



EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO DE HABITAT SOBRE FORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM PAISAGENS URBANAS

Guilherme Martins Violante^{1,2} & Paula Koeler Lira^{1}*

¹ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Biologia, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, CEP: 22451-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Endereço atual: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-graduação em Biologia Animal, BR-465 – Km 7, CEP: 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil.

E-mails: gm.violante0@gmail.com; paulaklira@puc-rio.br (*autor correspondente)

Resumo: Uma das causas do declínio global da biodiversidade é a fragmentação de habitat. Com o aumento da urbanização é fundamental conhecer os efeitos da fragmentação em paisagens urbanas que são reconhecidamente importantes para a conservação da biodiversidade. Formigas além de serem abundantes, constituírem grande parte da biomassa animal e desempenharem diversos papéis ecológicos nos ecossistemas, são importantes bioindicadores. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi investigar, através de uma revisão sistemática da literatura, os efeitos da fragmentação sobre formigas em paisagens urbanas. Foram considerados tanto os artigos que avaliaram os efeitos das características dos fragmentos (escala da mancha) como os que avaliaram os efeitos dos processos de perda e fragmentação *per se* de habitat (escala da paisagem). Foram encontrados 14 artigos que forneceram 103 resultados na escala da mancha e 16 da paisagem. A maioria dos resultados indicam que diferentes características dos fragmentos não afetam as formigas, mas todos que encontraram efeito indicam que os efeitos de borda, isolamento e urbanização desfavorecem e o aumento do tamanho e do tempo de proteção do fragmento favorecem a conservação das formigas. Todos os resultados na escala da paisagem se referem aos efeitos da perda de habitat e 11 (69%) deles mostram que esse processo não afeta as formigas, mas quatro (31%) indicam que desfavorece. A ausência dos efeitos da fragmentação sobre as formigas pode ser devido aos estudos desconsiderarem que algumas características biológicas fazem que diferentes grupos de espécies respondam de maneira distinta. No entanto, mais de 40% dos resultados indicam algum efeito da fragmentação sobre as formigas, indicando a importância da mitigação desses efeitos para sua conservação em paisagens urbanas. Por fim, para se compreender os reais efeitos da fragmentação sobre as formigas em paisagens urbanas são necessários estudos com formigas arbóreas, realizados na escala da paisagem e em regiões tropicais.

Palavras-chaves: efeitos de borda; isolamento do fragmento; perda de habitat; tamanho do fragmento; urbanização.

EFFECTS OF HABITAT FRAGMENTATION ON ANTS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) IN URBAN LANDSCAPES: One of the causes of the global decline in biodiversity is habitat fragmentation. With the increase of urbanization, it is essential to understand the effects of habitat fragmentation in urban landscapes which are recognizably important for biodiversity conservation. Ants, besides being abundant, constitute a large part of animal biomass and play different ecological roles, are important bioindicators. Thus, the aim of this study was to investigate, through a systematic review, the effects of fragmentation on

ants in urban landscapes. Manuscripts that evaluated the effects of fragment characteristics on ants (patch scale) and those that evaluated the effects of habitat loss and fragmentation *per se* (landscape scale) were considered. Fourteen manuscripts provided 103 results at patch scale and 16 on the landscape scale. Most of the results indicate that different fragment characteristics do not affect ants, but all results that found some effect indicated that edge effects, isolation and urbanization negatively affect ants and that increase in fragment size and protection time benefit ants. All results at the landscape scale refer to habitat loss effects and 11 (69%) did not find an effect on ants, but four (31%) indicate that this process jeopardize ants. The absence of fragmentation effects on ants might reflect the fact that studies ignored that some group of species with different biological characteristics respond differently to this process. However, more than 40% of the results show some fragmentation effects on ants, indicating the importance of mitigating these effects for their conservation in urban landscapes. Finally, to understand the real effects of fragmentation on ants at urban landscapes, studies with arboreal ants, conducted on the landscape scale and at tropical regions are still needed.

Keywords: edge effects; fragment isolation; fragment size; habitat loss, urbanization.

INTRODUÇÃO

Uma das principais causas do declínio global da biodiversidade é a fragmentação de habitat causada por pressões antrópicas nos ecossistemas naturais (Butchart *et al.* 2012, IPBES 2018). Em 2003, Fahrig chamou a atenção para o fato de que a fragmentação de habitat se refere, na verdade, a dois processos distintos que acontecem na escala da paisagem, a perda e a fragmentação *per se* de habitat. A perda de habitat se refere à diminuição na extensão espacial do habitat na paisagem, enquanto a fragmentação *per se* é a mudança na configuração do habitat na paisagem. Fahrig (2003) também destacou que os efeitos das características de fragmentos de habitat, como tamanho, formato e grau de isolamento, que são medidas feitas na escala da mancha, não deveriam ser usadas para avaliar os efeitos da perda de habitat e fragmentação *per se*. Apesar da divisão conceitual da fragmentação de habitat em dois processos distintos sugerida por Fahrig (2003) ser muito útil, não podemos ignorar que os efeitos das características dos fragmentos de habitat são muito relevantes para a compreensão de como a fragmentação de habitat afeta a biodiversidade (Fletcher *et al.* 2018). Sendo assim, os efeitos da perda de habitat, da fragmentação de habitat *per se* e das características dos fragmentos de habitat serão aqui considerados conjuntamente como efeitos da fragmentação de habitat.

A maioria dos estudos sobre os efeitos da fragmentação de habitat foram realizados em

paisagens naturais (Martin *et al.* 2012). No entanto, cada vez mais as paisagens naturais ou semi-naturais estão sendo convertidas em paisagens urbanas (Cincotta *et al.* 2000, Seto *et al.* 2012) e estudos recentes vêm demonstrando a capacidade que essas paisagens tem de conservar a biodiversidade (Cornelis & Hermy 2004, Angold *et al.* 2006, Soanes & Lentini 2019). Sendo assim, tem se tornado cada vez mais importante compreender os efeitos da fragmentação de habitat em paisagens urbanas para que possamos manejá-las de maneira adequada para garantir a conservação da biodiversidade.

As formigas constituem apenas 1,5% de toda fauna de insetos descrita, mas devido sua grande abundância podem chegar a constituir mais de 15% da biomassa total de animais em ecossistemas como florestas tropicais, campos e savanas (Fittkau & Klinge 1973). Além de abundantes, as formigas desempenham importantes papéis ecológicos nos ecossistemas em que habitam, incluindo os ambientes urbanos; elas ajudam a mover e enriquecer o solo e atuam como dispersoras de sementes, polinizadoras, predadoras e herbívoras (Thompson & McLachlan 2007, Del Toro *et al.* 2012, Delnevo *et al.* 2020). As formigas também podem ser consideradas importantes bioindicadores, pois além de abundantes, possuem uma taxonomia relativamente bem resolvida, ocorrem tanto em habitats intactos quanto perturbados (Majer 1983) e sua diversidade varia com as de outros taxa, incluindo plantas e invertebrados, como

colêmbolas, cupins (Majer 1983), borboletas (Lawton *et al.* 1998) e escorpiões (Abensperg-Traun *et al.* 1996) e até vertebrados (Kass *et al.* 2022).

Estudos em paisagens não-urbanas tem demonstrado que as formigas são sensíveis aos efeitos da fragmentação de habitat. Solar *et al.* (2016) e García-Martínez *et al.* (2017) encontraram um efeito negativo da perda de habitat sobre a diversidade de formigas de solo na Amazônia brasileira e em uma floresta de neblina no México, respectivamente. Segundo Caitano *et al.* (2020), insetos eussociais, como as formigas, são afetadas negativamente pelo efeito de borda, podendo ocorrer uma diminuição de 10% em sua riqueza e de 22% em sua abundância nas bordas. Além disso, a diversidade de formigas diminui com a redução do tamanho e com o aumento do grau de isolamento dos fragmentos (Brühl *et al.* 2003, Vasconcelos & Bruna 2012).

No entanto, os efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas variam entre diferentes grupos funcionais (Santos *et al.* 2021). As formigas arbóreas, por exemplo, são afetadas pelos efeitos da fragmentação (Lozano-Zambrano *et al.* 2009, Rocha-Ortega & Coronel-Arellano 2019) enquanto que as formigas de solo são geralmente mais afetadas por características ambientais locais como, por exemplo, a porcentagem de cobertura do dossel e a composição e porcentagem de argila no solo (Debus *et al.* 2007, Rocha-Ortega & Coronel-Arellano 2019). Os efeitos da fragmentação de habitat também parecem depender do grau de especialização de habitat, já que alguns estudos encontraram que a riqueza e abundância de especialistas de habitat é afetada positivamente pela área e negativamente pelo grau de isolamento dos fragmentos de habitat enquanto o oposto é observado para as generalistas (Sobrinho *et al.* 2003, Philpott *et al.* 2010, Leal *et al.* 2012). Santos *et al.* (2021) encontraram que o grupo funcional das formigas especialistas de habitat também é mais afetado pela conversão de paisagens naturais em paisagens antrópicas do que as espécies generalistas. O tamanho da área de vida de diferentes grupos de espécies de formigas também parece ser importante, pois embora Gomes *et al.* (2010) não tenham observado um efeito do tamanho do fragmento sobre a riqueza total da comunidade de formigas, Lovejoy

et al. (1986) e Lozano-Zambrano *et al.* (2009) encontraram um efeito positivo sobre a riqueza e o número de colônias de formigas de correição (Lovejoy *et al.* 1986, Lozano-Zambrano *et al.* 2009) que possuem áreas de vida grande.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi investigar, através de uma revisão sistemática da literatura, os efeitos da fragmentação de habitat sobre formigas em paisagens urbanas. Para tal foram consideradas tanto as pesquisas que avaliaram os efeitos dos processos de perda de habitat e fragmentação *per se* (*sensu* Fahrig 2003, 2017) como aquelas que avaliaram características dos fragmentos de habitat (*e.g.* tamanho, formato e grau de isolamento) sobre as formigas em paisagens urbanas.

MATERIAL E MÉTODOS

Uma revisão sistemática dos artigos publicados, desde 1945, sobre os efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas, foi feita na base de dados *Web of Science* em 4 de março de 2021. O levantamento foi feito utilizando o filtro “Tópico”, que busca pela combinação dos termos de busca no título, resumo e palavras-chave do artigo. A combinação de termos de busca utilizada foi: (“habitat loss” OR “habitat fragmentation” OR “patch size” OR “patch isolation” OR “edge effect” OR “edge influence” OR “fragment size” OR “fragment isolation”) AND (Formicidae OR ant) AND (urban OR urbanization OR “urban ecology”).

Foi feita a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave de cada um dos artigos que retornou do levantamento bibliográfico descrito acima para verificar quais deles, de fato, se referiam a estudos que tivessem avaliado os efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas. Em seguida, cada artigo foi classificado em relação a: características da publicação (periódico e ano), ecossistema(s) em que o estudo foi realizado, escala(s) em que o estudo foi realizado, método(s) de amostragem, métrica(s) da paisagem utilizada(s) e objeto de estudo (nível de organização, métrica ecológica, grupo ecológico) (Tabela 1).

Cada artigo tinha o potencial de contribuir com mais de um resultado sobre o efeito da fragmentação sobre as formigas, já que um único

artigo poderia ter avaliado, por exemplo, o efeito de diferentes métricas da paisagem sobre uma métrica ecológica e/ou avaliado o efeito de uma única métrica da paisagem sobre diferentes métricas ecológicas e/ou grupos ecológicos. Os resultados obtidos nos artigos sobre os efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas foram categorizados como positivo, negativo ou neutro de acordo com a relação observada entre a métrica da paisagem e a métrica ecológica utilizadas (Tabela 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados 39 artigos, sendo apenas 14 (~36%) relacionados aos efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas (Tabela 2). Embora tenha-se buscado artigos desde 1945, o primeiro artigo relacionado a efeitos da fragmentação de habitat sobre formigas em paisagens urbanas foi publicado no ano de 1988. Os artigos foram publicados em 13 revistas diferentes, sendo a *Biological Conservation* a

Tabela 1. Categorias de classificação e seus respectivos níveis e definições utilizadas para obter informações de cada artigo sobre os efeitos da fragmentação de habitats sobre as formigas em paisagens urbanas.

Table 1. Classification categories and their respective levels and definitions used to obtain information from each paper on the effects of habitat fragmentation on ants in urban landscapes.

Categoria	Descrição
Revista	Revista científica em que o artigo foi publicado
Ano	Ano de publicação
Ecosistema	Tipos de ecossistema seguindo o “Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services” (IPBES) (https://www.ipbes.net/glossary/units-analysis)
Florestas tropicais	Florestas tropicais e subtropicais secas e úmidas
Florestas temperadas	Florestas temperadas e boreais e bosques
Florestas mediterrâneas	Florestas mediterrâneas, bosques e arbustos
Savanas e pradarias tropicais	Savanas e pradarias tropicais e subtropicais
Pradaria temperadas	Pradarias temperadas
Método de amostragem	Técnica utilizada para a coleta das formigas <i>e.g. pitfall</i> , isca atrativa
Escala	Escala em que o estudo foi desenvolvido
Mancha	Quando foram avaliados os efeitos das características dos fragmentos de habitat sobre as formigas
Paisagem	Quando foram avaliados os efeitos da perda e/ou fragmentação <i>per se</i> sobre as formigas
Métricas da paisagem	Métrica usada para descrever as características dos fragmentos de habitat e/ou das paisagens de estudo
Nível de organização	Nível ecológico de organização em que as formigas foram estudadas
População	Uma ou mais populações de uma única espécie
Comunidade	Populações de mais de uma espécie
Métrica ecológica	Métrica usada para descrever as populações ou comunidades de formigas <i>e.g.</i> tamanho da população, diversidade de espécies na comunidade
Grupo ecológico	Quando uma métrica ecológica foi avaliada para diferentes grupos ecológicos <i>e.g.</i> riqueza total, riqueza de espécies exóticas, riqueza de espécies nativas
Resultado	Resultado obtido pelos artigos revisados sobre os efeitos das características do fragmento e da perda e fragmentação <i>per se</i> sobre as formigas
Positivo	Quando um aumento no valor da métrica da paisagem estava associado a um aumento no valor da métrica ecológica
Negativo	Quando um aumento no valor da métrica da paisagem estava associado a uma redução no valor da métrica ecológica
Neutro	Quando não foi observado um efeito da métrica da paisagem sobre a métrica ecológica

única com duas publicações. Essas revistas apresentam escopos diferentes, algumas são mais voltadas para publicações nas áreas de ecologia e conservação (e.g. *Biological Conservation*, *Ecology*, *Conservation Biology*, *Landscape Ecology*), enquanto outras são mais voltadas para publicações na área da entomologia (e.g. *Entomological Science*, *Neotropical Entomology*, *Canadian Entomologist*).

Todos os artigos selecionados se referem a estudos com formigas epigéicas, entretanto Santiago *et al.* (2018) e Melo *et al.* (2021) também estudaram as formigas do estrato arbóreo. Ou seja, em paisagens urbanas, a maioria dos estudos teve como foco os efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas de solo, embora já tenha sido observado que os efeitos negativos da fragmentação são maiores sobre as formigas arbóreas do que as formigas de solo em paisagens não-urbanas (Lozano-Zambrano *et al.* 2009, Rocha-Ortega & Coronel-Arellano 2019). Sendo assim, estudos futuros sobre os efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas deveriam considerar especialmente as formigas arbóreas. A escassez de estudos com formigas arbóreas muito provavelmente se deve a dificuldade de acesso ao dossel da floresta que exige ou a utilização de equipamentos para subir em árvores e treinamento especializado para tal (Barker & Pinard 2001) ou a adaptação de métodos utilizados para coleta de formigas no solo, como o pitfall e a isca atrativa (Bestelmeyer *et al.* 2000).

Todos os artigos investigaram os efeitos da fragmentação de habitat sobre comunidades de formigas, porém Suarez *et al.* (1998), Bolger (2007) e Mitrovich *et al.* (2010) também investigaram os efeitos da fragmentação de habitat sobre populações da formiga-argentina (*Linepithema humile*). Essa espécie é conhecida como uma das 100 piores espécies exóticas invasoras do mundo, de acordo com o banco de dados global de espécies invasoras da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) (Lowe *et al.* 2004). Em relação a metodologia de amostragem, com exceção de Melliger *et al.* (2018) que utilizou apenas pitfall, todos os outros artigos utilizaram mais de um método de amostragem de formigas. Os métodos de amostragem mais utilizados foram o pitfall (N=11), coleta manual (N=4) e isca atrativa

(N=4), mas também foram utilizados: saco de Winkler (N=1), armadilha de Möericke (N=1), guarda-chuva entomológico (N=1) e contagem de formigueiros (N=1).

Todos os 14 artigos selecionados avaliaram os efeitos de características dos fragmentos de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas sendo que quatro desses artigos também avaliaram os efeitos dos processos que ocorrem na escala da paisagem – perda de habitat e fragmentação *per se*. No total, esses artigos forneceram 122 resultados referentes aos efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas localizadas em ecossistemas de florestas mediterrâneas (N=45, ~36,9%), florestas temperadas (N=35, ~28,7%), florestas tropicais (N=25, ~20,5%), savanas e pradarias tropicais (N=13, ~10,6%) e pradaria temperada (N=4, ~3,3%).

A maioria dos 122 resultados fornecidos pelos artigos selecionados se refere aos efeitos das características dos fragmentos (N=106), enquanto apenas 16 resultados são relacionados aos efeitos dos processos que ocorrem na escala da paisagem. Porém, três resultados sobre os efeitos das características dos fragmentos sobre a composição de formigas não foram considerados, pois não foi possível classificá-los como positivo, negativo ou neutro. Sendo assim, nas análises posteriores foram considerados apenas 103 resultados dos efeitos das características dos fragmentos. As métricas ecológicas mais utilizadas para avaliar os efeitos das características dos fragmentos sobre as formigas foram riqueza (N=43, ~41,7%), composição (N=16, ~15,5%), diversidade taxonômica (N=14, ~13,6%) e diversidade funcional (N=8, ~7,7%). Riqueza (N=4, ~23,5%) e composição (N=4, ~23,5%) também foram as principais métricas ecológicas utilizadas para avaliar os efeitos da perda e fragmentação *per se* de habitat seguidas pela intensidade de atividade (N=3, ~17,6%) (Figura 1).

Dos 103 resultados sobre os efeitos de diferentes características dos fragmentos de habitat sobre as formigas, 39 (37,9%) se referem aos efeitos de borda, 28 (~27,2%) aos efeitos do tamanho do fragmento, 15 (~14,6%) aos efeitos do grau de isolamento dos fragmentos, 13 (~12,6%) aos efeitos do grau de urbanização, cinco (~4,8%) aos efeitos do tempo de isolamento e três (~2,9%) aos efeitos do tempo de proteção (Figura 2a). Para verificar se havia efeitos de borda, quatro

Tabela 2. Informações dos 14 artigos selecionados sobre os efeitos da fragmentação de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas.
Table 2. Information from the 14 selected articles about habitat fragmentation effects on ants at urban landscapes.

Referência	Ecossistema	Método de coleta	Estrato	Métricas ecológicas	Métricas da paisagem		Resultados
					Escala da mancha	Escala da paisagem	
Melo <i>et al.</i> (2021)	Florestas tropicais	coleta manual, guarda-chuva entomológico, winkler	arbóreo, epigeico	composição, diversidade funcional, riqueza	borda, isolamento	perda de habitat	9
Santos <i>et al.</i> (2019)	Florestas tropicais	coleta manual, isca atrativa	epigeico	composição, diversidade beta, diversidade funcional, ocorrência, riqueza	isolamento, tempo de isolamento	-	11
Santiago <i>et al.</i> (2018)	Savanas e pradarias tropicais	isca atrativa, pitfall	arbóreo, epigeico	composição, riqueza	isolamento, tamanho, urbanização	perda de habitat	13
Melliger <i>et al.</i> (2018)	Florestas temperadas	pitfall	epigeico	composição, diversidade taxonômica, porcentagem de especialistas (%), porcentagem de generalistas (%), riqueza	borda, tamanho	perda de habitat	21
McCary <i>et al.</i> (2018)	Florestas temperadas	pitfall	epigeico	intensidade de atividade	borda	perda de habitat	4
Angulo <i>et al.</i> (2016)	Florestas mediterrâneas	pitfall	epigeico	diversidade taxonômica, riqueza	borda, tamanho	-	16
Carpintero <i>et al.</i> (2014)	Florestas mediterrâneas	pitfall	epigeico	composição, diversidade taxonômica, riqueza	borda, tamanho, tempo de proteção urbanização	-	15
Dáttilo <i>et al.</i> (2011)	Florestas tropicais	isca atrativa, pitfall	epigeico	abundância, composição, diversidade taxonômica, equabilidade, riqueza	borda	-	5
Mitrovich <i>et al.</i> (2010)	Florestas mediterrâneas	pitfall	epigeico	ocorrência, riqueza	urbanização	-	3
Bugrova (2010)	Pradaria temperadas	contagem de formigueiros	epigeico	composição, densidade de ninhos, riqueza, tamanho corporal	tamanho	-	4

Tabela 2. Continua na próxima página...
Table 2. Continues on the next page...

Tabela 2. ...continuação
Table 2. ...continued

Referência	Ecossistema	Método de coleta	Estrato	Métricas ecológicas	Métricas da paisagem		Resultados
					Escala da mancha	Escala da paisagem	
Bolger (2007)	Florestas mediterrâneas	pitfall	epigeico	abundância, riqueza	borda, urbanização	-	4
Lessard & Buddle (2005)	Florestas temperadas	coleta manual, isca atrativa, pitfall	epigeico	abundância, composição, riqueza	borda	-	3
Gibb & Hochuli (2002)	Florestas temperadas	armadilha de Möericke, pitfall	epigeico	composição, diversidade funcional, riqueza	tamanho	-	6
Suarez <i>et al.</i> (1998)	Florestas mediterrâneas	coleta manual, pitfall	epigeico	intensidade de atividade, riqueza	borda, isolamento, tamanho, tempo de isolamento, urbanização	-	10

artigos avaliaram a presença de alterações nas populações e/ou comunidades de formigas em diferentes distâncias da borda enquanto quatro outros artigos avaliaram fragmentos com diferentes formatos e um único artigo utilizou ambas as estratégias. Os trabalhos que verificaram os efeitos da urbanização avaliaram as mudanças nas populações e/ou comunidades de formigas em fragmentos situados a diferentes distâncias de áreas urbanas (250-4000m). Já para a avaliar o tempo de proteção, Carpintero & Reyes-López (2014) avaliaram a idade de parques urbanos desde que foram criados, enquanto que para avaliar o tempo de isolamento, Suarez *et al.* (1998) avaliaram a idade dos fragmentos desde que estes deixaram de ser parte de uma área de vegetação contínua. Desses 103 resultados obtidos, 45 (~43,7%) mostram efeitos das características dos fragmentos sobre as formigas, enquanto 58 (~56,3%) mostram que as características dos fragmentos não têm influência sobre as formigas. É importante ressaltar que a maioria dos estudos avaliou os efeitos das características dos fragmentos sobre a comunidade total de formigas desconsiderando que algumas características biológicas, tais como habito e grau de especialização de habitat, fazem com que diferentes grupos de espécies de formigas respondam de maneira distinta aos efeitos da fragmentação (Lozano-Zambrano *et al.* 2009, Leal *et al.* 2012, Rocha-Ortega & Coronel-Arellano 2019).

Dos 39 resultados dos efeitos de borda sobre as formigas, 12 mostram efeitos negativos e três mostram efeitos positivos sobre a riqueza e/ou abundância, mas a maioria (N=24, ~61,5%) indica que as formigas não são afetadas (Figura 2a). Esses 12 resultados indicando efeitos de borda negativos estão de acordo com os resultados de estudos realizados em paisagens não-urbanas que encontraram que, devido as mudanças abióticas e bióticas que ocorrem na borda, espécies exóticas e generalistas são favorecidas e excluem competitivamente espécies mais associadas ao interior dos fragmentos (Golden & Crist 2000, Vasconcelos & Bruna 2012, Caitano *et al.* 2020), que foi justamente o que foi verificado por alguns dos artigos aqui revisados (*e.g.* Bolger, 2007; Melo *et al.*, 2021). Dos resultados que mostram efeitos de borda positivos, dois

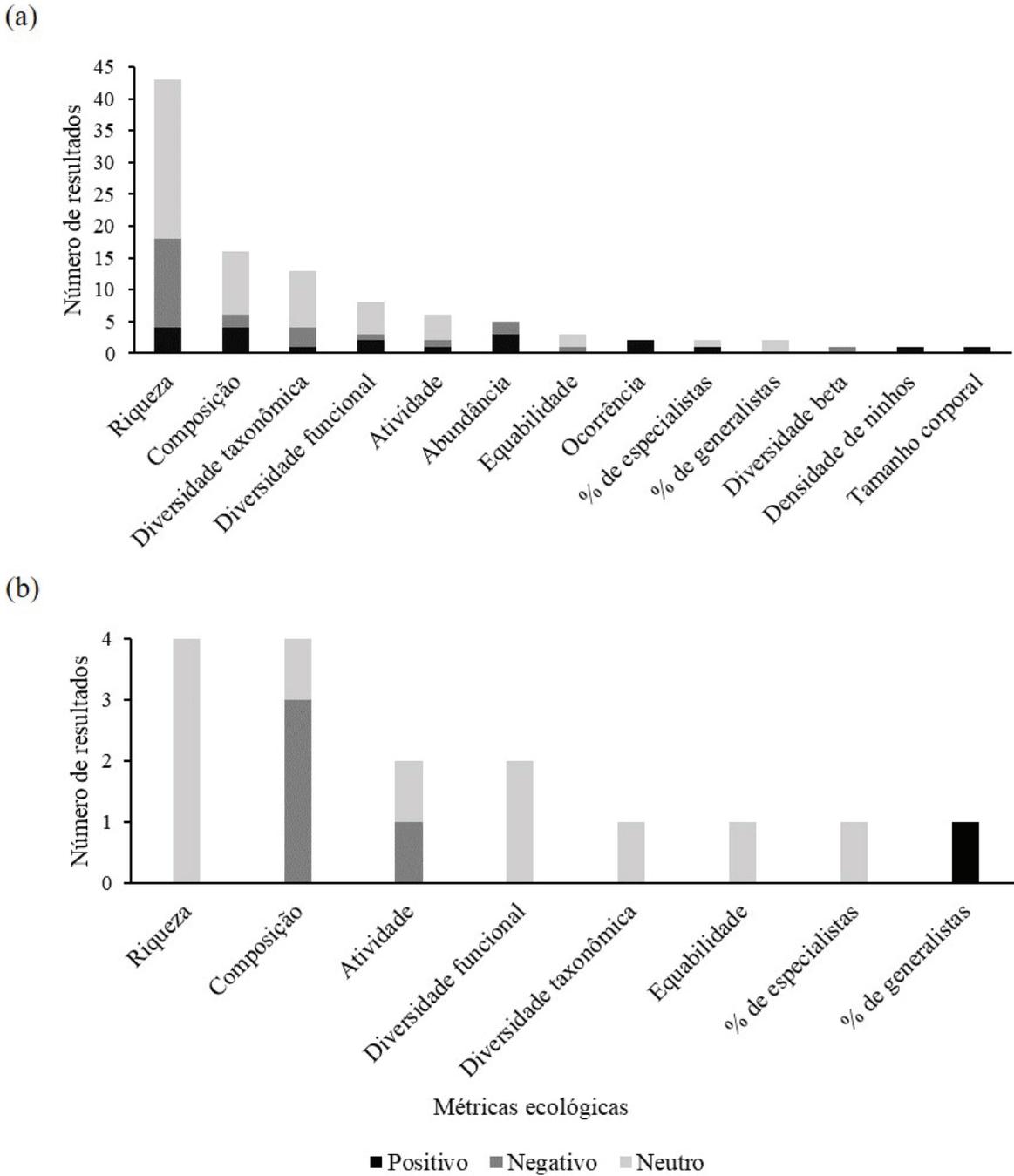


Figura 1. Número de resultados sobre os efeitos (a) de características dos fragmentos de habitat e (b) da perda de habitat sobre diferentes métricas ecológicas de formigas em paisagens urbanas. Os resultados foram categorizados como: 1) positivo, quando um aumento no valor da métrica da paisagem estava associado a um aumento no valor da métrica ecológica; 2) negativo, quando um aumento no valor da métrica da paisagem estava associado a uma redução no valor da métrica ecológica; ou 3) neutro, quando não foi observado um efeito da métrica da paisagem sobre a métrica ecológica. Um efeito positivo ou negativo não necessariamente reflete um efeito favorável ou desfavorável à conservação das formigas.

Figure 1. Number of results on the effects (a) of habitat fragment's characteristics and (b) of habitat loss on ants in urban landscapes. Results were categorized as: 1) positive, when an increase in the landscape metric was associated with an increase in the ecological metric; 2) negative, when an increase in the landscape metric was associated with a decrease in the ecological metric; or 3) neutral, when there was no effect of the landscape metric on the ecological metric. A positive or negative effect do not reflect a favorable or an unfavorable effect for ant conservation.

foram obtidos por Lessard & Buddle (2005) e um por Bolger (2007). Lessard & Buddle (2005) encontraram uma maior riqueza e abundância de formigas na borda do que no interior devido a uma maior presença de espécies exóticas na borda do fragmento. Já Bolger (2007) encontrou uma maior abundância de formiga-argentina na borda. Sendo assim, esses três resultados não indicam que os efeitos de borda são favoráveis para as formigas, pois em geral a conservação de espécies nativas é mais importante e as espécies exóticas quando se tornam invasoras são uma grande ameaça a conservação (Vermeij 1996). É surpreendente que 24 resultados apontem para uma ausência dos efeitos de borda já que de acordo com a literatura esses efeitos alteram a estrutura e composição da vegetação (Murcia 1995, Harper *et al.* 2005) que são características que afetam a riqueza de espécies de formigas (Debus *et al.* 2007, Klimes *et al.* 2012). No entanto, vale ressaltar que, em paisagens urbanas, as comunidades são majoritariamente formadas por espécies generalistas (Morini *et al.* 2007) que, em geral, são mais resistentes a mudanças na estrutura e composição da vegetação (Santos *et al.* 2021).

Dos 28 resultados referentes aos efeitos do tamanho do fragmento, 12 mostram que as formigas são afetadas positivamente, dois mostram que elas são afetadas negativamente e 14 mostram que o tamanho dos fragmentos não afeta as formigas (Figura 2a). Estudos realizados em paisagens naturais encontraram que quanto maior o tamanho do fragmento maior a riqueza (Vasconcelos *et al.* 2006) e diversidade funcional de formigas (Leal *et al.* 2012). Além disso, quanto maior o tamanho do fragmento mais similar é a composição da comunidade de formigas com áreas de vegetação contínua (Vasconcelos *et al.* 2006, Leal *et al.* 2012). Os efeitos negativos do tamanho do fragmento sobre as formigas foram encontrados por Gibb & Hochuli (2002) e Suarez *et al.* (1998). Gibb & Hochuli (2002) observaram que a riqueza de espécies de formigas era maior em fragmentos menores devido a presença de espécies oportunistas e generalistas de habitat que ocorrem com pouca frequência nos fragmentos grandes, onde as condições ambientais e a menor proporção de borda favorecerem as espécies nativas. Já Suarez *et al.* (1998) observaram uma relação negativa entre a atividade de formiga-

argentina e o tamanho dos fragmentos. Sendo assim, esses resultados não indicam um efeito negativo do tamanho dos fragmentos sobre as formigas nativas, pois como as espécies exóticas são desfavorecidas nos fragmentos maiores as nativas são favorecidas.

Alguns estudos, realizados em paisagens rurais, também observaram que o tamanho do fragmento não influencia as formigas (Santos *et al.* 2006, Gomes *et al.* 2010). Santos *et al.* (2006) encontraram que as formigas são mais afetadas por características ambientais locais, como a quantidade de serapilheira, do que pelo tamanho do fragmento. Esse foi o caso de dois dos artigos aqui revisados que observaram que características ambientais locais como pH da serapilheira, composição do solo e porcentagem de cobertura do dossel são fatores importantes que afetam a riqueza e diversidade de formigas (Angulo *et al.* 2016, Melliger *et al.* 2018). Já Gomes *et al.* (2010) não encontraram um efeito do tamanho dos fragmentos sobre as formigas, o que elas justificam pelo fato de que a maioria das espécies não necessitam de grandes áreas de vida. No entanto, vale lembrar que as formigas de correição, por necessitarem de grandes áreas de vida, são mais sensíveis ao tamanho do fragmento do que outras espécies, chegando a desaparecer em fragmentos menores que 10 hectares (Lovejoy *et al.* 1986). A maioria dos artigos considerados nessa revisão avaliaram o efeito do tamanho do fragmento para toda a comunidade de formigas, sem considerar a variação do tamanho de área de vida e outras características biológicas que variam entre diferentes espécies.

Dos 15 resultados referentes aos efeitos do grau de isolamento dos fragmentos de habitat sobre as formigas, sete mostram que elas são afetadas negativamente, um positivamente e sete mostram que o grau de isolamento não afeta as formigas (Figura 2a). Esses sete resultados corroboram com outros estudos realizados em paisagens não-urbanas que encontraram que o aumento do grau de isolamento dos fragmentos tem efeitos negativos sobre as formigas (Sobrinho *et al.* 2003, Vasconcelos & Bruna 2012), pois o baixo fluxo gênico e a dificuldade de recolonização podem levar populações de espécies mais sensíveis à extinção (Brühl *et al.* 2003, Vasconcelos & Bruna 2012). O resultado do efeito positivo do grau de

isolamento dos fragmentos de habitat sobre as formigas foi encontrado por Santos *et al.* (2019) que observaram uma maior ocorrência de espécies exóticas em fragmentos mais isolados. No entanto, fragmentos de habitat isolados podem ser importantes na conservação das formigas nativas, pois segundo Santos *et al.* (2019), mesmo parques urbanos isolados podem conter uma comunidade de formigas composta principalmente por espécies nativas. Já os sete resultados que mostram que não há efeito do grau de isolamento podem ser explicados pela estratégia de dispersão das formigas (Melo *et al.* 2021). Melo *et al.* (2021), testaram o efeito do grau de isolamento sobre formigas e aranhas e observaram que as formigas não eram afetadas enquanto as aranhas eram afetadas pelo grau de isolamento. Os autores atribuíram essa diferença a forma como as formigas se dispersam através do voo de acasalamento, permitindo com que elas conseguissem ir de um fragmento de habitat para outro com maior facilidade se comparado as aranhas que precisam das correntes de ar para se deslocar entre fragmentos.

De um total de 13 resultados dos efeitos da urbanização sobre as formigas, três mostram que elas são afetadas negativamente, três positivamente e sete demonstram não haver influência da urbanização sobre as formigas (Figura 2a). Os três resultados que indicam que a urbanização tem um efeito positivo sobre as formigas analisaram a atividade, abundância e ocorrência da formiga-argentina (Suarez *et al.* 1998, Bolger 2007, Mitrovich *et al.* 2010) uma das 100 piores espécies exóticas invasoras do mundo. Portanto, ao ter um efeito positivo sobre a formiga-argentina a urbanização potencialmente vai desfavorecer as formigas nativas. Já é bem documentado na literatura que a urbanização, no geral, tem efeitos negativos sobre as formigas e outros artrópodes terrestres (Vergnes *et al.* 2014, Fenoglio *et al.* 2020, Piano *et al.* 2020). Sendo assim, é surpreendente que a maioria dos resultados mostrem que a urbanização não tem efeito sobre as formigas.

Dos cinco resultados sobre os efeitos do tempo de isolamento dos fragmentos sobre as formigas, um único resultado mostra que a riqueza de formigas nativas foi afetada negativamente (Suarez *et al.* 1998) enquanto que quatro

resultados sugerem que as formigas não foram afetadas pelo tempo de isolamento (Figura 2a). Suarez *et al.* (1998) observaram uma relação negativa entre a riqueza de formigas nativas e o tempo de isolamento de fragmentos de vegetação arbustiva localizados na Califórnia (EUA). Os autores sugerem que quanto maior o tempo de isolamento de um fragmento, maior é a probabilidade da ocorrência de extinções locais e como estas são muito raramente revertidas por recolonizações, fragmentos isolados há muito tempo apresentam menor riqueza de espécies do que fragmentos recém isolados. Um estudo mais recente feito por Achury *et al.* (2021), que não foi considerado nessa revisão, testou se os efeitos observados por Suarez *et al.* (1998) persistiram após 21 anos. Segundo Archury *et al.* (2021), depois de 21 anos todos os fragmentos estavam igualmente pobres e houve um aumento considerável das populações da formiga-argentina (*L. humile*). Sendo assim, com aumento no tempo de isolamento houve uma redução da diversidade de formigas nesses fragmentos.

Os três resultados referentes aos efeitos do tempo de proteção dos fragmentos sobre as formigas são provenientes de um único artigo (Carpintero & Reyes-López 2014). Desses três resultados, apenas um mostra que a composição de formigas foi afetada positivamente pelo tempo de proteção, enquanto os outros dois mostram ausência de efeito (Figura 2a). Segundo Carpintero & Reyes-López (2014), os parques mais antigos possuem espécies que preferem habitats menos perturbados, enquanto parques mais novos são dominados espécies exóticas e generalistas. O tempo de proteção de uma área pode afetar positivamente a diversidade de formigas, pois parques mais antigos e menos perturbados estão positivamente associados ao maior acúmulo de serapilheira, cobertura de arbustos altos, cobertura de árvores e riqueza de espécies de plantas, que são importantes fatores para a manutenção da diversidade de formigas (Majer & Brown 1986).

Já dos 16 resultados obtidos na escala da paisagem, todos se referem aos efeitos da perda de habitat sobre as formigas. Foram obtidos quatro resultados que mostram que a perda de habitat afeta negativamente as formigas e um único resultado mostrando que elas foram

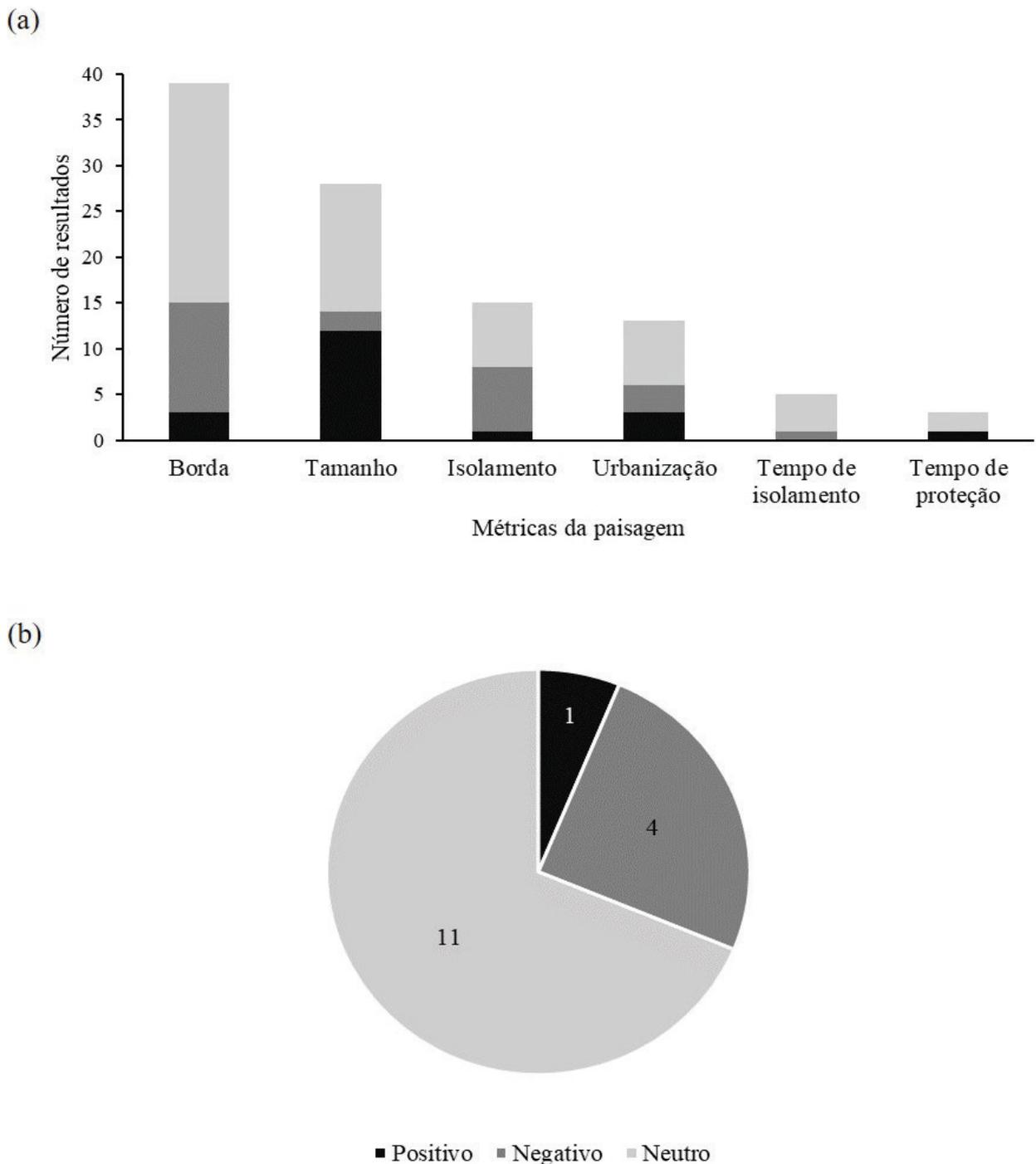


Figura 2. Número de resultados sobre os efeitos (a) de diferentes características dos fragmentos de habitat e (b) da perda de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas. Os resultados foram categorizados como: 1) positivo, quando um aumento no valor da métrica da paisagem estava associado a um aumento no valor da métrica ecológica; 2) negativo, quando um aumento no valor da métrica da paisagem estava associado a uma redução no valor da métrica ecológica; ou 3) neutro, quando não foi observado um efeito da métrica da paisagem sobre a métrica ecológica. Um efeito positivo ou negativo não necessariamente reflete um efeito favorável ou desfavorável à conservação das formigas.

Figure 2. Number of results on the effects (a) of habitat fragment's characteristics and (b) of habitat loss on ants in urban landscapes. Results were categorized as: 1) positive, when an increase in the landscape metric was associated with an increase in the ecological metric; 2) negative, when an increase in the landscape metric was associated with a decrease in the ecological metric; or 3) neutral, when there was no effect of the landscape metric on the ecological metric. A positive or negative effect do not reflect a favorable or an unfavorable effect for ant conservation.

afetadas positivamente, mas é importante ressaltar que a maioria dos resultados (N=11, ~70%) mostra que a perda de habitat não afeta as formigas (Figura 2b). É surpreendente que a maioria dos resultados obtidos aponte para uma ausência de efeito da perda de habitat sobre as formigas em paisagens urbanas, visto que de acordo com a literatura a perda de habitat tem efeitos fortes e consistentemente negativos sobre as formigas (Solar *et al.* 2016, García-Martínez *et al.* 2017). O único resultado indicando um efeito positivo da perda de habitat sobre as formigas foi obtido por Melliger *et al.* (2018) para espécies de formigas generalistas de habitat. Sendo assim, esse resultado não indica necessariamente um efeito positivo sobre as formigas, pois se a perda de habitat favorece as espécies generalistas em detrimento das especialistas possivelmente há uma perda de serviços ecossistêmicos (Clavel *et al.* 2011).

CONCLUSÃO

Embora mais da metade dos resultados indique que diferentes características dos fragmentos não afetam as formigas, todos os resultados que encontraram algum efeito indicam que os efeitos de borda, grau de isolamento, urbanização e tempo de isolamento dos fragmentos desfavorecem e que o tamanho e tempo de proteção dos fragmentos favorecem a conservação das formigas em paisagens urbanas. Já para os efeitos da perda de habitat a maioria dos resultados indica a ausência de efeito, enquanto alguns poucos resultados indicam que esse processo desfavorece a conservação de formigas em paisagens urbanas.

Uma possível explicação para que a maioria dos resultados indique uma ausência dos efeitos da fragmentação de habitat é que, em paisagens urbanas, as comunidades de formigas dos fragmentos de habitat são majoritariamente formadas por espécies generalistas (Morini *et al.* 2007). Além disso, a maioria dos estudos avaliou os efeitos da fragmentação de habitat sobre a comunidade total de formigas desconsiderando que algumas características biológicas, tais como hábito, grau de especialização de habitat e tamanho de área de vida, fazem com que diferentes grupos de espécies respondam de maneira distinta aos efeitos da fragmentação (Lozano-

Zambrano *et al.* 2009, Leal *et al.* 2012, Rocha-Ortega & Coronel-Arellano 2019). No entanto, vale ressaltar que mais de 40% dos resultados indicam algum efeito da fragmentação de habitat sobre as comunidades de formigas, o que reforça a importância da mitigação desses efeitos para a conservação de formigas em paisagens urbanas.

Foram encontrados relativamente poucos estudos em paisagens urbanas e apesar de eles serem importantes e ajudarem a entender melhor os efeitos da fragmentação de habitat sobre formigas nessas paisagens, ainda existem lacunas de conhecimento importantes a serem preenchidas. São necessários mais estudos com formigas arbóreas, pois elas são mais sensíveis aos efeitos da fragmentação do que as formigas de solo, como já observado em paisagens não-urbanas (Lozano-Zambrano *et al.* 2009, Rocha-Ortega & Coronel-Arellano 2019). Os poucos resultados encontrados na escala da paisagem também demonstram que são necessários mais estudos sobre os efeitos da perda de habitat e, principalmente, sobre os efeitos da fragmentação *per se* sobre as formigas. Por fim, são necessários mais estudos em paisagens urbanas, principalmente nas regiões tropicais onde se concentra uma grande riqueza de formigas (Kass *et al.* 2022) e onde estima-se um aumento considerável da população humana nos próximos anos (Trzyzna 2017). Portanto, entender os efeitos da fragmentação de habitat em paisagens urbanas nas regiões tropicais é fundamental para a conservação da biodiversidade.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apresentado por GMV como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Biologia pela PUC-Rio. GMV recebeu bolsa de iniciação científica da Coordenação Central de Pós-Graduação e Pesquisa (CCPG) da PUC-Rio. Agradecemos a infraestrutura disponibilizada pelo Departamento de Biologia da PUC-Rio para realização deste trabalho. Também somos gratos a Thaís Mega, Henrique Rajão, Jarbas Queiroz e quatro revisores anônimos pelas preciosas sugestões nesse manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abensperg-Traun, M., Arnold, G. W., Steven, D. E., Smith, G. T., Atkins, L., Viveen, J. J., & Gutter, M. 1996. Biodiversity indicators in semi-arid, agricultural Western Australia. *Pacific Conservation Biology*, 2(4), 375–389. DOI: 10.1071/pc960375
- Achury, R., Holway, D. A., & Suarez, A. V. 2021. Pervasive and persistent effects of ant invasion and fragmentation on native ant assemblages. *Ecology*, 102(3). DOI: 10.1002/ecy.3257
- Angold, P. G., Sadler, J. P., Hill, M. O., Pullin, A., Rushton, S., Austin, K., Small, E., Wood, B., Wadsworth, R., Sanderson, R., & Thompson, K. 2006. Biodiversity in urban habitat patches. *Science of the Total Environment*, 360(1–3), 196–204. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.08.035
- Angulo, E., Boulay, R., Ruano, F., Tinaut, A., & Cerdá, X. 2016. Anthropogenic impacts in protected areas: Assessing the efficiency of conservation efforts using Mediterranean ant communities. *PeerJ*, 2016(12), 1–22. DOI: 10.7717/peerj.2773
- Barker, M. G., & Pinard, M. A. 2001. Forest canopy research: Sampling problems, and some solutions. *Plant Ecology*, 153(1–2), 23–38. DOI: 10.1023/A:1017584130692
- Bestelmeyer, B. T., D. Agosti, L. E. A., Brandão, C. R. F., Jr., W. L. B., Delabie, J. H. C., & Silvestre, R. 2000. Field Techniques for the Study of Ground-Dwelling Ants: An Overview, Description and Evaluation. *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*.
- Bolger, D. T. 2007. Spatial and temporal variation in the Argentine ant edge effect: Implications for the mechanism of edge limitation. *Biological Conservation*, 136(2), 295–305. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.12.002
- Brühl, C. A., Eltz, T., & Linsenmair, K. E. 2003. Size does matter - Effects of tropical rainforest fragmentation on the leaf litter ant community in Sabah, Malaysia. *Biodiversity and Conservation*, 12(7), 1371–1389. DOI: 10.1023/A:1023621609102
- Bugrova, N. M. 2010. The impact of forest area fragmentation on ant population. *Entomological Review*, 90(5), 541–547. DOI: 10.1134/S0013873810050015
- Butchart, S. H. M., Scharlemann, J. P. W., Evans, M. I., Quader, S., Aricò, S., Arinaitwe, J., Balman, M., Bennun, L. A., Bertzky, B., Besançon, C., Boucher, T. M., Brooks, T. M., Burfield, I. J., Burgess, N. D., Chan, S., Clay, R. P., Crosby, M. J., Davidson, N. C., de Silva, N., Devenish, C., Dutson, G. C. L., Fernández, D. F. D., Fishpool, L. D. C., Fitzgerald, C., Foster, M., Heath, M. F., Hockings, M., Hoffmann, M., Knox, D., Larsen, F. W., Lamoreux, J. F., Loucks, C., May, I., Millett, J., Molloy, D., Morling, P., Parr, M., Ricketts, T. H., Seddon, N., Skolnik, B., Stuart, S. N., Upgren, A., & Woodley, S. 2012. Protecting important sites for biodiversity contributes to meeting global conservation targets. *PLoS ONE*, 7(3). DOI: 10.1371/journal.pone.0032529
- Caitano, B., Chaves, T. P., Dodonov, P., & Delabie, J. H. C. 2020. Edge effects on insects depend on life history traits: a global meta-analysis. *Journal of Insect Conservation*, 24(2), 233–240. DOI: 10.1007/s10841-020-00227-1
- Carpintero, S., & Reyes-López, J. 2014. Effect of park age, size, shape and isolation on ant assemblages in two cities of Southern Spain. *Entomological Science*, 17(1), 41–51. DOI: 10.1111/ens.12027
- Cincotta, R. P., Wisniewski, J., & Engelman, R. 2000. Human population in the biodiversity hotspots. *Nature*, 404(6781), 990–992. DOI: 10.1038/35010105
- Clavel, J., Julliard, R., & Devictor, V. 2011. Worldwide decline of specialist species: Toward a global functional homogenization? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(4), 222–228. DOI: 10.1890/080216
- Cornelis, J., & Hermy, M. 2004. Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning*, 69(4), 385–401. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2003.10.038
- Dáttilo, W., Sibinel, N., Caroline, J., & Falcão, D. F. 2011. Mirmecofauna Em Um Fragmento De Floresta Atlântica Urbana No Município De Marília , SP , Brasil Ant Fauna in a Urban Remnant of Atlantic Forest in the Municipality of Marília , State of São Paulo , Brazil. *Biosci J.*, 494–504.
- Debusse, V. J., King, J., & House, A. P. N. 2007. Effect of fragmentation, habitat loss and

- within-patch habitat characteristics on ant assemblages in semi-arid woodlands of eastern Australia. *Landscape Ecology*, 22(5), 731–745. DOI: 10.1007/s10980-006-9068-0
- Del Toro, I., Ribbons, R. R., & Pelini, S. L. 2012. The little things that run the world revisited: A review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 17(August), 133–146.
- Delnevo, N., van Etten, E. J., Clemente, N., Fogu, L., Pavarani, E., Byrne, M., & Stock, W. D. 2020. Pollen adaptation to ant pollination: a case study from the Proteaceae. *Annals of Botany*, 126(3), 377–386. DOI: 10.1093/aob/mcaa058
- Fahrig, L. 2003. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487–515. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419
- Fahrig, L. 2017. Ecological Responses to Habitat Fragmentation per Se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(May), 1–23. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612
- Fenoglio, M. S., Rossetti, M. R., & Videla, M. 2020. Negative effects of urbanization on terrestrial arthropod communities: A meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 29(8), 1412–1429. DOI: 10.1111/geb.13107
- Fittkau, E. J., & Klinge, H. 1973. On Biomass and Trophic Structure of the Central Amazonian Rain Forest Ecosystem. *Biotropica*, 5(1), 2. DOI: 10.2307/2989676
- Fletcher, R. J., Didham, R. K., Banks-Leite, C., Barlow, J., Ewers, R. M., Rosindell, J., Holt, R. D., Gonzalez, A., Pardini, R., Damschen, E. I., Melo, F. P. L., Ries, L., Prevedello, J. A., Tscharntke, T., Laurance, W. F., Lovejoy, T., & Haddad, N. M. 2018. Is habitat fragmentation good for biodiversity? *Biological Conservation*, 226(July), 9–15. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.07.022
- García-Martínez, M., Valenzuela-González, J. E., Escobar-Sarria, F., López-Barrera, F., & Castaño-Meneses, G. 2017. The surrounding landscape influences the diversity of leaf-litter ants in riparian cloud forest remnants. *PLoS ONE*, 12(2), 1–19. DOI: 10.1371/journal.pone.0172464
- Gibb, H., & Hochuli, D. F. 2002. Habitat fragmentation in an urban environment: Large and small fragments support different arthropod assemblages. *Biological Conservation*, 106(1), 91–100. DOI: 10.1016/S0006-3207(01)00232-4
- Golden, D. M., & Crist, T. O. 2000. Experimental effects of habitat fragmentation on rove beetles and ants: Patch area or edge? *Oikos*, 90(3), 525–538. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2000.900311.x
- Gomes, J. P., Iannuzzi, L., & Leal, I. R. 2010. Response of the ant community to attributes of fragments and vegetation in a northeastern Atlantic rain forest area, Brazil. *Neotropical Entomology*, 39(6), 898–905. DOI: 10.1590/S1519-566X2010000600008
- Harper, K. A., MacDonald, S. E., Burton, P. J., Chen, J., Brosofske, K. D., Saunders, S. C., Euskirchen, E. S., Roberts, D., Jaithe, M. S., & Esseen, P.-A. 2005. Edge Influence on Forest Structure and Composition in Fragmented Landscapes. *Conservation Biology*, 19(3), 768–782. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x
- IPBES. 2018. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. L. Montanarella R. Scholes & A. Brainich (Eds.), Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany: p. 744.
- Kass, J. M., Guénard, B., Dudley, K. L., Jenkins, C. N., Azuma, F., Fisher, B. L., Parr, C. L., Gibb, H., Longino, J. T., Ward, P. S., Chao, A., Lubertazzi, D., Weiser, M., Jetz, W., Guralnick, R., Blatrix, R., Lauriers, J. Des, Donoso, D. A., Georgiadis, C., Gomez, K., Hawkes, P. G., Johnson, R. A., Lattke, J. E., MacGown, J. A., Mackay, W., Robson, S., Sanders, N. J., Dunn, R. R., & Economo, E. P. 2022. The global distribution of known and undiscovered ant biodiversity. *Science Advances*, 8(31). DOI: 10.1126/sciadv.abp9908
- Klimes, P., Idigel, C., Rimandai, M., Fayle, T. M., Janda, M., Weiblen, G. D., & Novotny, V. 2012. Why are there more arboreal ant species in primary than in secondary tropical forests? *Journal of Animal Ecology*, 81(5), 1103–1112. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2012.02002.x
- Lawton, J. H., Bignell, D. E., Bolton, B., Bloemers, G. F., Eggleton, P., Hammond, P. M., Hodda, M., Holt, R. D., Larsen, T. B., Mawdsley, N. A., Stork, N. E., Srivastava, D. S., & Watt, A.

- D. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, 391(6662), 72–76. DOI: 10.1038/34166
- Leal, I. R., Filgueiras, B. K. C., Gomes, J. P., Iannuzzi, L., & Andersen, A. N. 2012. Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. *Biodiversity and Conservation*, 21(7), 1687–1701. DOI: 10.1007/s10531-012-0271-9
- Lessard, J. P., & Buddle, C. M. 2005. The effects of urbanization on ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) associated with the Molson Nature Reserve, Quebec. *Canadian Entomologist*, 137(2), 215–225. DOI: 10.4039/n04-055
- Lovejoy, T. E., R. O. Bierregaard, J., Rylands, A. B., Malcom, J. R., Quintela, C. E., L. H. Harper; K. S. Brown, J., Powell, A. H., Powell, G. V. N., H. O. R. Schubart, & Hays, M. B. 1986. Edge and other effects on Amazon forest fragments. In: M. E. Soulé (Ed.), *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. pp. 257–285. Sinauer: Sunderland.
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & M, D. P. 2004. 100 of the World's worst invasive alien species: A selection from the Global Invasive Species Database. The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a Specialist Group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 12.
- Lozano-Zambrano, F. H., Ulloa-Chacón, P., & Armbrrecht, I. 2009. Ants: Species-Area relationship in tropical dry forest fragments. *Neotropical Entomology*, 38(1), 44–54. DOI: 10.1590/s1519-566x2009000100004
- Majer, J. D. 1983. Ants: Bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. *Environmental Management*, 7(4), 375–383. DOI: 10.1007/BF01866920
- Majer, J. D., & Brown, K. R. 1986. The effects of urbanization on the ant fauna of the Swan Coastal Plain near Perth, Western Australia. *Royal Society of Western Australia*, 69, 13–17.
- Martin, L. J., Blossey, B., & Ellis, E. 2012. Mapping where ecologists work: Biases in the global distribution of terrestrial ecological observations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(4), 195–201. DOI: 10.1890/110154
- McCary, M. A., Minor, E., & Wise, D. H. 2018. Covariation between local and landscape factors influences the structure of ground-active arthropod communities in fragmented metropolitan woodlands. *Landscape Ecology*, 33(2), 225–239. DOI: 10.1007/s10980-017-0593-9
- Melliger, R. L., Braschler, B., Rusterholz, H. P., & Baur, B. 2018. Diverse effects of degree of urbanisation and forest size on species richness and functional diversity of plants, and ground surface-active ants and spiders. *PLoS ONE*, 13(6), 1–24. DOI: 10.1371/journal.pone.0199245
- Melo, T. S., Moreira, E. F., Lopes, M. V. A., Andrade, A. R. S., Brescovit, A. D., Peres, M. C. L., & Delabie, J. H. C. 2021. Influence of Urban Landscape on Ants and Spiders Richness and Composition in Forests. *Neotropical Entomology*, 50(1), 32–45. DOI: 10.1007/s13744-020-00824-4
- Mitrovich, M. J., Matsuda, T., Pease, K. H., & Fisher, R. N. 2010. Ants as a measure of effectiveness of habitat conservation planning in southern california. *Conservation Biology*, 24(5), 1239–1248. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2010.01486.x
- Morini, M. S. de C., Munhae, C. de B., Leung, R., Candiani, D. F., & Voltolini, J. C. 2007. Comunidades de formigas (Hymenoptera, Formicidae) em fragmentos de Mata Atlântica situados em áreas urbanizadas. *Iheringia. Série Zoologia*, 97(3), 246–252. DOI: 10.1590/s0073-47212007000300005
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(2), 58–62. DOI: 10.1016/S0169-5347(00)88977-6
- Philpott, S., Perfecto, I., Armbrrecht, I., & Parr, C. 2010. Ant Diversity and Function in Disturbed and Changing Habitats. In: L. Lach, C. L. Parr, & K. L. Abbott (Eds.), *Ant Ecology*. pp. 137–156. Oxford University Press.
- Piano, E., Bona, F., & Isaia, M. 2020. Urbanization drivers differentially affect ground arthropod assemblages in the city of Turin (NW-Italy). *Urban Ecosystems*, 23(3), 617–629. DOI: 10.1007/s11252-020-00937-z
- Rocha-Ortega, M., & Coronel-Arellano, H. 2019. How predictable are the responses of ant and dung beetle assemblages to patch and

- landscape attributes in fragmented tropical forest landscapes? *Landscape and Ecological Engineering*, 15(3), 315–322. DOI: 10.1007/s11355-018-0367-9
- Santiago, G. S., Campos, R. B. F., & Ribas, C. R. 2018. How does landscape anthropization affect the myrmecofauna of urban forest fragments? *Sociobiology*, 65(3), 441–448. DOI: 10.13102/sociobiology.v65i3.3042
- Santos, M. N., Delabie, J. H. C., & Queiroz, J. M. 2019. Biodiversity conservation in urban parks: a study of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) in Rio de Janeiro City. *Urban Ecosystems*, 22(5), 927–942. DOI: 10.1007/s11252-019-00872-8
- Santos, M. S., Louzada, J. N. ., Dias, N., Zanetti, R., Delabie, J. H. ., & Nascimento, I. C. 2006. Riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) da serapilheira em fragmentos de floresta semidecídua da Mata Atlântica na região do Alto do Rio Grande, MG, Brasil. *Iheringia - Serie Zoologia*, 96(1), 95–101. DOI: 10.1590/S0073-47212006000100017
- Santos, R. J., Dodonov, P., & Delabie, J. H. C. 2021. Effects of habitat conversion on ant functional groups: A global review. *Sociobiology*, 68(2). DOI: 10.1093/aob/mcaa058
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R. 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(40), 16083–16088. DOI: 10.1073/pnas.1211658109
- Soanes, K., & Lentini, P. E. 2019. When cities are the last chance for saving species. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(4), 225–231. DOI: 10.1002/fee.2032
- Sobrinho, T. G., Schoereder, J. H., Sperber, C. F., & Madureira, M. S. 2003. Does fragmentation alter species composition in ant communities (Hymenoptera: Formicidae)? *Sociobiology*, 42(2), 329–342.
- Solar, R. R. de C., Barlow, J., Andersen, A. N., Schoereder, J. H., Berenguer, E., Ferreira, J. N., & Gardner, T. A. 2016. Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. *Biological Conservation*, 197, 98–107. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.03.005
- Suarez, A. V., Bolger, D. T., & Case, T. J. 1998. Effects of fragmentation and invasion on native ant communities in coastal southern California. *Ecology*, 79(6), 2041–2056. DOI:10.1890/0012-9658(1998)079[2041:EOFAIO]2.0.CO;2
- Thompson, B., & McLachlan, S. 2007. The effects of urbanization on ant communities and myrmecochory in Manitoba, Canada. *Urban Ecosystems*, 10(1), 43–52. DOI: 10.1007/s11252-006-0013-4
- Trzyna, T. 2017. Urban Protected Areas - Profiles and best practice guidelines. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 22, Gland, Switzerland: IUCN, 110.
- Vasconcelos, H. L., & Bruna, E. M. 2012. Arthropod responses to the experimental isolation of Amazonian forest fragments. *Zoologia*, 29(6), 515–530. DOI: 10.1590/S1984-46702012000600003
- Vasconcelos, H. L., Vilhena, J. M. S., Magnusson, W. E., & Albernaz, A. L. K. M. 2006. Long-term effects of forest fragmentation on Amazonian ant communities. *Journal of Biogeography*, 33(8), 1348–1356. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2006.01516.x
- Vergnes, A., Pellissier, V., Lemperiere, G., Rollard, C., & Clergeau, P. 2014. Urban densification causes the decline of ground-dwelling arthropods. *Biodiversity and Conservation*, 23(8), 1859–1877. DOI: 10.1007/s10531-014-0689-3
- Vermeij, G. J. 1996. An agenda for invasion biology. *Biological Conservation*, 78(1–2), 3–9. DOI: 10.1016/0006-3207(96)00013-4

Submitted: 28 December 2021

Accepted: 25 August 2022

Published online: 8 September 2022

Associate Editor: Gudryan Barônio