

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E MANEJO DE RECURSOS
NATURAIS

EFEITOS DA TRANSIÇÃO FLORESTA-PASTAGEM E DA DINÂMICA
DE FRAGMENTAÇÃO SOBRE A ASSEMBLEIA DE FORMIGAS
REMOVEDORAS DE SEMENTES NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

LUANE KAROLINE FONTENELE ROCHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RIO BRANCO-AC, BRASIL

JULHO DE 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E MANEJO DE RECURSOS
NATURAIS

EFEITOS DA TRANSIÇÃO FLORESTA-PASTAGEM E DA DINÂMICA
DE FRAGMENTAÇÃO SOBRE A ASSEMBLEIA DE FORMIGAS
REMOVEDORAS DE SEMENTES NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

LUANE KAROLINE FONTENELE ROCHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Federal do Acre como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.
Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Schmidt

RIO BRANCO-AC, BRASIL

JULHO DE 2018

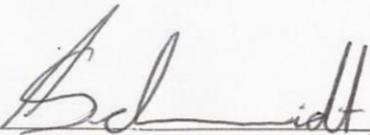
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E MANEJO DE RECURSOS

ASSEMBLEIA DE FORMIGAS REMOVEDORAS DE SEMENTES EM UMA
PAISAGEM SOB INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA
BRASILEIRA

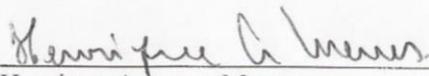
LUANE KAROLINE FONTENELE ROCHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Federal do Acre como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

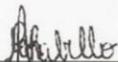
Aprovada em 29 de junho de 2018 pela banca examinadora:



Dr. Fernando Augusto Schmidt
Universidade Federal do Acre, Professor, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza
Orientador



Dr. Henrique Augusto Mews
Universidade Federal do Acre, Professor, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza
Examinador interno



Dra. Ananza Mara Rabello
Universidade Federal de Minas Gerais, Bolsista de Desenvolvimento Técnico e Industrial A
Examinador externo

Dra. Laura Caroline Leal de Sousa
Universidade Federal de São Paulo, Professor
Examinador suplente

RIO BRANCO-AC, BRASIL

JUNHO DE 2018

R672e Rocha, Luane Karoline Fontenele, 1992 -
Efeitos da transição floresta-pastagem e da dinâmica de fragmentação sobre a assembleia de formigas removedoras de sementes da Amazônia ocidental / Luane Karoline Fontenele Rocha; orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Schmidt. – 2018.
36 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais. Rio Branco, 2018.

Inclui referências bibliográficas e apêndice.

1. Ecologia e Manejo de Recursos Naturais – Dissertação. 2. Formiga. 3. Biodiversidade. I. Schmidt, Fernando Augusto (orientador). II. Título.

CDD: 574.501

Bibliotecária: Alanna Santos Figueiredo CRB-11º/ 1003.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

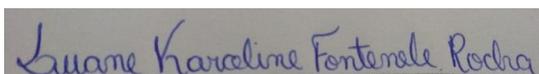
ROCHA, L. K. F. (2018). Efeitos da transição floresta-pastagem e da dinâmica de fragmentação sobre a assembleia de formigas removedoras de sementes na Amazônia ocidental. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco-AC, 36 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Luane Karoline Fontenele Rocha

GRAU: Mestre

Concedo à Universidade Federal do Acre-UFAC permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestá-las somente para propósitos acadêmicos e científicos. Reservo outros direitos de publicação, de forma que nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem minha autorização por escrito.



Luane Karoline Fontenele Rocha

Endereço eletrônico: luanefontenele@hotmail.com

**À minha mãe,
Graça Fontenele.**

“João, o tempo andou mexendo com a gente sim...”

Belchior

AGRADECIMENTOS

Cada etapa do crescimento e amadurecimento humano requer a presença de orientadores. Eles nos orientam, ensinam, conduzem e transformam a experiência do erro em uma chance de aprendizagem. Dr. Fernando Augusto Schmidt, obrigada por ter sido meu orientador durante essa etapa da minha vida profissional e pessoal. Você me ensinou que é preciso ter foco, persistência e responsabilidade para iniciar uma carreira de cientista. Eu o admiro e me espelho na sua competência profissional! Obrigada por ter aceitado o desafio de me orientar pelo fantástico mundo das formigas, por cada ensinamento e por todas as vezes em que me disse “você tem potencial para conseguir”. Muito obrigada, Fernando!

Agradeço a Patrícia Nakayama Miranda por ter nos auxiliado na escolha das áreas em que realizamos esta pesquisa e por compartilhar os dados da estrutura da vegetação. Porém, acima de tudo, agradeço a todo o incentivo que você me deu para que eu chegasse até aqui. Obrigada por acreditar que eu iria conseguir e por ter sido a principal responsável pela minha iniciação na mirmecologia.

Agradeço ao professor Dr. Rodrigo Feitosa e a todos do seu laboratório pelo auxílio na identificação das espécies de formigas. Obrigada pela disponibilidade e atenção!

Grata a Dra. Ananza Mara Rabello por gentilmente ter me ajudado na confecção das sementes artificiais utilizadas nesta pesquisa e por todas as conversas informais que nos ajudaram a desenvolver o delineamento amostral do nosso estudo. Muito obrigada, Ananza!

Grata a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais! Certamente, a realização desta pesquisa está diretamente associada aos ensinamentos que aprendi nas disciplinas ofertadas por vocês.

Muito obrigada a todos que me ajudaram nas coletas de campo! Matheus, Wil e Jamaika, obrigada por cada sábado e domingo em que estiveram comigo nos pastos, com temperatura agradável acima dos 30°C, e por serem minha força quando os desafios do campo me enfraqueceram. Natália, Guilherme e Marília, obrigada por me socorrerem quando os campos pareciam infinitos. Ketlen, obrigada por ter sido minha parceira de campo mesmo quando tinha outras prioridades e por ter dito sempre “vai dar certo”. Eu não teria conseguido concluir essa etapa sem a ajuda e a amizade de vocês. Obrigada!

Agradeço a Bruna Santos, Diego Guimarães, Henrique Mews, Keila Nunes, Natália Medeiros e Yara de Paula pela amizade, carinho, companheirismo e amor de cada um. Muito obrigada a cada um de vocês! Sem vocês eu não teria sorrido nos dias ruins, não teria me sentido capaz de seguir quando os dias foram pesados, não teria me sentido protegida quando o cansaço parecia ter me vencido e não teria desenvolvido a capacidade de esquecer meus

problemas quando um de vocês precisava do meu carinho. Obrigada por estarem aqui! De todo o coração, obrigada!

Agradeço a Marília Costa pela amizade e preocupação diária, por cada abraço fora de hora, por cada riso e, principalmente, por cada momento em que me surpreendeu com as suas atitudes de parceira! Você me ensinou a ser mais humana e a compreender a insubstituível importância de uma amizade. No mundo das formigas, você seria a minha formiga rainha e eu lutaria pelo seu bem acima de qualquer desafio! Obrigada, minha chatinha favorita!

Agradeço a Thábata pelo incentivo, apoio e, principalmente, pela sua amizade. Obrigada por estar ao meu lado e por me fazer rir dos meus problemas e dificuldades!

Agradeço a todos da minha família por todos os momentos em que foram o meu principal motivo de persistência. Obrigada por me ensinarem o valor da união! Nayanny, minha irmã, obrigada por falar dos meus dias de estudos com orgulho e por se preocupar com a minha sanidade mental quando percebe que estou há horas “mexendo nessas coisas de formiga”. Meu amigo Pedro, meu sobrinho, você me inspira a crescer! Obrigada!

Agradeço a minha mãe, Maria das Graças Viana Fontenele, pelo amor e carinho! Você é a minha maior inspiração de educadora! Admiro sua força e sua garra de vencer mesmo em meio aos piores desafios e acredito que essa garra me fez chegar até aqui. Obrigada por me ensinar a não desistir, mãe! Eu amo você!

Agradeço a Ketlen Bona por cada momento em que estive ao meu lado e que não me deixou desistir, por cada abraço em forma de abrigo, por cada “você vai conseguir” dito em meio a tanta insegurança, por cada dia em que me compreendeu e me fez ouvir Belchior e Los Porongas e, acima de tudo, por me ensinar o significado de companheirismo. Obrigada pelo seu apoio incondicional, você tornou mais suave cada etapa desta pesquisa. Obrigada por existir!

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| Resumo..... | 1 |
| Abstract..... | 2 |
| Introdução..... | 3 |
| Material e Métodos..... | 5 |
| <i>Área de estudo e delineamento amostral.....</i> | 5 |
| <i>Amostragem e identificação das formigas.....</i> | 7 |
| <i>Porcentagem de remoção de sementes.....</i> | 8 |
| <i>Área, conectividade e complexidade da vegetação dos fragmentos florestais.....</i> | 8 |
| <i>Análises estatísticas.....</i> | 11 |
| Resultados..... | 12 |
| <i>Fauna de formigas.....</i> | 12 |
| <i>Assembleias de formigas e remoção de sementes em habitats de floresta e pasto.....</i> | 14 |
| <i>Espécies-chave removedoras de sementes e espécies indicadoras de habitats.....</i> | 16 |
| <i>Remoção de sementes e fatores característicos dos fragmentos de floresta.....</i> | 17 |
| Discussão..... | 17 |
| <i>Assembleias de formigas e remoção de sementes em habitats de floresta e pasto.....</i> | 18 |
| <i>Espécies-chave removedoras de sementes e espécies indicadoras de habitats.....</i> | 19 |
| <i>Remoção de sementes e fatores característicos dos fragmentos de floresta.....</i> | 20 |
| Conclusão..... | 20 |
| Referências bibliográficas*..... | 22 |
| Apêndices..... | 27 |
| <i>Apêndice I – Informações e normas para publicação do periódico científico escolhido para submissão do artigo proveniente desta dissertação.....</i> | 27 |

EFEITOS DA TRANSIÇÃO FLORESTA-PASTAGEM E DA DINÂMICA DE FRAGMENTAÇÃO SOBRE A ASSEMBLEIA DE FORMIGAS REMOVEDORAS DE SEMENTES NA AMAZÔNIA OCIDENTAL*

Luane Karoline Fontenele Rocha^{1,3}, Fernando Augusto Schmidt^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre (UFAC), Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

²Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, UFAC, Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

³Autor para correspondência: luanefontenele@hotmail.com

*Conforme normas do periódico Biological Conservation (Apêndice 1)

Resumo

Vários estudos vêm abordando o impacto da intensificação das atividades humanas sobre a biodiversidade, mas pouco esforço tem sido direcionado para avaliar a manutenção das funções ecossistêmicas em paisagens antropizadas. Aqui, amostramos 10 áreas de transição floresta-pastagem para avaliar os efeitos dessas mudanças na estrutura das assembleias de formigas removedoras de sementes. Especificamente, procuramos responder como i) transição floresta-pastagem afeta as assembleias de formigas removedoras de sementes e ii) qual o efeito do tamanho da área, grau de isolamento e complexidade da vegetação para a remoção de sementes por formigas em fragmentos florestais. A transição floresta-pastagem reduziu o número de espécies de formigas removedoras de sementes e alterou a composição de espécies. Além disso, verificamos que apesar da porcentagem de remoção de sementes ser maior no pasto, esta é executada por espécies consideradas dispersoras de sementes de baixa qualidade. Esse resultado é subsidiado pela identificação das espécies-chave para a remoção e espécies indicadoras de cada ambiente, sendo as espécies de pasto descritas como dispersoras de baixa qualidade e as de floresta consideradas formigas dispersoras de alta qualidade. Apesar de não termos encontrado uma relação significativa entre o efeito do tamanho da área, do grau de isolamento e da complexidade da vegetação com a remoção de sementes, demonstramos que a presença de floresta em paisagens sob influência antrópica é de expressiva importância para a manutenção de funções ecológicas exercidas por formigas. Portanto, nossos resultados fornecem referenciais para o monitoramento de funções ecológicas em paisagens antropizadas no sudoeste da Amazônia brasileira.

Palavras-chave: Biodiversidade, Formicidae, Função ecológica, Mudança do uso do solo, Pastagem.

EFFECTS OF THE FOREST-PASTURE TRANSITION AND DYNAMICS OF FRAGMENTATION ON THE SEED REMOVAL ANT ASSEMBLAGES IN THE WESTERN AMAZON

Abstract

Several studies have addressed the impact of intensification of human activities on biodiversity, but little effort has been directed to evaluate the maintenance of ecosystem functions in anthropic landscapes. Here, we sampled 10 forest-pasture transition areas to assess the effects of these changes on the structure of seed-removing ant assemblages. Specifically, we tried to answer how i) forest-pasture transition affects the assemblages of seed-removing ants and ii) the effect of the size of the area, degree of isolation and complexity of the vegetation for the removal of seeds by ants in forest fragments. The forest-pasture transition reduced the number of seed-removing ant species and altered species composition. In addition, we verified that although the percentage of seed removal is higher in the pasture, it is performed by species considered to be seed dispersers of low quality. This result is subsidized by the identification of the key species for the removal and indicator species of each environment, the pasture species being described as low-quality dispersers and those of forest considered high dispersing ants. Although we did not find a significant relation between the effect of the size of the area, the degree of isolation and the complexity of the vegetation with the removal of seeds, we demonstrated that the presence of forest in landscapes under anthropic influence is significant for the maintenance of ecological functions carried out by ants. Therefore, our results provide references for the monitoring of ecological functions in anthropic landscapes in the southwest of the Brazilian Amazon.

Key words: Biodiversity, Ecological function, Formicidae, Land use change, Pasture.

Introdução

Diversos ecossistemas terrestres tropicais têm experimentado intensas alterações causadas principalmente por atividades como agricultura, pecuária, urbanização e mineração. Isso tem resultado em paisagens altamente antropizadas, com fragmentos florestais remanescentes normalmente inseridos em uma matriz de natureza diversa (Desouza et al., 2001). A fragmentação e a perda e a degradação de habitat muitas vezes impulsionam o processo de homogeneização biótica uma vez que levam a simplificação de comunidades em diferentes componentes da diversidade (i. e., taxonômica e funcional) fazendo com que as comunidades ecológicas apresentem alta similaridade na sua composição de espécies (Olden & Rooney, 2006; Tabarelli et al., 2008).

Dentre os impactos negativos à biodiversidade em paisagens sob influência antrópica estão a redução da área dos fragmentos florestais e o efeito da matriz na qual estes estão inseridos (Boesing et al., 2018). Fragmentos menores apresentam limitação de espaço e recursos (Laurance et al., 2018; Tschardt et al., 2012) e matrizes de natureza muito distinta aos remanescentes florestais influenciam a conectividade dos fragmentos, de forma que algumas espécies nativas não sobrevivem, promovendo uma intensa perda de espécies nos fragmentos e uma expressiva mudança na composição de espécies entre fragmentos florestais e matrizes (Queiroz et al., 2017; Boesing et al., 2018).

Associada a biodiversidade está a função que as espécies exercem em seus ecossistemas (Tiede et al., 2017). Assim, a perda da diversidade biológica compromete a dinâmica de funções ecológicas como ciclagem de nutrientes, polinização e dispersão de sementes, que são tidas como essenciais para a manutenção e o funcionamento dos ecossistemas terrestres (Naeem et al., 2009). Entretanto, poucos estudos têm focado na conservação de funções ecossistêmicas em paisagens sob influência antrópica (Tschardt et al., 2012) associada à perda de espécies (Naeem et al., 2002).

A perda de habitat nativo é considerada como um dos principais agravantes da supressão de ecossistemas terrestres tropicais (Haddad et al., 2015), o que tem sido evidenciado para paisagens sob influência antrópica na Amazônia, as quais apresentam menor diversidade de espécies quando comparadas com áreas de floresta contínua (Antongiovanni & Metzger, 2005) e sugerem que essa redução biológica ocorre devido ao marcante avanço de atividades humanas que suprimem o funcionamento ecológico dessas florestas (Barlow et al., 2016). Essa região, por apresentar uma enorme variedade de habitats e biodiversidade de espécies, é considerada um ecossistema-chave para a conservação de funções ecossistêmicas de nível global e, portanto, tem potencial de se servir como um

modelo de estudo sobre a conservação de funções ecológicas em áreas sob influência antrópica (Laurance et al., 2018).

Dado ao fato da existência de diversas funções exercidas pelas espécies nos ecossistemas, se torna muito complexo, operacionalmente, avaliar como todas as funções ecossistêmicas são afetadas pelos diversos impactos em uma paisagem sob influência antrópica. Assim, se tem focado em funções essenciais para a dinâmica e manutenção dos ecossistemas como, por exemplo, a circulação de recursos e nutrientes (Griffiths et al., 2018).

As formigas são apontadas como o principal grupo animal responsável pela distribuição e movimentação de recursos em ecossistemas de florestas tropicais (Griffiths et al., 2018). Entre os recursos distribuídos e movimentados pelas formigas estão as sementes, devido as interações ecológicas distintas com as plantas, tais como a dispersão de sementes (mutualismo) ou a predação de sementes, ambas interações são consideradas como funções-chave para a dinâmica populacional das espécies de plantas presentes nos ecossistemas terrestres (Arnan et al., 2012; Leal et al., 2015). Dado que as formigas apresentam alta diversidade e ampla distribuição geográfica e estão envolvidas em diferentes funções ecossistêmicas, como por exemplo a remoção de sementes (predação e dispersão) (Del Toro et al., 2012), elas têm sido utilizadas como modelo biológico no estudo do efeito de atividades antrópicas na biodiversidade e conseqüentemente em funções ecológicas (Paolucci et al., 2012; Rabello et al., 2017).

No sudoeste da Amazônia, os investimentos e os incentivos à pecuária têm ocorrido desde da década de 70 (Acre, 2010). Nessa grande região, a área coincidente com o Estado do Acre, especificamente, tem sua economia baseada principalmente na agropecuária, o que tem proporcionado a fragmentação dos habitats e a conversão do uso do solo de cerca de 13% de seus ecossistemas naturais (Acre, 2010). Apesar do Acre estar localizado em um dos biomas mais ricos em biodiversidade, são escassos os estudos que abordam a diversidade de formigas (e.g., Oliveira et al., 2009, 2011; Miranda et al., 2012, 2013, 2017) não havendo até o momento estudos sobre o papel das formigas em funções ecológicas, como a remoção de sementes.

Assim, desenvolvemos o presente estudo sobre assembleias de formigas removedoras de sementes em uma paisagem antropizada no sudoeste da Amazônia brasileira com o propósito de responder às seguintes perguntas: i) Como a transição floresta-pastagem afeta as assembleias de formigas removedoras de sementes? Nossa hipótese é que há menor número de espécies no ambiente de pasto, mudança na composição de espécies, uma remoção de sementes diferenciada e que seja possível identificar espécies que exercem um

papel chave na atividade de remoção de sementes de formigas e que são indicadoras de cada tipo de habitat. Estas expectativas são devido ao fato de que habitats distintos apresentam assembleias de formigas e composição de espécies expressivamente distintos (Nakamura et al., 2007; Queiroz et al., 2017) e diferente porcentagem de remoção de sementes (Rabello et al., 2017).

ii) Qual o efeito do tamanho da área, do grau de isolamento e da complexidade da vegetação na remoção de sementes por formigas em fragmentos florestais? Nós esperamos que o aumento da área, a redução do grau de isolamento e a maior complexidade da vegetação aumentem o número de espécies de formigas removedoras de sementes e a ocorrência de espécies-chave de formigas removedoras de sementes, o que aumenta a remoção de sementes. Esta expectativa é esperada devido ao fato que fragmentos maiores apresentam maior número de espécies de formigas (Cuissi et al., 2015) e que fragmentos menos isolados apresentam uma menor taxa de extinção (Paolucci et al., 2012), bem como áreas com uma estrutura de vegetação mais complexa apresentam uma maior diversidade de espécies de formigas (Ribas et al., 2003) e uma maior ocorrência de espécies-chave para a função de remoção de sementes (Majer et al., 2011).

Material e Métodos

Área de estudo e delineamento amostral

Realizamos o estudo na região do entorno do município de Rio Branco, Acre, Brasil, o qual está localizado no extremo sudoeste da Amazônia brasileira (Figura 1). A vegetação nativa da região é caracterizada por diferentes fitofisionomias inseridas no ecossistema de Floresta Tropical, com predominância de Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta (Acre, 2010).

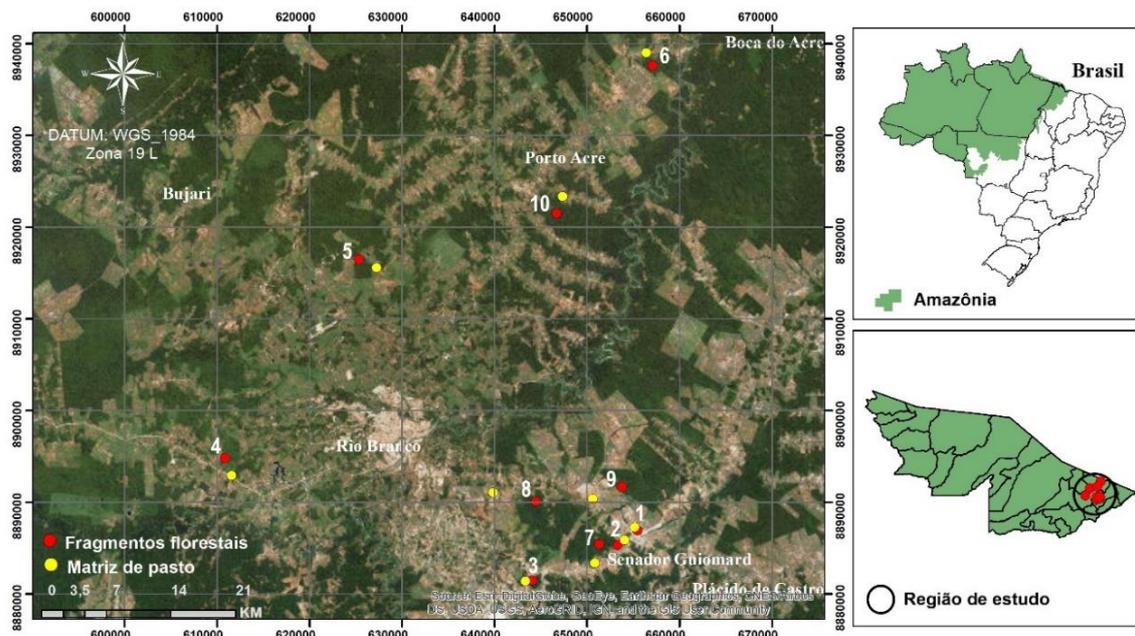


Figura 1: Localização dos dez fragmentos florestais e de suas respectivas matrizes de pasto no entorno do município de Rio Branco-AC em relação à Amazônia brasileira e ao Brasil.

Para testar as hipóteses do presente estudo, realizamos os experimentos de remoção de sementes artificiais por formigas em dez fragmentos florestais da região do entorno de Rio Branco, bem como em áreas de pasto adjacentes a estes, que constituem o principal tipo de matriz na região (Figura 1). As áreas de pastos foram estabelecidas na região no final da década de 1970 (Acre, 2010) e estavam em uso no período de execução do experimento.

Para realizar os experimentos de remoção das sementes artificiais, estabelecemos um transecto de 250 m com 10 pontos amostrais distantes 25 m uns dos outros, dentro de cada fragmento florestal e matriz de pasto (Figura 2). Os transectos estabelecidos nos fragmentos florestais foram dispostos a 100 m da borda e estavam a uma distância mínima de 500 m de suas respectivas matrizes de pasto.

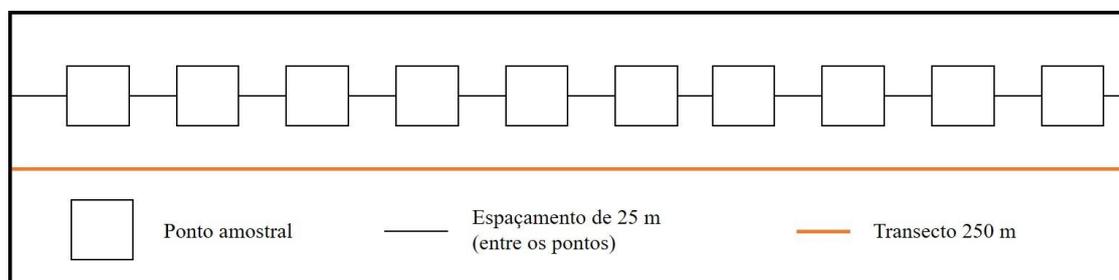


Figura 2: Disposição dos pontos amostrais para observação e coleta de formigas removedoras de sementes ao longo de um transecto estabelecido em cada fragmento florestal e nas suas respectivas matrizes de pasto.

Amostragem e identificação das formigas

Neste estudo, consideramos que uma formiga removeu uma semente quando a semente foi transportada a distâncias iguais ou superiores a 30 cm do local original, seguindo Christianini e oliveira (2010). Nós observamos os eventos de remoção de sementes somente no período diurno, quando a dispersão de sementes é feita prioritariamente por formigas (Santana et al., 2016).

Nós fizemos uso de sementes artificiais ricas em lipídeos (Raimundo et al., 2004) nos experimentos de remoção, pois não havia quantidade suficiente de sementes naturais de plantas mirmecóricas durante o período de execução dos experimentos, sendo neste caso recomendado o uso de modelos artificiais (Bieber et al., 2014). As sementes artificiais foram formadas por um elaiossoma artificial associado a miçangas (semente artificial) de cor laranja de 0,03 g e 2 mm de diâmetro. Nós confeccionamos o elaiossoma artificial utilizando gordura vegetal (75%), frutose (4,8%), sacarose (0,5%), glicose (4,7%), caseína (7%), carbonato de cálcio (3%) e maltodextrina (5%) (Raimundo et al., 2004). Todas as sementes artificiais foram preparadas no Laboratório de Ecologia de Insetos da Universidade Federal do Acre.

Em cada ponto amostral, nós depositamos 40 sementes artificiais, 20 no turno da manhã (9-11 h) e 20 no turno da tarde (14-16 h) e registramos os eventos de remoção. Durante os dois turnos de observação de um ponto amostral, observamos a remoção de sementes por 20 minutos e coletamos e registramos as espécies de formigas que removeram as sementes e o número de sementes removidas.

Nós identificamos as formigas coletadas, em nível de gênero, em laboratório com o uso da chave taxonômica presente em Baccaro et al., (2015). Posteriormente, separamos as formigas pertencentes ao mesmo gênero em morfo-espécies com base na similaridade da morfologia externa. As morfo-espécies foram comparadas com exemplares da coleção de formigas do Laboratório de Ecologia de Insetos da Universidade Federal do Acre a fim de se obter a identificação específica. As morfo-espécies que não obtiveram identificação em nível de espécie foram enviadas para o Laboratório de Sistemática e Biologia de Formigas da Universidade Federal do Paraná a fim de taxonomistas especialistas em formigas realizarem a identificação em nível de espécie ou confirmassem a separação em morfo-espécies proposta por nós. As formigas enviadas para a Universidade Federal do Paraná foram analisadas pelos taxonomistas: Alexandre Casadei Ferreira, Thiago Sanches Ranzani da Silva e Weslly Franco. Toda a análise das formigas na Universidade Federal do Paraná teve a coordenação do Prof. Dr. Rodrigo Machado Feitosa.

Porcentagem de remoção de sementes

Para cada fragmento florestal e matriz de pasto adjacentes nós calculamos a porcentagem de remoção de sementes artificiais. Para tanto, consideramos o número total de sementes dispostas ao longo de cada transecto (400 = 200 de manhã e 200 de tarde).

Área, conectividade e complexidade da vegetação dos fragmentos florestais

As métricas utilizadas para calcular os arranjos paisagísticos dos fragmentos florestais foram derivadas de imagens de satélite LANDSAT8 de órbita e ponto 2/67, com resolução de 30 m, adquiridas em 23/07/2016, no software QGIS 2.18.10 (QGIS Development Team 2016). As imagens foram classificadas em áreas de florestas (florestas primária e secundária) e matriz (corpos d'água, áreas construídas e pastagens). O tamanho de área e o nível de isolamento de cada fragmento florestal foram calculados usando o software QGIS 2.18.10 (QGIS Development Team 2016). O tamanho da área de cada fragmento florestal foi considerado o tamanho de área do polígono feito no entorno de cada fragmento. Assim, os fragmentos de florestas considerados no presente estudo variaram consideravelmente em seu tamanho de área, desde 5,76 ha até 3.418 ha (Tabela 1).

Tabela 1: Tamanho da área, índice de conectividade e complexidade da vegetação dos fragmentos florestais da região do entorno do município de Rio Branco, Acre, Brasil, onde estabelecemos os experimentos de remoção de sementes artificiais por formigas.

| Fragmento | Área (ha) | Índice de complexidade | Índice de conectividade |
|------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Floresta 1 | 5,26 | 40 | 0,06 |
| Floresta 2 | 27,82 | 39,5 | 445,81 |
| Floresta 3 | 123,16 | 61 | 14,24 |
| Floresta 4 | 332,15 | 53 | 1378,56 |
| Floresta 5 | 681,05 | 30,5 | 1876,55 |
| Floresta 6 | 1.072,34 | 38,5 | 41776,24 |
| Floresta 7 | 1.282,42 | 52,5 | 356,55 |
| Floresta 8 | 1.871,17 | 44,5 | 4477,35 |
| Floresta 9 | 2.894,77 | 44 | 2452,95 |
| Floresta 10 | 3.042,02 | 36,5 | 9127,21 |

O nível de isolamento de cada fragmento foi obtido pelo índice de conectividade denominado proximidade (PROX) (Gustafson & Parker, 1992), calculado dentro de *buffers* de 500 metros estabelecidos a partir da respectiva borda. Este tamanho de *buffer* foi definido por explicar a maior variação nos padrões de diversidade de espécies de formigas no nível de paisagem (Spiesman & Cumming, 2008). Além disso, 500 m de raio são equivalentes à maior distância observada do voo de castas aladas de formigas (Hölldobler & Wilson, 1990). O índice de conectividade foi obtido pela soma da razão entre a área (m²) de um determinado fragmento florestal vizinho ao fragmento florestal amostrado e o quadrado da menor distância (m²) entre esses dois fragmentos. O índice de conectividade é adimensional e é considerado inverso ao isolamento, uma vez que o isolamento diminui com o seu aumento (Bender et al., 2003). Assim, os fragmentos de florestas considerados variaram consideravelmente em seu índice de conectividade (mínimo: 0,06 – máximo: 41776,24) (Tabela 1).

A complexidade da vegetação dos fragmentos florestais foi obtida através de medidas da estrutura horizontal e vertical da vegetação e número de espécies arbóreas. Assim, no entorno de cada ponto amostral, instalamos uma parcela de 10 × 10 m para a medição das variáveis referentes a estrutura horizontal e vertical da vegetação e número de espécies arbóreas (Tabela 2).

Tabela 2: Variáveis da estrutura horizontal e vertical da vegetação e número de espécies arbóreas utilizados para descrição da complexidade da vegetação dos fragmentos florestais.

| Variável | Mensuração | Unidade |
|--------------------|---|-----------------------------|
| Abertura de dossel | Abertura física do dossel obtida pela contagem do número de quadrículos não obstruídos pela vegetação presentes em densiômetro esférico de copa. Foram tomadas quatro medidas (norte, sul, leste e oeste) de abertura de dossel nos quatro vértices e uma no centro da parcela. | Porcentagem de abertura (%) |
| Densidade arbórea | Contagem de todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 10 cm. | Número de indivíduos/ha |

| | | |
|-------------------------------|--|-------------------------|
| Regenerantes | Contagem de todas as plantas com altura entre 0,5 e 2 m em uma subparcela de 2 × 2 m estabelecida no centro de cada parcela. | Número de indivíduos/ha |
| Densidade de colmos de bambus | Contagem de todos os colmos vivos de bambu cujas bases estavam no interior das parcelas. | Número de colmos/ha |
| Densidade de palmeiras | Contagem de todas as palmeiras (Arecaceae) com altura mínima de 1 m presentes na parcela. | Número de indivíduos/ha |
| Densidade de troncos caídos | Contagem de todos os troncos de árvores mortos e caídos dentro da parcela. | Número de indivíduos/ha |
| Espessura da serapilheira | Medidas de espessura da camada de serapilheira obtidas em 10 pontos equidistantes 1 m entre si. | Centímetros (cm) |
| Riqueza de espécies arbóreas | Contagem do número de espécies na parcela. | Número de espécies |

A partir dos valores de cada parâmetro descrito acima, geramos um índice de complexidade estrutural da vegetação para cada fragmento florestal considerando as dez parcelas amostrais de acordo com Souza et al., (2008). Para obter esse índice, primeiramente, calculamos a média para cada parâmetro da vegetação. Posteriormente, ranqueamos os fragmentos considerando cada parâmetro da vegetação, sendo que fragmentos com maiores valores médios para um determinado parâmetro obtiveram maiores escores. Finalmente, realizamos a soma dos escores de todos os parâmetros, sendo o valor resultante desta soma o índice de complexidade estrutural da vegetação de cada fragmento florestal. Assim, valores elevados do índice refletem alta complexidade da vegetação de acordo com parâmetros mensurados (Souza et al., 2008). O índice de complexidade da vegetação dos fragmentos estudados variou consideravelmente (mínimo: 30,5 – máximo: 61) (Tabela 1).

Análises estatísticas

Realizamos todas as análises no programa R 3.4.3 (R Core Team 2018). Dependendo da análise, pacotes e funções específicos foram requeridos e o uso destes está descrito nos itens abaixo.

Na primeira pergunta, consideramos para cada fragmento florestal e matriz de pasto o número de espécies, composição de espécies de formigas removedoras de sementes e a porcentagem de remoção de sementes. Adicionalmente, calculamos o grau de associação de cada espécie a cada tipo de habitat (floresta e pasto) e identificamos espécies-chave de formigas para a remoção de sementes em cada tipo de habitat.

Para verificar o efeito do tipo de habitat no número de espécies empregamos modelos lineares generalizados (GLM), nos quais o número de espécies removedoras de sementes foi a variável resposta e os diferentes tipos de habitat compuseram a variável explicativa. Uma vez que número de espécies é um dado de contagem, usamos a distribuição Poisson como distribuição de erros do modelo (Crawley, 2013). Realizamos análises de resíduos para verificar a adequabilidade da distribuição de erros do modelo.

Analizamos o efeito do tipo de habitat na composição de espécies das assembleias de formigas removedoras de sementes por meio de uma ordenação de escala multidimensional não métrica (NMDS) com distância de Jaccard, baseada em uma matriz de presença e ausência de espécies. A robustez dos grupos formados pela NMDS foi confirmada mediante variância permutativa multivariada (PERMANOVA) (Anderson, 2001) com a função *adonis* do pacote *vegan* (Oksanen...) do programa R, usando 999 permutações.

Também utilizamos GLM para comparar a porcentagem de remoção de sementes entre os dois habitats, no qual a variável resposta foi a porcentagem de remoção de sementes e a variável explicativa foi os tipos de habitat. Como a porcentagem é um dado de proporção, nós utilizamos a distribuição quasibinomial como a distribuição de erros do modelo (Crawley, 2013).

Identificamos as espécies de formigas removedoras de sementes indicadoras do habitat de floresta e de pasto, realizando uma análise do grau de associação de uma espécie com determinado habitat usando o Índice de Valor Indicador Individual (IndVal) (Dufrêne & Legendre, 1997). Por meio desse índice obtivemos uma classificação hierárquica das amostras, na qual os pontos de amostragem foram classificados como pertencentes ao habitat de floresta ou de pasto. Assim, os valores de IndVal foram calculados para cada espécie e considerados significativos quando obtiveram valores maior ou igual a 50% (i.e., $\text{IndVal} \geq 0,50$).

Para identificarmos as espécies-chave na remoção de sementes, consideramos que uma espécie-chave é aquela que contribui expressivamente para a realização de uma determinada função, sendo a sua presença essencial para o sucesso de tais eventos ecológicos (Naeem et al., 2009). Assim, realizamos uma comparação entre o número médio global de eventos de remoção e o número médio de eventos de remoção obtido com a exclusão de cada espécie removedora de semente através do teste de Wilcoxon (Padilha, 2013). Dessa forma, as espécies cuja exclusão foi considerada significativa (i.e., $p \leq 0,05$) foram classificadas como uma espécie-chave para a remoção de sementes.

Para a segunda pergunta consideramos apenas os dados referentes a remoção de sementes nos fragmentos de floresta para relacionar os fatores (tamanho da área, conectividade do fragmento e complexidade da vegetação) que promovem a conservação das funções ecossistêmicas em paisagens fragmentadas. Avaliamos a relação da porcentagem de remoção de sementes (variável resposta) com o tamanho da área do fragmento, o índice de conectividade e o índice de complexidade estrutural da vegetação (variáveis explicativas) por meio de GLM com distribuição quasibinomial, uma vez que porcentagem é um dado de proporção (Crawley, 2013).

Posteriormente, o mesmo teste foi utilizado para avaliar, separadamente, a relação do número de espécies de formigas e a frequência de espécies-chave (variáveis respostas) com o tamanho da área do fragmento, o índice de conectividade e o índice de complexidade estrutural da vegetação (variáveis explicativas), utilizando a distribuição Poisson para a distribuição de erros do modelo, pois ambas as variáveis respostas são dados de contagem (Crawley, 2013).

Para testarmos se o aumento do número de espécies de formigas e da frequência de espécies-chave causam maior porcentagem de remoção de sementes, usamos GLM com a distribuição de erros quasibinomial, sendo a porcentagem de remoção a variável resposta e o número de espécies e a frequência de espécies-chave as variáveis explicativas. Em todos os testes realizamos análises de resíduos para verificar a adequabilidade da distribuição de erros do modelo.

Resultados

Fauna de formigas

Registramos, em ambos os tipos de habitat, 35 espécies de formigas removedoras de sementes, das quais 71% foram identificadas em nível de espécie e 29% foram separadas em morfo-espécies. As espécies de formigas coletadas pertencem a 13 gêneros e são distribuídas

em cinco subfamílias (Tabela 3). Entre os gêneros de formigas, *Pheidole* foi o gênero que apresentou o maior número de espécies (15; Tabela 3).

Tabela 3: Lista das espécies de formigas removedoras de sementes coletadas nos fragmentos de floresta e matriz de pasto no sudoeste da Amazônia brasileira.

| Taxa | Floresta | Pasto |
|--|-----------------|--------------|
| Dolichoderinae (1) | | |
| <i>Dorymyrmex brunneus</i> Forel, 1908 | 0 | 1 |
| Ectatomminae (3) | | |
| <i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858 | 1 | 1 |
| <i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863 | 1 | 0 |
| <i>Ectatomma lugens</i> Emery, 1894 | 1 | 0 |
| Formicinae (2) | | |
| <i>Gigantiops destructor</i> (Fabricius, 1804) | 1 | 0 |
| <i>Nylanderia</i> sp.1 | 0 | 1 |
| Ponerinae (8) | | |
| <i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884) | 1 | 0 |
| <i>Neoponera obscuricornis</i> (Emery, 1890) | 1 | 0 |
| <i>Neoponera verenae</i> Forel, 1922 | 1 | 0 |
| <i>Odontomachus haematodus</i> (Linnaeus, 1758) | 1 | 1 |
| <i>Odontomachus laticeps</i> Roger, 1861 | 1 | 0 |
| <i>Odontomachus meinerti</i> Forel, 1905 | 1 | 0 |
| <i>Pachycondyla crassinoda</i> (Latreille, 1802) | 1 | 0 |
| <i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804) | 1 | 0 |
| Myrmicinae (21) | | |
| <i>Atta</i> sp. 1 | 0 | 1 |
| <i>Megalomyrmex ayri</i> Brandão, 1990 | 1 | 0 |
| <i>Megalomyrmex balzani</i> Emery, 1894 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole astur</i> Wilson, 2003 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole fissiceps</i> Wilson, 2003 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole gertrudae</i> Forel, 1886 | 0 | 1 |

Tabela 3. Continua...

| Taxa | Floresta | Pasto |
|--|-----------------|--------------|
| <i>Pheidole jelskii</i> Mayr, 1884 | 0 | 1 |
| <i>Pheidole</i> pr. <i>paraenses</i> | 1 | 0 |
| <i>Pheidole scolioceps</i> Wilson, 2003 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole subarmata</i> Mayr, 1884 | 0 | 1 |
| <i>Pheidole vorax</i> (Fabricius, 1804) | 1 | 0 |
| <i>Pheidole</i> sp.1 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole</i> sp.10 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole</i> sp.12 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole</i> sp.14 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole</i> sp.15 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole</i> sp.18 | 1 | 0 |
| <i>Pheidole</i> sp.23 | 1 | 0 |
| <i>Pogonomyrmex naegelii</i> Emery, 1878 | 0 | 1 |
| <i>Solenopsis invicta</i> Buren, 1972 | 0 | 1 |
| <i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855) | 0 | 1 |
| Total | 26 | 11 |

Assembleias de formigas e remoção de sementes em habitats de floresta e pasto

Nós observamos uma redução significativa no número de espécies de formigas removedoras de sementes do habitat de floresta (média = 7,5) para o de pasto (média = 3,5) ($\chi^2_{(1,18)} = 14,88$; $p < 0,001$) (Figura 3). As assembleias de formigas removedoras de sementes dos habitats de floresta e pasto apresentaram uma composição de espécies distinta (Pseudo-F = 8,26; R = 0,31; $p < 0,0001$) (Figura 4). No habitat de pasto observamos uma maior porcentagem de remoção de sementes por formigas ($\chi^2_{(1,18)} = 0,27$; $p < 0,03$) (Figura 5).



Figura 3: Número de espécies de formigas removedoras de sementes amostradas em fragmentos de floresta e suas respectivas matrizes de pasto no sudoeste da Amazônia brasileira. As barras são erros padrão. GLM, $\chi^2_{(1,18)} = 14,88$; $p < 0,001$.

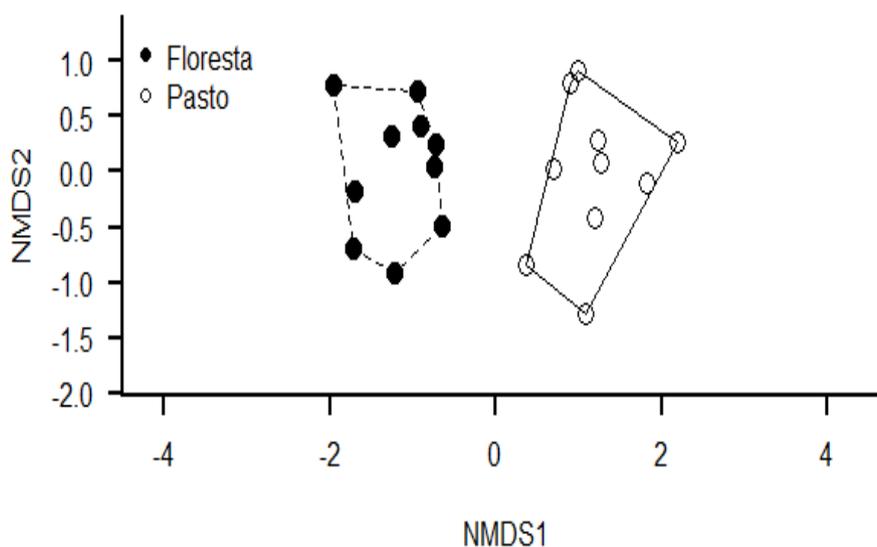


Figura 4: Ordenação de escala multidimensional não métrica (NMDS) que ilustra a composição de espécies de formigas removedoras de sementes de acordo com os tipos de habitat (floresta e pasto) no sudoeste da Amazônia brasileira. Permanova, Pseudo-F = 8,26; $R = 0,31$; $p < 0,0001$.

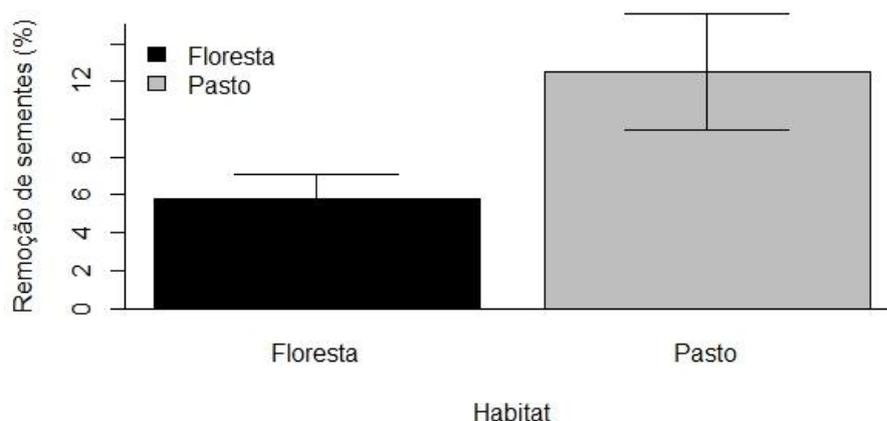


Figura 5: Porcentagem de remoção de sementes por formigas em habitats de floresta e matriz de pasto no sudoeste da Amazônia Brasileira. As barras são erros padrão. GLM, $\chi^2_{(1,18)} = 0,273$; $p < 0,03$).

Espécies-chave removedoras de sementes e espécies indicadoras de habitats

Identificamos oito espécies-chave para a remoção de sementes, das quais cinco são específicas de floresta e três são específicas de pasto (Tabela 4). Por fim, conseguimos obter nove espécies de formigas removedoras de sementes indicadoras de habitat, das quais seis são de floresta e três indicam pastos (Tabela 5).

Tabela 4: Lista de espécies-chave para a remoção de sementes em cada tipo de habitat (floresta e pasto) no sudoeste da Amazônia Brasileira.

| Espécies-chave | Habitat | p |
|---|----------------|----------|
| <i>Ectatomma lugens</i> Emery, 1894 | Floresta | 0,005 |
| <i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804) | Floresta | 0,03 |
| <i>Neoponera obscuricornis</i> (Emery, 1890) | Floresta | 0,03 |
| <i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884) | Floresta | 0,03 |
| <i>Odontomachus haemadotus</i> (Linnaeus, 1758) | Floresta | 0,02 |
| <i>Pheidole jelskii</i> Mayr, 1884 | Pasto | 0,02 |
| <i>Pheidole subarmata</i> Mayr, 1884 | Pasto | 0,02 |
| <i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858 | Pasto | 0,03 |

Tabela 5: Lista de espécies indicadoras de cada habitat de acordo com as análises de IndVal no sudoeste da Amazônia Brasileira. Apenas são apresentadas as espécies indicadoras com valores de IndVal significativos.

| Espécies | Habitat | IndVal | p |
|---|----------------|---------------|----------|
| <i>Ectatomma lugens</i> Emery, 1894 | Floresta | 1,00000 | 0,001 |
| <i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804) | Floresta | 0,60000 | 0,008 |
| <i>Neoponera obscuricornis</i> (Emery, 1890) | Floresta | 0,60000 | 0,014 |
| <i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884) | Floresta | 0,60000 | 0,007 |
| <i>Odontomachus haemadotus</i> (Linnaeus, 1758) | Floresta | 0,60000 | 0,033 |
| <i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863 | Floresta | 0,50000 | 0,021 |
| <i>Pheidole jelskii</i> Mayr, 1884 | Pasto | 0,70000 | 0,002 |
| <i>Pheidole subarmata</i> Mayr, 1884 | Pasto | 0,70000 | 0,004 |
| <i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858 | Pasto | 0,55710 | 0,021 |

Remoção de sementes e fatores característicos dos fragmentos de floresta

A porcentagem da remoção de sementes não apresentou relação significativa com o tamanho da área do fragmento, o índice de conectividade e o índice de complexidade estrutural da vegetação ($\chi^2_{(1,6)} = 0,034$; $p = 0,83$). Também não encontramos relação significativa entre o número de espécies de formigas e esses fatores ($\chi^2_{(1,6)} = 2,08$; $p = 0,55$) e tampouco para a ocorrência de espécies-chave ($\chi^2_{(1,6)} = 2,38$; $p = 0,49$). Contrariamente às nossas expectativas, não houve relação entre a porcentagem de remoção de sementes com o número de espécies e com a frequência de ocorrência de espécies-chave ($\chi^2_{(1,7)} = 0,09$; $p = 0,15$).

Discussão

Os impactos da fragmentação e da mudança de habitat na diversidade de formigas têm sido amplamente estudados (Nakamura et al., 2007; Schmidt et al., 2013; Queiroz et al., 2017), mas menor esforço tem sido direcionado aos efeitos desses processos nas funções ecossistêmicas, especificamente, em relação a perda de espécies de formigas removedoras de sementes (Del Toro et al., 2012). Assim, o presente estudo apresenta os primeiros resultados a respeito dos efeitos da fragmentação e da mudança na cobertura da terra em funções ecológicas exercidas por formigas para o sudoeste da Amazônia brasileira.

Os resultados confirmaram nossas expectativas a respeito do efeito da transição floresta-pasto nas assembleias de formigas removedoras de sementes. Além disso, nós identificamos espécies indicadoras e espécies-chave para a remoção de sementes em cada habitat. Entretanto, nossas expectativas sobre a remoção de sementes nos fragmentos de floresta foram rejeitadas. Nas seções abaixo, nós apresentamos explicações para esses resultados e descrevemos possíveis implicações deles para a conservação de funções ecológicas exercidas por formigas em paisagens sob influência antrópica.

Assembleias de formigas e remoção de sementes em habitats de floresta e pasto

A diferença no número de espécies e na composição de assembleias de formigas removedoras entre os habitats contrastantes evidencia que a mudança de um habitat de floresta para pasto afeta as assembleias de formigas e leva a perda de espécies e mudança na composição. A diminuição no número de espécies e a distinta composição de espécies podem ser associadas às diferenças dos habitats de floresta e pasto, como a complexidade do habitat, a cobertura herbácea do solo e a disponibilidade de recursos, pois todos estes contribuem para a ocorrência de espécies de formigas (Nakamura et al., 2007; Rabello et al., 2017).

Nas áreas de pasto, mesmo com um número menor de espécies de formigas, observamos maior porcentagem de remoção de sementes. Isso pode ser associado ao fato das assembleias de formigas removedoras de sementes do pasto serem compostas em maior parte por espécies generalistas (e.g., *Pheidole subarmata* e *Solenopsis saevissima*) (Suguituru et al., 2015). Ademais, embora as espécies de formigas presentes nas áreas de pasto tenham removido sementes em maior proporção, em sua grande maioria estas são reportadas como dispersoras de sementes de baixa qualidade (i.e., espécies de *Pheidole* e *Solenopsis*) (Leal et al., 2014 a-b), uma vez que apresentam tamanho corporal pequeno (< 5 mm), consumo do elaissoma no local, remoção das sementes a curtas distâncias e forrageamento via recrutamento em massa (Leal et al., 2014 a-b), o que estaria promovendo a maior porcentagem de remoção de sementes no pasto. Assim, também podemos assumir que a mudança do habitat de floresta para pasto pode promover homogeneização taxonômica das assembleias de formigas removedoras de sementes devido à redução no número de espécies e à elevada presença de espécies generalistas (Solar et al., 2015). Nesse caso, a homogeneização seria mediada pela exclusão de espécies sensíveis à mudança ambiental e pela manutenção de um subconjunto de espécies tolerantes à transição na cobertura da terra.

Nos fragmentos florestais, embora a remoção de sementes tenha sido menor, mais espécies de formigas realizaram remoções de sementes em comparação com o pasto. A análise conjunta desses dois resultados indica que nos fragmentos florestais da paisagem em estudo, a função ecológica de remoção de sementes apresenta uma elevada redundância funcional, o que confere estabilidade a essa função (Naeem et al., 2002). Além disso, as assembleias de formigas removedoras de sementes nos fragmentos florestais são constituídas essencialmente por espécies consideradas dispersoras de alta qualidade (i.e., espécies de *Ectatomma* e *Pachycondyla*) (Leal et al., 2014 b), as quais são de grande tamanho corporal (> 5 mm), forrageamento solitário e têm capacidade de remover as sementes a longas distâncias (Leal et al., 2014 a-b). Assim, a redução no número de espécies e a mudança na composição das assembleias de formigas proporcionadas pela mudança da floresta para o pasto acarreta na alteração da qualidade da remoção das sementes e consequentemente em implicações ecológicas distintas.

Espécies-chave removedoras de sementes e espécies indicadoras de habitats

Constatamos que as espécies de formigas consideradas chave para a remoção nos habitats de pasto também são consideradas formigas predadoras de sementes e/ou dispersoras de baixa qualidade (e.g., *Pheidole jelskii* e *Pheidole subarmata*) (Arnan et al., 2012; Leal et al., 2014 b; Ewers et al., 2015). Esse fato reforça que as espécies que realizam a remoção de sementes em áreas de pasto são aquelas que desempenham uma função com baixa qualidade e eficiência e que potencialmente prejudicam a dispersão de sementes em áreas antropizadas (Leal et al., 2014 a). Ao contrário, as espécies-chave de formigas removedoras de sementes nos fragmentos de floresta são classificadas, em sua grande maioria, como dispersoras de alta qualidade (e.g., *Ectatomma lugens* e *Pachycondyla harpax*) (Leal et al., 2014 b). Assim, podemos sugerir que as florestas promovem a conservação de espécies-chave de formigas removedoras de sementes de alta qualidade, as quais possivelmente promovem mais a dispersão de sementes do que a predação, o que mantém a qualidade da função de remoção e potencialmente de dispersão de sementes.

Por fim, identificamos também espécies indicadoras de habitats, que também seguem a tendência descrita acima, sendo as espécies indicadoras de floresta consideradas formigas dispersoras de alta qualidade e as espécies indicadoras de pasto descritas como dispersoras de baixa qualidade (Leal et al., 2014 a-b). Esse resultado tem uma aplicação direta para o monitoramento da recuperação da biodiversidade e de funções ecológicas em áreas sob processo de recuperação ambiental, pois a coleta de espécies indicadoras de pasto ou de

floresta nesses ambientes pode indicar se a mesma está, em termos de biodiversidade e funcionamento, mais próxima de uma área de floresta ou de pasto (Leach et al., 2013). Este tipo de informação é importante, principalmente porque o Brasil se comprometeu formalmente a recuperar 12 milhões de hectares de áreas degradadas até 2030 (ONU COP 21 - Acordo de Paris). Nesse período, parâmetros previsíveis e quantitativos serão necessários para aferir a eficiência dos programas de recuperação destinados a cumprir essa meta.

Remoção de sementes e fatores característicos dos fragmentos de floresta

Cabe ressaltar que neste estudo estamos trabalhando com um recorte muito específico das assembleias de formigas, que é o conjunto de espécies que promovem remoção de sementes. Esse fato pode ter contribuído para não termos encontrado uma relação entre o tamanho da área, o índice de conectividade e a complexidade da vegetação com o número de espécies de formigas removedoras de sementes nos fragmentos de floresta, pois o número de espécies de formigas amostradas em nosso estudo é muito inferior ao encontrado em outros estudos na região (e.g., 263 - 276 espécies) (Oliveira et al., 2011; Miranda et al., 2017).

O fato de fragmentos com diferentes tamanhos de área, conectividade e complexidade da vegetação não diferirem na porcentagem de remoção de sementes demonstra que a presença de habitats de floresta em uma paisagem sob influência antrópica é de expressiva relevância para a manutenção de funções ecológicas exercidas por formigas. Assim, nossos resultados corroboram as exigências previstas na legislação brasileira (Lei nº 12.651 de 2012; Código Florestal Brasileiro) para a proteção de áreas florestais em propriedades rurais. Entretanto, não estamos sugerindo que a fragmentação, perda e degradação de habitat não causam danos a biodiversidade e nas funções realizadas pelas espécies, mas sim que a manutenção de fragmentos florestais deve ser fortemente considerada em paisagens sob alta influência antrópica.

Conclusão

Embora, estudos sobre a diversidade de espécies de formigas e a resposta desta ao manejo florestal e recuperação florestal têm sido desenvolvidos no estado do Acre (Oliveira et al., 2009, 2011; Miranda et al., 2013, 2017), o nosso estudo é pioneiro no que se refere a funções ecológicas exercidas pelas formigas. Nossa pesquisa demonstra claramente a importância de áreas de florestas para a manutenção de funções ecológicas em paisagens sob

influência antrópica no sudoeste da Amazônia brasileira. Ademais, a identificação de espécies de formigas removedoras de sementes indicadoras de pasto e floresta fornecem os primeiros referenciais sobre a resposta da biodiversidade de insetos e suas funções ecológicas à programas de recuperação ambiental na região. Portanto, destacamos a necessidade da realização de mais estudos que se dediquem a identificação de espécies que são potencialmente indicadoras de impactos ambientais bem como do processo da restauração dos ecossistemas de florestas tropicais no sudoeste da Amazônia brasileira.

Referências bibliográficas*

- Acre, 2010. Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Acre, Fase II - Escala 1:250.000. Documento Síntese. Sema, Rio Branco
- Anderson, M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26, 32–46. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>
- Antongiovanni, M., Metzger, J.P., 2005. Influence of matrix habitats on the occurrence of insectivorous bird species in Amazonian forest fragments. *Biol. Conserv.* 122, 441–451. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.09.005>
- Arnan, X., Molowny-Horas, R., Rodrigo, A., Retana, J., 2012. Uncoupling the Effects of Seed Predation and Seed Dispersal by Granivorous Ants on Plant Population Dynamics. *PLoS One* 7, e42869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042869>
- Baccaro, F.B., Feitosa, R.M., Fernandez, F., Fernandes, I.O., Izzo, T.J., Souza, J.L.P., Solar, R., 2015. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Editora INPA, Manaus. <https://doi.org/10.5281/zenodo.32912>
- Barlow, J., Lennox, G.D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Nally, R. Mac, Thomson, J.R., Ferraz, S.F. de B., Louzada, J., Oliveira, V.H.F., Parry, L., Ribeiro de Castro Solar, R., Vieira, I.C.G., Aragão, L.E.O.C., Begotti, R.A., Braga, R.F., Cardoso, T.M., Jr, R.C. de O., Souza Jr, C.M., Moura, N.G., Nunes, S.S., Siqueira, J.V., Pardini, R., Silveira, J.M., Vaz-de-Mello, F.Z., Veiga, R.C.S., Venturieri, A., Gardner, T.A., 2016. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature* 535, 144–147. <https://doi.org/10.1038/nature18326>
- Bender, D.J., Tischendorf, L., Fahrig, L., 2003. Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. *Landsc. Ecol.* 18, 17–39. <https://doi.org/10.1023/A:1022937226820>
- Bieber, A.G.D., Silva, P.S.D., Sendoya, S.F., Oliveira, P.S., 2014. Assessing the Impact of Deforestation of the Atlantic Rainforest on Ant-Fruit Interactions: A Field Experiment Using Synthetic Fruits. *PLoS One* 9, e90369. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090369>
- Boesing, A.L., Nichols, E., Metzger, J.P., 2018. Biodiversity extinction thresholds are modulated by matrix type. *Ecography* 41, 1–14. <https://doi.org/10.1111/ecog.03365>
- Christianini, A. V., Oliveira, P.S., 2010. Birds and ants provide complementary seed dispersal in a neotropical savanna. *J. Ecol.* 98, 573–582. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01653.x>
- Crawley, M.J., 2013. *The R book*, 2nd ed. A John Wiley & Sons Ltd, Chichester.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118448908.ch13>

- Cuissi, R.G., Lasmar, C.J., Moretti, T.S., Schmidt, F.A., Fernandes, W.D., Falleiros, A.B., Schoereder, J.H., Ribas, C.R., 2015. Ant community in natural fragments of the Brazilian wetland: species–area relation and isolation. *J. Insect Conserv.* 19, 531–537. <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9774-5>
- 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, 133–146
- Desouza, O.F.F., Schoereder, J.H., Brown, V.K., Bierregaard, R.O., 2001. A theoretical overview of the processes determining species richness in forest fragments, in: *Lessons from Amazônia - the Ecology and Conservation of a Fragmented Forest*. pp. 13–21
- Dufrêne, M., Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 67, 345–366. [https://doi.org/https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1997\)067\[0345:SAAIST\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAIST]2.0.CO;2)
- Ewers, R.M., Boyle, M.J.W., Gleave, R.A., Plowman, N.S., Benedick, S., Bernard, H., Bishop, T.R., Bakhtiar, E.Y., Chey, V.K., Chung, A.Y.C., Davies, R.G., Edwards, D.P., Eggleton, P., Fayle, T.M., Hardwick, S.R., Homathevi, R., Kitching, R.L., Khoo, M.S., Luke, S.H., March, J.J., Nilus, R., Pfeifer, M., Rao, S. V., Sharp, A.C., Snaddon, J.L., Stork, N.E., Struebig, M.J., Wearn, O.R., Yusah, K.M., Turner, E.C., 2015. Logging cuts the functional importance of invertebrates in tropical rainforest. *Nat. Commun.* 6, 6836. <https://doi.org/10.1038/ncomms7836>
- Griffiths, H.M., Ashton, L.A., Walker, A.E., Hasan, F., Evans, T.A., Eggleton, P., Parr, C.L., 2018. Ants are the major agents of resource removal from tropical rainforests. *J. Anim. Ecol.* 87, 293–300. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12728>
- Gustafson, E.J., Parker, G.R., 1992. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landsc. Ecol.* 7, 101–110. <https://doi.org/10.1007/BF02418941>
- Haddad, N.M., Brudvig, L.A., Clobert, J., Davies, K.F., Gonzalez, A., Holt, R.D., Lovejoy, T.E., Sexton, J.O., Austin, M.P., Collins, C.D., Cook, W.M., Damschen, E.I., Ewers, R.M., Foster, B.L., Jenkins, C.N., King, A.J., Laurance, W.F., Levey, D.J., Margules, C.R., Melbourne, B.A., Nicholls, A.O., Orrock, J.L., Song, D.-X., Townshend, J.R., 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth’s ecosystems. *Sci. Adv.* 1, e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Hölldobler, B., Wilson, E.O., 1990. *The ants*, 1st ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

- Laurance, W.F., Camargo, J.L.C., Fearnside, P.M., Lovejoy, T.E., Williamson, G.B., Mesquita, R.C.G., Meyer, C.F.J., Bobrowiec, P.E.D., Laurance, S.G.W., 2018. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. *Biol. Rev.* 93, 223–247. <https://doi.org/10.1111/brv.12343>
- Leach, E., Nakamura, A., Turco, F., Burwell, C.J., Catterall, C.P., Kitching, R.L., 2013. Potential of ants and beetles as indicators of rainforest restoration: characterising pasture and rainforest remnants as reference habitats. *Ecol. Manag. Restor.* 14, 202–209. <https://doi.org/10.1111/emr.12068>
- Leal, I.R., Leal, L.C., Andersen, A.N., 2015. The benefits of myrmecochory: a matter of stature. *Biotropica* 47, 281–285. <https://doi.org/10.1111/btp.12213>
- Leal, L.C., Andersen, A.N., Leal, I.R., 2014 a. Anthropogenic disturbance reduces seed-dispersal services for myrmecochorous plants in the Brazilian Caatinga. *Oecologia* 174, 173–181. <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2740-6>
- Leal, L.C., Neto, M.C.L., de Oliveira, A.F.M., Andersen, A.N., Leal, I.R., 2014 b. Myrmecochores can target high-quality disperser ants: variation in elaiosome traits and ant preferences for myrmecochorous Euphorbiaceae in Brazilian Caatinga. *Oecologia* 174, 493–500. <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2789-2>
- Majer, J.D., Gove, A.D., Sochacki, S., Searle, P., Portlock, C., 2011. A comparison of the autecology of two seed-taking ant genera, *Rhytidoponera* and *Melophorus*. *Insectes Soc.* 58, 115–125. <https://doi.org/10.1007/s00040-010-0124-z>
- Miranda, P.N., Baccaro, F.B., Morato, E.F., Oliveira, M.A., Delabie, J.H.C., 2017. Limited effects of low-intensity forest management on ant assemblages in southwestern Amazonian forests. *Biodivers. Conserv.* 26, 2435–2451. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1368-y>
- Miranda, P.N., Morato, E.F., Oliveira, M.A., Delabie, J.H.C., 2013. A riqueza e composição de formigas como indicadores dos efeitos do manejo florestal de baixo impacto em floresta tropical no estado do Acre. *Rev. Árvore* 37, 163–173. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000100017>
- Miranda, P.N., Oliveira, M.A., Baccaro, F.B., Morato, E.F., Delabie, J.H.C., 2012. Check list of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) of the eastern Acre, Amazon, Brazil. *Check List* 8, 722. <https://doi.org/10.15560/8.4.722>
- Naeem, S., Bunker, D.E., Hector, A., Loreau, M., Perrings, C., 2009. *Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing*. Oxford University Press, New York
- Naeem, S., Loreau, M., Inchausti, P., 2002. *Biodiversity and ecosystem functioning: the*

- emergence of a synthetic ecological framework. *Biodivers. Ecosyst. Funct. Synth. Perspect.* 3–11
- Nakamura, A., Catterall, C.P., House, A.P.N., Kitching, R.L., Burwell, C.J., 2007. The use of ants and other soil and litter arthropods as bio-indicators of the impacts of rainforest clearing and subsequent land use. *J. Insect Conserv.* 11, 177–186. <https://doi.org/10.1007/s10841-006-9034-9>
- Olden, J.D., Rooney, T.P., 2006. On defining and quantifying biotic homogenization. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 15, 113–120. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2006.00214.x>
- Oliveira, M.A., Delia Lucia, T.M.C., Marinho, C.G.S., Delabie, J.H.C., Morato, E.R., 2009. Ant diversity in an area of the Amazon Forest in acre, Brazil. *Sociobiology* 54, 243–267
- Oliveira, M.A., Della Lucia, T.M.C., Morato, E.F., Amaro, M.A., Marinho, C.G.S., 2011. Vegetation structure and richness: effects on ant fauna of the Amazon - Acre, Brazil (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 57, 471–486
- Padilha, M.A., Resultados não publicados. Remoção de sementes por formigas: efeito do tamanho da semente, habitat e riqueza de espécies
- Paolucci, L.N., Solar, R.R.C., Sobrinho, T.G., Sperber, C.F., Schoereder, J.H., 2012. How does small-scale fragmentation affect litter-dwelling ants? The role of isolation. *Biodivers. Conserv.* 21, 3095–3105. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0356-5>
- Queiroz, A.C.M., Rabello, A.M., Braga, D.L., Santiago, G.S., Zurlo, L.F., Philpott, S.M., Ribas, C.R., 2017. Cerrado vegetation types determine how land use impacts ant biodiversity. *Biodivers. Conserv.* 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1379-8>
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Rabello, A.M., Parr, C.L., Queiroz, A.C.M., Braga, D.L., Santiago, G.S., Ribas, C.R., 2017. Habitat attribute similarities reduce impacts of land-use conversion on seed removal. *Biotropica* 50, 39–49. <https://doi.org/10.1111/btp.12506>
- Raimundo, R.L.G., Guimarães, P.R., Almeida-Neto, M., Pizo, M.A., 2004. The influence of fruit morphology and habitat structure on ant-seed interactions: A study with artificial fruits. *Sociobiology* 44, 261–270. <https://doi.org/www.csuchico.edu/biol/Sociobiology/sociobiologyindex.html>
- Ribas, C.R., Schoereder, J.H., Pic, M., Soares, S.M., 2003. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral*

- Ecol. 28, 305–314. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01290.x>
- Santana, F.D., Baccaro, F.B., Costa, F.R.C., 2016. Busy nights: high seed dispersal by crickets in a Neotropical forest. *Am. Nat.* 188, 126–133. <https://doi.org/10.1086/688676>
- Schmidt, F.A., Ribas, C.R., Schoereder, J.H., 2013. How predictable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. *Ecol. Indic.* 24, 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.031>
- Solar, R.R. de C., Barlow, J., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Thomson, J.R., Louzada, J., Maués, M., Moura, N.G., Oliveira, V.H.F., Chaul, J.C.M., Schoereder, J.H., Vieira, I.C.G., Mac Nally, R., Gardner, T.A., 2015. How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? *Ecol. Lett.* 18, 1108–1118. <https://doi.org/10.1111/ele.12494>
- Souza, V.M. De, Souza, M.B. De, Morato, E.F., 2008. Efeitos da sucessão florestal sobre a anurofauna (Amphibia: Anura) da Reserva Catuaba e seu entorno, Acre, Amazônia sul-ocidental. *Rev. Bras. Zool.* 25, 49–57. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752008000100008>
- Spiesman, B.J., Cumming, G.S., 2008. Communities in context: the influences of multiscale environmental variation on local ant community structure. *Landsc. Ecol.* 23, 313–325. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9186-3>
- Suguituru, S.S., Morini, M.S. de C., Feitosa, R.M., Silva, R.R. da, 2015. Formigas do Alto Tietê. Canal 6, Bauru
- Tabarelli, M., Lopes, A. V., Peres, C.A., 2008. Edge-effects drive tropical forest fragments towards an early-successional system. *Biotropica* 40, 657–661. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2008.00454.x>
- Tiede, Y., Schlautmann, J., Donoso, D.A., Wallis, C.I.B., Bendix, J., Brandl, R., Farwig, N., 2017. Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. *Ecol. Indic.* 83, 527–537. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.029>
- Tscharntke, T., Tylianakis, J.M., Rand, T.A., Didham, R.K., Fahrig, L., Batáry, P., Bengtsson, J., Clough, Y., Crist, T.O., Dormann, C.F., Ewers, R.M., Fründ, J., Holt, R.D., Holzschuh, A., Klein, A.M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D.A., Laurance, W., Lindenmayer, D., Scherber, C., Sodhi, N., Steffan-Dewenter, I., Thies, C., van der Putten, W.H., Westphal, C., 2012. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biol. Rev.* 87, 661–685. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x>

***Formatação de acordo com as normas do periódico científico *Biological Conservation*
(Apêndice I)**

Apêndices

*Apêndice I – Informações e normas para publicação do periódico científico escolhido para
submissão do artigo proveniente desta dissertação*

Nome da revista: Biological Conservation.

ISSN Online: 0006-3207.

Editora: Elsevier.

Fator de Impacto (2016): 4,022.

Classificação Qualis/Capes em Biodiversidade: A1.

Link para acesso às normas da revista: (Guide for Authors;
<https://www.elsevier.com/journals/biological-conservation/0006-3207/guide-for-authors>)