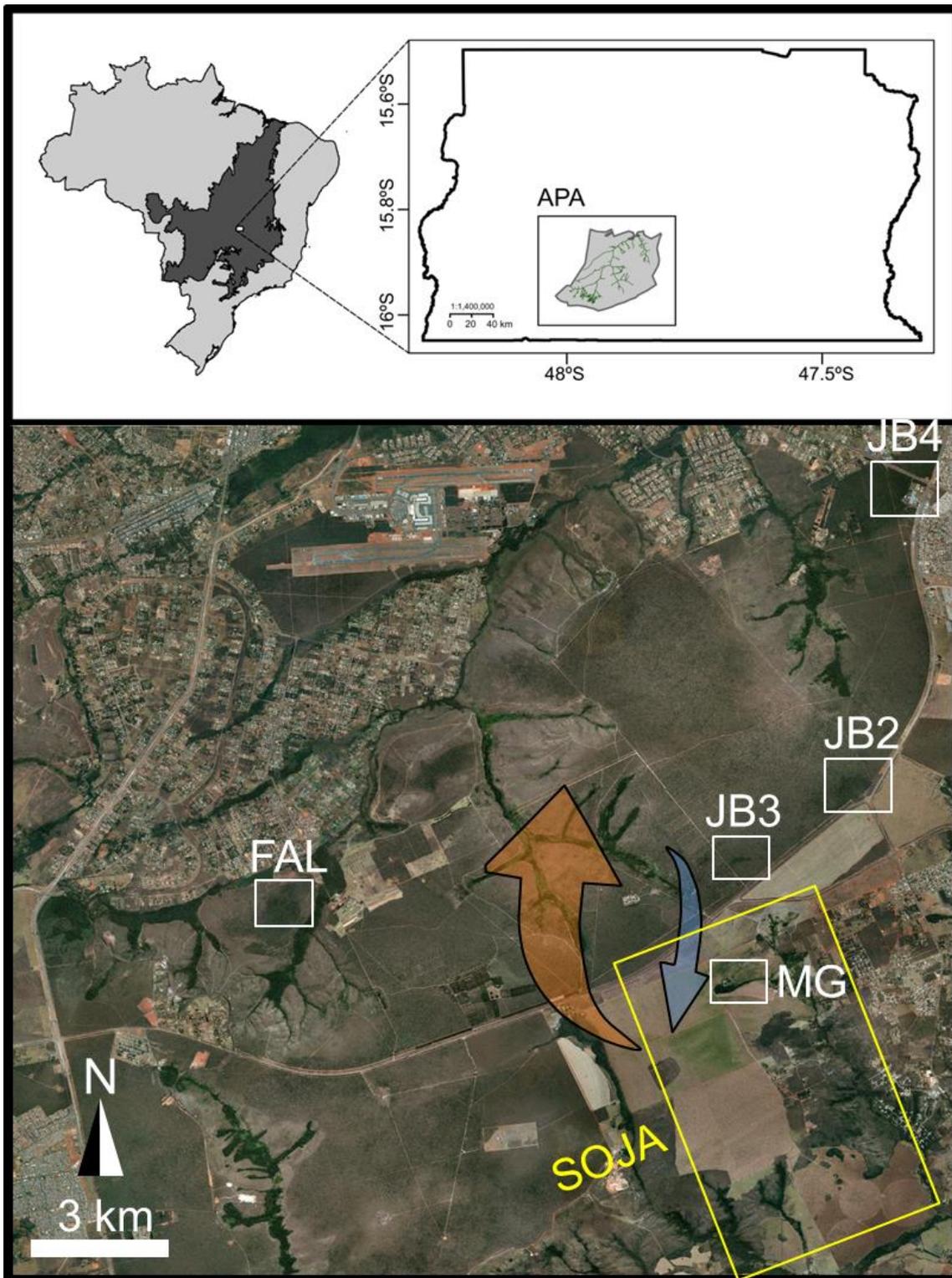


Figura 1. Mapa do Brasil com a distribuição original do Cerrado (em cinza) e a região do Distrito Federal (em branco), evidenciando a Área de Proteção Ambiental Gama Cabeça de Veado. Manchas naturais de cerradão estão situadas no interior da APA (FAL, JB3, JB2 e JB4) e a mata de galeria no interior de uma plantação de soja (MG).

As setas representam o que se espera em termos de uma possível dispersão do percevejo marrom para áreas naturais no período em que não ocorre mais a soja (laranja) e um retorno à plantação no momento em que ela ocorre (azul). A espessura das setas representa a intensidade de dispersão esperada em cada período.

Tabela 1. Caracterização das manchas de cerradão amostradas na APA Gama Cabeça de Veado e da mata de galeria circundada pela soja.

Manchas amostradas	Área (ha)	Coordenadas	Fitofisionomia	Distância da soja (km)
MG	10,1	(15°57'59.67"S, 47°51'40.25"O)	mata de galeria	0,01
JB3	4,32	(15°56'23.8"S, 47°51'20.1"O)	cerradão	2
JB2	27,33	(15°55'25.6"S, 47°49'59.3"O)	cerradão	5
FAL	7,53	(15°55'32.8"S, 47°49'58.4"O)	cerradão	7
JB4	2,56	(15°52'8.96"S, 47°49'36.21"O)	cerradão	11

Espécies estudadas

Gracilinanus agilis – Trata-se de um pequeno marsupial didelfídeo, com peso entre 13 a 40g (Paglia et al., 2011) e de ampla distribuição, sendo encontrado desde o Brasil Central, Uruguai, Paraguai, leste do Peru, leste da Bolívia e norte da Argentina (Gardner, 2008). Esse marsupial aparentemente é semélparo (somente um evento reprodutivo durante a vida), encansorial, de hábito noturno e solitário (Emmons e Feer, 1997; Gardner, 2008; Lopes e Leiner, 2015). Possui reprodução altamente sazonal, com filhotes presentes na população somente no período chuvoso (Rossi et al., 2006). O hábito alimentar é descrito na literatura como insetívoro/onívoro (Paglia et al., 2011), embora frutos de várias famílias de plantas sejam importantes componentes para a dieta da espécie (Lessa e Costa, 2010; Camargo et al., 2011; Camargo et al., 2014). Já para invertebrados, encontrados em alta frequência nas fezes desse marsupial, o consumo é mais acentuado sobre insetos mais abundantes (*e.g.*, insetos sociais), sugerindo um comportamento oportunista da espécie, capaz de consumir até mesmo pequenos vertebrados, como aves (Martins et al., 2006; Bocchiglieri et al., 2010; Camargo et al., 2014; Lessa e Geise, 2014). Em regiões sazonais, *G. agilis* parece alterar sua dieta ao longo do ano em resposta às mudanças na disponibilidade de recursos, selecionando aqueles que possuam maiores valores nutricionais ou reservas d'água, como cupins, fato esse ocorrido no período da seca de alguns estudos realizados no Cerrado (Martins et al., 2006; Bocchiglieri et al., 2010; Camargo et al., 2014).

Euschistus heros – Esse é um inseto pentatomídeo nativo da região neotropical e forma o complexo de pragas da soja juntamente com *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Pentatomidae) e *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) (Hemiptera: Pentatomidae), sendo essas as três espécies de pentatomídeos que mais causam danos à soja no Brasil (Panizzi et al., 2012). Nas últimas décadas, *E. heros* vem crescendo em relevância como praga de interesse econômico no cenário agrícola e atualmente é considerada uma praga primária, especialmente pela sua alta abundância e capacidade de causar danos à soja (Panizzi e Slansky, 1985; Panizzi et al., 2012). O ciclo biológico, ou seja, da fase de ovo até o adulto, é mais curto em regiões mais quentes, levando uma média de aproximadamente 34 dias para completar o ciclo (Villas Bôas e Panizzi, 1980; Cividanes e Parra, 1994; Panizzi e Oliveira, 1998). Após atingir o estágio adulto, indivíduos dessa espécie estarão aptos a reproduzir em aproximadamente 11 dias (Costa et al., 1998). A longevidade média do indivíduo adulto é de 116 dias (Panizzi et al.,

2012), mas machos geralmente apresentam uma maior longevidade que fêmeas (Villas Bôas e Panizzi, 1980; Panizzi e Slansky, 1985). Em laboratório a razão sexual encontrada é de 1:1 (macho:fêmea) (Villas Bôas e Panizzi, 1980). A fecundidade pode alcançar uma média por evento reprodutivo de 287,2 ovos por fêmea em recursos mais abundantes e nutritivos, como a soja (Villas Bôas e Panizzi 1980), podendo produzir três gerações por ciclo da cultura da soja (Panizzi, 1997).

Captura de G. agilis, E. heros e análise de fezes

Em cada uma das quatro manchas de cerradão e na mata de galeria eu realizei campanhas na estação seca (abril a setembro – daqui em diante denominada “período de entressafra”) e chuvosa (outubro a março – daqui em diante “período de safra”) entre os anos de 2016 e 2018, sendo duas campanhas em cada estação do ano para as manchas de cerradão e uma campanha em cada estação para a mata de galeria. Em cada mancha de cerradão eu instalei um gradeado de armadilhas para a captura de pequenos mamíferos. Esses gradeados possuíam entre 80 e 84 estações de captura dispostas 15 metros equidistantes, com as seguintes configurações espaciais: 9x9 (FAL e JB2), 10x8 (JB4) e 14x6 estações de captura (JB3); com uma armadilha por estação de captura. Para a mata de galeria, devido à sua conformação alongada, a configuração do gradeado foi de 10x8, com 10 metros de distância entre as estações de captura. As diferenças nas configurações das grades de captura se deveram pelo formato das manchas de cerradão e da mata de galeria, embora o número de estações de captura permanecesse similar entre elas (80~84).

Em cada estação de captura eu instalei uma armadilha tipo *Sherman* no sub-bosque (1,5 a 2,5 m de altura), devido as maiores probabilidades de captura de indivíduos de *G. agilis* nesse estrato vertical (Hannibal et al., 2015). O número de noites amostradas em cada mancha de cerradão e mata de galeria variou de seis a 25, totalizando um esforço que variou de 480 a 2520 armadilhas-noite por estação do ano. Essa variação ocorreu porque o meu objetivo foi obter um número próximo a 20 indivíduos de *G. agilis* por estação do ano em cada área amostral. Desta forma, eu aumentava o número de armadilhas de 80 para 120 por noite quando a mancha de cerradão ou a mata de galeria não satisfazia o número de indivíduos desejados nas primeiras seis noites. O esforço amostral total foi de 14,041 armadilhas-noite.

Para a atração de *G. agilis*, confeccionei iscas compostas por uma mistura de farinha de milho, banana, pasta de amendoim, óleo de fígado de bacalhau e essência de

baunilha, sendo alocadas no interior de cada armadilha. Após a captura eu colocava anilhas do tipo 1005-1 (National Band & Tags®, Newport, KY, USA) com sequências numéricas únicas para identificação em ambas as orelhas de cada indivíduo. Além disso, eu coletava as fezes dos animais capturados, encontradas dentro das armadilhas, e as armazenava em tubos plásticos (*eppendorfs*) devidamente identificados e posteriormente armazenados em freezer para triagens futuras. Essas armadilhas que continham fezes eram sempre substituídas por novas ou eram abertas e limpas assim que o animal fosse liberado.

As fezes coletadas de *G. agilis* passaram por um processo de triagem, na qual eu lavava essas amostras em peneiras granulométricas de 0,1mm e depositava os conteúdos fecais obtidos a partir desse processo em placas de petri. Posteriormente, observei essas placas em microscópio estereoscópico e com o uso de uma pinça de relojoeiro separei, limpei e armazenei os fragmentos de *E. heros* encontrados em *eppendorfs*, os quais foram secos em estufa a 60°C por 72h e posteriormente submetidos a análise isotópica. Amostras fecais muito claras (devido à ingestão da isca atrativa) foram descartadas, uma vez que havia pouca incidência de itens alimentares provenientes do ambiente natural, o que não refletiria a dieta usual dos pequenos mamíferos.

Para auxiliar no processo de triagem, utilizei espécimes de *E. heros* cedidos pela Embrapa CENARGEN para comparações morfológicas com os fragmentos de exoesqueletos encontrados nas fezes. Adicionalmente, em laboratório foram oferecidos percevejos marrons para indivíduos de *G. agilis*, no intuito de averiguar como os fragmentos do percevejo marrom ficavam dispostos nas fezes desse marsupial. Dessa forma, pude comparar os fragmentos de *E. heros* presentes nas fezes de *G. agilis* coletadas em áreas naturais, fornecendo uma maior acurácia na identificação de fragmentos específicos, como as regiões do escutelo, pronoto e abdômen, muito característicos da espécie. Além disso, também comparei esses fragmentos com o percevejo barriga-verde, *Dichelops melacanthus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae), morfológicamente muito semelhante ao *E. heros*, mas que possui diferenças no padrão das manchas de seu exoesqueleto e na coloração do escutelo.

Eu também coletei percevejos marrons diretamente nas áreas de estudo. Para isso, utilizei três métodos de coleta: armadilhas de feromônio, guarda-chuva entomológico e busca ativa. As armadilhas de feromônio consistiam de aparatos confeccionados a partir de garrafas pet, possuindo quatro orifícios dispostos horizontalmente em formato de funil e na porção central do interior da garrafa havia um

septo de borracha contendo feromônio artificial. Devido ao número de armadilhas de feromônio que eu tinha disponível, selecionei três das áreas naturais, as mais próximas da soja, para esse método de captura (*i.e.*, MG, JB3 e JB2). Para a captura com guarda-chuva entomológico, que consistia de um suporte formado por um pano branco e duas estacas de metal que se cruzavam, eu utilizava um bastão para bater em três arbustos a cada duas estações de captura, no intuito de derrubar percevejos marrons em cima do pano. Desta forma, amostréi um total de 120 arbustos (40 estações de captura x três arbustos) por estação do ano em cada área de estudo (cerradão e mata de galeria). Já para a coleta de percevejos marrons na plantação de soja, utilizei o método da busca ativa, no qual coletei 20 indivíduos de *E. heros* no fim do período chuvoso (março/2017), e que posteriormente foram preparados para análises isotópicas. Pentatomídeos ocasionalmente avistados nas manchas de cerradão e mata de galeria também foram coletados mediante essa mesma metodologia. Os percevejos marrons capturados na soja serviram como valor de base (“*baseline*”) para comparações isotópicas com percevejos capturados em áreas naturais e/ou obtidos a partir das fezes de *G. agilis*.

Análise isotópica

Sequei em estufa a 60°C por 72h amostras de seis indivíduos de soja (*G. max*) coletados na plantação adjacente às áreas naturais e de 20 indivíduos de *E. heros* capturados nessa plantação. Devido ao fato dos percevejos poderem se alimentar em diferentes partes da planta (Panizzi e Slansky, 1985), separei cada planta de soja em quatro partes: folha, caule, grão e vagem, resultando em 24 amostras de planta de soja. Já para os percevejos marrons separei as amostras a partir de seus fragmentos (*e.g.*, hemiélitros), ou seja, exoesqueletos que não se deterioraram no processo de digestão do marsupial *G. agilis*. Cada amostra foi acondicionada em uma cápsula de estanho e pesada em uma microbalança de precisão (Radwag), até atingir entre 1 e 2 mg de peso seco. A composição isotópica de carbono e nitrogênio foi determinada por combustão através de um analisador elementar (Carlo Erba, CHN-1100) acoplado a um espectrômetro de massa Thermo Finningan Delta Plus pelo laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) em Piracicaba/SP. Tal processo transforma as amostras em gás e quantifica as razões isotópicas dos elementos desejados, *i.e.*, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. As razões isotópicas de nitrogênio e carbono são expressas em notação delta (δ), através da seguinte equação:

$$\delta X = ((R_a / R_p) - 1) \times 1000,$$

na qual X se refere aos elementos ^{13}C ou ^{15}N , R_a ao valor isotópico da amostra e R_p ao valor isotópico do padrão internacional, cujo valor é expresso em unidade por mil (‰). Para o carbono, o padrão internacional é baseado na rocha Vienna Peedee Belemnite e para o nitrogênio o padrão internacional é o nitrogênio atmosférico. Os desvios padrões internos do laboratório CENA para carbono e nitrogênio são de 0,3‰ e 0,4‰, respectivamente.

Para obter o valor isotópico do *E. heros* quando essa espécie consome exclusivamente soja, 16 desses indivíduos foram criados em laboratório pelo Dr. Raúl Laumann, no qual esses insetos obtiveram uma dieta restrita, limitada a grãos e plantas de soja do estágio V3 a V6 (*i.e.*, estágios vegetativos de três a seis folhas trifoliadas), desde a eclosão de seus ovos até a fase adulta, e posteriormente cedidos para análises isotópicas. Esses insetos possuíram pesos secos inferiores aos coletados na plantação de soja, e conseqüentemente agrupei seus hemiélitros a cada dois indivíduos, reduzindo o número de amostras de 16 para oito. Enviei tais amostras ao *Stable Isotope Facility* (SIF) da Universidade da Califórnia (Davis, EUA), pois esse laboratório possui tecnologia para informar concentrações isotópicas de amostras mais leves (0,7 a 1,5 mg). Isso permitiu um melhor aproveitamento dos percevejos marrons criados em laboratório e também daqueles coletados nas fezes de *G. agilis*, devido à limitação no peso seco dessas amostras. Também agrupei as amostras de *E. heros* encontradas nas fezes quando o peso foi inferior a 0,7 mg, considerando se haviam fragmentos em outras amostras do mesmo indivíduo de *G. agilis* na mesma estação do ano, ou entre indivíduos de mesmo sexo, estação do ano e área amostral. O número total de amostras obtidas para cada área no período sem soja foi de 36 (MG), 25 (JB3), 11 (JB2), sete (FAL) e três (JB4), e no período com soja foram obtidas nove amostras, sendo três da FAL, três da JB2, uma da JB3 e duas misturas de fragmentos do percevejo marrom entre áreas mais próximas e áreas mais distantes (JB2 + JB3 e JB4 + FAL, respectivamente). A análise isotópica dessas amostras muito leves consistiu do uso de um analisador elementar (PDZ Europa ANCA-GSL) interligado a um espectrômetro de massa de isótopos estáveis (PDZ Europa 20-20), o que forneceu as razões isotópicas dos elementos desejados. Os desvios padrões internos do SIF para carbono e nitrogênio são de 0,2‰ e 0,3‰, respectivamente (para maiores informações, acesse: “<http://stableisotopefacility.ucdavis.edu/13cand15n.html>”).

A análise isotópica de diferentes partes da soja foi necessária para abranger a variação total desse recurso no nicho isotópico e, dessa forma, pude comparar a sobreposição das razões isotópicas ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) de indivíduos de *E. heros* capturados na plantação de soja, em ambiente natural e de fragmentos obtidos a partir das fezes de *G. agilis*. Sendo assim, caso os fragmentos de *E. heros* encontrados nas fezes de *G. agilis* nas manchas naturais de cerradão e mata de galeria possuíssem razões isotópicas similares às de percevejos marrons capturados na soja e criados exclusivamente com soja, eu poderia sugerir que esses insetos predados em áreas nativas são provenientes da plantação de soja.

Valoração do serviço ecossistêmico

Potencial de predação de G. agilis

Para avaliar o potencial de predação de *G. agilis* sobre *E. heros*, criei colônias de percevejos marrons utilizando amendoim, vagem de soja, semente de girassol e água como recursos. Quando essa população atingia um tamanho adequado, eu oferecia em torno de 150 percevejos para um indivíduo de *G. agilis* em um viveiro individual (44 x 32 cm), por noite. Conduzi esses testes sempre em laboratório e com um horário de atividade padrão, tendo início às 18:00 h e fim às 07:00 h, levando em consideração a atividade noturna desses marsupiais. Exatamente às 07:00 h eu retirava os indivíduos de *G. agilis* do viveiro e contabilizava o número de percevejos que restaram (vivos ou mortos). A diferença desse valor pelo número total oferecido me forneceu uma informação da quantidade predada. Ao todo conduzi 11 testes, com seis fêmeas e cinco machos de *G. agilis*, todos adultos e com massa corporal média de $24,6 \pm 5,14$ g. A massa média oferecida de *E. heros* por indivíduo foi de $9,76 \pm 1,26$ g. Durante o experimento, não ofereci água ou outros recursos que não fossem percevejos marrons aos marsupiais. Dessa forma, obtive o potencial máximo de predação do percevejo marrom por *G. agilis*, que foi utilizado para uma estimativa da capacidade da espécie como prestadora de serviço ecossistêmico pela redução dessa praga em condições naturais.

Densidade de G. agilis

Para estimar o efeito que as populações de *G. agilis* podem ter no controle do percevejo marrom, estimei a densidade efetiva dessas populações em cada mancha de

cerradão e mata de galeria. Por possuírem diferentes configurações, um cálculo específico foi feito para cada fitofisionomia amostrada. Para obter a área total de cada grade de captura, multipliquei o comprimento pela largura. E, em seguida, calculei a área efetiva de cada grade, considerando indivíduos de *G. agilis* que possam ser capturados nas bordas das estações de captura e não necessariamente estarem representando a população do interior da grade. Para isso, utilizei o raio da área de uso desse marsupial (em média equivale a 0,2 ha nas áreas de cerradão amostradas; Ribeiro, J.F.; Sano, N.Y., dados não publicados). O raio obtido a partir desse valor, considerando uma área de uso circular, equivale a 25,23 m. Desta forma, somei duas vezes esse raio à largura e duas vezes ao comprimento, representando uma espécie de *buffer* ao redor da grade de captura (conforme sugerido por Van Horne, 1982). Para calcular a densidade corrigida de *G. agilis* dentro dessa área efetiva obtida, dividi o número de indivíduos totais capturados (abundância mínima confirmada) pela área efetiva. Utilizei dessas densidades corrigidas de *G. agilis* para cada área de cerradão (densidade média entre as quatro áreas amostradas) e mata de galeria para estimar a valoração do serviço ecossistêmico prestado por essa espécie *in situ* (ver próxima sessão).

Estimativas do serviço prestado de G. agilis

Com o objetivo de estimar o valor do potencial serviço ecossistêmico desempenhado pelo marsupial *G. agilis*, eu calculei os gastos que um agricultor precisa na aplicação de inseticidas específicos para percevejos no cultivo de soja utilizando dados da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal (EMATER-DF, 2019). Isso incluiu os gastos provenientes com a aplicação mecânica de agrotóxicos (R\$ 120,00/ha) e de inseticidas que continham a composição química lambda-cialotrina (R\$ 44,97/ha), um inseticida sintético do grupo dos piretróides amplamente utilizado para o controle de insetos (Fetoui et al., 2010). Desconsidere o cálculo os inseticidas que atuam no controle de outros grupos de insetos que não sejam pentatomídeos. Dessa forma obtive uma estimativa de gasto de R\$ 164,97/ha para controle de percevejos.

A recomendação na bula de inseticidas piretroides contra percevejos é de aplicar somente quando são encontrados entre dois a quatro percevejos por pano de batida. Dividindo então uma área de um hectare (10.000 m²) pela área equivalente a um pano de batida convencional (0,8 m² em um espaçamento de 0,4 m entre linhas) (Stürmer et al., 2014), obtive um valor de 12.500 parcelas de pano de batida por hectare. Sendo

assim, a aplicação do inseticida ocorre quando há uma população mínima estimada em 25.000 percevejos/ha (*i.e.*, 12.500 parcelas x 2 percevejos). Portanto, calculei o custo médio de cada percevejo dividindo o gasto que o agricultor possui pelo total estimado de percevejos presentes em um hectare no momento da aplicação do inseticida (*i.e.*, R\$ 164,97/25.000).

Após obter o valor médio de cada percevejo, calculei a proporção relativa de *E. heros* no total de artrópodes consumidos por *G. agilis* (peso seco de ambos os grupos) em 11 amostras de fezes provenientes da mata de galeria. Essa proporção relativa foi corrigida pelo potencial de predação de *G. agilis* obtido em laboratório, e então multiplicada pelo período em dias em que ocorre o vazio sanitário na região do Distrito Federal, que é de aproximadamente 120 dias (1 de junho a 30 setembro) (EMBRAPA, 2019), o que me forneceu o valor estimado do serviço ecossistêmico prestado por um indivíduo de *G. agilis* no período de entressafra. Por fim, multipliquei as densidades efetivas de *G. agilis* nas manchas de cerradão e na mata de galeria pelo seu valor unitário, obtendo assim um valor aproximado do serviço prestado pela espécie, por hectare, nas diferentes fitofisionomias.

Para obter uma estimativa do serviço indireto prestado por *G. agilis*, considerei o valor que essa espécie pode exercer na predação de fêmeas em ambiente natural. Para isso, considerei a quantidade de fêmeas possivelmente predadas através de uma razão sexual conservadora de 1:1, ou seja, a média da proporção corrigida do peso seco de *E. heros* em relação a todos os outros artrópodes presentes nas fezes. Com isso, eu teria um número aproximado de fêmeas consumidas por noite. Obtive um valor corrigido da quantidade média de ovos/fêmea multiplicado pela proporção de fêmeas que de fato ovipositariam em plantações de soja, provenientes de quatro estudos que avaliaram a reprodução de *E. heros* em soja (Villas Bôas e Panizzi, 1980; Cividanes e Parra, 1994; Panizzi e Oliveira, 1998; Malaguido e Panizzi, 1999). Multipliquei esse novo número médio de ovos/fêmea pela taxa de sobrevivência por parasitismo em campo, fornecida por Corrêa-Ferreira e Hoffmann-Campo (2009). Esses valores foram calculados para inferir uma possível limitação da capacidade de proliferação de *E. heros* em ambiente natural. Portanto, esse novo valor reduzido de ovos/fêmea foi multiplicado pelo número médio de fêmeas predadas por noite e então pude inferir o valor que um indivíduo de *G. agilis* potencialmente representaria em economia para os agricultores em uma noite. Esse valor unitário de *G. agilis* foi então multiplicado pelo período do vazio sanitário e

pela densidade efetiva em cerradão e mata de galeria, no intuito de obter um valor ecossistêmico anual.

Análises estatísticas

Para comparar os nichos isotópicos da soja e dos percevejos de diferentes origens (coletados na soja, nas florestas nativas e criados em laboratório), eu utilizei uma análise Bayesiana que gera elipses dos isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de cada grupo de interesse. Para isso, considerei a métrica da área total, proposta por Layman et al. (2007), que utiliza os valores extremos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dentro de cada grupo da comunidade amostrada. A partir dessa métrica é possível criar elipses da área total padronizada para pequenas amostras (SEAc), na qual as elipses geradas possuem um intervalo de 95% de confiança e comparações na diversidade trófica podem ser feitas. O pacote utilizado para executar essa análise foi o “SIBER” (Jackson et al., 2011). Adicionalmente, através da análise Bayesiana verifiquei a porcentagem de sobreposição das elipses, no intuito de comparar o grau de similaridade entre os percevejos coletados na soja e os percevejos coletados em florestas naturais dos dois períodos do ano (com soja e sem soja). O pacote utilizado para obter o grau de sobreposição dessas elipses foi o “knitr”.

Para avaliar o efeito da distância em relação à proporção de consumo de *E. heros* por *G. agilis* utilizei uma análise de regressão, tendo como variável independente a distância em linha reta das manchas amostradas em relação a plantação de soja (km) e como variável dependente a proporção de consumo de *E. heros* pela população do marsupial. Essa proporção foi calculada utilizando o número total de indivíduos de *G. agilis* nos quais encontrei fragmentos de *E. heros* nas fezes dividido pelo número total de indivíduos capturados em cada área amostral. Os valores obtidos das proporções foram transformados no arcosseno da raiz quadrada, conforme recomendado por Zar (1999). Para garantir a independência das amostras fecais, utilizei somente a primeira amostra fecal coletada de cada indivíduo de *G. agilis* em cada estação do ano. Todas as análises foram executadas no software R versão 3.5.1 (R Development Core Team).

Resultados

Ao longo de todo o período de amostragem, houve um total de 348 indivíduos capturados pertencentes a 11 espécies de pequenos mamíferos, resultando em um sucesso geral de captura (incluindo recapturas) de 7,74%. Foram capturadas três

espécies de marsupiais (*Didelphis albiventris*, *Gracilinanus agilis* e *Monodelphis americana*) e oito de roedores (*Calomys expulsus*, *Cerradomys scotti*, *Hyleaemys megacephalus*, *Necomys lasiurus*, *Oecomys* sp., *Oligoryzomys matogrossensi*, *Oligoryzomys nigripes* e *Rhipidomys macrurus*). A espécie mais abundante foi *G. agilis*, com 239 indivíduos capturados (68% do total) e 860 amostras fecais de um total de 1088. Por ser a espécie mais abundante e a única capturada em todas as áreas amostrais, o presente estudo se concentrou no potencial serviço ecossistêmico de *G. agilis*. No entanto, resquícios de *E. heros* também foram encontrados nas amostras de fezes de *Rhipidomys macrurus* (Gervais, 1855) (Rodentia: Cricetidae) e *Cerradomys scotti* (Langguth e Bonvicino, 2003) (Rodentia: Cricetidae), representando 2% e 38% do total das fezes coletadas desses roedores, respectivamente.

Análise isotópica

A análise Bayesiana indicou uma maior amplitude de nicho para os percevejos coletados em ambiente natural no período de safra (Tabela 2). Nesse período, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variaram entre -1,57‰ a 2,97‰. Já para os percevejos coletados em ambiente natural no período de entressafra, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foram mais similares com os percevejos criados em laboratório e coletados diretamente da soja, com uma variação de 0,17‰ a 4,88‰.

A partir da métrica SEAc (área da elipse padrão corrigida para pequenas amostras) é possível verificar que o nicho isotópico entre os percevejos coletados no período de entressafra e os percevejos coletados na soja foram os mais similares entre todos os grupos de percevejos analisados (Tabela 2). Além disso, ao comparar os percevejos coletados em florestas naturais com os percevejos coletados na soja, a porcentagem de sobreposição das elipses que consideraram as razões isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) foi maior em áreas mais próximas (MG e JB3) que áreas mais distantes da soja (JB2 e FAL). Isso indica uma maior similaridade na dieta de percevejos marrons provenientes de florestas naturais mais próximas com os percevejos provenientes da plantação de soja (Tabela 3). Em todas as florestas naturais no período de entressafra houve uma alta sobreposição dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ com os percevejos criados em laboratório e coletados na soja, especialmente nas florestas nativas mais próximas da soja (Figura 2). Por possuir um número amostral muito pequeno ($N = 3$), a área JB4 não foi utilizada para comparações das elipses no nicho isotópico.

Distância x predação de E. heros

A proporção de consumo de *E. heros* no total de amostras fecais de *G. agilis* coletadas nas florestas amostradas foi maior no período de entressafra em comparação com a mesma área no período de safra. Em todas as áreas essa tendência ocorreu, embora as duas áreas naturais mais próximas tenham apresentado uma diferença mais evidente, sendo as proporções de consumo mais de oito vezes superiores no período de entressafra. Nesse período, a análise de regressão linear mostrou uma relação negativa e significativa entre a distância e a proporção de indivíduos que consumiram *E. heros* pelo total de indivíduos de *G. agilis* em cada mancha natural ($R^2 = 0.79$, $g.l. = 4$, $p < 0.05$), contudo, no período de safra essa relação não foi significativa ($R^2 = 0.11$, $g.l. = 4$, $p = 0.57$; Figura 3).

Valoração do serviço ecossistêmico de G. agilis

Os testes em laboratório indicaram que o número médio de percevejos marrons consumidos por *G. agilis* em cativeiro foi de $101,8 \pm 32,55$ /noite, variando de 54 a 155 percevejos consumidos em uma noite, o que representou uma massa média consumida de $6,92 \pm 2,62$ g. Já em condições naturais, a avaliação da proporção de *E. heros* em relação ao total de artrópodes encontrados nas fezes indicou que, em média, 21,27% ($N = 11 \pm 16,09\%$) desse total era composto por fragmentos de *E. heros*. Desta forma, considerando que o consumo diário total de insetos seja de uma massa equivalente ao total de percevejos consumidos em laboratório, o número médio de percevejos consumidos em campo por noite é de 20,89. Em uma estimativa simples, multipliquei essa média de consumo de *E. heros* pelo custo de cada percevejo para o agricultor (R\$ = 0,0066) e também pelo período em que ocorre o vazio sanitário (120 dias). Dessa forma, cada indivíduo de *G. agilis* representaria um serviço no valor de R\$ 16,54 no período de entressafra (época seca). De acordo com a amostragem do presente estudo, a densidade média de *G. agilis* para as manchas de cerradão é de 8,87 ind./ha e para a mata de galeria é de 12,41 ind./ha, representando um serviço ecossistêmico de R\$ 146,70/ha/ano para cerradão e R\$ 205,26/ha/ano para a mata de galeria.

Ao calcular o valor indireto associado a essa predação, multipliquei a proporção de fêmeas que de fato ovipositam (86,23%) pelo número médio de ovos por fêmea que são ovipositados na soja (209,58), e assim, obtive um número de 180,65 ovos/fêmea. Além disso, considerei nesse cálculo a proporção de parasitismo em ambiente natural, que é de 60,8% segundo Corrêa-Ferreira e Hoffmann-Campo (2009), o que reduziu esse

número de ovos/fêmea para 70,81. Posteriormente, multipliquei esse valor por 10,44 (valor referente à uma razão sexual de 1:1, sendo 20,89 o número de percevejos consumidos por dia), obtendo um número de ovos a serem produzidos de 739,69 para 10,44 fêmeas predadas por um indivíduo de *G. agilis*. Portanto, a multiplicação desse valor final obtido de ovos (que potencialmente afetariam a plantação de soja) pelo custo de um percevejo (R\$ 0,0066), resultaria em um serviço de R\$ 4,88/noite por um único indivíduo de *G. agilis*. Considerando o vazio sanitário e as densidades obtidas no ambiente, esse valor pode chegar a R\$ 5.194,27/ha/ano para cerradão e R\$ 7.267,29/ha/ano para mata de galeria de serviço indireto provido por *G. agilis*.

Tabela 2. Valores da área total e área da elipse padrão corrigida (SEAc) para percevejos marrons de diferentes origens. Os valores dos percevejos obtidos no período de safra (época chuvosa) e de entressafra (época seca) refletem os valores isotópicos de todas as florestas nativas analisadas em conjunto.

	Percevejos (N amostral)			
	Criados (8)	Coletados na soja (20)	Safra (8)	Entressafra (83)
Área total	0.57	6.9	5.03	20.83
SEAc	0.39	2.23	3.37	2.65

Tabela 3. Porcentagem de sobreposição entre as elipses dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ entre os fragmentos de percevejos marrons provenientes da plantação de soja e de ambientes florestais do período de safra (chuva) e de entressafra (seca).

Manchas amostradas	% Sobreposição das elipses		
	Chuva x Seca	Seca x Soja	Chuva x Soja
Todas	29,96	61,22	35,89
MG	26,12	67,12	
JB3	26,54	63,04	
JB2	21,90	30,18	
FAL	31,81	39,18	

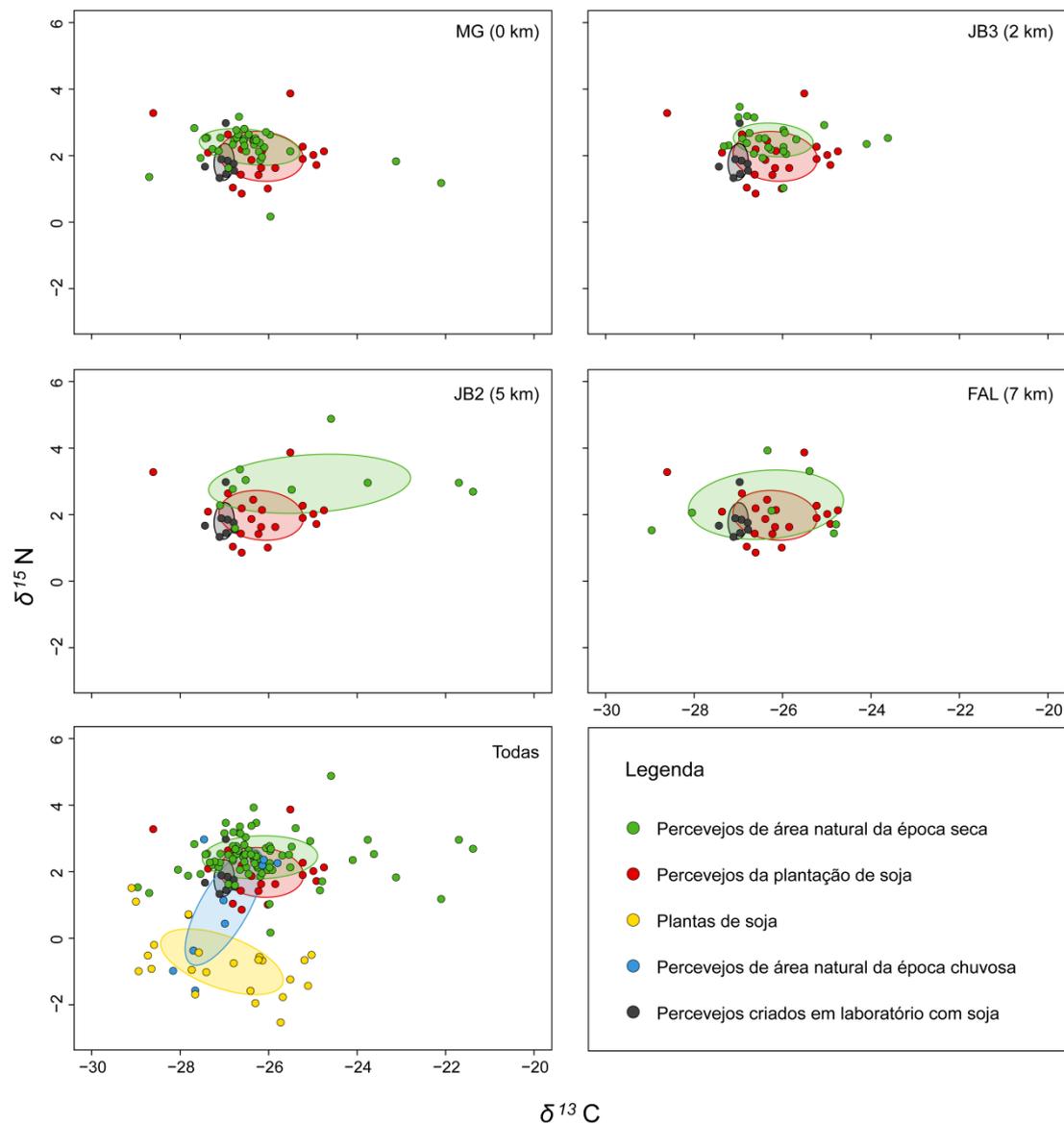


Figura 2. Nicho isotópico da soja (*G. max*) e dos perceijos marrons (*E. heros*) de diferentes origens. As elipses foram geradas com um intervalo de confiança de 95%. Grupos: soja (amarelo), *E. heros* coletados na soja (vermelho), *E. heros* coletados e encontrados nas fezes de *G. agilis* em áreas nativas no período de entressafra (verde), *E. heros* coletados e encontrados nas fezes de *G. agilis* em áreas nativas no período de safra (azul) e *E. heros* criados somente com soja em laboratório (preto). No canto superior direito de cada gráfico estão as áreas amostradas e entre parênteses suas respectivas distâncias lineares aproximadas da plantação de soja.

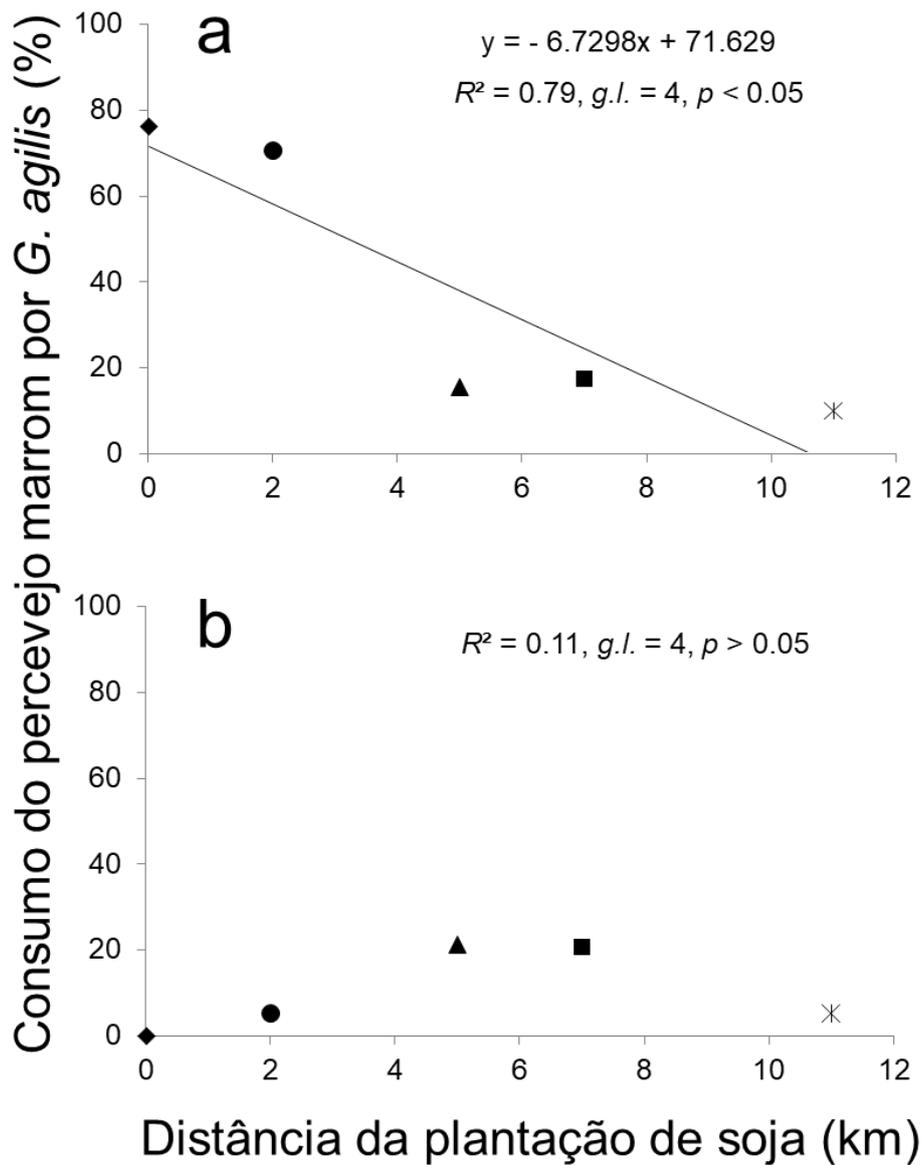


Figura 3. Proporção de indivíduos de *G. agilis* cuja primeira amostra fecal continha resquícios do percevejo marrom (*E. heros*) em cada área amostrada em função da distância linear em relação à plantação de soja mais próxima. Código para as áreas: losango = mata de galeria, círculo = JB3, triângulo = JB2, quadrado = FAL e asterisco = JB4. As letras “a” e “b” representam os períodos de entressafra (época seca) e de safra (época chuvosa), respectivamente.

Discussão

Os dados obtidos a partir desse estudo indicam que *E. heros* se dispersa da plantação de soja para diferentes fitofisionomias do Cerrado, principalmente com o início do período de entressafra, quando não há mais soja disponível. Nesse período, o consumo de *E. heros* por *G. agilis* apresentou uma relação negativa com a distância da plantação de soja para as áreas naturais, podendo esse fator reduzir a abundância desse inseto praga *in situ*. Além do marsupial estudado, duas espécies de roedores também predaram o percevejo marrom, ainda que em menor grau.

Os resultados das análises isotópicas indicaram que os indivíduos de *E. heros* predados por *G. agilis* em ambiente natural provavelmente são provenientes da plantação de soja, uma vez que houve uma alta sobreposição das razões isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ desses percevejos com aqueles coletados na plantação de soja e criados até a fase adulta em laboratório alimentando-se exclusivamente de soja. Os poucos percevejos coletados nas florestas nativas no período de safra possuíram valores de $\delta^{15}\text{N}$ similares aos percevejos coletados na plantação de soja. Todavia, alguns desses valores ($\delta^{15}\text{N}$) também foram similares aos da própria soja. Isso indica que esses insetos se alimentaram de plantas nativas, com valores de nitrogênio mais negativos que os da soja, o que é comum para plantas de cerradão (Camargo, A. C.; dados não publicados). Já no período de entressafra, os valores isotópicos dos fragmentos de *E. heros* das florestas nativas foram positivos e sobrepuseram aos valores de $\delta^{15}\text{N}$ dos percevejos da soja e criados em laboratório alimentados exclusivamente de soja. Isso indica que suas dietas foram compostas principalmente de leguminosas, que geralmente exibem valores próximos de 0‰ (Steele et al., 1983; Szpak et al., 2014), o que indica um processo de dispersão desses insetos após a colheita para florestas nativas.

Considerando que os percevejos tenham se dispersado para as áreas de florestas nativas, poucas são as espécies de plantas conhecidas na literatura que podem servir como sítios alternativos de nutrição e reprodução desses insetos no período de entressafra (Link, 1979; Panizzi e Oliveira, 1998; Malaguido e Panizzi, 1999; Medeiros e Megier, 2009). Aparentemente, *E. heros* não se reproduz nessas plantas alternativas durante o período de entressafra, entrando em um processo de diapausa (Panizzi e Niva, 1994). Apesar disso, plantas alternativas durante o período de entressafra devem ser importantes para o percevejo marrom, pois podem possibilitar um ganho de energia adicional e também refúgio para esses insetos logo antes e durante o período de diapausa (Panizzi, 1997; Malaguido e Panizzi, 1999). Nesse período, indivíduos de *E.*

heros apresentam maiores reservas de gordura, reduzindo a perda d'água corporal e possibilitando a tolerância à fome por alguns meses antes da próxima plantação de soja ser cultivada (Panizzi e Hirose, 1995). Um maior acúmulo de gorduras de *E. heros* nessa época do ano, quando são mais abundantes em áreas naturais, deve conferir um importante valor nutricional para *G. agilis* e outros predadores desses insetos.

Essa maior abundância de *E. heros* nas fezes de *G. agilis* no período de entressafra em comparação com o período de safra é outra evidência da dispersão desse inseto praga para áreas naturais de Cerrado, momento em que o recurso mais abundante para esses insetos se encontra ausente. Na região sul do Brasil o percevejo marrom possui uma associação sincronizada com o cultivo de soja, dispersando-se para sítios adequados de diapausa no período em que não há mais esse recurso (Panizzi e Vivan, 1997). Tais sítios funcionam como esconderijos de inimigos naturais, mas à medida que o cultivo de soja começa a se desenvolver, gradativamente as populações de *E. heros* aumentam nas plantações e reduzem nesses sítios (Panizzi e Vivan, 1997). No período de entressafra esses insetos podem ser encontrados em altas densidades abaixo da serapilheira de sítios alternativos (Panizzi e Niva, 1994), podendo se tornar presas fáceis para *G. agilis* que, devido ao seu hábito escansorial, comumente é capturado forrageando no solo (Hannibal e Caceres, 2010). Isso ajuda a explicar a alta frequência observada desse inseto nas fezes de *G. agilis* nesse período do ano, ao menos em áreas naturais mais próximas à plantação.

A distância em que florestas nativas se encontram da soja limita a dispersão desses insetos provenientes da plantação. Essa relação negativa entre essa distância e a proporção de consumo de *E. heros* por *G. agilis* só ocorreu no período em que não há soja, corroborando com a minha segunda hipótese (a dispersão para florestas nativas é sazonal e influenciada pela distância). Essa relação entre distância da área plantada e predação de insetos daninhos já foi reportada em outros estudos. Nos Estados Unidos, por exemplo, a ocorrência de áreas naturais localizadas a 1,5 km de distância de plantações de soja permitiu maiores densidades de joaninhas predadoras e um maior controle biológico de afídeos praga em plantações (Gardiner et al., 2009). Essa distância ideal foi similar a observada no presente estudo para a predação de *E. heros*, no qual as maiores proporções observadas no período de entressafra ocorreram nos dois ambientes florestais mais próximos, situados a 0,01 e 2 km da plantação de soja, representando 64,4% e 56,9% no total de fezes e 95% e 100% das populações de *G. agilis* amostradas nessas áreas, respectivamente. Já no período de safra, os percevejos consumidos

provavelmente se desenvolveram nas próprias florestas nativas, indicando que parte da população ocupa essas áreas durante todo o ano. Nesse período não houve consumo de *E. heros* por *G. agilis* em nenhuma amostra fecal proveniente da mata de galeria (área mais próxima da plantação), porém, menos de um mês após a colheita da soja, *E. heros* passou a ser comumente encontrado nas fezes desse marsupial.

Inimigos naturais no período de entressafra, no qual as populações do percevejo marrom estão reduzidas e em uma fase em que não há crescimento, possivelmente são importantes para regular esse inseto praga. Esse é o caso do predador estudado (*G. agilis*), que apresentou potencial de redução dessa praga agrícola em ambientes naturais, principalmente no período de entressafra, no qual os parasitoides não atuam tão fortemente na regulação de *E. heros* (Corrêa-Ferreira et al., 1998) e esse inseto se encontra provavelmente em fase de baixa populacional. A predação de insetos pragas na fase anterior ao cultivo de soja pode evitar que uma ressurgência mais intensa da praga ocorra nas plantações, o que pode manter as densidades desses insetos abaixo do dano econômico ou reduzir as injúrias causadas por estes nas plantações seguintes (Costamagna e Landis, 2006; Gardiner et al., 2009).

Além de abrigar predadores de insetos praga, a conservação de áreas naturais próximas às plantações possui uma função vital na manutenção da diversidade de espécies de insetos, especialmente àquelas nativas que não são especialistas em espécies cultivadas (Landis et al., 2000; Tscharncke et al., 2002). Por exemplo, em áreas nativas de Cerrado sensu stricto adjacentes a plantações de soja há uma maior diversidade de espécies de ácaros predadores, capazes de colonizar e controlar as populações de ácaros pragas nas plantações de soja (Rezende et al., 2014). Além disso, o efeito aditivo de diferentes grupos de inimigos naturais, como predadores e parasitoides, reduzem as pragas agrícolas com maior efetividade do que se atuassem separadamente (Thies et al., 2011).

Uma maior diversidade de presas para predadores de espécies pragas gera um aumento do fitness e do número de predadores, podendo aumentar seus efeitos através do controle biológico (Harwood et al., 2009). Nas manchas naturais do presente estudo, o *G. agilis* pode fornecer um serviço ecossistêmico que pode chegar a mais de 100 reais por ha/ano. Esses valores podem atingir cifras mais de 30 vezes superiores, considerando que os percevejos predados nas florestas nativas serão possíveis colonizadores da próxima plantação de soja e suas proles que de fato causariam mais prejuízos aos agricultores (Corrêa-Ferreira e Hoffmann-Campo, 2009). De qualquer

forma, essas estimativas devem ser consideradas com cautela, pois outros fatores podem interferir nas taxas de predação, na sobrevivência dos percevejos e no valor reprodutivo líquido de cada percevejo que ocorre nas áreas naturais no período de entressafra.

Meus resultados indicaram que a distância da área natural para a plantação de soja é um fator importante que deve ser considerado. Áreas naturais acima de 2 km de distância reduziram o valor do serviço ecossistêmico prestado por *G. agilis*. Deve-se considerar também que, devido a uma maior biodiversidade em áreas naturais, a ação de outras espécies pode gerar um efeito aditivo no serviço ecossistêmico prestado (Thies et al., 2011). Estudos que avaliaram a dieta de comunidades de pequenos mamíferos no Cerrado mostram um alto consumo de artrópodes pelas espécies de roedores e marsupiais (Talamoni et al., 2008; Santori et al., 2012). Somente no Cerrado existem mais de 250 espécies de mamíferos, com 26 espécies de marsupiais e 78 espécies de roedores descritos, a maioria delas exibindo dieta insetívora em algum grau (Paglia et al., 2011). Além disso, artrópodes de maneira geral podem fornecer uma grande contribuição na redução populacional de *E. heros*, especialmente parasitoides de ovos, que afetam suas populações tanto em áreas nativas quanto na própria plantação de soja (Panizzi e Slansky, 1985; Panizzi e Corrêa-Ferreira, 1997; Corrêa-Ferreira e Hoffmann-Campo, 2009).

A redução dos tamanhos populacionais de *E. heros* por *G. agilis* e consequente redução potencial do uso de pesticidas pode representar outros tipos de ganhos adicionais, além do ganho financeiro *per se*. A ação de pesticidas e a intensidade de seu uso traz efeitos adversos, como a diminuição de espécies benéficas e a intoxicação de espécies não-alvo (Pfrimmer, 1964; Flexner et al., 1986). Por exemplo, o uso de pesticidas causa o aumento nas taxas de mortalidade de vários táxons, especialmente de comunidades aquáticas, além de possibilitar a bioacumulação de seus resíduos nos organismos (Relyea, 2005; Alonso et al., 2012). Embora isso não tenha sido adequadamente estudado para espécies nativas do Cerrado, provavelmente deve haver prejuízos para elas, visto que no Brasil estima-se um uso acima de 83.000 toneladas de pesticidas somente para cultivos de soja (Oliveira et al., 2014).

Outras espécies que também dependam de áreas nativas conservadas podem potencializar o serviço ecossistêmico provido por *Gracilinanus agilis*, mesmo sem relação com a praga. Por exemplo, a ação de vertebrados no controle biológico e a de insetos na polinização possuem um efeito complementar na quantidade e na qualidade da produção de café, respectivamente, e a ausência de um desses grupos gera perdas aos

agricultores (Classen et al., 2014). Adicionalmente, uma maior diversidade de abelhas aumenta as taxas de polinização de plantas utilizadas na agricultura, ao invés de uma única espécie dominante que desempenhe esse serviço ecossistêmico (Kremen, 2018).

Ações de manejo que visem assegurar esses serviços benéficos originados por espécies nativas devem se preocupar com uma série de fatores, considerando as necessidades das espécies de interesse. Por exemplo, a instalação de ninhos artificiais feitos de bambus em áreas perturbadas em processo de regeneração é benéfica para as populações do gênero *Gracilinanus*, que os utilizam como ninhos ou abrigos (Tubelis, 2000; Loretto e Vieira, 2011). Esforços para que áreas nativas não sejam queimadas devem ser levados em consideração, uma vez que as populações de *G. agilis* são sensíveis às queimas (Mendonça et al., 2015). Mesmo na ausência de ambientes florestais próximos às plantações, outras fitofisionomias do cerrado podem abrigar não só essa espécie, mas de outros pequenos mamíferos, como roedores, muito abundantes nesses ambientes e potenciais predadores (Becker et al., 2007). Em plantações com baixa influência antrópica ao redor, a inserção de corredores ecológicos que liguem matrizes de Cerrado pode garantir a persistência dessas populações, ao invés de pequenas manchas nativas distantes entre si.

Os resultados apresentados pelo presente estudo reforçam que a conservação de áreas nativas é importante para assegurar a biodiversidade e prover serviços ecossistêmicos para a sociedade de maneira geral. Entretanto, a conservação de áreas naturais muito distantes de sistemas agrícolas reduz a capacidade de colonização de inimigos naturais nesses sistemas e a predação de pragas *in situ*. O marsupial *Gracilinanus agilis*, por ser um animal abundante em ambientes florestais do Cerrado (Vieira e Palma, 2005), por possuir uma ampla distribuição geográfica (Emmons e Feer, 1997) e por exibir uma boa capacidade de predação, é um importante agente potencial de regulação do percevejo marrom, desde que haja ambientes florestais nativos próximas às plantações de soja. Isso implica em uma maior economia aos agricultores, menor dano ambiental e preservação da biodiversidade desse bioma ameaçado.

Referências

ALONSO, M. B., FEO, M. L., CORCELLAS, C., VIDAL, L. G., BERTOZZI, C. P., MARIGO, J., SECCHI, E. R., BASSOI, M., AZEVEDO, A. F., DORNELES, P. R., TORRES, J. P. M., LAILSON-BRITO, J., MALM, O., ELJARRAT, E. & BARCELÓ, D. 2012. Pyrethroids: A new threat to marine mammals? *Environment International*, 47:

99–106.

BARONA, E., RAMANKUTTY, N., HYMAN, G. & COOMES, O.T. 2010. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 5: 9pp.

BECKER, R. G., PAISE, G., BAUMGARTEN, L. C. & VIEIRA, E. M. 2007. Estrutura de comunidades de pequenos mamíferos e densidade de *Necromys lasiurus* (Rodentia, Sigmodontinae) em áreas abertas de cerrado no Brasil Central. *Mastozoologia Neotropical*, 14(2): 157–168.

BENGTSSON, J. 2015. Biological control as an ecosystem service: partitioning contributions of nature and human inputs to yield. *Ecological Entomology*, 40: 45–55.

BOCCHIGLIERI, A., MENDONÇA, A. F. & CAMPOS, J. B. 2010. Diet composition of *Gracilinanus agilis* (Didelphimorphia, Didelphidae) in dry woodland areas of Cerrado in central Brazil. *Mammalia*, 74: 225-227.

BRINK, R. A., DENSMORE, J. W. & HILL, G. A. 1977. Soil Deterioration and the Growing World Demand for Food. *Science*, 197(4304): 625–630.

BUSTAMANTE, M. M. C., MARTINELLI, L. A., SILVA, D. A., CAMARGO, P. B., KLINK, C. A., DOMINGUES, T. F. & SANTOS, R. V. 2004. ¹⁵N natural abundance in woody plants and soils of central brazilian savannas (Cerrado). *Ecological Applications*, 14(4): 200–213.

CAMARGO, N. F., CRUZ, R. M. S., RIBEIRO, J. F. & VIEIRA, E. M. 2011. Frugivoria e potencial de dispersão de sementes pelo marsupial *Gracilinanus agilis* (Didelphidae: Didelphimorphia) em áreas de Cerrado no Brasil central. *Acta Botanica Brasilica*, 25(3): 646-656.

CAMARGO, N.F., RIBEIRO, J.F., DE CAMARGO, A.J.A. & VIEIRA, E.M. 2014. Diet of the gracile mouse opossum *Gracilinanus agilis* (Didelphimorphia: Didelphidae) in a neotropical savanna: intraspecific variation and resource selection. *Acta Theriologica*, 59(1): 183–191.

CARNEIRO, F. F., PIGNATI, W. A., RIGOTTO, R. M. AUGUSTO, L. G. S.,

- PINHEIRO, A. R. O., FARIA, N. M. X., ALEXANDRE, V. P., FRIEDRICH, K. & MELLO, M. S. C. 2015. Segurança alimentar e nutricional e saúde. In: CARNEIRO, F. F., AUGUSTO, L. G. S., RIGOTTO, R. M., FRIEDRICH, K. & BÚRIGO, A. C. (Orgs.) dossiê ABRASCO um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Editora Expressão Popular, São Paulo, p. 46-89.
- CASTRO, D. M. P., CARVALHO, D. R., POMPEU, P. S., MOREIRA, M. Z., NARDOTO, G. B. & CALLISTO, M. 2016. Land Use Influences Niche Size and the Assimilation of Resources by Benthic Macroinvertebrates in Tropical Headwater Streams. *PLoS One* 11(3): 1–19.
- CATTELAN, J. A. & DALL'AGNOL, A. 2018. The rapid soybean growth in Brazil. Oilseeds and fats, *Crops and Lipids*, <https://doi.org/10.1051/ocl/2017058>.
- CERRI, C. E. P., CERRI, C. C., MAIA, S. M. F., CHERUBIN, M. R., FEIGL, B. J. & RATTAN, L. 2018. Reducing Amazon deforestation through agricultural intensification in the Cerrado for advancing food security and mitigating climate change. *Sustainability*, 10(989).
- CIVIDANES, F. J. & PARRA, J. R. P. 1994. Biologia em diferentes temperaturas e exigências térmicas de percevejos praga da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 29(12): 1841–1846.
- 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*, 281: 1779.
- CLEVELAND, C. J., BETKE, M., FEDERICO, P., FRANK, J. D., HALLAN, T. G., HORN, J., LÓPEZ JR., J. D., MCCRACKEN, G. F., MEDELLÍN, R. A., MORENO-VALDEZ, A., SANSONE, C. G., WESTBROOK, J. K. & KUNZ, T. H. 2006. Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4: 238-243.
- CORRÊA-FERREIRA, B. S. & HOFFMANN-CAMPO, C. B. 2009. Composição e caracterização de percevejos na cultura de soja. In: Congresso Brasileiro de Soja, 5;

MERCOSOJA. Disponível em:

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/190861/1/ID-29521.pdf>>

CORRÊA-FERREIRA, B. S., NUNES, M. C. & UGUCCIONI, L. D. 1998. Ocorrência do parasitóide *Hexacladia smithii* Ashmead em adultos de *Euschistus heros* (F.) no Brasil. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 27(3): 495–498.

COSTA, M. L. M., BORGES, M. & VILELA, E. F. 1998. Biologia reprodutiva de *Euschistus heros* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae). Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 27(4): 559–568.

COSTAMAGNA, A. C. & LANDIS, D. 2006. Predators exert top-down control of soybean aphid across a gradient of agricultural management systems. Ecological Applications, 16(4): 1619–1628.

COSTANZA, R., D'ARGE, R., GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V., PARUELO, J., RASKIN, R. G., SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387: 253–260.

COSTANZA, R., GROOT, R., SUTTON, P., VAN DER PLOEG, S., ANDERSON, S. J., KUBISZEWSKI, I., FARBER, S. & TURNER, R. K. 2014. Changes in global ecosystem services. Global Environmental Change, 26: 152-158.

DENIRO, M. & EPSTEIN, S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochimica et Cosmochimica Acta, 45: 341–351.

DENIRO, M. J. & EPSTEIN, S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochimica et Cosmochimica Acta, 42: 495–506.

EMATER-DF, 2019. Custos de produção da soja. Disponível em:

<<http://www.emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/Soja-RR.pdf>>.

EMBRAPA. 2019. Vazio sanitário e calendarização da semeadura da soja. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/ferrugem/vaziosanitariocalendarizacaoemeadura>>.

EMMONS, L. & FEER, F. 1997. Neotropical rainforest mammals: a field guide. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

- FAHRIG, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34: 487–515.
- FEARNSIDE, P.M. 2001. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28(1): 23–38.
- FEDERICO, P., HALLAM, T. G., MCCRAKEN, G. F., PURUCKER, S. T., GRANT, W. E., CORREA-SANDOVAL, A. N., WESTBROOK, J. K., MEDELLÍN, R. A., CLEVELAND, C. J., SANSONE, C. G., LÓPEZ JR., J. D., BETKE, M., MORENO-VALDEZ, A. & KUNZ, T. H. 2008. Brazilian free-tailed bats as insect pest regulators in transgenic and conventional cotton crops. *Ecological Applications*, 18: 826-837
- FETOUI, H., MAKNI, M., GAROUI, E. M. & ZEGHAL, N. 2010. Experimental and toxicologic pathology toxic effects of lambda-cyhalothrin, a synthetic pyrethroid pesticide, on the rat kidney: Involvement of oxidative stress and protective role of ascorbic acid. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 62: 593–599.
- FLEXNER, J. L., LIGHTHART, B. & CROFT, B. A. 1986. The effects of microbial pesticides on non-target, beneficial arthropods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 16: 203–254.
- FOLEY, J. A., DEFRIES, R., ASNER, G. P., BARFORD, C., BONAN, G., CARPENTER, S. R., CHAPIN, F. S., COE, M. T., DAILY, G. C., GIBBS, H. K., HELKOWSKI, J. H., HOLLOWAY, T., HOWARD, E. A., KUCHARIK, C. J., MONFREDA, C., PATZ, J. A., PRENTICE, I. C., RAMANKUTTY, N. & SNYDER, P. K. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309: 570–574.
- FRANÇOZO, R., BRANDÃO, R., NOGUEIRA, C. C., SALMONA, Y., MACHADO, R. B. & COLLI, G. R. 2015. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado biodiversity hotspot. *Natureza e Conservação*, 13: 35-40.
- GALETTI, M., RODARTE, R. R., NEVES, C. L., MOREIRA, M. & COSTA-PEREIRA, R. 2016. Trophic niche differentiation in rodents and marsupials revealed by stable isotopes. *PLoS One* 11(4): 1–15.
- GARDINER, M. M., LANDIS, D. A., GRATTON, C., DIFONZO, C. D., O'NEAL, M., CHACON, J. M., WAYO, M. T., SCHMIDT, N. P., MUELLER, E. E. & HEIMPEL, G.

- E. 2009. Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA. *Ecological Applications*, 19(1): 143–154.
- GARDNER, A. L. 2008. *Mammals of South America, vol. 1: marsupials, xenarthrans, shrews, and bats*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- GÓMEZ, C., LARSEN, T., POPP, B., HOBSON, K. A. & DANIEL, C. 2018. Assessing seasonal changes in animal diets with stable - isotope analysis of amino acids: a migratory boreal songbird switches diet over its annual cycle. *Oecologia*, 187(1): 1–13.
- HANNIBAL, W. & CACERES, N. C. 2010. Use of vertical space by small mammals in gallery forest and woodland savannah in south-western Brazil. *Mammalia*, 74: 247–255.
- HANNIBAL, W., FIGUEIREDO, V. V., CLARO, H. W. P., CARVALHO, A. C., CABRAL, G. P., OLIVEIRA, R. F., AQUINO, H. F., VIANA, F. V., SILVEIRO, T. F. & FILHO, J. J. S. 2015. Mamíferos não-voadores em fragmentos de Cerrado no sul do estado de Goiás , Brasil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia*, 74: 103–109.
- HARWOOD, J. D., PHILLIPS, S. W., LELLO, J., SUNDERLAND, K. D., GLEN, D. M., BRUFORD, M. W., HARPER, G. L. & SYMONDSON, W. O. C. 2009. Invertebrate biodiversity affects predator fitness and hence potential to control pests in crops. *Biological Control*, 51: 499–506.
- JACKSON, A. L., INGER, R., PARNELL, A. C. & BEARHOP, S. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*, 80: 595-602.
- JONES, G. A. & SIEVING, K. E. 2006. Intercropping sunflower in organic vegetables to augment bird predators of arthropods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117: 171–177.
- KREMEN, C. 2018. The value of pollinator species diversity. *Science*, 359(6377): 741–742.
- LANDIS, D. A., WRATTEN, S. D. & GURR, G. M. 2000. Habitat management to

- conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175–201.
- LAYMAN, C. A., ARRINGTON, D. A., MONTAÑA, C. G. & POST, D. M. 2007. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Ecology*, 88(1): 42–48.
- LESSA, L. G. & COSTA, F. N. 2010. Diet and seed dispersal by five marsupials (Didelphimorphia: Didelphidae) in a Brazilian cerrado reserve. *Mammalian Biology*, 75: 10-16.
- LESSA, L. G. & GEISE, L. 2014. Food habitats and carnivory by a small size opossum, *Gracilinanus agilis* (Didelphimorphia: Didelphidae). *Mastozoología Neotropical*, 21(1): 139-143.
- LINK, D. 1979. Percevejos do gênero *Euschistus* sobre soja no Rio Grande do Sul (Hemiptera: Pentatomidae). *Revista do Centro de Ciências Rurais*, 9(4): 361–364.
- LOPES, G. P. & LEINER, N. O. 2015. Semelparity in a population of *Gracilinanus agilis* (Didelphimorphia: Didelphidae) inhabiting the Brazilian cerrado. *Mammalian Biology*, 80: 1–6.
- LORETTO, D. & VIEIRA, M. V. 2011. Artificial nets as an alternative to studies of arboreal small mammal populations: a five-year study in Atlantic Forest, Brazil. *Zoologia*, 28 (3): 388-394.
- LOSEY, J. E. & VAUGHAN, M. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56(4): 311–323.
- MACINTYRE, A. A. 1987. Why pesticides received extensive use in America: A political economy of agricultural pest management of 1970. *Natural Resources Journal*, 27: 533–578.
- MAJDI, N. & TRAUNSPURGER, W. 2017. Leaf fall affects the isotopic niches of meiofauna and macrofauna in a stream food web. *Food Webs*, 10: 5–14.
- MALAGUIDO, A. B. & PANIZZZI, A. R. 1999. Nymph and adult biology of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) and its abundance related to planting date and

- phenological stages of sunflower. *Annals of the Entomological Society of America*, 92(3): 424-429.
- MARTINS, E. G., BONATO, V., PINHEIRO, H. P. & REIS, S. F. 2006. Diet of the gracile mouse opossum (*Gracilinanus microtarsus*) (Didelphimorphia: Didelphidae) in a Brazilian cerrado: patterns of food consumption and intrapopulation variation. *Journal of Zoology*, 269: 21-28.
- MEDEIROS, L. & MEGIER, G. A. 2009. Ocorrência e desempenho de *Euschistus heros* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae) em plantas hospedeiras alternativas no Rio Grande do Sul. *Neotropical Entomology*, 38(4): 459-463.
- MELO, C., BENTO, E. C. & OLIVEIRA, P. E. 2003. Frugivory and dispersal of *Faramea cyanea* (Rubiaceae) in Cerrado woody plant formations. *Brazilian Journal of Biology*, 63(1): 75–82.
- MENDONÇA, A. F., ARMOND, T., CAMARGO, A. C. L., CAMARGO, N. F., RIBEIRO, J. F., ZANGRANDI, P. L. & VIEIRA, E. M. 2015. Effects of an extensive fire on arboreal small mammal populations in a neotropical savanna woodland. *Journal of Mammalogy*, 96(2): 368–379.
- MINAGAWA, M. & WADA, E. 1984. Stepwise enrichment of ¹⁵N along food chains: Further evidence and the relation between δ¹⁵N and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1135–1140.
- MITTERMEIER, R. A., GIL, P. R., HOFFMANN, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., MITTERMEIER, C. G., LAMOREAUX, J. & FONSECA, G. A. B. 2004. Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. Cemex and University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- NUNES, M.C. & CORRÊA-FERREIRA, B.S. 2002. Danos causados à soja por adultos de *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae), sadios e parasitados por *Hexacladia smithii* Ashmead (Hymenoptera: Encyrtidae). *Neotropical Entomology*, 31(1): 109–113.
- OERKE, E. C. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144: 31–43.

- OLIVEIRA, C. M., AUAD, A. M., MENDES, S. M. & FRIZZAS, M. R. 2014. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection*, 56: 50–54.
- PAGLIA, A. P., FONSECA, G. A. B., RYLANDS, A. B., HERRMANN, G., AGUIAR, L. M. S., CHIARELLO, A. G., LEITE, Y. L. R., COSTA, L. P., SICILIANO, S., KIERULFF, M. C. M., MENDES, S. L., TAVARES, V. C., MITTERMEIER, R. A. & PATTON J. L. 2011. Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil / Annotated Checklist of Brazilian Mammals. 2ª Edição / 2nd Edition. Occasional Papers in Conservation Biology, No. 6. Conservation International, Arlington, VA. 75pp.
- PANIZZI, A. R. & SLANSKY, F. 1985. Review of Phytophagous Pentatomids (Hemiptera: Pentatomidae) Associated with Soybean in the Americas. *Florida Entomologist*, 68(1): 184–214.
- PANIZZI, A. R. & ROSSI, C. E. 1991. The role of *Acanthospermum hispidum* in the phenology of *Euschistus heros* and of *Nezara viridula*. *Entomologia Experimentalis Applicata*, 59: 67–74.
- PANIZZI, A. R. & NIVA, C. C. 1994. Overwintering strategy of the brown stink bug in northern Paraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 29(3): 509–511.
- PANIZZI, R. & HIROSE, E. 1995. Seasonal body weight, lipid content, and impact of starvation and water stress on adult survivorship and longevity of *Nezara viridula* and *Euschistus heros*. *Entomologia Experimentalis Applicata*, 72: 247–253.
- PANIZZI, A. R. & CORRÊA-FERREIRA, B.S. 1997. Dynamics in the insect fauna adaptation to soybean in the tropics. *Trends in Entomology*, 1: 71–88.
- PANIZZI, A. R. 1997. Wild hosts of pentatomids: Ecological significance and role in their pest status on crops. *Annual Review of Entomology*, 42: 99–122.
- PANIZZI, A. R. & VIVAN, L. M. 1997. Seasonal abundance of the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros*, in overwintering sites, and the breaking of dormancy. *Entomologia Experimentalis Applicata*, 82: 213–217.
- PANIZZI, A. R. & OLIVEIRA, E. D. M. 1998. Performance and seasonal abundance of

- the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* nymphs and adults on a novel food plant (pigeonpea) and soybean. *Entomologia Experimentalis Applicata*, 88: 169–175.
- PANIZZI, A. R., BUENO A. F. & SILVA, F. A. C. 2012. Insetos que atacam vagens e grãos. In: HOFFMAN-CAMPO, C. B., CORRÊA-FERREIRA, B. S. & MOSCARDI, F. (Eds). *SOJA: Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*. Editora Embrapa Soja, Londrina-PR.
- PERES, W. A. A. & CORRÊA-FERREIRA, B. S. 2004. Methodology of mass multiplication of *Telenomus podisi* Ash. and *Trissolcus basalis* (Woll.) (Hymenoptera: Scelionidae) on eggs of *Euschistus heros* (Fab.) (Hemiptera: Pentatomidae). *Neotropical Entomology*, 33(4):457–462.
- PFRIMMER, T. R. 1964. Populations of certain insects and spiders on cotton plants following insecticide applications. *Journal of Economic Entomology*, 57(5): 640–644.
- PIMENTEL, D., MCLAUGHLIN, L., ZEPP, A., LAKITAN, B., KRAUS, T., KLEINMAN, P., VANCINI, F., ROACH, W.J., GRAAP, E., KEETON, W.S. & SELIG, G. 1991. Environmental and Economic Effects of Reducing Pesticide Use. *Bioscience*, 41(6): 402–409.
- RATTER, J. A., RIBEIRO, J. F. & BRIDGEWATER, S. 1997. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany*, 80: 223–230.
- REDFORD, K. H. & DOREA, J. G. 1984. The nutritional value of invertebrates with emphasis on ants and termites as food for mammals. *Journal of Zoology*, 203: 385–395.
- RELYEA, R. A. 2005. The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological Applications*, 15(2): 618–627.
- REZENDE, J. M., LOFEGO, A. C., NUVOLONI, F. M. & NAVIA, D. 2014. Mites from Cerrado fragments and adjacent soybean crops: does the native vegetation help or harm the plantation? *Experimental and Applied Acarology*, 64(4): 501–518.
- ROCHA, G.M. & GRISOLIA, C.K. 2018. Why pesticides with mutagenic, carcinogenic and reproductive risks are registered in Brazil. *Developing World Bioethics*, 1–7.
- ROSSI, R. V., BIANCONI, G. V. & PEDRO, W. A. 2006. Ordem Didelphimorphia. In:

- REIS, M. R., PERACCHI, A. L., PEDRO W. A. & LIMA I. P. (eds) Mamíferos do Brasil. Editora da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, pp 27-66.
- SALUSO, A., XAVIER, L., SILVA, F.A.C. & PANIZZI, A.R. 2011. An invasive pentatomid pest in Argentina: Neotropical brown stink bug, *euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae). *Neotropical Entomology*, 40(6): 704–705.
- SANO, E. E., RODRIGUES, A. A., MARTINS, E. S., BETTIOL, G. M., BUSTAMANTE, M. M. C., BEZERRA, A. S., COUTO JR., A. F., VASCONCELOS, V., SCHÜLER, J. & BOLFE, E. L. 2019. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, 232: 818-828
- SANTORI, R. T., LESSA, L. G. e ASTÚA, D. 2012. Alimentação, nutrição e adaptações de marsupiais brasileiros. In: Os marsupiais do Brasil: Biologia, Ecologia e Conservação (CÁCERES, N. C. ed). Editora UFMS, 385-406.
- STEELE, K.W., BONISH, P.M., DANIEL, R.M. & O’HARA, G.W. 1983. Effect of Rhizobial Strain and Host Plant on Nitrogen Isotopic Fractionation in Legumes. *Plant Physiology*, 72: 1001–1004.
- STÜRMER, G. R., FILHO, A. C., SARI, B. G., BURTET, L. M. & GUEDES, J. V. C. 2014. Eficiência do pano-de-batida na amostragem de insetos-praga de soja em diferentes espaçamentos entre linhas e cultivares. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(3): 1177–1186.
- SZPAK, P., LONGSTAFFE, F.J., MILLAIRE, J.F. & WHITE, C.D. 2014. Large variation in nitrogen isotopic composition of a fertilized legume. *Journal of Archaeological Science*, 45: 72–79.
- TALAMONI, S. A., COUTO, D., DIRCEU, A. C. J. & DINIZ, F. M. 2008. Diet of some species of Neotropical small mammals. *Mammalian Biology*, 73: 337–341.
- THIES, C., HAENKE, S., SCHERBER, C., BENGTTSSON, J., BOMMARCO, R., CLEMENT, L. W., CERYNGIER, P., DENNIS, C., EMMERSON, M., GAGIC, V., HAWRO, V., LIIRA, J., WEISSER, W. W., WINQVIST, C. & TSCHARNTKE, T. 2011. The relationship between agricultural intensification and biological control:

- experimental tests across Europe. *Ecological Applications*, 21(6): 2187-2196.
- TREMBLAY, A., MINEAU, P. & STEWART, R. K. 2001. Effects of bird predation on some pest insect populations in corn. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83: 143–152.
- TSCHARNTKE, T., STEFFAN-DEWENTER, I., KRUESS, A. & THIES, C. 2002. Contribution of small habitats fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. *Ecological Applications*, 12(2): 354–363.
- TUBELIS, D. P. 2000. Aspects on the breeding biology of the gracile mouse opossum *Gracilinanus microtarsus* in a second growth forest in southeastern Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 41: 173–185.
- VAN HORNE, B. 1982. Effective trapped area for live-trap grids. *Journal of Mammalogy*, 63(1): 155–157.
- VIEIRA, E. M. & PALMA, A. R. T. 2005. Pequenos mamíferos de Cerrado: distribuição dos gêneros e estrutura das comunidades nos diferentes *habitats*. In: *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação* (Scariot A., Felfili J. M., Sousa-Silva J.C. ed.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Distrito Federal. Pp. 265-282
- VILLAS BÔAS, G. L. & PANIZZI, A. R. 1980. Biologia de *Euschistus heros* (Fabricius 1798) em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 9(1): 105–113.
- ZANDEN, M. J. V., CABANA, G. & RASMUSSEN, J. B. 1997. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios (d15N) and literature dietary data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 1142–1158.
- ZAR, J. H. 1999. *Bioestatistical analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Material Suplementar

Tabela Suplementar 1. Quantidade de amostras fecais por espécie de pequeno mamífero em cada época do ano. Período de entressafra = época seca, período de safra = época chuvosa.

Espécies	Quantidade de amostras fecais	
	Período de entressafra	Período de safra
<i>Calomys expulsus</i>	5	0
<i>Cerradomys scotti</i>	11	2
<i>Didelphis albiventris</i>	0	1
<i>Gracilinanus agilis</i>	501	359
<i>Hylaeaemys megacephalus</i>	4	0
<i>Monodelphis americana</i>	1	0
<i>Necomys lasiurus</i>	1	0
<i>Oecomys sp.</i>	12	17
<i>Oligoryzomys nigripes</i>	3	2
<i>Oligoryzomys mattogrossense</i>	0	1
<i>Rhipidomys macrurus</i>	58	110

Tabela Suplementar 2. Número total de indivíduos de *G. agilis* capturados nas áreas nativas no período sem soja e no período com soja. Asteriscos (*) indicam incremento de indivíduos em anos diferentes. Só foram considerados nos cálculos da estimativa de densidade populacional indivíduos coletados no período de entressafra (época seca) de um mesmo ano (densidade bruta).

	Nº indivíduos		Densidade bruta
	Período sem soja	Período com soja	
Mata de galeria	21	17	21
Cerradão (JB3)	17	19*	17
Cerradão (JB2)	45*	47*	28
Cerradão (FAL)	40*	29*	33
Cerradão (JB4)	30*	38*	20