

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

JOUELLYS ANDRADE SILVA

**RESPOSTA DA COMUNIDADE DE FORMIGAS
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) A ATRIBUTOS DA VEGETAÇÃO EM
FRAGMENTOS FLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA**

SÃO LUIS, MA

2016

JOUELLYS ANDRADE SILVA

**RESPOSTA DA COMUNIDADE DE FORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) A
ATRIBUTOS DA VEGETAÇÃO EM FRAGMENTOS FLORESTAIS NA AMAZÔNIA
ORIENTAL BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação, curso de Mestrado, da Universidade Federal do Maranhão, como pré-requisito para obtenção do grau de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Linha de Pesquisa: Biologia de Populações e Comunidades de Áreas de Transição.

Orientador: Prof. Dr. José Manuel Macário Rebêlo
Co-orientador: Prof. Dr. Jacques H. Charles Delabie

São Luís, MA

2016

Silva, Joudellys Andrade

Resposta da comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) a atributos da vegetação em fragmentos florestais na Amazônia Oriental Brasileira/ Joudellys Andrade Silva – São Luís, 2016

47f.

Impresso por computador (fotocópia)

Orientador: Dr. José Manuel Macário Rebêlo

Co-orientador: Dr. Jacques Hubert Charles Delabie

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, curso de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, 2016.

1. Formigas 2. Remanescentes florestais 3.
Amazônia Maranhense / I. Título

CDU 595.796

Joudellys Andrade Silva

**RESPOSTA DA COMUNIDADE DE FORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) A
ATRIBUTOS DA VEGETAÇÃO EM FRAGMENTOS FLORESTAIS NA AMAZÔNIA
ORIENTAL BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação, curso de Mestrado, da Universidade Federal do Maranhão, como pré-requisito para obtenção do grau de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Aprovada em: _____ de _____ de 2016

Dr. José Manuel Macário Rebêlo
Orientador

Dr. Rogério Rosa da Silva
Membro externo/MPEG

Dra. Patrícia Maia Correia de Albuquerque
Membro interno/UFMA

Aos meus pais, irmãos, familiares e amigos...

Dedico!

...I believe Myrmecology is even more significant for tropical ecology than Ornithology, because the impact of ants in tropical habitats is tremendous. In addition, ants served for many disciplines as model systems, and in recent years, ants and other social insects have become model organisms for the study of Epigenetics...

Bert Hölldobler, em mensagem enviada aos organizadores do XX Simpósio de Mirmecologia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo sopro da vida e ideia da natureza! Essa fantástica construção que nos intriga dia após dia e para a qual procuramos respostas incansavelmente!

Aos meus Pais, que me encorajam e apoiam incondicionalmente, sem, em nenhum momento, se oporem às minhas escolhas. Pelos esforços que fazem diariamente para que minhas preocupações sejam únicas e exclusivamente os estudos. Saibam que vocês foram, são e serão eternamente fundamentais em minha vida. Dedico a vocês mais este passo (assim como todos os outros que virão). AMO-OS!!!

Aos meus cinco irmãos e familiares em geral, que sempre torceram e estiveram comigo nos momentos bons e nem tão bons. Sou e serei eternamente grato a todos vocês.

Ao meu estimado Orientador, professor Dr. José Manuel Macário Rebêlo, pelo exemplo de ser humano, dedicação, paciência e por estar sempre disposto a ajudar. Pelos puxões de orelha, discussões e aprendizagens que certamente me permitiram chegar a este momento com confiança e discernimento. Pelas brincadeiras que lhe são peculiares, pelas “boas desorientações” do dia-a-dia que quebram o gelo e descontraem o ambiente. Pessoa que me instrui, em quem confio e que me faltam palavras para descrever. Porém, acima de tudo isto, quero agradecê-lo pela Amizade que me dispõe. Foi/ é um prazer absurdamente grande ser seu orientado rs!

Ao meu coorientador, professor Dr. Jacques Delabie, e todos os integrantes do Laboratório de Mirmecologia da Cepec/Ceplac-BA, pela solicitude, opiniões, companheirismo, instruções e pelo excelente acolhimento durante o período do curso de Mestrado. Pelas conversas, brincadeiras e aprendizagens que proporcionavam ao ambiente grande harmonia, coesão e vontade de estar no laboratório. Agradeço, especialmente, a José Raimundo e Crispim pelas experiências de campo compartilhadas e a Ana Flávia pela paciência, uso da coleção e por seus valiosos serviços turísticos.

Aos professores Dr. Guillaume Rousseau (PPGAgro/UEMA), Dr. Carlos David Santos (PPGBC/UFMA) e Dr. Nivaldo Figueiredo (DeBio/UFMA), pelas dicas, discussões e disponibilidade sempre que procurados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos integrantes do Laboratório de Entomologia & Vetores – LEV/UFMA, pelos muitos momentos vivenciados em campo e/ou laboratório. Agradeço, em especial, ao professor Dr. Ciro Santos, pelas ideias loucas e aventureiras dos seus estudos com morcegos que me permitiram aprender um pouco sobre estes mamíferos; pelo nível sempre *hard core* de suas coletas e pela inspiração e exemplo de pessoa. Agradeço a ele, ainda, pelas incansáveis análises e sugestões deste estudo e por sempre estar disposto a me ajudar em qualquer dia ou situação. Muitíssimo obrigado, meu amigo!

Aos meus amigos – e eficiente equipe de campo Rafael Lima, Cris Utta, Carla Raielli e Larissa Cantanhede, que estiveram diretamente envolvidos neste estudo, estando comigo na coleta do material e/ou triando as formigas, no LEV. Agradeço, em especial, a Cris Utta, pela amizade incondicional, companheirismo, paciência e pela força que me passou em momentos difíceis. Também a Ana Lúcia (sua tia) pela logística em vários momentos desta dissertação.

À secretária do PPGBC/UFMA, Ana Lúcia (que não é a anterior), pelos inúmeros momentos de conversas, risadas, opiniões, xerox e impressões. Pela sua dedicação ao Programa e por sua paciência comigo, atendendo-me sempre que solicitada, quer na PPGBC quer em seu número pessoal.

Aos donos do sítio Mangalho, José Ribamar (*in memorian*) e Aldacy Nascimento, no Maracanã, que gentilmente cederam sua propriedade para este estudo. Agradeço em especial, aos caseiros do sítio, Maguim e sua esposa, Quelma, respectivamente, pelas dicas sobre a propriedade, ajuda em campo e pela revitalização das nossas forças após as coletas rs. São muito bons no que fazem rs!!

Ao menino prodígio e “biólogo entusiasta” Diogo Rocha (vulgo Diogo de Jacy) e também a Anízio Santos, responsáveis pelo desenvolvimento logístico de boa parte deste estudo e por terem se prontificado, mesmo sem qualquer obrigação, a me ajudar no que fosse necessário para o sucesso do trabalho. Recebam minha gratidão e cumprimentos! São parte importante neste produto.

À minha turma do PPGBC (2014) pelas conversas, grupos de estudos, amizade, alegrias e também pelas discussões acaloradas, por vezes, que também fazem parte do processo de crescimento pessoal e de um grupo. Que sejam tod@s grandes profissionais, pois merecedores já o são.

Ao meu Pastor e a igreja em Pindaré que, em orações, sempre estão comigo e meus familiares, sem nunca esquecerem-se de apresentar os meus caminhos a Deus. Muito Obrigado por esse apoio espiritual que, com certeza, tem ajudado em toda a minha vida.

A todas estas pessoas quero agradecer de coração e quero que sintam o meu abraço de reconhecimento pelo que fizeram e que, indiscutivelmente, tem grande influência nesse resultado.

MUITO OBRIGADO a tod@s!!!

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
--------------------	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
---------------------------------	----

ARTIGO: Resposta da comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) a atributos da vegetação em fragmentos florestais na Amazônia Oriental Brasileira

RESUMO	18
--------------	----

INTRODUÇÃO	19
------------------	----

MATERIAL E MÉTODOS	20
--------------------------	----

RESULTADOS.....	24
-----------------	----

DISCUSSÃO	25
-----------------	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
---------------------------------	----

APÊNDICE.....	44
---------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Riqueza de Formicidae, média e desvio padrão dos atributos da vegetação em cada sítio de amostragem, Setembro a Dezembro de 2014, Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil	37
Tabela 2 – Valores do coeficiente de correlação de Mantel entre a matriz de composição de espécies e as variáveis da vegetação em cada sítio amostrado entre Setembro e Dezembro de 2014, na Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil.....	38
Tabela 3 – Resultados do GLMM e ajuste do modelo (AIC) para as variáveis explicativas da riqueza de espécies nos 216 pontos amostrados na Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil, Setembro a Dezembro de 2014.....	39

LISTA DE FIGURAS

- FIG 1 – Localização das áreas de coletas de formigas na Ilha de São Luís, Estado do Maranhão. A: Quebra Pote; B: Sítio Aguahy; C: Alumar; D: Maracanã; E: Caema; F: Itapiracó 40
- FIG 2 – Dendograma resultante da análise de similaridade das distâncias euclidianas de todos os atributos da vegetação nos seis fragmentos amostrados, Setembro a Dezembro de 2014, Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil 41
- FIG 3 – Regressão entre a riqueza de espécies de formigas e as variáveis ambientais padronizadas ‘altura da serapilheira’ (HL) e ‘cobertura vegetal’ (VC), padronizadas pela média e desvio padrão, em todos os sítios amostrados entre Setembro a Dezembro de 2014, Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil. A: Quebra Pote; B: Aguahy; C: Alumar; D: Maracanã; E: Caema; F: Itapiracó . 42

1 **APRESENTAÇÃO**

2 Localizado na América do Sul, o bioma Amazônia, que estende-se do oceano Atlântico até a
3 Cordilheira dos Andes e ultrapassa os limites territoriais de nove países, possui a maior área
4 remanescente de floresta tropical contínua do planeta (Cavalheiro et al., 2015). No Brasil, esta floresta
5 cobre cerca de 60% do território nacional (Ferreira & Salati, 2005), agregando três regiões e cobrindo
6 total ou parcialmente, nove estados da Federação entre eles, o Maranhão, a parte mais oriental da
7 Amazônia brasileira.

8 O Maranhão é o estado da Amazônia Legal (uma definição político-administrativa e de
9 planejamento econômico criada pela Lei nº 1.806/1953) que possui o menor grau de ocupação do
10 espaço com áreas protegidas e apresenta alto grau de desmatamento e fragmentação florestal
11 (Almeida & Vieira, 2010; Martins & Oliveira, 2011), o que dificulta ainda mais a implantação de
12 medidas de proteção e conservação destas áreas.

13 A exemplo do que acontece em toda a floresta amazônica, a Amazônia maranhense (termo
14 utilizado para designar a parte da floresta amazônica que está dentro dos limites estaduais) vem
15 sofrendo, principalmente, com altas taxas de desmatamento e todos os problemas inerentes a esta
16 prática antrópica (lazer, moradia, atividades agropecuárias, erosão do solo, perda de fertilidade, etc.).
17 Segundo dados do governo do Maranhão, a floresta, que hoje cobre menos de 35% do território
18 estadual (SEMA, 2011), possui menos de 25% de sua cobertura original (IBGE, 2002). Além disso,
19 esta parte da Amazônia está inserida no chamado “arco do desmatamento”, região que se estende
20 desde o oeste do estado do Maranhão até o estado do Acre, e a cada ano, este “arco” se move mais
21 para o interior da Amazônia (BRASIL, 2009), comprometendo toda a funcionalidade deste
22 ecossistema.

23 Devido ao aumento de atividades humanas sobre os recursos da floresta, muitos estudos
24 analisaram o efeito destas práticas sobre a Amazônia (Nobre et al, 1991; Fizon et al., 2003;
25 Fearnside, 2005; Salomão et al., 2013; Cavalheiro et al., 2015). As perturbações antrópicas que são
26 impostas aos sistemas naturais levam à desestruturação das condições ideais para muitos organismos,

27 que podem responder de diversas maneiras dependendo da suscetibilidade das espécies (Brown, 1991;
28 Meffe & Carrol, 1997).

29 Apesar de haver poucos estudos, no Maranhão, a respeito de como a vegetação influencia a
30 comunidade faunística local (ver Rousseau et al., 2014; Ramos et al., 2015), no Brasil, diversos
31 estudos têm utilizado grupos animais para verificar como estes impactos influenciam esta
32 comunidade, a fim de definir “bioindicadores” de degradação florestal (Oliveira & Campos, 1996;
33 Forattini & Massad, 1998; Delabie et al., 2006; Uehara-Prado et al., 2009; Miranda et al., 2013).

34 Para Nakamura et al. (2007), se quantificarmos os efeitos da abertura do dossel em artrópodes
35 de solo e serapilheira, podemos definir bioindicadores de habitats florestais desmatados que também
36 possam ser aplicados para tipos de habitats intermediários, resultantes tanto da degradação (por
37 exemplo, clareiras ou fragmentação) quanto da restauração florestal (por exemplo, replantio). Assim,
38 com base na composição das assembleias dos artrópodes do solo e da serapilheira, poderemos avaliar
39 se a degradação ou a restauração que está ocorrendo é bem sucedida ou não.

40 Um grupo de artrópodes de solo/serapilheira que possui alto potencial para ser empregado
41 como modelo em estudos de biodiversidade e conservação, devido a sua grande importância
42 ecológica e ampla distribuição geográfica, são as formigas (Alonso & Agosti, 2000). Este táxon tem
43 respondido aos mais diversos impactos como reabilitação de áreas de mineração (Andersen, 1993),
44 queimada (Andersen, 1991; Hoffman, 2003; Boscardin et al., 2014), efeito de borda (Wirth et al.,
45 2007), pastagem (Vanderwoude, 1997) e perda da floresta e de seus atributos (Vasconcelos et al.,
46 2000).

47 Muitos estudos têm colocado as formigas como bons indicadores de perturbação antrópica
48 (Caldas & Moutinho, 1993; Vasconcelos et al., 2000; Parr et al., 2004; Wirth et al., 2007) por levarem
49 em consideração, também, a relativa facilidade para a identificação taxonômica, sensibilidade a
50 distúrbios e rapidez na coleta de dados em relação a outros taxa. Essas características permitem a
51 obtenção de respostas rápidas e facilmente interpretáveis (Lobry de Bruyn, 1999).

52 Sobre Formicidae em ambientes impactados, por exemplo, alguns estudos mostram que a
53 riqueza ou mesmo a composição em espécies destes insetos podem variar bastante. Na Amazônia
54 Central, Mackay et al. (1991) concluíram que clareiras em florestas maduras diminuem e modificam,
55 respectivamente, a riqueza e a composição de espécies de formigas de forma significativa. As
56 clareiras florestais tem produzido um declínio à riqueza de espécies de formigas comparável ao
57 desmatamento ocorrido nesta clareira (Nepstad et al., 1990; Roth et al., 1994). Segundo Moutinho
58 (1998), o número de espécies encontradas em áreas que possuem dossel mais aberto ou recentemente
59 plantadas, é apenas cerca da metade a um terço daquele encontrado em áreas próximas às florestas
60 maduras.

61 Portanto, o estudo dos formicídeos em ambientes naturais se mostra bastante efetivo para gerar
62 ferramentas que garantam a sustentabilidade do ambiente ou mesmo para indicar o grau de
63 perturbação local. Além disso, contribui para a ampliação do conhecimento do grupo no Brasil e, ao
64 mesmo tempo, abre possibilidade para o início de uma nova linha de pesquisa no Maranhão, tendo
65 em vista a insuficiência de estudos sobre esta família de inseto, em ambientes silvestres, no Estado.

66 Neste sentido, o presente estudo, desenvolvido na Ilha de São Luís – litoral maranhense, é
67 uma iniciativa dos autores na esperança maior de conhecer e preservar os remanescentes florestais
68 presentes na Ilha – resultantes de mais de quatro séculos de exploração humana e que ainda hoje não
69 cessaram. Nossa proposta consiste em um estudo sistemático a fim de verificar se e como os atributos
70 da vegetação, umbilicalmente ligadas às atividades humanas, influenciam a comunidade de formigas,
71 um dos principais grupos de invertebrados em ecossistemas naturais, principalmente nos trópicos.

72

73 **Referências Bibliográficas**

- 74 Almeida, A.S. & Vieira, I.C.G. (2010). Centro de endemismo Belém: status da vegetação
75 remanescente e desafios para a conservação da biodiversidade e restauração ecológica. *Reu*, 36: 95-
76 111.
- 77 Alonso, L.E. & Agosti, D. (2000). Biodiversity studies, monitoring and ants: an overview. In: Agosti
78 D, Majer JD.; Alonso LE, Schultz TR (Eds.). *Ants standard methods for measuring and monitoring*
79 *biodiversity* (pp.1-8). Washington: Editora Smithsonian Institution.
- 80 Andersen, A.N. (1991). Responses of ground-foraging ant communities to three experimental fire
81 regimes in a Savanna Forest of Tropical Australia. *Biotropica* 23, 575-585.
- 82 Andersen, A.N. (1993). Ants as indicators of restoration success at a uranium mine in tropical
83 Australia. *Restor. Ecol.* 1: 156-167.
- 84 Boscardin, J., Costa, E.C., Delabie, J.H.C. & Garlet, J. (2014). Efeito do fogo sobre a riqueza de
85 formigas (Hymenoptera: Formicidae) associadas à *Pinus elliottii* Engelm. no sul do Brasil. *Cienc.*
86 *Florestal* 24, 1031-1040. doi: 10.5902/1980509816616.
- 87 Brasil (2009). Ministério do Meio Ambiente. Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na
88 Amazônia Legal: 2ª fase (2009-2011) – Rumo ao Desmatamento Ilegal Zero. Brasília: MMA. 170p.
- 89 Brown Jr., K.S. (1991) Conservation of neotropical environments: Insects as Indicators. pp. 349-404.
90 In Collins, N.M. & J.A. Thomas (eds.). *The conservation of insects and their habitats*. Academic
91 Press, London.
- 92 Caldas, A. & Moutinho, P.R.S. (1993). Composição e diversidade da fauna de formigas
93 (Hymenoptera: Formicidae) em áreas sob remoção experimental de árvores na Reserva Florestal de
94 Linhares, ES, Brasil. *Rev. Bras. Entomol.* 37: 299-304.
- 95 Cavaleiro, W.C.S., Vendruscolo, J., Santos, L.M.H., Santos, A.M. (2015). Impacto da colonização
96 na Zona da Mata Rondoniense, Amazônia Ocidental-Brasil. *Rev. Geograf. Venezolana* 56, 41-57.
- 97 Delabie, J.H.C., Paim, V.R L.M., Nascimento, I.C., Campiolo, S. & Mariano, C.S.F. (2006). As
98 formigas como indicadores biológicos do impacto humano em manguezais da costa sudeste da Bahia.
99 *Neotrop. Entomol.* 35: 602-615.
- 100 Fearnside, P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences.
101 *Conserv. Biol.* 19, 680-688.
- 102 Ferreira, A.M.M. & Salati, E. (2005). Forças de transformação do ecossistema amazônico. *Estudos*
103 *avancados* 19, 25-44.
- 104 Fiszon, J.T. & Marchioro, N.P.X. (2003). Causas antrópicas. In Rambaldi, D.M., Oliveira, D.A.S.
105 (Orgs.). *Fragmentação de ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de*
106 *políticas públicas* (pp. 65-100). Ministério de Meio Ambiente.
- 107 Forattini, O.P. & Massad, E. (1998). Culicidae vectors and anthropic changes in a Southern Brazil
108 natural ecosystem. *Ecosyst. Health* 4: 9-19.
- 109 Hoffmann, B.D. (2003). Responses of ant communities to experimental fire regimes on rangelands in
110 the Victoria River District of the Northern Territory. *Austral Ecol.* 28, 182-195.

- 111 Ibge (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2002). Resolução nº 05. 10 Outubro. Diário
112 Oficial da República Federativa do Brasil.
113 <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/resolucao.shtm>. (data de acesso: 26 Agosto,
114 2015).
- 115 Lobry de Bruyn, L.A. (1999). Ants as bioindicators of soil functions in rural environments. *Agric.*
116 *Ecosyst. Environ.* 74: 425-441.
- 117 Mackay, W.P., Rebeles, A., Arredondo, H.C., Rodriguez, A.Z., Gonzales, D.A. & Vinson, S.B.
118 (1991). Impact of the slash and burning of a tropical rain forest on the native ant fauna (Hymenoptera:
119 Formicidae). *Sociobiology* 18: 257-268.
- 120 Martins, M.F. & Oliveira, T.G. (2011). Amazônia maranhense: Diversidade e Conservação. Belém:
121 MPEG. 328p.
- 122 Meffe, G.K. & Carroll, C.R. (eds.) (1997). *Principles of conservation biology*. Massachussets,
123 Sianuer.
- 124 Miranda, P.N., Morato, E.F., Oliveira, M.A. & Delabie, J.H.C. (2013). A riqueza e composição de
125 formigas como indicadores dos efeitos do manejo florestal de baixo impacto em floresta tropical no
126 estado do Acre. *Rev. Árvore* 37: 163-173.
- 127 Moutinho, P.R.S. (1998). Impactos do uso da terra sobre a fauna de formigas: consequências para a
128 recuperação florestal na Amazônia Oriental. In Gascon C, Moutinho PRS (Eds.). *Floresta Amazônica:*
129 *dinâmica, recuperação e manejo* (pp. 155-170). Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da
130 Amazônia.
- 131 Nakamura, A., Catterall, C.P., House, A.P.N., Kitching, R.L. & Burwell, C.J. (2007). The use of ants
132 and other soil and litter arthropods as bio-indicators of the impacts of rainforest clearing and
133 subsequent land use. *J Insect Conserv* (2007) 11:177–186. doi:10.1007/s10841-006-9034-9.
- 134 Nepstad, D.C., Uhl, C. & Serrão, E.A.S. (1990). Surmounting barriers to forest regeneration in
135 abandoned, highly degraded pastures: A case study from Paragominas, Para, Brazil. In AB Anderson
136 (Ed.). *Alternatives to Deforestation: steps toward sustaniable use of the Amazon Rain Forest* (pp.
137 215-229). New York: Columbia University Press.
- 138 Nobre, C.A., Sellers, P.J. & Shukla, J. (1991). Amazonian Deforestation and Regional Climate
139 Change. *J. Climate* 4, 957-988.
- 140 Oliveira, M.L. & Campos, L.A.O. (1996). Preferências por estratos florestais e por substâncias
141 odoríferas em abelhas Euglossinae (Hymenoptera, Apidae). *Rev. Bras. Zool* 13: 1075-1085.
- 142 Parr, C.L., Robertson, H.G., Biggs, H.C. & Chown, S.L. (2004). Response of African savanna ants
143 to long-term fire regimes. *J. Appl. Ecol* 41: 630-642.
- 144 Ramos, A.S.J.C., Lemos, R.N.S., Vale, A.M.S., Batista, M.C., Moreira, A.A., Harada, A.Y. &
145 Mesquita, M.L.R.. (2015). Ant diversity in agro ecosystems and secondary forest. *African J. Agric.*
146 *Research* 10, 4449-4454. doi: 10.5897/AJAR2015.9521.
- 147 Roth, D.S., Perfecto, I. & Rathcke, B. (1994). The effects of management systems on ground foraging
148 ant diversity in Costa Rica. *Ecol. Appl.* 4: 423-436.
- 149 Rousseau, G.X., Silva, P.R.S., Celentano, D. & Carvalho, C.J.R. (2014). Macrofauna do solo em uma
150 cronosequência de capoeiras, florestas e pastos no Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental.
151 *Acta Amaz.* 44, 499-512. doi:10.1590/1809-4392201303245.

- 152 Salomão, R.P., Santana, A.C. & Brienza Jr., S. (2013). Seleção de espécies da floresta ombrófila
153 densa e indicação da densidade de plantio na restauração florestal de áreas degradadas na
154 Amazônia. *Cienc. Florestal* 23, 139-151. doi: 10.5902/198050988448
- 155 Sema (Secretária de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão). (2011). Plano de
156 Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no estado do Maranhão. Decreto
157 nº 27.317 de 14.04.2011.
158 [http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/P](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Maranhxo.pdf)
159 [ublicacoes/Plano_Estadual_do_Maranhxo.pdf](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Maranhxo.pdf).
- 160 Uehara-Prado, M., Fernandes, J.O., Bello, A.M., Machado, G., Santos, A.J., Vaz-de-Mello, F.Z. &
161 Freitas, A.V.L. (2009). Selecting terrestrial arthropods as indicators of small-scale disturbance: A
162 first approach in the Brazilian Atlantic Forest. *Biol. Conserv.* 142, 1220-1228. doi:
163 10.1016/j.biocon.2009.01.008.
- 164 Vanderwoude, C., Andersen, A.N.; House, A.P.N. (1997). Ant communities as bioindicators in
165 relation to are management of spotted gum (*Eucalyptus maculata* Hook.) forests in south-east
166 Queensland. *Mem. Mus. Vic.* 56: 671-675.
- 167 Vasconcelos, H.L., Vilhena, J.M.S. & Caliri, G.J.A. (2000). Responses of ants to selective logging of
168 a central Amazonian forest. *J. Appl. Ecol.* 37: 508-515.
- 169 Wirth, R., Meyer, S.T., Almeida, W.R., Araújo Jr, M.V., Barbosa, V.S. & Leal, I.R. (2007).
170 Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic
171 forest. *J. Trop. Ecol.* 23, p. 501-505.

172

Joudellys Andrade Silva
Universidade Federal do Maranhão
Departamento de Patologia
Praça Madre Deus nº 02
CEP.: 65025-560
São Luís, Maranhão
andradejoudellys@yahoo.com.br

Resposta da Comunidade de Formigas (Hymenoptera: Formicidae) a Atributos da Vegetação
em Fragmentos Florestais na Amazônia Oriental Brasileira¹

J ANDRADE-SILVA^{1,2}, CLC DOS SANTOS², ACS UTTA³, JAM GUTIERREZ⁴, GX ROUSSEAU⁴, JHC
DELABIE⁵, JMM REBÊLO^{1,2}

¹Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do
Maranhão, Av. dos Portugueses s/n, 65085-580, São Luís, Maranhão, Brasil

²Laboratório de Entomologia e Vetores, Departamento de Patologia, Praça Madre Deus, 02,
65025-560, São Luís, Maranhão, Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia,
Av. André Araújo 2936, 69067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.

⁴Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, Cidade
Universitária Paulo VI, 65055-970, São Luís, Maranhão, Brasil.

⁵Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz, Km.
16, rodovia Ilhéus-Itabuna, 45662-900, Ilhéus, Bahia, Brasil.

Resposta da comunidade de formigas a atributos da vegetação

¹ Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Sociobiology, exceto alinhamento do texto à esquerda.

197 RESUMO – Na Amazônia, a maioria dos remanescentes florestais estão fragmentados e
198 apresentam alto grau de desmatamento. O estado do Maranhão não é exceção a esta regra e o
199 fato de não existirem, no estado, estudos sistematizados evidenciando como estes impactos
200 podem interferir na comunidade de formigas, torna este cenário ainda mais preocupante.
201 Contudo, a abertura de dossel e a profundidade da serapilheira, por estarem mais intimamente
202 relacionados com características da superfície do solo, parecem possuir maior influência na
203 comunidade de formigas epigeias. Para testar essa hipótese, procuramos avaliar quais
204 características da vegetação são determinantes da riqueza e composição de formigas. Para isso
205 instalamos, em cada um dos seis fragmentos amostrados, seis transectos de 150m com seis
206 pontos amostrais cada, distantes 30m um do outro. Em cada ponto amostral, um *pitfall* e um
207 par de iscas (doce e salgada) foram instalados, totalizando 36 *pitfalls* e 36 pares de iscas em
208 cada fragmento. Para a vegetação, medimos a altura da serapilheira, abertura de dossel,
209 circunferência à altura do peito, altura, distância e densidade de árvores. Encontramos 85
210 espécies de formigas, sendo que na escala do *pitfall*, a cobertura de dossel foi o fator mais
211 importante explicando a riqueza e composição das espécies de formigas em todos os sítios
212 amostrados, enquanto que na escala de transectos, circunferência e a densidade de árvores
213 explicaram a composição da assembleia amostrada. Nossos resultados sugerem que
214 microhabitats proporcionados pelo dossel são determinantes da riqueza da comunidade de
215 formigas, ficando, alternativamente, outras características da vegetação influenciando mais
216 fortemente a composição de espécies em escalas mais amplas.

217

218 PALAVRAS-CHAVE: Remanescentes florestais, abertura de dossel, floresta tropical,
219 Amazônia maranhense

220 **Introdução**

221 Em ambientes florestais fragmentados, a riqueza de espécies vegetais e a quantidade de
222 recursos são bem mais limitadas do que florestas contínuas (Lawrence & Vasconcelos, 2009),
223 o que implica diretamente em menor disponibilidade de habitats para a fauna. Este fator é de
224 grande importância para a região tropical uma vez que numerosas espécies animais necessitam
225 de recursos alimentares e/ou microhabitats especializados (Zimmerman & Bierregaard, 1986;
226 Brown & Hutchings, 1997). Assim, estudar esses fragmentos a fim de obter informações sobre
227 a sua biodiversidade é fundamental para garantir a sustentabilidade e a restauração de áreas
228 fragmentadas.

229 Para entendermos de forma satisfatória a relação entre grupos hiper-diversos e seu
230 ambiente, é necessário utilizarmos espécies sensíveis “bioindicadoras” de alterações
231 ambientais em uma escala local. Nesse sentido, as formigas (Hymenoptera: Formicidae) são
232 um grupo importante, pois possuem uma grande diversidade de hábitos, dietas e locais de
233 nidificação (Kaspari, 1993, 2000; Soares & Schoereder, 2001; Blüthgen & Feldhaar, 2010),
234 além de serem sensíveis a alterações ambientais (Dias et al., 2008; Schmidt et al., 2013).

235 De forma geral, o ambiente regula a estrutura de comunidades de Formicidae. Áreas
236 estruturalmente mais complexas, por exemplo, tendem a apresentar maior riqueza de espécies
237 de formigas (Martins, 2011), assim como locais com serapilheira mais espessa (Vargas et al.,
238 2007). Sítios com dosséis mais abertos podem influenciar o tamanho dos ninhos e colônias
239 (Chen & Robinson, 2014) e a composição em espécies (Aguiar & Monteza, 1996). Para Leal
240 et al. (2012), o tamanho do fragmento e a riqueza arbórea também são importantes fatores
241 preditivos da riqueza e composição em espécies de formigas. Assim, estes organismos são
242 vulneráveis às mudanças ambientais provocadas por distúrbios humanos, comprometendo sua
243 capacidade de executar funções no ecossistema (e.g.: dispersão, herbivoria, aeração do solo).

Na região oriental da Amazônia brasileira, a maioria dos remanescentes florestais está fragmentado e localizado fora de áreas de preservação (Almeida & Vieira, 2010). No Maranhão, estado onde a Amazônia representa 34,78% do território estadual (SEMA, 2011; Valladares, 2007), a cobertura florestal original está reduzida a menos de 25% e apresenta alto grau de desmatamento e fragmentação (Soares-Filho et al., 2014; Araújo et al., 2011). Além disso, no Maranhão, não existem estudos sistematizados, relacionando atributos da vegetação com qualquer componente da comunidade de formigas. Diante do exposto, realizamos um estudo pioneiro em áreas florestais fragmentadas na Ilha de São Luís. O intuito foi verificar quais características da vegetação melhor explicam a riqueza e composição de formigas encontradas nos fragmentos. Nossa hipótese é de que, por estarem mais intimamente relacionadas com características físicas da superfície do solo, a abertura de dossel e a altura da serapilheira têm maior influência na comunidade de formigas de solo.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na Ilha de São Luís, no litoral maranhense (Fig. 1). O clima é do tipo Aw na classificação de Köppen, com altitude inferior a 100 m acima do nível do mar, precipitação pluviométrica anual entre 1.900 e 2.200 mm e temperatura média anual acima dos 26°C (Alvares et al. 2013).

Os remanescentes florestais amazônicos presentes na Ilha de São Luís são, em sua maioria, formados por um mosaico de manchas de vegetação em diferentes estágios de sucessão e tamanhos, e imersos em matrizes com diferentes intensidades de uso. Além disso, estes remanescentes não são homogêneos, tanto na estrutura e dimensão, quanto no histórico de preservação, degradação, localização e matriz do entorno (urbana ou rural) e também nos principais eventos causadores de pressão ambiental (Figueiredo & Andrade, 2007).

Selecionamos seis sítios para o estudo, dos quais cinco possuem menos de 100 ha de área florestada (o maior, Sítio Aguahy, possui 600 ha), porém, tratam-se dos maiores fragmentos florestais remanescentes na Ilha, a saber: Área de Preservação ambiental (APA) do Itapiracó (2°31'28.81"S; 44°12'0.33"O), APA do Maracanã (2°36'13.39"S; 44°17'56.78"O), Reserva da Caema (2°34'1.01"S; 44°15'4.03"O), Quebra Pote (2°42'26.75"S; 44°15'23.87"O), Sítio Aguahy (2°38'59.30"S; 44° 8'49.63"O) e Reserva da Alumar (2°42'39.31"S; 44°17'47.40"O) (Fig. 1). Em todos os sítios amostrados, predomina a fisionomia de floresta ombrófila aberta (IBGE, 2011).

Desenho amostral

Em cada fragmento, para captura das formigas, estabelecemos seis transectos de 150 m, distantes 30m entre si, com seis pontos de amostragem cada um, distribuídos a intervalos de 30 m, totalizando 36 pontos por fragmento. Para diminuir o efeito de borda, posicionamos todos os transectos a pelo menos 50 m da borda da mata.

Características da vegetação

Em cada um dos 36 pontos amostrais de cada fragmento, medimos a espessura da serapilheira com auxílio de uma régua milimétrica. Para quantificar a abertura do dossel, utilizamos um densiômetro esférico Lemmon modelo A (Rapid City, SD, USA) e seguimos as instruções para aferição desta cobertura presentes no próprio equipamento, a saber: contar o número de quadrados iluminados pela luz solar e, em seguida, multiplicar este número por 1,04, obtendo a porcentagem da área não ocupada do dossel. A diferença entre esse resultado e 100 é a estimativa da percentagem de cobertura vegetal. Em ambos os casos, altura da serapilheira e cobertura vegetal, efetuamos as medidas em quatro direções (Norte, Sul, Leste,

Oeste) a partir das armadilhas *pitfalls* e utilizamos as médias dos quatro valores obtidos de cada ponto para as análises estatísticas.

Em cada fragmento, marcamos ainda seis parcelas de 10 x 10 m (uma em cada transecto) em que foram amostradas todas as árvores com circunferência à altura do peito (CAP) maior ou igual a 15 cm, altura, densidade e distância física entre as árvores (sempre aferida em direção ao centro do fragmento). As parcelas em que foram medidas estas variáveis abrangia, sempre, um ponto de captura dos formicídeos em cada transecto, ou seja, seis unidades amostrais por fragmento.

Amostragem e identificação das formigas

Todas as formigas foram capturadas durante a estação seca (setembro a dezembro de 2014), utilizando dois métodos de amostragens: armadilhas *pitfall* e armadilhas de iscas. Os *pitfalls* consistiram de copos descartáveis de 200 mL (para detalhes ver Bestelmeyer et al., 2000) e ficaram instalados 48 horas.

Um par de iscas (“açúcar” e “óleo + proteína”) distante 2 m uma da outra, instaladas nos mesmos pontos amostrais dos *pitfalls* (após a retirada destes), ficaram expostas por 2 h. As iscas salgadas consistiram de sardinha em óleo, e as doces, de mel. Colocamos ambas sobre papel toalha e, após o período de exposição, estas foram rapidamente recolhidas, acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Entomologia e Vetores (LEV) da Universidade Federal do Maranhão, onde foram triadas e armazenadas. Os espécimes coletados nos dois tipos de armadilhas foram conservados em álcool 70% (coleção úmida). A identificação das formigas foi feita no Laboratório de Mirmecologia (CPDC) do Centro de Pesquisa do Cacau, Ilhéus, Bahia, onde exemplares do material biológico foram depositados.

317 *Análise dos dados*

318 Para analisarmos a associação das variáveis da vegetação (dossel, serapilheira, CAP,
319 altura, densidade e distância) e a riqueza de espécies de formigas nos pontos amostrais em cada
320 área (N=36), utilizamos modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição de Poisson
321 e as variáveis preditoras padronizadas (média = 0 e desvio padrão = 1). Analisamos a
322 associação das variáveis com a composição de espécies utilizando a análise de Mantel parcial
323 (que controla o efeito da distância geográfica), a partir da matriz de presença das espécies nos
324 pontos amostrais, utilizando o índice de Jaccard.

325 Para avaliar a associação das variáveis da vegetação na escala de transectos, utilizamos
326 todos os dados contidos nas parcelas dos transectos (N=36) e dos pontos amostrais (N=216),
327 para as variáveis cobertura de dossel e altura da serapilheira. Para análise da riqueza de espécies
328 nesta escala, com a cobertura de dossel e altura da serapilheira, utilizamos modelos lineares
329 generalizados mistos (GLMMs), com distribuição de Poisson e as áreas e transectos como
330 variáveis de efeito aleatório no modelo. Para analisar a associação da composição de espécies
331 nos transectos em relação a todas as variáveis da vegetação, utilizamos a análise de Mantel
332 parcial a partir da matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis, resultante da frequência de espécies
333 em cada transecto.

334 A análise gráfica dos sítios amostrados foi feita por agrupamento das áreas utilizando
335 as distâncias euclidianas de todas as variáveis pelo método de ligação Ward (Murtagh &
336 Legendre, 2014) e a estimativa de riqueza de espécies foi calculada utilizando o índice
337 Jackknife de primeira ordem. As análises foram realizadas no ambiente computacional R 3.2.2
338 (R Development Core Team 2015) utilizando o pacote estatístico vegan (Oksanen et al. 2015)
339 e lme4 na função “glmer” (Bates et al. 2014).

340

RESULTADOS

Similaridade dos sítios quanto as características da vegetação

No geral, levando-se em consideração as médias de todas as variáveis da vegetação para os seis fragmentos amostrados, o sítio Itapiracó foi a área que obteve o menor valor em cinco das seis variáveis florestais analisadas, sendo este, portanto, o fragmento mais degradado. O fragmento Maracanã apresentou os maiores quantitativos em três atributos (CAP, altura e distância entre as árvores) e o Aguahy em dois (cobertura de dossel e densidade de árvores) (Tabela 1).

A análise de similaridade mostrou que houve a separação de dois grupos entre os seis fragmentos. No primeiro, os sítios Caema e Itapiracó se diferenciaram dos demais, possuindo características da vegetação mais similares entre si. O segundo, agrupa quatro fragmentos florestais mais próximos entre si do que com o primeiro grupo, possuindo a formação de dois subgrupos: os sítios Maracanã e Quebra Pote, e os sítios Alumar e Aguahy (Fig. 2).

Riqueza e composição de espécies de formigas

Coletamos um total de 25.049 indivíduos representando 85 espécies e morfoespécies, 40 gêneros e sete subfamílias (Tabela S1). A subfamília que apresentou maior riqueza foi Myrmicinae com 37 espécies em 16 gêneros. *Camponotus* Mayr, 1861 (12 espécies), *Pheidole* Westwood, 1839 (6) e *Solenopsis* Westwood, 1840 (5) foram os gêneros com maiores valores de riqueza de espécies. O estimador de riqueza sugere que a maioria das espécies foi coletada em todas as áreas (Tabela 1).

Formigas e a associação com as variáveis da vegetação por área

A cobertura de dossel foi diretamente associada à riqueza de espécies em todos os fragmentos amostrados (Fig 3A-3F). No entanto, esse atributo apresentou relação significativa com a composição apenas para os sítios Aguahy, Itapiracó e Maracanã (Tabela 2). A profundidade da serapilheira, por sua vez, foi preditora da riqueza em cinco dos seis fragmentos (Fig 3A-3F), mas influenciou a composição somente no fragmento Aguahy (Tabela 2).

Formigas e a associação com as variáveis da vegetação em todas as áreas

Modelos GLMM utilizando todos os pontos amostrais (N=216), para cobertura de dossel e profundidade da serapilheira, foram significativamente correlacionadas com riqueza de espécies ($p < 0.001$, $p < 0.05$; respectivamente) (Tabela 3). O modelo com cobertura de dossel apresentou melhor ajuste que a serapilheira (AIC = 860.4; AIC = 892.9, respectivamente) (Tabela 3). Nos transectos, nenhuma associação foi encontrada entre a riqueza de formigas e as variáveis da vegetação. No entanto, na análise de Mantel parcial a composição de Formicidae foi significativamente correlacionada com a densidade ($r = 0.15$, $p < 0.05$) e CAP ($r = 0.12$, $p < 0.05$), independente da distância geográfica.

DISCUSSÃO

A maioria das formigas capturadas em nosso estudo possui hábito generalista. Ambientes florestais fragmentados, bem como os contínuos, em geral, tendem a ter a dominância deste tipo de organismos, uma vez que espécies mais especializadas possuem exigências mais específicas sobre locais para nidificação e forrageamento (ver Schoereder & Teixeira, 2003; Wirth et al., 2007; Meyer et al., 2011). Nossos resultados mostram que, em microescala, a riqueza de formigas é intrinsicamente mais dependente da cobertura do dossel e, em escala mais ampla, a CAP e a densidade da vegetação modelam a composição de

formicídeos nos fragmentos amostrados, indicando que à medida que se diminuem os atributos da vegetação, menor será os serviços ecológicos desenvolvidos pelas formigas.

Similaridade dos sítios quanto as características da vegetação

Estruturalmente, o primeiro grupo estabelecido pelo dendograma (APA do Itapiracó e Reserva da Caema) é mais degradado que o segundo, pois apresentaram, em conjunto, valores inferiores aos demais fragmentos em cinco (profundidade da serapilheira, cobertura de dossel, densidade, CAP e altura das árvores) dos seis atributos analisados. Para a FAO (2009), a diminuição na cobertura vegetal é o principal resultado da intervenção antrópica e a diminuição de atributos como CAP e densidade, um forte indício de degradação florestal (FAO, 2011). A profundidade da serapilheira, por sua vez, pode estar relacionada com a baixa densidade arbórea (Leal, 2003) presente nestes fragmentos, podendo ser, neste caso, outro importante indício de degradação ambiental. Além disso, fatores como os locais em que estão inseridos estes fragmentos (aqui, matriz urbana densamente povoada), também podem afetar o seu grau de preservação ou ainda a própria existência do remanescente florestal a médio prazo (Soares-Filho et al, 2006) caso os impactos antrópicos não cessem.

Para o segundo grupo, valores mais altos nas variáveis estruturais analisadas, confere a este conjunto menor quantidade de impactos antrópicos. Além disso, diferentemente do primeiro grupo, o segundo possui uma matriz menos urbanizada e a dificuldade em acessar estas áreas (algumas de domínio privado) pode proporcionar a estes fragmentos um processo mais avançado de restauração florestal e tornando-os ainda mais importantes no contexto local, uma vez que podem funcionar como fonte de dispersão de sementes para áreas mais degradadas (Tabela 1).

412 *Riqueza e composição de espécies de formigas*

413 Myrmicinae foi a subfamília com maior riqueza de espécies, o que é esperado para a
414 subfamília mais amplamente distribuída e diversificada na Região Neotropical (Hölldobler &
415 Wilson, 1990; Oliveira et al., 1995; Silva & Lopes, 1997; Fernandez, 2003; Silva & Silvestre,
416 2004; Delabie et al., 2007; Gomes et al., 2010). É importante mencionar que Myrmicinae
417 também constitui um dos grupos mais diversificados em hábitos de alimentação e nidificação
418 (Fowler et al. 1991), além de apresentar uma gama de comportamento que as permitem viver
419 nos mais diversos ambientes (Hölldobler & Wilson, 1990; Fowler et al., 1991), incluindo áreas
420 com alto grau de perturbação antrópica como as amostradas no presente estudo.

421 Dentre os gêneros encontrados destacam-se *Camponotus* e *Pheidole* por serem bastante
422 generalistas e adaptados a locais antropizados (Hölldobler & Wilson, 1990), além de serem
423 gêneros “hiper-diversos” (Wilson, 2003). Isso corrobora Figueiredo & Andrade (2007) de que
424 os locais aqui analisados são fragmentos altamente impactados por atividades antrópicas. Estes
425 impactos além de alterarem a riqueza e composição de espécies, também favorecem o
426 aparecimento de táxons generalistas em detrimento das espécies com comportamento mais
427 especializado (Colles et al., 2009; Sanchez-Gálen et al., 2010).

428 O estimador de riqueza indicou que foram coletadas entre 67% e 76% das espécies
429 presentes nos ambientes. Esse percentual pode estar relacionado ao número de espécies que
430 ocorreram apenas uma vez no estudo (espécies raras = 30). Padrão semelhante foi encontrado
431 em outros estudos na Região Neotropical (Delabie et al., 2000; Silva & Silvestre, 2004; Silva
432 et al., 2007; Silvestre et al., 2012).

433

434 *Formigas e a associação com as variáveis por área*

435 A vegetação, bem como sua estrutura, é a maior reguladora das condições
436 microclimáticas e da disponibilidade de recursos (Andersen et al. 2006; Hoffmann & James,

2011) e, por isso, ambas tendem a influenciar a diversidade e comportamento das formigas (Huxley & Cutler, 1991; Wilkinson & Feener 2007; Hill et al., 2008; Vasconcellos et al., 2008). Neste conjunto, a cobertura vegetal é um fator preponderante na estruturação e atividade de Formicidae (Kaspari & Weiser, 2000).

Muitos estudos mostram que o dossel é um importante fator na riqueza de espécies de formigas (Perfecto & Vandermeer, 1996; Colles et al., 2009; Graham et al., 2009; Neves et al 2013), o que também foi corroborado no presente estudo. A diminuição da cobertura vegetal induz a declínio da riqueza em formigas, possivelmente devido à diminuição de microhabitats específicos para a sobrevivência de muitas espécies (Pacheco & Vasconcelos, 2012; Cardoso & Schoereder, 2014); a riqueza de formigas em áreas que possuem dossel mais aberto ou recentemente plantadas, é apenas cerca da metade a um terço daquela das áreas próximas às florestas maduras (Moutinho, 1998).

Variações na cobertura vegetal podem ainda beneficiar um grupo de espécies em detrimento de outro, interferindo, desta forma, na riqueza e composição da comunidade de formigas (Perfecto & Vandermeer 1996; Ribas et al., 2003; Lassau & Hochuli 2004). Ninhos de *Atta cephalotes* (Linnaeus, 1758), por exemplo, são mais facilmente encontrados em bordas ou clareiras (Wirth et al., 2007; Meyer et al., 2011), enquanto que os ninhos de *Atta robusta* Borgmeier, 1939 são mais abundantes em locais mais sombreados (Schoereder & Teixeira, 2003).

Assim como a cobertura vegetal, a profundidade da serapilheira também explicou variação na riqueza de formigas. Neste estudo, a profundidade da serapilheira apresentou uma relação diretamente proporcional à riqueza de formigas em cinco dos seis fragmentos amostrados, aumentando o número de espécies com o aumento da espessura da serapilheira. Esse resultado corrobora outras pesquisas na região Neotropical (Kaspari 1996, Campos et al 2003, Theunis et al 2005, Miranda et al., 2013). Uma explicação possível é que uma

serapilheira mais espessa aumenta o número de habitats disponíveis tanto para a nidificação das formigas quanto para a abundância de artrópodes de solo, principal fonte alimentar de Formicidae neste substrato (Hölldobler & Wilson 1990; Leal, 2003).

Todavia, outros fatores não avaliados neste estudo, tais como a matriz de entorno e o tamanho dos fragmentos, também podem estar influenciando a mirmecofauna, alterando a riqueza ou modificando a composição de espécies. A matriz de entorno determina, por exemplo, qual será o efeito da fragmentação na fauna associada (Gascon et al., 1999; Dauber et al., 2003). Na Amazônia Central, fragmentos florestais menores que 100 ha – como a maioria dos amostrados em nosso estudo, apresentaram drásticas reduções na riqueza de espécies de Formicidae quando comparados a fragmentos maiores (Carvalho & Vasconcelos, 1999; Vasconcelos et al. 2006). Schoereder et al (2004) também observaram aumento na riqueza de formigas diretamente proporcional ao tamanho dos fragmentos devido ao processo de relação espécie-área.

Associação das formigas com as variáveis em todas as áreas

Na escala de transecto, não foram encontradas associações significativas entre a riqueza de formigas e nenhuma das variáveis testadas no presente estudo. Resultados semelhantes também foram apontados por Vasconcelos et al. (2008) em estudos na savana Amazônica, e Gomes et al. (2010), em ambientes fragmentados na floresta Atlântica Nordestina. Nossos resultados também corroboram Sayer et al. (2010) segundo os quais, a riqueza de artrópodes do solo está relacionada a fatores que operam em pequenas escalas. Neste sentido, sugerimos que as variáveis condicionantes de um ambiente, no que diz respeito à riqueza de espécies de formigas, sejam determinadas em microescalas, analisando-as em cada ponto de coleta dos indivíduos, haja vista a alta sensibilidade das formigas frente às mudanças no ambiente.

Por outro lado, nesta escala, a composição da assembleia de formigas foi influenciada pela CAP e densidade de árvores. Ambos os fatores determinam estrutura da vegetação, o que pode influenciar a resposta da comunidade de formigas (Leal, 2003; Gomes et al. 2010; Oliveira et al., 2011). Possivelmente, a vegetação mais densa propicia um aumento no número de habitats disponíveis para as atividades das formigas – forrageamento, sítios de nidificação – influenciando, desta forma, na composição da assembleia de formicídeos. Observação semelhante foi feita por Leal (2003) para a riqueza de espécies. Além disso, alterações na CAP e na densidade da vegetação podem ser indicativas de degradação florestal (FAO, 2011) ou mesmo de sucessão ecológica (Lassau & Ochuli, 2004). Assim sendo, à medida que esta sucessão acontece (e/ou incide impactos antrópicos) ocorrem, também, mudanças graduais nas condições abióticas e na estrutura vegetal, influenciando as comunidades faunística associadas (Begon et al., 1996), inclusive as formigas.

Dos fatores ambientais analisados, o que mais explicou a riqueza e composição das espécies de formigas nos fragmentos foi cobertura de dossel. Sendo a diminuição nessa cobertura o principal resultado dos impactos antrópicos em ambientes naturais, as formigas podem, até mesmo serem utilizadas como bioindicadoras de degradação em microescala. Em uma escala mais ampla, porém, a densidade da vegetação e a circunferência das árvores são fatores preponderantes para caracterizar o que determina e estrutura a composição de uma comunidade de formigas. Assim, nossos resultados sugerem que os habitats proporcionados pelo dossel são mais importantes na riqueza de espécies de formigas, ficando, alternativamente, outras características da estrutura da comunidade influenciando mais fortemente na composição de espécies em escalas mais amplas.

508 **Referências bibliográficas**

- 509 Aguiar, C.M.L. & Monteza, J.I. (1996). Comparação da fauna de formigas (Hymenoptera:
510 Formicidae) associadas a árvores em áreas de clareiras e floresta intacta na Amazônia Central.
511 *Sitientibus* 15: 167-174.
- 512 Almeida, A.S. & Vieira, I.C.G. (2010). Centro de endemismo Belém: status da vegetação
513 remanescente e desafios para a conservação da biodiversidade e restauração ecológica. *Reu*,
514 36: 95-111.
- 515 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. (2013).
516 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Z.* 22: 711-728. doi: 10.1127/0941-
517 2948/2013/0507
- 518 Andersen, A.N., Hertog, T. & Woinarski, J.C.Z. (2006). Long-term fire exclusion and ant
519 community structure in an Australian tropical savanna: congruence with vegetation succession.
520 *J Biogeogr.* 33:823–832. doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01463.x
- 521 Araújo, E.P., Lopes, J.R. & Carvalho-Filho, R. (2011). Aspectos socioeconômicos e de
522 evolução do desmatamento na amazônia maranhense. In M.F. Martins & T.G. Oliveira (Eds.),
523 *Amazônia maranhense: Diversidade e Conservação* (pp. 35-46). Belém: MPEG
- 524 Bates, D., Maechler, M., Bolker, B.M. & Walker, S. (2014). lme4: Linear mixed-effects models
525 using Eigen and S4. ArXiv e-print. *Journal of Statistical Software*.
526 <http://arxiv.org/abs/1406.5823>.
- 527 Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L. (2006). *Ecology: From individuals to ecosystems*.
528 United Kingdom, Blackwell Publishing, 714p.
- 529 Bestelmeyer, B.T., Agosti, D., Alonso, L.E., Brandão, C.R.F., Brown Jr, W.L., Delabie, J.H.C.
530 & Silvestre, R. (2000). Field techniques for the study of ground-living ants: an overview,
531 description, and evaluation. In D. Agosti, J.D. Majer, L.E. Alonso & T.R. Schultz (Eds.), *Ants:*
532 *Standart Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity* (pp. 122-144). Washington:
533 Editora Smithsonian Institution.
- 534 Blüthgen, N. & Feldhaar, H. (2010). Food and shelter: how resources influence ant ecology.
535 In: L. Lach, C.L. Parr & K.L. Abbott (Eds.), *Ant Ecology* (pp. 115-136). New York: Oxford
536 University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199544639.003.0007.
- 537 Brown, K.S. & Hutchings, R.W. (1997). Disturbance, fragmentation, and the dynamics of
538 diversity in Amazonian forest butterflies. In W.F. Laurance & R.O. Bierregaard (Eds), *Tropical*
539 *forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities* (pp. 91-
540 110). Chicago: University of Chicago Press.
- 541 Campos, R.B.F, Schoereder, J.H. & Sperber, C.F. (2003). Local determinants of species
542 richness in litter ant communities (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 41: 357-367.
- 543 Cardoso, D.C. & Schoereder, J.H. (2014). Biotic and abiotic factors shaping ant (Hymenoptera:
544 Formicidae) assemblages in brazilian coastal sand dunes: the case of restinga in Santa Catarina.
545 *Florida Entomol.* 97: 1443-1450.
- 546 Carvalho, K.S. & Vasconcelos, H.L. (1999). Forest fragmentation in central Amazonia and its
547 effects on litter-dwelling ants. *Biol. Conserv.*, 91: 151-158. doi: 10.1016/S0006-
548 3207(99)00079-8

549 Chen, Y.H. & Robinson, E.J.H. (2014). The relationship between canopy cover and colony size
550 of the wood ant *Formica lugubris* - Implications for the thermal effects on a keystone ant
551 species. Plos One 9: e116113. doi: 10.1371/journal.pone.0116113.

552 Colles, A., Liow, L.H. & Prinzing, A. (2009). Are specialists at risk under environmental
553 change? Neoecological, paleoecological and phylogenetic approaches. Ecol. Lett. 12: 849–863.
554 doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01336.x

555 Dauber, J., Hirsch, M., Simmering, D., Waldhardt, R., Otte, A. & Wolters, V. (2003).
556 Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness. Agricult.
557 Ecosyst. Environ. 98: 321-329. doi: 10.1016/S0167-8809(03)00092-6

558 Delabie, J.H.C., Agosti, D. & Nascimento, I. C. (2000). Litter ant communities of the Brazilian
559 Atlantic rain forest region. In D. Agosti, J. Majer, L. Alonso & T. Schultz (Eds), Sampling
560 ground-dwelling ants: Case studies from the world's rain forests (pp. 1–17). Bentley: School
561 of Environmental Biology.

562 Delabie, J.H.C., Jahyny, B., Nascimento, I.C., Mariano, C.S.F., Lacau, S., Campiolo, S.,
563 Philpott, S.M. & Leponce, M. (2007). Contribution of cocoa plantations to the conservation of
564 native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic Forest
565 fauna of southern Bahia, Brazil. Biodivers. Conserv. 16: 2359-2384. doi: 10.1007/s10531-007-
566 9190-6

567 Dias, N.S., Zanetti, R., Santos, M.S., Louzada, J. & Delabie, J. (2008). Interação de fragmentos
568 florestais com agroecossistemas adjacentes de café e pastagem: respostas das comunidades de
569 formigas (Hymenoptera, Formicidae). Iheringia, Ser. Zool 98(1):136-142.

570 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2009). Towards defining
571 forest degradation: comparative analysis of existing definitions. Roma, Forest resources
572 Assessment Working, 62 p.

573 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2011). Assessing forest
574 degradation: towards the development of globally applicable guidelines. Roma, Forest
575 resources Assessment Working, 99p.

576 Fernández, F. (2003). Introducción a las hormigas de la Región Neotropical. Bogotá, Instituto de
577 Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 398 p.

578 Figueiredo, N. & Andrade, G.V. (2007). Pequenos fragmentos: Biodiversidade e Conservação.
579 Rev. Inov. 6: 28-30.

580 Fowler, H.G., Forti, L.C., Brandão, C.R.F., Delabie, J.H.C. & Vasconcelos, H.L. (1991).
581 Ecologia nutricional de formigas. In A.R. Panizzi & J.R.P. Parra (Eds.), Ecologia nutricional
582 de insetos e suas implicações no manejo de pragas (pp.131-223). São Paulo, Editora Manole e
583 CNPq.

584 Gascon, C., Lovejoy, T.E., Bierregaard Jr., R.O., Malcolm, J.R., Stouffer, P.C. Vasconcelos,
585 H.L., Laurance, W.F., Zimmerman, B., Tocher, M. & Borges, S. (1999). Matrix habitat and
586 species richness in tropical forest remnants. Biol. Conserv, 91: 223-230. doi: 10.1016/S0006-
587 3207(99)00080-4

588 Gomes, J.P., Iannuzzi, L. & Leal, I.R. (2010). Resposta da Comunidade de Formigas aos
589 Atributos dos Fragmentos e da Vegetação em uma Paisagem da Floresta Atlântica Nordeste.
590 Neotrop. Entomol. 39: 898-905.

591 Graham, J.H., Krzysik, A.J., Kovacic, D.A., Duda, J.J., Freeman, D.C., Emlen, J.M., Zak, J.C.,
592 Long, W.R., Wallace, M.P., Chamberling-Graham, C., Nutter, J.P. & Balbach, H.E. (2009).
593 Species richness, equitability, and abundance of ants in disturbed landscapes. Ecol. Indic. 9:
594 866-877. doi: 10.1016/j.ecolind.2008.10.003

595 Hill, J.G., Summerville, K.S. & Brown, R.L. (2008). Habitat associations of ant species
596 (Hymenoptera: Formicidae) in a heterogeneous Mississippi landscape. Environ. Entomol. 37:
597 453–463. doi: 10.1603/0046-225X(2008)37[453:HAOASH]2.0.CO;2

598 Hoffmann, B.D. & James, C.D. (2011). Using ants to manage sustainable grazing: dynamics
599 of ant faunas along sheep grazing gradients conform to four global patterns. Austral Ecol. 36:
600 698–708. doi: 10.1111/j.1442-9993.2010.02205.x

601 Hölldobler, B. & Wilson, E. O. (1990). The ants. Cambridge, Harvard University Press, 732 p.

602 Huxley, C.R. & Cutler, D.F. (1991). Ant–plant interactions. New York, Oxford University
603 Press, 601 p.

604 Kaspari, M. & Weiser, M.D. (2000). Ant activity along moisture gradients in a Neotropical
605 forest. Biotropica 32: 703-711. doi: 10.1646/0006-3606(2000)032[0703:AAAMGI]2.0.CO;2

606 Kaspari, M. (1993). Removal of seeds from neotropical frugivore droppings. Oecologia 95: 81-
607 88. doi: 10.1007/BF00649510

608 Kaspari, M. (1996). Testing resource-based models of patchiness in four Neotropical litter ant
609 assemblages. Oikos 76: 443-454. doi: 10.2307/3546338

610 Kaspari, M. (2000). A primer on ant ecology. In D. Agosti, J.D. Majer, L.E. Alonso, T.R.
611 Schultz (Eds), Standard methods for measuring and monitoring biodiversity (pp. 9-24).
612 Washington, Smithsonian Institution Press.

613 Lassau, S.A. & Hochuli, D.F. (2004). Effects of habitat complexity on ant assemblages.
614 Ecography 27, 157–64. doi: 10.1111/j.0906-7590.2004.03675.x

615 Lawrence, W.F. & Vasconcelos, H.L. (2009). Consequências ecológicas da fragmentação
616 florestal na Amazônia. Oecologia Brasiliensis 13: 434-451. doi: 10.4257/oeco.2009.1303.03

617 Leal, I.R. (2003). Diversidade de formigas em diferentes unidades da paisagem da Caatinga.
618 In I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M. Silva (Eds.), Ecologia e conservação da Caatinga (pp. 435-
619 460). Recife, Editora da Universidade Federal de Pernambuco.

620 Leal, I.R., Filgueiras, B.K.C., Gomes, J.P., Iannuzzi, L. & Andersen, A. N. (2012). Effects of
621 habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic
622 forest. Biodivers. Conserv. 21: 1687-1701. doi: 10.1007/s10531-012-0271-9.

623 Martins, L., Almeida, F.S., Mayhé-Nunes, A.J. & Vargas, A.B. (2011). Efeito da complexidade
624 estrutural do ambiente sobre as comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) no
625 município de Resende, RJ, Brasil. R. Bras. Bioci 9: 174-179.

626 Meyer, S.T., Leal, I.R., Tabarelli, M. & Wirth, R. (2011). Ecosystem engineering by leaf –
 627 cutting ants. Nests of *Atta cephalotes* drastically alter forest structure and microclimate. Ecol.
 628 Entomol. 39: 14-24. doi: 10.1111/j.1365-2311.2010.01241.x

629 Miranda, P.N., Morato, E.F., Oliveira, M.A. & Delabie, J.H.C. (2013). A riqueza e composição
 630 de formigas como indicadores dos efeitos do manejo florestal de baixo impacto em floresta
 631 tropical no estado do Acre. Revista Árvore 37: 163-173.

632 Moutinho, P.R.S. (1998). Impactos do uso da terra sobre a fauna de formigas: consequências
 633 para a recuperação florestal na Amazônia Oriental. In C. Gascon & P.R.S. Moutinho (Eds.),
 634 Floresta Amazônica: dinâmica, recuperação e manejo (pp. 155-170). Manaus: Instituto
 635 Nacional de Pesquisas da Amazônia.

636 Murtagh, F. & Legendre, P. (2014). Ward's hierarchical agglomerative clustering method:
 637 which algorithms implement Ward's criterion? J. Classificat 31: 274-295. doi: 10.1007/s00357-
 638 014-9161-z

639 Neves, F.S., Dantas, K.S.Q., Rocha, W.D. & Delabie, J.H.C. (2013). Ants of three adjacent
 640 habitats of a transition region between the Cerrado and Caatinga biomes: The effects of
 641 heterogeneity and variation in canopy cover. Neotrop. Entomol. 42: 258-268. doi:
 642 10.1007/s13744-013-0123-7.

643 Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O' Hara, R.B., Simpson,
 644 G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. & Wagner, H. (2015). Vegan: Community Ecology
 645 Package. R package version 2.3-1. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>

646 Oliveira, M.A., Della-Lucia, T.M.C., Araújo, A.P. & da Cruz, A.P. (1995). A fauna de formigas
 647 em povoamentos de eucalipto e mata nativa no estado do Amapá. Acta Amazônica 25:
 648 117–126.

649 Oliveira, M.A., Della-Lucia, T.M.C., Morato, E.F., Amaro, M.A. & Marinho, C.G.S. (2011).
 650 Vegetation structure and richness: effects on ant fauna of the Amazon – Acre, Brazil
 651 (Hymenoptera: Formicidae). Sociobiology 57: 471-486.

652 Pacheco, R. & Vasconcelos, H. (2012). Habitat diversity enhances ant diversity in a naturally
 653 heterogeneous Brazilian landscape. Biodiv Conserv, 21: 797-809. doi: 10.1007/s10531-011-
 654 0221-y

655 Perfecto, I. & Vandermeer, J. (1996). Microclimatic changes and the indirect loss of ant
 656 diversity in a tropical agroecosystem. Oecologia 108, 577–82. doi: 10.1007/BF00333736

657 R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation
 658 for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.

659 Ribas, C.R., Schoereder, J.H., Pic, M. & Soares, S.M. (2003). Tree heterogeneity, resource
 660 availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. Aust. Ecol. 28,
 661 305–14. doi: 10.1046/j.1442-9993.2003.01290.x

662 Sánchez-Gállez, I., Álvarez-Sánchez, F.J. & Benítez-Malvido, J. (2010). Structure of advanced
 663 regeneration community in tropical rain forest of Los Tuxtlas, México. Biol. Conserv. 143:
 664 2111-2118. doi: 10.1016/j.biocon.2010.05.021

665 Sayer, E.J., Sutcliffe, L.M.E, Ross, R.I.C. & Tanner, E.V.J. (2010). Arthropod abundance and
666 diversity in a Lowland Tropical Forest floor in Panama: The role of habitat space vs. nutrient
667 concentrations. *Biotropica*, 42: 194-200. doi: 10.1111/j.1744-7429.2009.00576.x.

668 Schmidt, F.A.; Ribas, C.R. & Schoereder, J.H. (2013). How predictable is the response of ant
669 assemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. *Ecol. Indic.*
670 24:158-166. doi: 10.1016/j.ecolind.2012.05.031.

671 Schoereder, J.H., Galbiati, C., Ribas, C.R., Sobrinho, T.G., Sperber, C.F., De Souza, O &
672 Lopes-Andrade, C. (2004). Should we use proportional sampling for species-area studies? *J.*
673 *Biogeog.* 31: 1219-1226.

674 Schoereder, J.H. & Teixeira, M.C. (2003). The effect of plant cover on *Atta robusta*
675 (Hymenoptera: Formicidae) in resting vegetation. *Sociobiology* 41: 616-623.

676 Sema (Secretária de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão). (2011).
677 Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no estado do
678 Maranhão. Decreto nº 27.317 de 14.04.2011.
679 [http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arqu](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Maranhxo.pdf)
680 [ivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Maranhxo.pdf](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Maranhxo.pdf).

681 Silva, R.R. & Lopes, B.C. (1997). Ants (Hymenoptera: Formicidae) from Atlantic rainforest at
682 Santa Catarina Island, Brazil: two years of sampling. *Rev. Biol. Trop.* 45: 1641-1648.

683 Silva, R.R. & Silvestre, R. (2004). Riqueza da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae)
684 que habitam as camadas superficiais do solo em Seara, Santa Catarina. *Pap. Avulsos Zool.*
685 44(1):1-11.

686 Silva, R.R., Feitosa, R.S.M., & Eberhardt, F. (2007). Reduced ant diversity along a habitat
687 regeneration gradient in the southern Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecol. Manag.* 240: 61–
688 69. doi: 10.1016/j.foreco.2006.12.002.

689 Silvestre, R., Demétrio, M.F. & Delabie, J.H.C. (2012). Community structure of leaf-litter ants
690 in a Neotropical dry forest: A biogeographic approach to explain betadiversity. *Psyche*, Article
691 ID 306925, 15 pages. doi: 10.1155/2012/306925.

692 Soares, S. M. & Schoereder, J. H. (2001). Ant-nest distribution in a remnant of tropical
693 rainforest in southeastern Brazil. *Insect. Soc.* 48: 280-286. doi: 10.1007/PL00001778.

694 Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H. &
695 Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's forest code. *Science* 344: 363-364. doi:
696 10.1126/science.1246663.

697 Soares-Filho, B.S., Nepstad, D.C., Curran, L.M., Cerqueira, G.C., Garcia, R.A., Ramos, C.A.,
698 Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P. & Schlesinger, P. (2006). Modeling conservtion in the
699 Amazon basin. *Nature*, 404. 520-523. doi:10.1038/nature04389.

700 Theunis, L., Gilbert, M., Roisin, Y. & Leponce, M. (2005). Spatial structure of litter-dwelling
701 ant distribution in a subtropical dry forest. *Insect. Soc.* 52: 366-377. doi: 10.1007/s00040-005-
702 0822-0.

703 Valladares, G.S., Quartaroli, C.F., Hott, M.C., Miranda, E.E., Nunes, R.S., Klepker, D., Lima,
704 G.P. (2007). Mapeamento da aptidão agrícola das terras do Estado do Maranhão. Embrapa

705 monitoramento por satélite. 25p.
706 <http://www.aptidaoma.cnpm.embrapa.br/conteudo/publicacoes.htm>.

707 Vargas, A.B., Mayhe-Nunes, A.J., Queiroz, J. M., Orsolon, G.S. & Follyramos, E. (2007).
708 Efeito de fatores ambientais sobre a mirmecofauna em comunidade de restinga no Rio de
709 Janeiro, RJ. Neotrop. Entomol. 36: 28–37. doi: 10.1590/S1519-566X2007000100004.

710 Vasconcelos, H.L., Leite, M.F., Vilhena, J.M.S., Lima, A.P. & Magnusson W.E. (2008). Ant
711 diversity in an Amazonian savanna: Relationship with vegetation structure, disturbance by fire,
712 and dominant ants. Austral Ecol. 33: 221–231. doi: 10.1111/j.1442-9993.2007.01811.x.

713 Vasconcelos, H.L.; Vilhena, J.M.S.; Magnusson, W.E. & Albernaz, A. (2006). Long-term
714 effects of forest fragmentation on Amazonian ant communities. J. Biogeogr. 33: 1348-1356.
715 doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01516.x.

716 Wilkinson, E.B. & Feener, D.H. (2007) Habitat complexity modifies ant-parasitoid
717 interactions: implications for community dynamics and the role of disturbance. Oecologia
718 152:151–161. doi: 10.1007/s00442-006-0634-6.

719 Wilson, E.O. (2003). La hiperdiversidad como fenómeno real: El caso de Pheidole. In: F.
720 Fernandez (Ed), Introducción a las hormigas de la región neotropical (pp. 363-370). Bogotá:
721 Instituto de Recursos biológicos Alexander Von Humboldt.

722 Wirth, R., Meyer, S.T., Almeida, W.R., Araújo Jr, M.V., Barbosa, V.S. & Leal, I.R. (2007).
723 Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian
724 Atlantic forest. J. Trop. Ecol. 23, p. 501-505. doi: 10.1017/S0266467407004221.

725 Zimmerman, B.L. & Bierregaard, R.O. 1986. Relevance of the equilibrium theory of island
726 biogeography and species-area relations to conservation with a case from Amazônia. J.
727 Biogeogr. 13: 133-143. doi: 10.2307/2844988.

Tabela 1: Riqueza de Formicidae, média e desvio padrão dos atributos da vegetação em cada sítio de amostragem, Setembro a Dezembro de 2014, Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil.

Locais	Nº de espécies observadas	Nº de espécies esperadas (Jackknife 1)	Altura da serapilheira (cm)	Cobertura de dossel (%)	Densidade (N)	CAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)
Alumar	29	42	2.08 ($\pm$ 0.80)	73.48 ($\pm$ 1.15)	35.50 ($\pm$ 5.04)	0.46 ($\pm$ 0.07)	8.13 ($\pm$ 0.60)	1.31 ($\pm$ 0.14)
Caema	35	47	1.08 ($\pm$ 0.28)	39.65 ($\pm$ 2.55)	13.50 ($\pm$ 3.93)	0.34 ($\pm$ 0.13)	6.51 ($\pm$ 1.57)	2.62 ($\pm$ 1.00)
Itapiracó	35	46	0.91 ($\pm$ 0.17)	18.73 ($\pm$ 2.22)	16.17 ($\pm$ 4.95)	0.25 ($\pm$ 0.01)	4.95 ($\pm$ 0.42)	1.91 ($\pm$ 0.43)
Maracanã	36	51	2.03 ($\pm$ 0.72)	77.02 ($\pm$ 2.97)	21.33 ($\pm$ 4.32)	0.52 ($\pm$ 0.14)	9.22 ($\pm$ 1.37)	2.68 ($\pm$ 1.02)
Q. Pote	29	43	2.54 ($\pm$ 0.24)	74.64 ($\pm$ 3.41)	21.00 ($\pm$ 4.85)	0.39 ($\pm$ 0.09)	8.09 ($\pm$ 0.80)	2.00 ($\pm$ 0.39)
Aguahy	38	55	1.90 ($\pm$ 0.20)	77.78 ($\pm$ 1.22)	47.33 ($\pm$ 5.40)	0.40 ($\pm$ 0.15)	7.32 ($\pm$ 1.33)	1.52 ($\pm$ 0.16)

Tabela 2: Valores do coeficiente de correlação de Mantel entre a matriz de composição de espécies e as variáveis da vegetação em cada sítio amostrado entre Setembro e Dezembro de 2014, na Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil.

	Composição de espécies	
	Cobertura vegetal	Altura serapilheira
Aguahy	0.226***	0.184**
Alumar	0.010	0.010
Caema	-0.032	0.085
Itapiracó	0.097*	0.035
Maracanã	0.025	-0.028
Quebra pote	0.147*	0.079

Significance levels: * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$

Tabela 3: Resultados do GLMM para as variáveis explicativas da riqueza de espécies nos 216 pontos amostrados na Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil, entre Setembro e Dezembro de 2014.

Variáveis	β_0	SE	β_1	SE
TODAS				
Cobertura de dossel	-0.770	0.518	0.039***	0.005
Altura da serapilheira	1.473	0.079	0.088*	0.037

Níveis de significância: * $P \leq 0.05$; *** $P \leq 0.001$

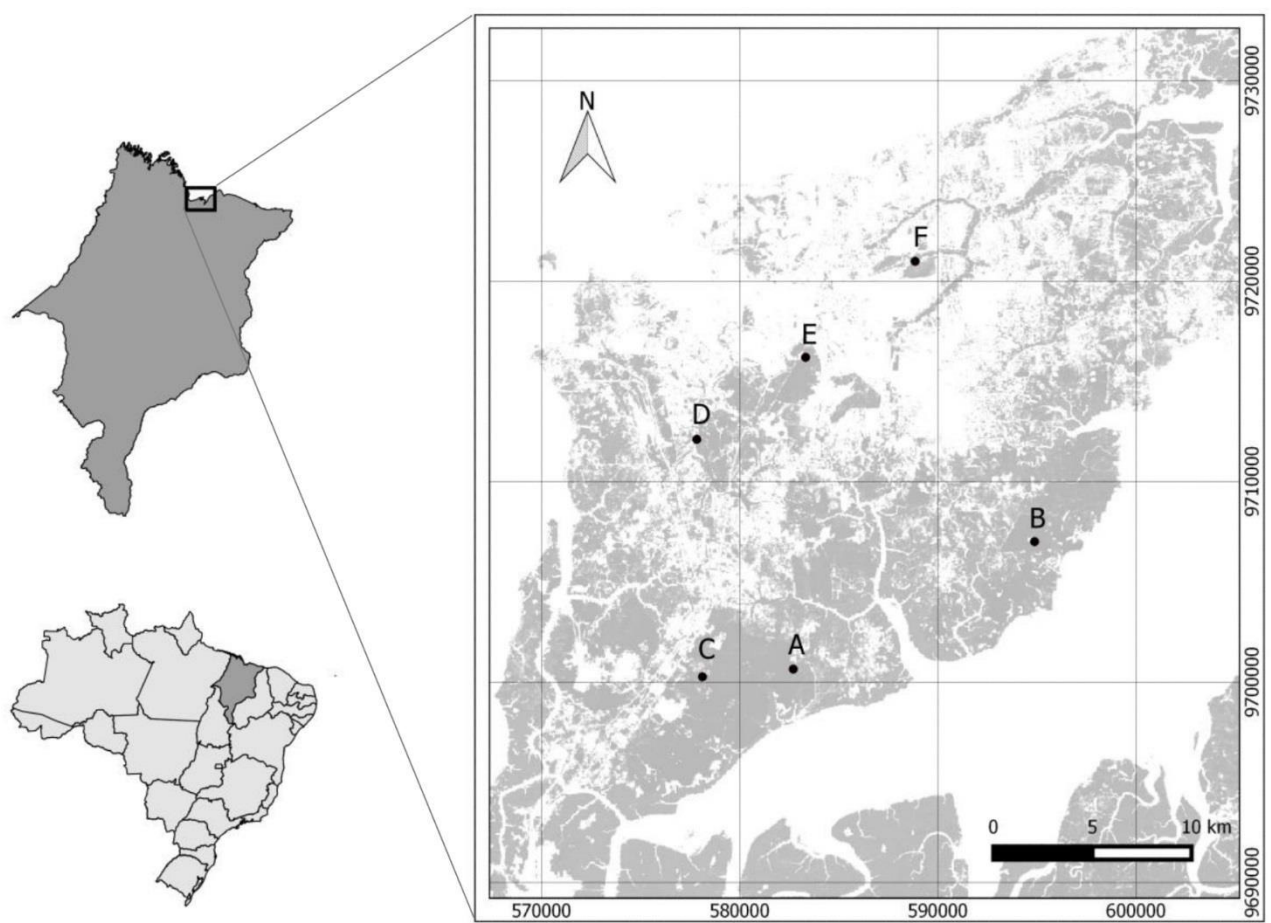


Fig 1: Localização das áreas de coletas de formigas na Ilha de São Luís, Estado do Maranhão. A: Quebra Pote; B: Sítio Aguahy; C: Alumar; D: Maracanã; E: Caema; F: Itapiracó.

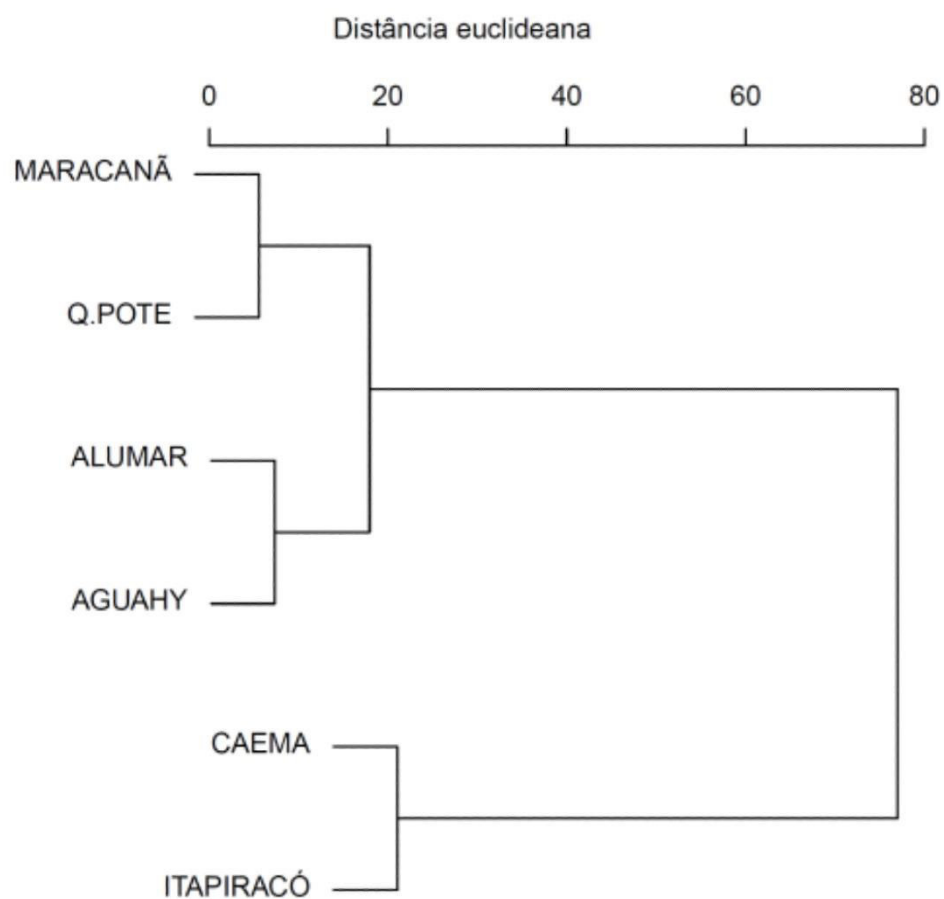


Fig 2: Dendrograma resultante da análise de similaridade das distâncias euclidianas de todos os atributos da vegetação nos seis fragmentos amostrados, Setembro a Dezembro de 2014, Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil.

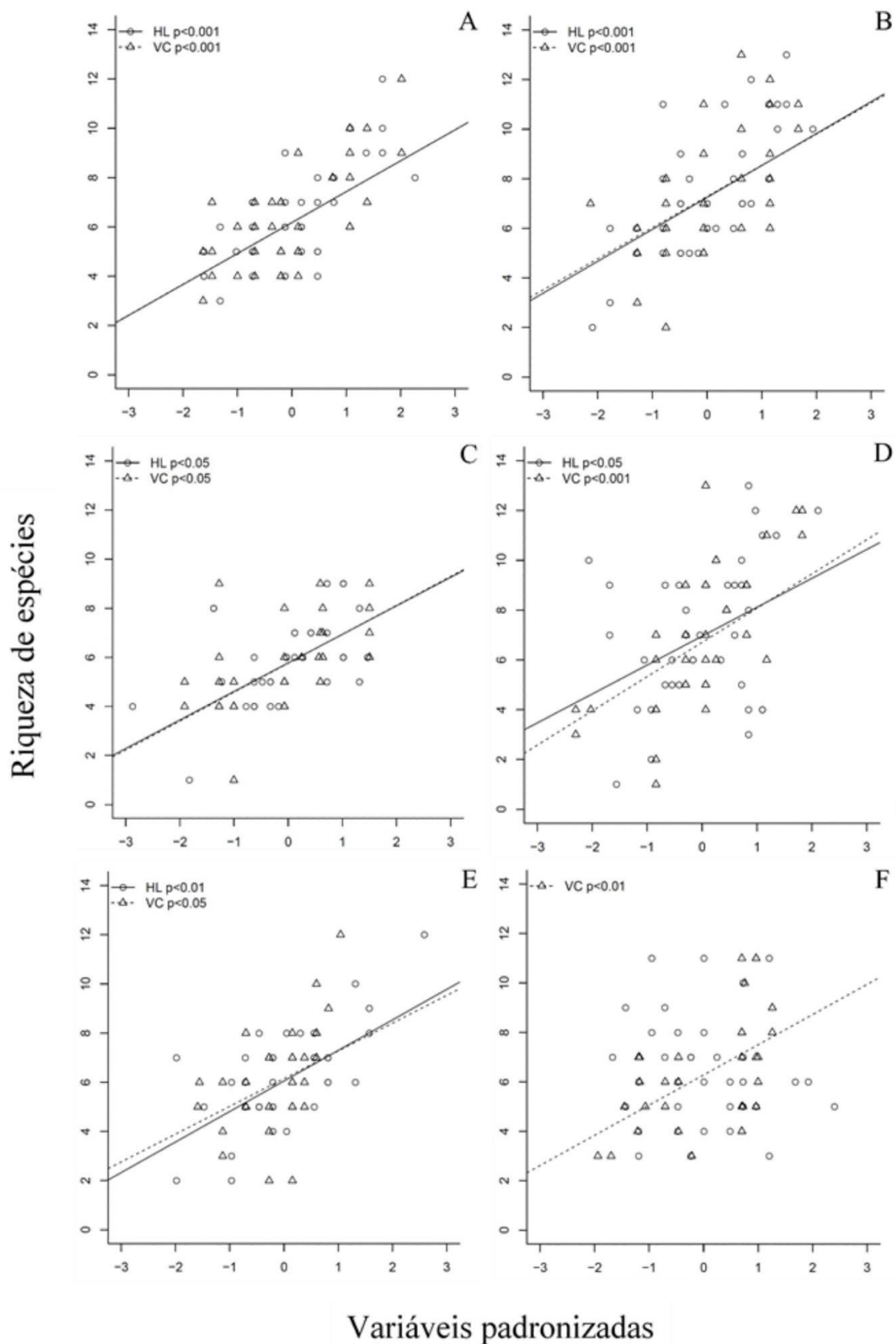


Fig 3: Regressão entre a riqueza de espécies de formigas e as variáveis ambientais padronizadas 'altura da serapilheira' (HL) e 'cobertura vegetal' (VC), padronizadas pela média e desvio padrão, em todos os sítios amostrados entre Setembro a Dezembro de 2014, Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil. A: Quebra Pote; B: Aguahy; C: Alumar; D: Maracanã; E: Caema; F: Itapiracó.

Apêndice

Tabela S1. Formicidae capturados entre Setembro e Dezembro de 2014 em seis fragmentos da Amazônia Oriental brasileira, Ilha de São Luís, Maranhão. QPT: Quebra Pote; SAG: Sítio Aguahy; RAL: Alumar; MRC: Maracanã; RCM: Caema; ITP: Itapiracó

Subfamília	Espécies	Fragmentos					
		QPT	SAG	RAL	MRC	RCM	ITP
Dolichoderinae	<i>Azteca</i> (gr. <i>Chartifex</i>) sp.1		x		x	x	x
	<i>Azteca</i> sp.2					x	x
	<i>Dolichoderus attelaboides</i> (Fabricius, 1775)		x			x	
	<i>Dolichoderus imitator</i> Emery, 1894	x		x	x		
	<i>Dorymyrmex brunneus</i> Forel, 1908	x		x			x
	<i>Dorymyrmex goeldii</i> Forel, 1908	x		x			
	<i>Forelius maranhaoensis</i> Cuezso, 2000			x			
	<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius, 1793)		x		x	x	
Dorylinae	<i>Eciton mexicanum</i> Roger 1863				x		
	<i>Labidus coecus</i> (Latreille, 1802)		x	x	x	x	x
Ectatomminae	<i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858	x	x	x	x	x	x
	<i>Ectatomma suzanae</i> Almeida Filho, 1986		x				
	<i>Ectatomma tuberculatum</i> (Olivier, 1792)		x	x	x	x	
	<i>Gnamptogenys acuminata</i> (Emery, 1896)						x
	<i>Gnamptogenys annulata</i> (Mayr, 1887)				x		
	<i>Gnamptogenys moelleri</i> (Forel, 1912)					x	x
Formicinae	<i>Brachymyrmex heeri</i> Forel, 1874		x				
	<i>Camponotus</i> (<i>Myrmaphaenus</i>) sp.2		x				x
	<i>Camponotus</i> (<i>Myrmosphincta</i>) sp.1	x					
	<i>Camponotus blandus</i> (Smith, 1858)	x	x	x	x	x	x
	<i>Camponotus crassus</i> Mayr, 1862	x	x	x		x	x
	<i>Camponotus fastigatus</i> Roger, 1863	x	x	x		x	x
	<i>Camponotus godmani</i> Forel, 1899				x		x
	<i>Camponotus latangulus</i> Roger, 1863						x
	<i>Camponotus leydigii</i> Forel, 1886	x	x				
	<i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894	x	x	x	x	x	x
	<i>Camponotus rectangularis</i> Emery, 1890			x			
	<i>Camponotus renggeri</i> Emery, 1894	x	x	x	x	x	x
	<i>Camponotus sexguttatus</i> (Fabricius, 1793)						x
	<i>Nylanderia</i> sp.1	x	x	x	x	x	x
	<i>Nylanderia</i> sp.2				x		
	<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)						x
Myrmicinae	<i>Atta opaciceps</i> Borgmeier, 1939					x	
	<i>Cephalotes atratus</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	x	x	x	x

	<i>Cephalotes grandinosus</i> (Smith, 1860)					X	
	<i>Cephalotes minutus</i> (Fabricius, 1804)	X	X				
	<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	X				X	X
	<i>Crematogaster abstinens</i> Forel, 1899		X	X			
	<i>Crematogaster brasiliensis</i> (Mayr, 1878)			X		X	X
	<i>Crematogaster limata</i> Smith, 1858					X	
	<i>Crematogaster tenuicula</i> Forel, 1904		X		X		
	<i>Cyphomyrmex</i> sp.1				X		
	<i>Cyphomyrmex peltatus</i> Kempf, 1966				X		
	<i>Cyphomyrmex transversus</i> Emery, 1894			X			
	<i>Megalomyrmex drifti</i> Kempf, 1961				X		
	<i>Mycocepurus goeldii</i> (Forel, 1893)		X	X			
	<i>Mycocepurus smithii</i> (Forel, 1893)					X	
	<i>Myrmicocrypta</i> sp.1				X		
	<i>Nesomyrmex wilda</i> (Smith, 1943)				X		
	<i>Octostruma balzani</i> (Emery, 1894)				X		
	<i>Octostruma betschi</i> Perrault, 1988				X		
	<i>Pheidole</i> (gr. Diligens) sp.1	X	X	X	X	X	X
	<i>Pheidole</i> (gr. Fallax) sp.21		X				
	<i>Pheidole</i> (gr. Fallax) sp.7	X		X			
	<i>Pheidole</i> (gr. Fallax) sp.8			X		X	
	<i>Pheidole</i> (gr. Flavens) sp.5			X		X	X
	<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr 1884		X				
	<i>Rogeria lirata</i> Kugler, 1994						X
	<i>Sericomyrmex</i> sp.1		X	X			
	<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius, 1804)						X
	<i>Solenopsis globularia</i> (Smith, 1858)	X					
	<i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855)	X				X	X
	<i>Solenopsis</i> sp.2		X		X	X	
	<i>Solenopsis substituta</i> Santschi, 1925	X	X	X		X	X
	<i>Strumigenys eggersi</i> Emery, 1890				X		
	<i>Strumigenys orchibia</i> (Brown, 1953)				X		
	<i>Strumigenys urrhobia</i> (Bolton, 2000)		X				
	<i>Trachymyrmex relictus</i> Borgmeier, 1934	X					
	<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	X	X		X	X	X
Ponerinae	<i>Anochetus diegensis</i> Forel, 1912				X		
	<i>Centromyrmex brachycola</i> (Roger, 1861)	X	X				
	<i>Hypoponera opacior</i> (Forel, 1893)	X	X				
	<i>Leptogenys unistimulosa</i> Roger, 1863					X	
	<i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884)	X			X		X
	<i>Neoponera commutata</i> (Roger, 1860)		X				
	<i>Neoponera villosa</i> (Fabricius, 1804)				X		
	<i>Odontomachus bauri</i> Emery, 1892		X		X	X	X

	<i>Pachycondyla crassinoda</i> (Latreille, 1802)	x	x	x	x	x	x
	<i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804)		x		x	x	x
	<i>Platythyrea pilosula</i> (Smith, 1858)			x	x		
	<i>Pseudoponera gilberti</i> (Kempf, 1960)	x					
Pseudomyrmecinae	<i>Pseudomyrmex gracilis</i> (Fabricius, 1804)					x	x
	<i>Pseudomyrmex oculatus</i> (Smith, 1855)	x	x	x	x	x	x
	<i>Pseudomyrmex pupa</i> (Forel, 1911)		x				
	<i>Pseudomyrmex tenuis</i> (Fabricius, 1804)	x	x	x	x	x	x
Total		85					