



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Henrique Morais Menezes

**COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE FORMIGAS
(HYMENOPTERA:FORMICIDAE) NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS
MESAS, MARANHÃO - BRASIL**

Chapadinha – MA

2024

Henrique Morais Menezes

**COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE FORMIGAS
(HYMENOPTERA:FORMICIDAE) NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS
MESAS, MARANHÃO – BRASIL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Naturais

Linha de Pesquisa: Biodiversidade e Conservação

Orientador: Prof. Dr. Ciro Líbio Caldas dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Joudellys Andrade Silva

Chapadinha - MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Morais Menezes, Henrique.

Composição e Distribuição Vertical de Formigas
hymenoptera:formicidae No Parque Nacional da Chapada das
Mesas, Maranhão Brasil / Henrique Moraes Menezes. - 2024.
58 f.

Coorientador(a) 1: Joudellys Andrade Silva.

Orientador(a): Ciro Libio Caldas dos Santos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais/ccch, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha, 2024.

1. Cerrado. 2. Estrato Vertical. 3. Maranhão. 4.
Ndvi. 5. Vegetação. I. Andrade Silva, Joudellys. II.
Libio Caldas dos Santos, Ciro. III. Título.

Henrique Morais Menezes

**COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE FORMIGAS (HYMENOPTERA:FORMICIDAE)
NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS, MARANHÃO – BRASIL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Ciro Líbio Caldas dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Joudellys Andrade Silva

Aprovada em: 28/05/2024

BANCA EXAMINADORA

Presidente: Prof. Dr. Ciro Líbio Caldas dos Santos

Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Membro interno ao programa: Prof. Dr. Felipe Polivanov Ottoni

Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Membro externo ao programa: Prof. Dra. Karen Christina Ferreira Neves

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a todos que estiveram ao meu lado nesta jornada, testemunhando as dificuldades enfrentadas na pesquisa no Brasil.

Aos meus pais, Seu José e Dona Antônia, sou grato pelo incentivo incansável à educação e ao trabalho, mesmo diante das muitas dificuldades que enfrentamos. Suas orientações e apoio foram fundamentais para alcançar os frutos que colho hoje.

Aos meus orientadores Ciro e Joudellys, desde os dias da graduação até agora, agradeço pelo constante apoio e pelo estímulo à análise detalhada dos resultados, que ampliaram minha compreensão.

À minha irmã, pelo suporte incondicional em todos os momentos.

À minha namorada, amiga e companheira, Luciana, agradeço por estar ao meu lado nesta exigente jornada acadêmica, que consome tanto de nós.

Aos amigos de turma, Conceição, Sirlane e Maciel, levo comigo a gratidão eterna. Juntos, enfrentamos as dificuldades das disciplinas e debatemos incansavelmente sobre nossos trabalhos.

Agradeço ao programa de pós-graduação em Ciências Ambientais PPGCAM pela excelente estrutura e pelos professores excepcionais.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão (FAPEMA), pelo financiamento concedido através do processo FAPEMA: UNIVERSAL-00627/18, que viabilizou a realização deste trabalho.

À CAPES, pelo suporte financeiro concedido por meio da bolsa de estudos.

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA), pela dedicação à educação pública e de qualidade.

Estou profundamente grato a todas essas instituições pelo apoio fundamental ao meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Por fim, agradeço à minha própria determinação. Noites sem sono, redução do convívio social e constante preocupação com os resultados foram companheiras constantes. Triamos

156 potes repetidamente e montamos mais de 1000 formigas. O trabalho foi árduo, porém essencial.

“Nada pode ser obtido sem uma espécie de sacrificio, esta é a lei da troca equivalente”

Alphonse Elric – Fullmetal Alchemist

RESUMO

O Cerrado abriga formigas que desempenham papel essencial na biodiversidade. Nesse ecossistema, o microclima apresenta distribuição heterogênea, tanto horizontalmente quanto verticalmente. Ao considerarmos o perfil vertical, os recursos disponíveis em uma floresta variam ao longo dos estratos, como o dossel, o sub-dossel e as camadas acima e abaixo do solo. Os incêndios alteram as populações de formigas, influenciando os estratos do solo e arborícola afetando recursos disponíveis de forma positiva ou negativa para as comunidades de formigas. Este estudo teve como objetivo avaliar variáveis associadas à ocorrência, frequência e distribuição das espécies de formigas, tendo como local de coleta o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM) no estado do Maranhão. A escolha das áreas de coleta foi a partir de imagens de satélite (LANDSAT 8/9), demarcando 26 unidades com três subpontos amostrais cada, onde foram instaladas armadilhas no solo e em árvores, totalizando 156 armadilhas. Os resultados revelaram 124 espécies e morfoespécies de formigas, com destaque para Myrmicinae, Formicinae e Ponerinae, além disso, foi documentado o primeiro registro do gênero *Myrmicocrypta* para o estado do Maranhão, bem como de *Prionopelta antillata* em armadilhas de queda. A pesquisa revelou uma notável biodiversidade de formigas, destacando-se em comparação com outros estudos realizados no Cerrado, e isso foi alcançado utilizando exclusivamente um método de coleta. As análises apontaram que variáveis como serrapilheira, densidade de árvores, NDVI e distância espacial desempenham papéis importantes na determinação de padrões no ecossistema estudado. O modelo composto, considerando essas variáveis, destaca a complexidade das interações ambientais. Essas descobertas têm implicações significativas para futuras pesquisas e práticas de manejo, contribuindo para uma compreensão mais profunda dos fatores que influenciam a dinâmica desse ambiente.

Palavras-chave: Cerrado, Estrato Vertical, Maranhão, NDVI, Vegetação.

ABSTRACT

The Cerrado hosts ants that play an essential role in biodiversity. In this ecosystem, the microclimate presents a heterogeneous distribution, both horizontally and vertically. Considering the vertical profile, the resources available in a forest vary across strata, such as the canopy, sub-canopy, and layers above and below the soil. Fires alter ant populations, influencing the soil and arboreal strata and affecting available resources either positively or negatively for ant communities. This study aimed to evaluate variables associated with the occurrence, frequency, and distribution of ant species, with the collection site being the Chapada das Mesas Nacional Parque (PNCM) in the state of Maranhão. The collection areas were chosen based on satellite images (LANDSAT 8/9), marking 26 units with three sample sub-points each, where traps were installed on the ground and in trees, totaling 156 traps. The results revealed 124 species and morphospecies of ants, highlighting Myrmicinae, Formicinae, and Ponerinae. Additionally, the first record of the genus *Myrmicocrypta* for the state of Maranhão was documented, as well as *Prionopelta antillata* in pitfall traps. The research revealed a remarkable biodiversity of ants, standing out compared to other studies conducted in the Cerrado, and this was achieved using only one collection method. The analyses indicated that variables such as litter, tree density, NDVI, and spatial distance play important roles in determining patterns in the studied ecosystem. The composite model, considering these variables, highlights the complexity of environmental interactions. These findings have significant implications for future research and management practices, contributing to a deeper understanding of the factors that influence the dynamics of this environment.

Keywords: Cerrado, Maranhão, NDVI, Vegetation, Vertical Stratification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Estado do Maranhão: Destaque no Parque Nacional Chapada das Mesas - PNCM.....	24
Figura 2: Localização dos 26 pontos amostrais com os buffers de 50m, 100m e 150m dentro no Parque Nacional Chapada das Mesas.....	25
Figura 3: Instalação das armadilhas durante a fase de coleta.....	27
Figura 4. Curva de acumulação das espécies encontradas na área de estudo por tipo de armadilha utilizada. Linha sólida – dados registrados durante o estudo; linha tracejada – projeção para o dobro do esforço amostral realizado; linha pontilhada – intervalo de confiança de 95% para a riqueza de espécies estimada.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de espécies por método de coleta dos principais estudos realizados no Cerrado.....	31
Tabela 2: Análise de IndVal com as espécies de formigas indicadoras com relação ao ambiente (vegetação e solo).....	32
Tabela 3: Resultados das análises de MRM para correlação das variáveis de vegetação e NDVI com espécies/morfoespécies de formigas. Os valores indicam efeitos significativos nas análises ($p < 0,05$).....	33

SUMÁRIO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO	13
Estratificação vertical	13
Efeito da cobertura de vegetação sobre as comunidades de formigas	14
Variáveis ambientais em áreas de savana	16
Formigas no Cerrado Maranhense	17
OBJETIVOS	18
Geral	18
Específicos	18
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO II	22
INTRODUÇÃO	23
MATERIAL E MÉTODOS	24
Área de estudo	24
Seleção dos pontos amostrais	25
Identificação taxonômica	27
Variáveis de vegetação	27
Macroescala	27
Análise dos dados	28
RESULTADOS	30
DISCUSSÃO	35
Riqueza de espécies	35
Padrões de distribuição nos diferentes estratos	37
Formigas bioindicadoras de ambientes	38
Variáveis ambientais significativas	39
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICES	49

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO

Estratificação vertical

A biodiversidade dos ecossistemas da Terra está distribuída de forma desigual no espaço e no tempo. Nos macrogradientes de latitude e elevação temos uma imensa distribuição de composição de espécies e mudanças na diversidade e riqueza (MCCAIN, 2010; LAMANNA et al., 2014) também podemos ter escalas menores no espaço, ocorrendo mudanças de natureza de magnitude semelhante. O conceito de “distribuições” abrange todas as dimensões do espaço, horizontal e vertical. No entanto, embora muitos estudos investiguem padrões de biodiversidade através do eixo horizontal, muitos não consideram o eixo vertical, particularmente em sistemas terrestres (BASHAM et al., 2023).

Em ambientes marinhos ou terrestres, a estratificação vertical de biodiversidade aparece muitas vezes ser menos relatada do que em escalas de espaço horizontal (SCHEFFERS et al., 2013; GOUVEIA et al., 2014). Esses padrões de estratificação vertical seguem gradientes de condições abióticas, como temperatura (KLINGES; SCHEFFERS, 2021), salinidade (ROBERTSON et al., 2009), umidade (LEE et al., 2014) e luz solar (WALTHER, 2002), havendo também estruturação dos ecossistemas de acordo com as interações entre as espécies, como a competição (RADER; KROCKENBERGER, 2006) e predação (AIKENS; TIMMS; BUDDLE, 2013)

Os ecossistemas terrestres podem apresentar uma distribuição bastante heterogênea, tanto horizontalmente quanto verticalmente. Quando falamos em um perfil vertical, os recursos disponíveis em uma floresta variam ao longo dos estratos verticais, como o dossel, o sub-dossel, acima e abaixo do solo (RIBEIRO, 2003). Essa mesma ideia pode ser aplicada aos organismos que habitam as diferentes camadas do solo, classificadas como epigéicas e hipogéicas (MONTEIRO et al., 2017). No estrato epigéico, os recursos estão presentes na camada acima do solo, enquanto no estrato hipogéico, os recursos do subsolo provêm das raízes ou da matéria orgânica abaixo do solo (RYDER WILKIE; MERTL; TRANIELLO, 2010). Esses recursos tendem a diminuir com o aumento da profundidade, o que resulta em diversas adaptações para as espécies que ocorrem nesses diferentes estratos (BERG; BENGTTSSON, 2007; POLLIERER et al., 2007).

No cerrado, a estratificação vertical geralmente é menos pronunciada em comparação com a Amazônia. O cerrado é caracterizado por árvores de porte baixo a médio, frequentemente espaçadas e com copas não muito densas (ITABORAHY, 2023). As camadas mais baixas podem incluir arbustos, gramíneas e outras plantas herbáceas (RIBAS et al., 2003). A estratificação vertical no cerrado é mais sutil, com menos camadas bem definidas em comparação com a Amazônia.

Por outro lado, na Amazônia, a estratificação vertical é mais complexa e desenvolvida. A floresta amazônica apresenta múltiplos estratos verticais bem definidos, incluindo o dossel superior, o sub-bosque e o estrato do solo (SOUZA, 2004). O dossel superior é formado pelas copas das árvores mais altas, que geralmente atingem alturas consideráveis (ASSIS, 2018). Abaixo do dossel, encontram-se árvores de altura intermediária, arbustos e uma grande diversidade de plantas herbáceas. O estrato do solo é composto principalmente por vegetação rasteira, musgos e fungos, variáveis importantes na distribuição de formigas no estrato.

Efeito da cobertura de vegetação sobre as comunidades de formigas

Compreender os fatores que impulsionam a riqueza e composição de espécies em múltiplas escalas é de importância crucial para a conservação. Formigas já vem sendo utilizada em análises de paisagem para o entendimento os possíveis padrões de distribuição das espécies no espaço (BESTELMEYER; WIENS, 2000; PACHECO; VASCONCELOS, 2012). As características da paisagem no Cerrado podem influenciar significativamente as formigas e suas comunidades. A estrutura da paisagem, incluindo a composição de habitats, a heterogeneidade, a conectividade e a fragmentação, pode afetar a distribuição, a abundância e a diversidade das formigas (PACHECO; VASCONCELOS, 2007). Mudanças na paisagem podem afetar a dispersão e genética de formigas no Cerrado, onde a configuração e a composição da paisagem se mostram ser os principais determinantes para a dispersão e formação de grupos com composições genéticas semelhantes (AZEVEDO-SILVA et al., 2023).

O efeito da vegetação sobre as comunidades de formigas de solo pode ser diretamente afetado pela altura das gramíneas, sendo utilizadas como variáveis preditoras (QUEIROZ et al., 2017; DALLE LASTE et al., 2019). A maior altura das gramíneas pode estar relacionada

à umidade no microclima, promovendo uma estabilidade para as comunidades (PALMER et al., 2017). Variações espaciais na cobertura de árvores e cobertura por gramíneas (principalmente *Trachypogon plumosus* Nees), pode ter relação significativa com a composição de espécies de formigas em áreas de savanas amazônicas, aliviando a intensidade da competição entre as espécies (VASCONCELOS et al., 2008). No entanto, formigas que utilizam troncos caídos e serapilheira como local de nidificação, também, tendem a desaparecer de áreas frequentemente queimadas (AGUIAR; CAMARGO, 2004).

Segundo Santos (2006), foi observado que a rugosidade da casca das árvores pode estar inversamente relacionada à riqueza de espécies de formigas, indicando que plantas com cascas mais rugosas tendem a ter uma menor diversidade de espécies de formigas. Em contrapartida, não foi constatado efeito significativo da espessura do súber, da arquitetura da copa e do tamanho das plantas sobre a composição das espécies de formigas (SANTOS, 2006).

A disponibilidade de serapilheira é reconhecida como um fator determinante para diversas populações de formigas, as quais dependem desse substrato tanto como fonte de abrigo quanto de nutrientes (YANOVIK; KASPARI, 2000). A escassez de serapilheira resulta na diminuição dos recursos disponíveis para nidificação, levando conseqüentemente à redução da diversidade de formigas (PEREIRA; DEL CLARO, 2006). Estudos que investigam variações na decomposição da serapilheira entre diferentes ambientes têm contribuído para a compreensão de dinâmicas complexas das comunidades, além de possibilitar a previsão dos impactos das mudanças ambientais sobre os processos ecossistêmicos e as populações locais (WESTOBY; WRIGHT, 2006). Uma maior complexidade do habitat, a estrutura da vegetação e a profundidade da serapilheira têm sido sugeridas como elementos que influencia na riqueza de espécies (NAKAMURA et al., 2003; (PACHECO; VASCONCELOS, 2012).

Outra variável de vegetação é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que é uma medida indireta de avaliar a vegetação. Fernández et al., (2020) identificaram uma relação direta e positiva entre o NDVI e a biomassa de artrópodes durante a primavera em habitats campestres no leste da Alemanha. Isso oferece suporte correlacional para a interação entre um índice de produção primária e a simultânea mudança na produção

secundária, um fenômeno frequentemente esperado, mas que tem sido raramente investigado na literatura (FERNÁNDEZ-TIZÓN et al., 2020).

O histórico do NDVI pode ser importante para artrópodes, especialmente aqueles que dependem da vegetação para habitat, alimentação e outras necessidades. O NDVI é uma medida da saúde e densidade da vegetação em uma determinada área e ao longo do tempo ((FERREIRA et al., 2003; (BAYMA; SANO, 2015). Variações históricas no NDVI indicaram que não é possível definir um limiar único de desmatamento para cada formação vegetacional, porém, é possível detectar desmatamentos em formações florestais e savânicas no Brasil (BAYMA; SANO, 2015).

Variáveis ambientais em áreas de savana

O Cerrado, é o segundo maior bioma brasileiro com mais de dois milhões de km², rico em biodiversidade e exibe uma grande variedade ao longo de sua extensão (ARRUDA et al., 2008). Além disso, apresenta uma abundância de recursos hídricos, incluindo três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (PEREIRA; FERNANDES, 2022) (LUCAS GUARALDO, 2023) e possui predominantemente um relevo plano com solos latossolos ácidos e distróficos (IBGE, 2015). Sua vegetação está adaptada aos longos períodos de estiagem, caracterizados por duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa.

O Brasil é o único país que abriga esse bioma, presente em diversas regiões do Brasil como o Central-Oeste, Norte e Sudeste (IBGE, 2002). Atualmente a cobertura original do Cerrado está entre 48% e 50% segundo a última atualização do MapBioma (2023). No entanto, ao contrário de outros biomas brasileiros, como a Amazônia, a Mata Atlântica, o Pantanal e a Zona Costeira, o Cerrado não é reconhecido pela Constituição Federal como patrimônio Nacional (DIAS; MIZIARA, 2021). A expansão da fronteira agrícola no Cerrado tem resultado na fragmentação florestal e na perda de habitat, especialmente devido à exploração da pecuária e monoculturas agrícolas (BRANDÃO; SILVA; FEITOSA, 2011). Isso é evidente na história recente da ocupação, especialmente nos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

Em maio de 2015, por meio do decreto nº 8.447, foi estabelecido o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA, com o propósito de orientar e articular políticas públicas destinadas ao crescimento econômico baseado nas atividades agrícolas e

pecuárias. No entanto, o MATOPIBA se destaca como a fronteira agrícola de maior expansão, registrando um recorde alarmante de desmatamento do Cerrado entre julho de 2020 e agosto de 2021, com 8.523,44 km² desmatados (IPAM, 2021), em uma área que abriga diversas unidades de conservação (federais, estaduais e municipais), terras indígenas, assentamentos de reforma agrária e comunidades quilombolas. O avanço do agronegócio na região tem desencadeado conflitos com povos tradicionais e acarretado impactos ambientais expressivos, exemplificados pelo desmatamento de 494 mil hectares em 2023 (GUARALDO, 2023) e pela contaminação de produtos agrícolas (ROCHA, 2023). Esses desafios são agravados pelas disputas entre populações locais, fazendeiros e grupos multinacionais, com destaque para as corporações sino-americanas (FELICIANO; ROCHA, 2019). Assim, o MATOPIBA se configura como um cenário de conflitos que não apenas envolvem questões fundiárias, mas também disputas pelos recursos naturais da região.

Formigas no Cerrado Maranhense

Trabalhos em áreas do cerrado maranhense estão voltados para ecologia e comportamento e registros taxonômicos. Brandão, Silva e Feitosa (2011) avaliou o efeito de borda em matrizes de soja em assembleias de formigas terrestres, no sul do estado. Já na região do baixo Parnaíba, Silva et al., (2017) observaram a associação de espécies de formigas com atributos de solo, vegetação e clima. A lista de espécies de formigas para o Maranhão foi atualizada em 2019 onde adicionou 180 novos registros para o estado (PRADO et al., 2019). Havendo também um estudo descritivo sobre a arquitetura de ninhos de *Dinoponera gigantea* Perty, 1833 na região nordeste do Maranhão (SILVA et al., 2021).

Este estudo visa preencher lacunas na pesquisa sobre o Cerrado, incluindo a escassez de estudos com amostragem adequada e estratificação, a falta de compreensão do NDVI, e a necessidade de investigar as comunidades de formigas, especialmente no estado do Maranhão. Os objetivos incluem identificar espécies bioindicadoras, avaliar sua distribuição nos estratos verticais e investigar a ocorrência de espécies em diferentes condições ambientais.

OBJETIVOS

Geral

Investigar a diversidade de formigas no Parque Nacional das Chapadas das Mesas, visando compreender a distribuição e a variáveis preditoras que possam influenciar a presença nos diferentes altitudes e microambientes.

Específicos

- Diagnosticar as espécies de formigas bioindicadoras de áreas de Cerrado com diferentes níveis de cobertura de vegetação.
- Avaliar as variáveis independentes associadas a ocorrências de espécies de formigas nos diferentes extratos.
- Avaliar o efeito histórico do NDVI sobre as comunidades de formigas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. M. DE S.; CAMARGO, A. J. A. **Cerrado: ecologia e caracterizacao**. Embrapa Cerrados ed. Brasília: [s.n.]. v. 1
- AIKENS, K. R.; TIMMS, L. L.; BUDDLE, C. M. Vertical heterogeneity in predation pressure in a temperate forest canopy. **PeerJ**, v. 1, p. e138, 22 ago. 2013.
- ALMEIDA, R. P. S. et al. The role of morphological traits in predicting the functional ecology of arboreal and ground ants in the Cerrado–Amazon transition. **Oecologia**, v. 201, n. 1, p. 199–212, 15 jan. 2023.
- BASHAM, E. W. et al. Vertical stratification patterns of tropical forest vertebrates: a meta-analysis. **Biological Reviews**, v. 98, n. 1, p. 99–114, 8 fev. 2023.
- BAYMA, A. P.; SANO, E. E. SÉRIES TEMPORAIS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI E EVI) DO SENSOR MODIS PARA DETECÇÃO DE DESMATAMENTOS NO BIOMA CERRADO. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 4, p. 797–813, dez. 2015.
- BERG, M. P.; BENGTSSON, J. Temporal and spatial variability in soil food web structure. **Oikos**, v. 116, n. 11, p. 1789–1804, 26 nov. 2007.
- BRANDÃO, C. R. F.; SILVA, R. R.; FEITOSA, R. M. Cerrado ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) as indicators of edge effects. **Zoologia (Curitiba, Impresso)**, v. 28, n. 3, p. 379–387, jun. 2011.
- DIAS, D. O.; MIZIARA, F. O Cerrado como patrimônio nacional: a inclusão do Cerrado no §4º do artigo 225 da Constituição Federal. **Revista Cerrados**, v. 19, n. 02, p. 323–342, 1 set. 2021.
- FELICIANO, C. A.; ROCHA, C. E. R. TOCANTINS NO CONTEXTO DO MATOPIBA: TERRITORIALIZAÇÃO DO AGRONEGÓCIO E INTENSIFICAÇÃO DOS CONFLITOS TERRITORIAIS/ Tocantins in the context of the MATOPIBA program: Territorialization of agribusiness and intensification of territorial conflicts/ Tocantins en el contexto del MATOPIBA: Territorialización del agronegocio e intensificación de los conflictos territoriales. **REVISTA NERA**, n. 47, p. 230–247, 11 fev. 2019.
- FERNÁNDEZ-TIZÓN, M. et al. Arthropod biomass increase in spring correlates with NDVI in grassland habitat. **The Science of Nature**, v. 107, n. 5, p. 42, 24 out. 2020.
- FERREIRA, L. G. et al. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 534–550, nov. 2003.
- GOUVEIA, S. F. et al. Forest structure drives global diversity of primates. **Journal of Animal Ecology**, v. 83, n. 6, p. 1523–1530, 27 nov. 2014.

- IRACENIR ANDRADE DOS SANTOS. **Características estruturais de plantas determinam riqueza de espécies de formigas no Cerrado?** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- JANES ROCHA. **Soja e veneno levam destruição ao Matopiba.**
- KLINGES, D. H.; SCHEFFERS, B. R. Microgeography, Not Just Latitude, Drives Climate Overlap on Mountains from Tropical to Polar Ecosystems. **The American Naturalist**, v. 197, n. 1, p. 75–92, 1 jan. 2021.
- LAMANNA, C. et al. Functional trait space and the latitudinal diversity gradient. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 38, p. 13745–13750, 23 set. 2014.
- LEE, C. J. et al. Stratification in French Guiana: Cerambycid Beetles Go Up When Rains Come Down. **Biotropica**, v. 46, n. 3, p. 302–311, 26 maio 2014.
- LOBO, N. C. R. et al. Efeitos de fatores ambientais sobre as assembleias de formigas arborícolas e epigéicas na Floresta Estacional Semidecidual. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 1, p. e67579, 3 abr. 2023.
- LUCAS GUARALDO. **Desmatamento no Matopiba já derrubou 494 mil hectares de Cerrado desde janeiro.**
- LUCAS ITABORAHY. **O que é Cerrado: características e biodiversidade.**
- MCCAIN, C. M. Global analysis of reptile elevational diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 4, p. 541–553, 8 jul. 2010.
- MOACIR BUENO ARRUDA et al. **Ecorregiões, Unidades de Conservação e Representatividade Ecológica do Bioma Cerrado**. J. Embrapa Cerrados ed. Brasília : Cerrado: ecologia e flora, 2008. v. 1
- MONTEIRO, I. et al. Disturbance-modulated symbioses in termitophily. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 24, p. 10829–10838, 9 dez. 2017.
- PACHECO, R.; VASCONCELOS, H. L. Habitat diversity enhances ant diversity in a naturally heterogeneous Brazilian landscape. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 3, p. 797–809, 30 mar. 2012.
- PALMER, T. M. et al. Influence of neighboring plants on the dynamics of an ant–acacia protection mutualism. **Ecology**, v. 98, n. 12, p. 3034–3043, dez. 2017.
- PEREIRA, C. C.; FERNANDES, G. W. Cerrado conservation is key to the water crisis. **Science**, v. 377, n. 6603, p. 270–270, 15 jul. 2022.
- PEREIRA, T. A.; DEL CLARO, K. **Diversidade de formigas no solo do cerrado: uma análise da variação temporal e entre distintas fisionomias da vegetação.** Uberlândia : Universidade Federal de Uberlândia, 20 set. 2006.

- POLLIERER, M. M. et al. The underestimated importance of belowground carbon input for forest soil animal food webs. **Ecology Letters**, v. 10, n. 8, p. 729–736, 10 ago. 2007.
- PRADO, L. P. DO et al. An overview of the ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) of the state of Maranhão, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 59, p. e20195938, 15 ago. 2019.
- RADER, R.; KROCKENBERGER, A. Does resource availability govern vertical stratification of small mammals in an Australian lowland tropical rainforest? **Wildlife Research**, v. 33, n. 7, p. 571, 2006.
- ROBERTSON, C. E. et al. Diversity and Stratification of Archaea in a Hypersaline Microbial Mat. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 7, p. 1801–1810, abr. 2009.
- RYDER WILKIE, K. T.; MERTL, A. L.; TRANIELLO, J. F. A. Correction: Species Diversity and Distribution Patterns of the Ants of Amazonian Ecuador. **PLoS ONE**, v. 5, n. 10, 29 out. 2010.
- SCHEFFERS, B. R. et al. Increasing arboreality with altitude: a novel biogeographic dimension. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1770, p. 20131581, 7 nov. 2013.
- SILVA, E. F. DA et al. Nests architecture of *Dinoponera gigantea* Perty, 1833, (Hymenoptera:Formicidae) in Cerrado North Northeast of Brazil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 8, p. 25–37, 22 ago. 2021.
- SOUZA, D. R. DE; SOUZA, A. L. DE. Estratificação vertical em floresta ombrófila densa de terra firme não explorada, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 691–698, out. 2004.
- VASCONCELOS, H. L. et al. Evaluating sampling sufficiency and the use of surrogates for assessing ant diversity in a Neotropical biodiversity hotspot. **Ecological Indicators**, v. 46, p. 286–292, nov. 2014.
- VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882–892, 26 maio 2007.
- WESTOBY, M.; WRIGHT, I. J. Land-plant ecology on the basis of functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 5, p. 261–268, maio 2006.
- WINEMILLER, K. O. et al. Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches. **Ecology Letters**, v. 18, n. 8, p. 737–751, 21 ago. 2015.
- YANOVIK, S. P.; KASPARI, M. Community structure and the habitat templet: ants in the tropical forest canopy and litter. **Oikos**, v. 89, n. 2, p. 259–266, 22 maio 2000.

CAPÍTULO II
COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE FORMIGAS
(HYMENOPTERA:FORMICIDAE) NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS
MESAS, MARANHÃO - BRASIL

INTRODUÇÃO

Compreender os padrões de distribuição dos organismos em espaço e tempo tem sido um foco de longa data da ecologia e estudos evolutivos (AGRAWAL et al. 2007; SUTHERLAND et al., 2013). Para melhorar esse entendimento, há um foco nos aspectos funcionais da diversidade (ALMEIDA et al., 2023), que incluem comportamentos, fisiológicos, atributos morfológicos e de história de vida dos organismos (VIOLLE et al., 2007; WINEMILLER et al., 2015). Nos trópicos, há um número bastante grande de espécies com capacidade de coexistir localmente com várias outras. Um exemplo vem de Wilson (1987) onde na Amazônia peruana, identificou 43 espécies na copa de uma única árvore, quase a mesma quantidade de espécies registradas para a grande ilha do Reino Unido (51 espécies).

Como tantas espécies conseguem coexistir ainda é uma questão de debate entre os mirmecologistas, mas há um crescente de evidências indicando que a complexidade do habitat desempenha um papel fundamental, porque leva à especialização em microhabitat (RIBAS et al. 2003). Muitas espécies que vivem no solo não ocorrem nas copas das florestas tropicais (YANOVIK; KASPARI, 2000). Em ambientes mais abertos, a diversidade de formigas tende a aumentar à medida que as árvores se tocam, possivelmente devido ao fato de que as árvores aumentam a complexidade das interações, fornecem mais recursos alimentares e oferecem uma variedade maior de locais de nidificação (ANDERSEN, 1986; RIBAS et al., 2003; VASCONCELOS et al., 2014).

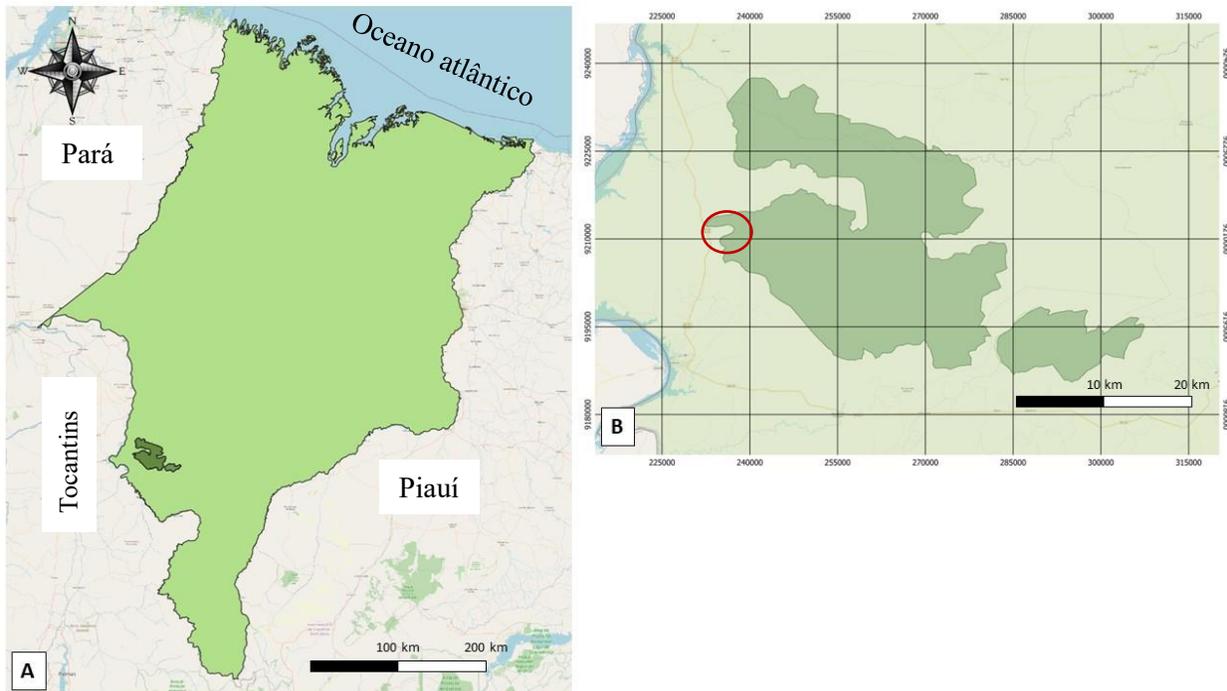
Em escala regional, a diversidade de espécies está frequentemente correlacionada com diversidade de habitats (heterogeneidade), levando a uma rotatividade de espécies entre diferentes ambientes (RIBAS et al., 2003). O estudo busca ampliar o conhecimento das espécies de formigas no Cerrado maranhense utilizando o Parque Nacional da Chapada das Mesas como área de pesquisa. A investigação visa compreender a importância dos fatores ambientais (vegetação) e contribuir para o entendimento dos serviços ecossistêmicos das formigas. Especialmente considerando a estratificação vertical, destaca a relevância dessa pesquisa, que busca não apenas avançar o conhecimento científico, mas também sensibilizar para a importância ecológica das formigas no Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os pontos amostrais estão localizados no Parque Nacional da Chapada das Mesas - PNCM (Figura 1), unidade de conservação criada em 2005 com aproximadamente 160 mil hectares, nos municípios maranhenses de Carolina, Riachão e Estreito (IBAMA, 2007). O clima é tropical quente semiúmido e a precipitação pluviométrica média é de 1.300 mm a 1.500 mm (IBGE, 2002), com chuvas de novembro a maio (INPE, 2018). Esta área corresponde a sedimentos fanerozóicos da bacia hidrográfica do Rio Tocantins, na região da Bacia Sedimentada Rio Parnaíba e na unidade de Chapadas e Planos do Rio Farinha (IBGE, 2015). A vegetação predominante é savana gramíneo-lenhosa (“campo limpo”), além de áreas de contato entre formações de savana arborizada (“cerradão”) e floresta estacional semidecidual aluvial (IBGE,2011).

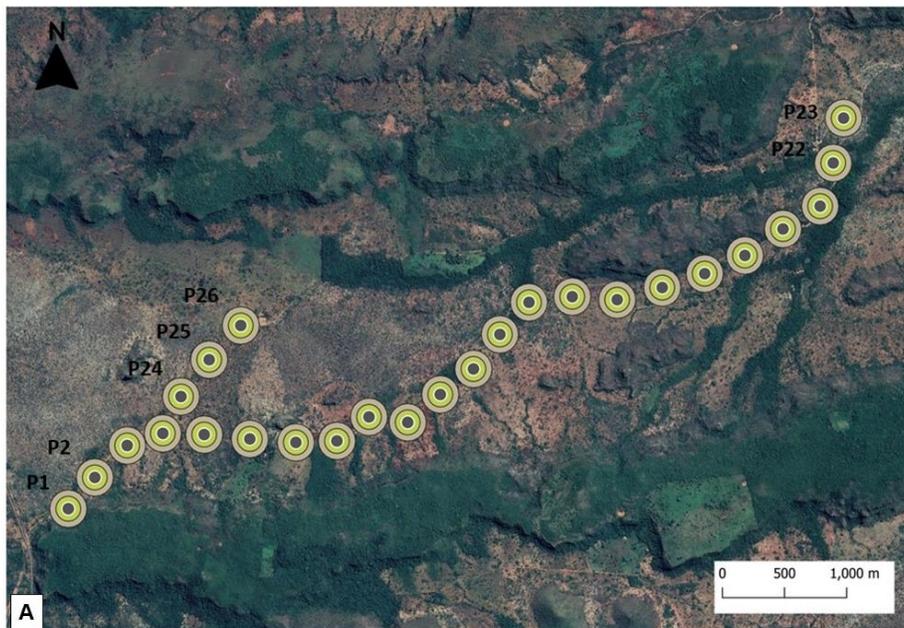
Figura 1: Estado do Maranhão: Destaque no Parque Nacional Chapada das Mesas - PNCM. Mapa do Estado do Maranhão; **B-** Delimitação do Parque Nacional da Chapadas das Mesas e da área de estudo (círculo vermelho).

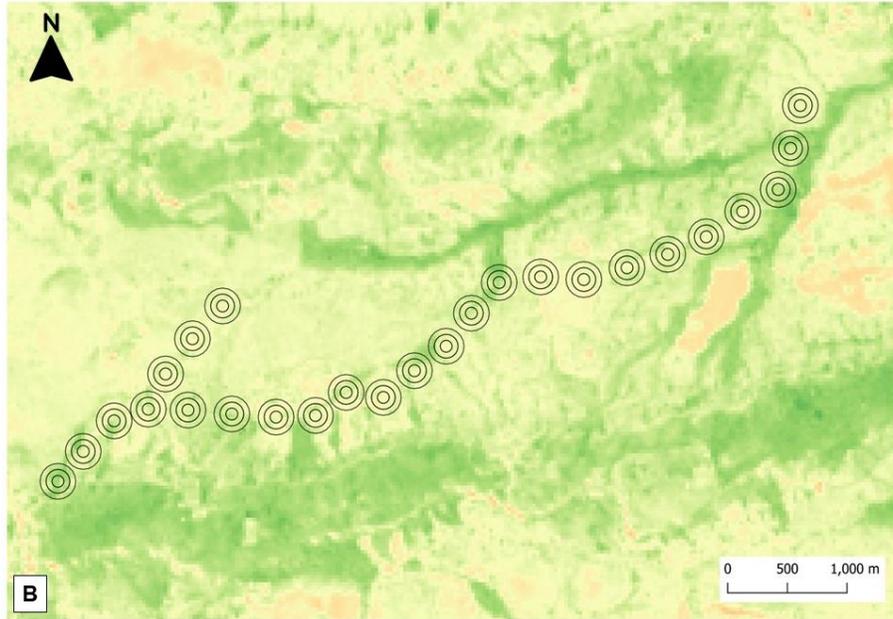


Seleção dos pontos amostrais

A seleção dos pontos foi realizada por meio da análise de imagens de satélite (LANDSAT 8/9), empregadas na demarcação de 26 áreas distantes 300 metros entre si. Essas áreas englobam diferentes ambientes, conforme ilustrado na Figura 2. Em cada uma dessas áreas, foram estabelecidos três subpontos amostrais, com uma distância de 30 metros entre eles. Nos subpontos foram instaladas uma armadilha no solo e outra na árvore predominante no ambiente, totalizando três armadilhas no solo e três na árvore em cada uma das 26 áreas. Dessa maneira, totalizaram-se 78 subpontos amostrais, abrangendo um conjunto de 156 armadilhas (78 no solo e 78 na árvore). A seleção desses pontos foi baseada na variação da cobertura vegetal, buscando representar diferentes tipos de habitat e níveis de complexidade estrutural.

Figura 2: Localização dos 26 pontos amostrais com os buffers de 50m, 100m e 150m dentro do Parque Nacional Chapada das Mesas. **A:** Imagem de satélite em alta resolução dos 26 pontos. Os círculos concêntricos ao redor de cada ponto representam buffers de 50 metros, 100 metros e 150 metros. **B:** Indicação geográfica dos pontos de coleta, juntamente com as bandas 5 e 6, exibindo o gradiente de Índice de Vegetação Normalizado (NDVI).





A coleta das formigas no solo foi realizada com armadilhas tipo “pitfall”, contendo água e detergente. Já as armadilhas arbóreas foram dispostas no tronco da árvore predominante no ambiente do subponto, à 1,5m de altura, contendo água e urina diluída na proporção 1:2. Cada armadilha foi confeccionada utilizando copos plásticos de 400 mL (Figura 3).

Estas armadilhas foram expostas durante 48 horas, após este período as formigas foram coletadas. Todos os indivíduos foram armazenados em potes contendo álcool a 90%. A amostragem das formigas foi realizada em uma única campanha, no período chuvoso (fevereiro) de 2023. Foram utilizados dois dias para instalação das armadilhas e dois dias para a retirada.

Figura 3: Instalação das armadilhas durante a fase de coleta. **A-** Instalação das Armadilhas arbóreas; **B-** Instalação das armadilhas de solo.



Identificação taxonômica

As amostras de formigas foram levadas para o laboratório da Universidade Federal do Maranhão, localizado no Campus Imperatriz-CCIm. No laboratório, realizou-se a triagem e identificação das formigas, utilizando a chave taxonômica proposta por Baccaro et al. (2015). Para confirmar as identificações, os indivíduos foram submetidos à análise com especialista da Universidade Estadual do Maranhão. Os exemplares testemunhos foram devidamente depositados na Coleção Entomológica do MPEG, na Universidade Estadual do Maranhão, e na Coleção de Formigas de Imperatriz, UFMA.

Variáveis de vegetação

Em cada ponto amostral, foram mensuradas cinco variáveis: altura das gramíneas, altura da serrapilheira, diâmetro na altura do peito (DAP) da árvore dominante, densidade de árvores e realização de quadrantes para avaliar a densidade de gramíneas. Cada variável foi medida quatro vezes, resultando em um valor médio.

Macroescala

O índice de NDVI, foi obtido do banco de dados do satélite Landsat 8/9. A partir das bandas 5 e 6 dos meses de junho, julho e agosto dos anos de 2018 a 2022, calculado a partir das reflectâncias da luz visível e infravermelha próxima capturadas pelas imagens na área de estudo. Cada registro foi representado por zonas de 150 metros de raio, como forma de obter a variação espacial na escala dos subpontos e pontos, respectivamente. O índice foi gerado no programa QGIS Firenze 3.28.2, apresentando valores que variam de -1 a +1 desde a borda até o centro da zona.

A fórmula do NDVI é:

$$NDVI = \frac{(NIR + RED)}{(NIR - RED)}$$

Onde:

NIR (Near-Infrared) é a reflectância na banda infravermelha próxima.

RED é a reflectância na banda do vermelho.

Análise dos dados

Avaliamos as espécies bioindicadoras utilizando o índice IndVal para estimar a associação de determinadas espécies nos diferentes ambientes (arbóreo e solo). Esse método permite identificar quais espécies são mais representativas e significativas em cada contexto. Na avaliação da riqueza de espécies, foram empregadas estimativas baseadas no programa EstimateS 9.1.0. Optou-se por extrapolar o número de amostras para o dobro da quantidade original, visando uma análise mais abrangente e robusta da diversidade biológica.

Utilizamos uma Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) com 10.000 permutações para testar a associação entre as variáveis de vegetação e NDVI com a composição de espécies nas áreas coletadas. A PERMANOVA foi realizada utilizando matrizes de dissimilaridade, utilizando o coeficiente de Bray Curtis, da composição e frequência das espécies obtidas a partir da matriz de abundância. A correlação espacial foi analisada com a distância euclidiana entre os pontos amostrais, com coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator). Devido à forte correlação entre os valores de NDVI em diferentes escalas (50m, 100m e 150m), optou-se por selecionar apenas a escala mais ampla e representativa dentro da paisagem.

Realizamos a seleção dos modelos com as seguintes variáveis: a) modelos de vegetação – altura das gramíneas, altura da serrapilheira, diâmetro na altura do peito (DAP) da árvore dominante, densidade de árvores e densidade de gramíneas; b) modelos de cobertura de vegetação por NDVI: valores médios dos anos de 2022, 2021, 2020, 2019 e 2018; c) modelo composto: variáveis selecionadas da vegetação e NDVI. Selecionamos as variáveis por método regressivo (*backward selection*), avaliando a variação do R² do modelo a cada extração das variáveis. Desta forma, as variáveis selecionadas são as que resultaram em maior aumento no poder explicativo do modelo. Avaliamos a associação das variáveis a

um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Todas as análises foram realizadas utilizando os pacotes estatísticos `vegan` (Oksanen et al., 2022) e `ecodist` (Goslee & Urban, 2007) no ambiente computacional R (R Core Team, 2023).

RESULTADOS

Foram registradas nove subfamílias, com 40 gêneros e 124 espécies e morfoespécies. Myrmicinae foi a subfamília de maior riqueza (61 espécies), seguida por Formicinae (24) e Ponerinae (12) (Anexo 1). Do total de espécies, 112 foram capturadas nas armadilhas de solo e 43 na vegetação, com 22 espécies amostradas em ambos os estratos. Nas armadilhas de solo identificamos 84 espécies exclusivas, enquanto no estrato arbóreo registramos 18. O gênero que apresentou maior diversidade foi *Pheidole* com 22 morfoespécies seguida de *Camponotus* com 14 espécies e morfoespécies.

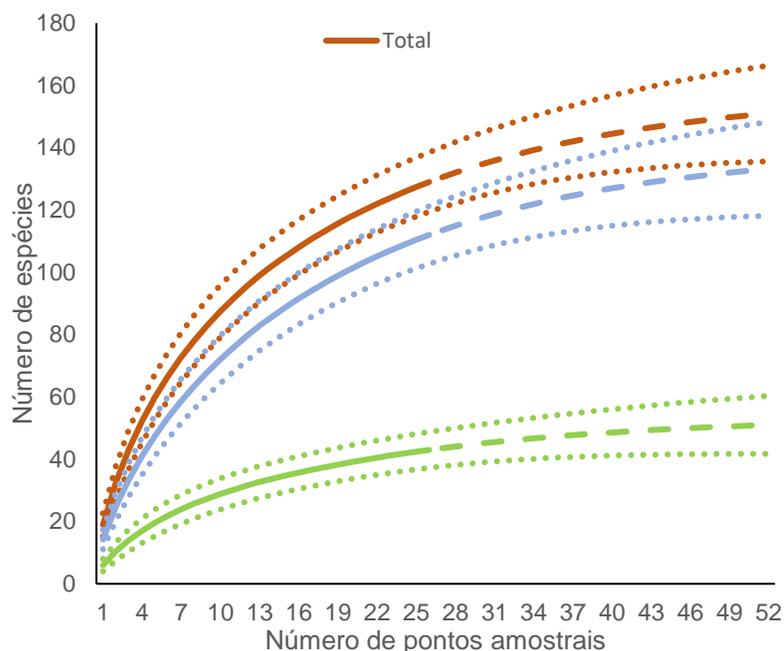
Em média, cada unidade amostral obteve 19 espécies, variando entre 12 e 25 espécies. Nas armadilhas arbóreas, a variação foi de 2 a 11 espécies por unidade, apresentando uma média de quase 6 espécies. Já nas armadilhas de solo, o número foi maior, variando de 8 a 20 espécies por unidade, com uma média de 13 espécies. A estimativa ajustada para o dobro do número de amostras indicou uma riqueza de 151 espécies (Figura 4), com eficiência da amostragem de 85% para a riqueza total e 84% para o solo e vegetação.

Dinoponera gigantea foi a espécie de maior predominância nas armadilhas de solo (84,62% das unidades amostrais). Já nas armadilhas de vegetação *Cephalotes pusillus* foi a mais frequente (76,92%). O estudo também incluiu o primeiro registro do gênero *Myrmicocrypta* Smith, 1860 e da espécie *Cephalotes pellans* De Andrade, 1999 para estado do Maranhão e de *Prionopelta antillana* coletada em armadilha de queda, espécie mais comum em extrator de Winkler. O número de espécies deste estudo é equivalente ao de outras áreas de Cerrado, com estudos realizados com métodos e esforço amostral semelhantes (Tabela 1).

Tabela 1: Número de espécies por método de coleta dos principais estudos realizados no Cerrado.

Autor	Bioma	Método de coleta	Quantidade de espécies	Esforço amostral armadilhas	Espécies por armadilha
Vasconcelos et al., 2008	Cerrado	Pitfall, Iscas, Extrator de Winckler e armadilhas subterrâneas	323	2400	0.13
Queiroz et al., 2017	Cerrado	Pitfall	217	420	0.52
Arruda et al., 2021	Cerrado- Amazônia	Pitfall	173	200	0.87
Este estudo	Cerrado	Pitfall	124	156	0.79
Peixoto et al., 2010	Savana Amazônica	Iscas de sardinha e Pitfall	77	200	0.39
Brandão; Silva; Feitosa, 2011	Cerrado	Iscas de sardinha	77	640	0.12
Pereira, 2006	Cerrado	Pitfall	77	720	0.11

Figura 4. Curva de acumulação das espécies encontradas na área de estudo por tipo de armadilha utilizada. Linha sólida – dados registrados durante o estudo; linha tracejada – projeção para o dobro do esforço amostral realizado; linha pontilhada – intervalo de confiança de 95% para a riqueza de espécies estimada.



No estrato arbóreo, *Cephalotes pusillus* (com Indval de 53,59%), *Camponotus* sp.6 (45,24%) e *Dolichoderus germani* (30,77%) mostraram significância ($p < 0,05$) no valor de Indval acima de 30% (Tabela 2), sendo indicadoras desse estrato. No solo, *Dinoponera gigantea* (88,46%) e *Ectatomma edentatum* (63,30%) foram as que apresentaram maiores valores de Indval, mostrando preferência pelo solo. Nessa análise, quanto mais próximo de 100 o valor de IndVal mais uma determinada espécie é caracterizada pelo seu ambiente que foi encontrada.

Tabela 2: Análise de IndVal com as espécies de formigas indicadoras com relação ao ambiente (vegetação e solo).

Espécies	Estrato	Indval	P Valor
<i>Cephalotes pusillus</i>	vegetação	0.5359	0.005
<i>Camponotus</i> sp.6	vegetação	0.4524	0.001
<i>Dolichoderus germani</i>	vegetação	0.3077	0.003
<i>Dolichoderus lutosus</i>	vegetação	0.2692	0.016

<i>Cephalotes atratus</i>	vegetação	0.2667	0.035
<i>Dinoponera gigantea</i>	solo	0.8846	0.001
<i>Ectatomma edentatum</i>	solo	0.6330	0.001
<i>Brachymyrmex</i> sp.1	solo	0.4915	0.004
<i>Ectatomma brunneum</i>	solo	0.4615	0.003
<i>Wasmannia auropunctata</i>	solo	0.4615	0.001
<i>Pheidole</i> sp.2	solo	0.4231	0.001
<i>Linepithema</i> sp.1	solo	0.3462	0.001
<i>Myrmicocrypta</i> sp.1	solo	0.3462	0.003
<i>Pheidole</i> sp.12	solo	0.3462	0.002
<i>Nylanderia</i> sp.1	solo	0.3077	0.007
<i>Pheidole</i> sp.8	solo	0.3077	0.005
<i>Pheidole</i> sp.3	solo	0.2692	0.016
<i>Ectatomma muticum</i>	solo	0.2308	0.002
<i>Paratrachymyrmex</i> sp.1	solo	0.2308	0.021
<i>Pheidole</i> sp.10	solo	0.2308	0.023
<i>Linepithema cerradense</i>	solo	0.1923	0.045

Tabela 3: Resultados das análises de MRM para correlação das variáveis de vegetação e NDVI com espécies/morfoespécies de formigas. Os valores indicam efeitos significativos nas análises ($p < 0,05$).

Variáveis	Coefficiente	P-valor
Melhor modelo de vegetação		
Serrapilheira	0,01785	0,0131
Densidade de árvores	0,00541	0,0137
Distância espacial	0,00002	0,0002
R² do modelo	0,30126	0,0005
Melhor modelo de NDVI		
NDVI.2021	-1,16953	0,0488
NDVI.2019	1,35703	0,0301
Distância espacial	0,00002	0,0001
R² do modelo	0,19843	0,0021
Melhor modelo composto		
Serrapilheira	0,01906	0,0075

Densidade de árvores	0,00543	0,0014
NDVI.2019	0,79484	0,0344
Distância espacial	0,00002	0,0003
R² do modelo	0,34226	0,0002

Os resultados dos modelos (Tabela 3) indicam associações significativas entre variáveis ambientais e a vegetação. No melhor modelo de vegetação, a serrapilheira, densidade de árvores e a distância espacial demonstraram impacto positivo significativo, explicando aproximadamente 30% da variabilidade observada ($R^2 = 0,30126$, $p = 0,0005$). No melhor modelo relacionado ao NDVI, as imagens de 2021, 2019 e a distância espacial influenciaram significativamente, com o modelo explicando cerca de 20% da variação observada ($R^2 = 0,19843$, $p = 0,0021$). O melhor modelo composto, considerando as variáveis de vegetação e NDVI, destacou a importância da serrapilheira, densidade de árvores e NDVI de 2019, explicando cerca de 34% da variação observada ($R^2 = 0,34226$, $p = 0,0002$). Esses resultados sugerem que a combinação dessas variáveis desempenha um papel significativo na modelagem da vegetação.

DISCUSSÃO

Riqueza de espécies

O número de espécies registradas neste estudo é superior à maioria dos já realizados com esforço amostral semelhante em áreas de Cerrado (Tabela 1). Além disso, o registro de novas espécies no norte do Cerrado brasileiro indica que a área estudada pode conter mais espécies ainda não registradas na literatura. Destaca-se, ainda, que obtivemos cerca de 85% da riqueza total estimada, sugerindo que, apesar da suficiência amostral, esta riqueza pode vir a ser bem maior com a inclusão de novas áreas.

A proximidade do PNCM da zona de ecótono Cerrado-Amazônia também pode influenciar a diversidade de formigas da região, já que o parque está a menos de 200 km do bioma Amazônia. Dado a proximidade destas áreas de contato, os biomas adjacentes compartilham espécies e, geralmente, tendem a apresentar maior biodiversidade (NEIFF 2003; ROSSATTO 2014; ARRUDA et al., 2021). Além disso, muitas espécies dependem dos dois ambientes, principalmente no período de seca em que o fogo se torna uma ameaça real na região, e os animais do Cerrado podem procurar o interior das áreas úmidas como possível refúgio (TOCANTINS, 2016).

A riqueza de espécies encontrada no presente estudo é quase as 173 encontrada por Arruda et al. (2021) e corresponde a quase metade das espécies listadas em Vasconcelos et al. (2008), o qual utilizou cinco vezes mais armadilhas. Estes estudos (e outros presente na Tabela 1) são notáveis quando comparadas com as espécies amostradas por armadilha, onde a média deste estudo é apenas inferior à encontrada por Arruda et al. (2021). Isso evidencia uma considerável riqueza no bioma do Cerrado, quando realizado esforço amostral suficiente e com extensão espacial maior.

Nas coletas realizadas por Peixoto et al. (2010) na região amazônica, especificamente na "Ecorregião das Savanas das Guianas", foi empregado um esforço amostral mais significativo em comparação com o presente estudo. Surpreendentemente, apesar da amostragem mais ampla, o número de espécies identificadas foi menor. Notavelmente, a riqueza de espécies em suas amostras foi maior nos ambientes florestais, independentemente do uso (natural ou antrópico) (Peixoto et al., 2010).

Ao compararmos com estudos no bioma Cerrado que empregaram metodologias de coleta semelhantes, observamos uma variação na quantidade de espécies, variando de 35 a

77 espécies, respectivamente (PEREIRA, 2006; BRANDÃO; SILVA; FEITOSA, 2011; RODRIGUES, 2014). Entretanto, em trabalhos que abordaram áreas maiores no Cerrado, utilizando um maior esforço amostral com uma quantidade maior de armadilhas de queda e iscas atrativas, foi observada uma obtenção de menos espécies. Tanto o estudo de Brandão, Silva e Feitosa (2011), quanto o de Rodrigues (2014), apresentaram uma média de espécies por armadilha inferior à encontrada pelo presente estudo.

A projeção ajustada indicando uma presença de 151 espécies, proporciona uma visão mais abrangente da riqueza de espécies de formigas coletadas. Esse resultado sugere uma diversidade considerável no bioma estudado, destacando que há potencial para encontrar ainda mais espécies com um esforço amostral maior ou aplicação de outras técnicas de amostragem. A distribuição dessa riqueza entre os diferentes estratos também é interessante. Os resultados apontam para uma diversidade substancialmente maior no solo, com 133 espécies estimadas, em contraste com as 51 espécies estimadas em vegetação. Isso pode indicar que o ambiente do solo oferece condições mais propícias para a diversificação e o estabelecimento de diferentes espécies de formigas.

Em amostragens históricas no bioma Amazônico foi encontrado um padrão inverso com uma maior diversidade no estrato arbóreo comparado com o epigéico (ALMEIDA et al., 2022). Essa maior diversidade vista em regiões amazônicas pode estar relacionada a sua vegetação mais conectada entre os estratos de bosque e sub-bosque (ANDRADE-SILVA; ALMEIDA, 2020), comparado com regiões de Cerrado que tem grandes áreas com árvores mais espaçadas e muitas vezes com pouca ou nenhuma conexão entre os estratos vegetativos superiores.

No entanto, também sugerimos a hipótese de que a incorporação de métodos de coleta adicionais, aumento do número de coletas ao longo do ano e a instalação de armadilhas em diferentes estratos podem proporcionar uma representação mais abrangente da riqueza de espécies. Estudos anteriores, como os de Ribas et al. (2003) e Vasconcelos et al. (2014), obtiveram uma maior diversidade ao utilizar pelo menos dois métodos de coleta e ao abranger áreas mais extensas em comparação com a nossa amostragem. No estudo de Arruda et al. (2021), a realização de coletas ao longo do ano em diferentes fragmentos pode ter contribuído para uma representação mais fidedigna da diversidade nas áreas amostradas. Essa abordagem

combinada pode ser considerada para uma compreensão mais completa e precisa da diversidade de espécies na região.

Padrões de distribuição nos diferentes estratos

Os resultados obtidos nas armadilhas de solo e vegetação revelam padrões na distribuição das espécies de formigas nos diferentes estratos. A identificação de um maior número de espécies no solo (112), com 86 espécies exclusivas desse estrato, confirma a rica diversidade associada ao solo (VASCONCELOS et al., 2014). Esse elevado número de exclusividades sugere uma especialização das formigas em adaptar-se e explorar nichos específicos desse substrato (GOMES et al., 2013; CANTARELLI, 2015).

No caso das armadilhas na vegetação, a identificação de 43 espécies, das quais 18 são exclusivas desse ambiente, ressalta a singularidade da fauna de formigas presente nas estruturas arbóreas (RIBAS et al., 2003). As espécies exclusivas sugerem adaptações a esse habitat vertical, possivelmente associadas a recursos e características próprias da vegetação. Dessa forma, uma vegetação maior pode possuir estruturas mais complexas, possibilitando que uma fauna mais rica de formigas aproveite dos recursos ofertados por elas (CAMPOS et al., 2008).

A constatação de espécies comuns a ambos os estratos destacou a existência de sobreposições entre essas comunidades de formigas, como no caso o gênero *Camponotus* Mayr, 1861. Além de ser um grupo hiperdiverso, tem uma grande diversidade de nichos ecológicos e uma arquitetura de ninhos variadas: no chão, em madeira morta, ou estruturas construídas fora de troncos e galhos de vegetação (RONQUE et al., 2018). No trabalho de Arruda et al. (2021) foi observado o dobro de espécies com sobreposição dos estratos arbóreos e solo, porém foi utilizado quatro vezes mais armadilhas de queda. Essa sobreposição pode ser atribuída a fatores como a mobilidade das formigas entre os dois ambientes, compartilhamento de recursos ou até mesmo interações ecológicas específicas.

Os ambientes dos diversos estratos da floresta podem apresentar diferenças entre si, o que naturalmente resulta em faunas de formigas distintas tanto taxonomicamente quanto funcionalmente, com adaptações que variam (BRUHL et al., 1998; RYDER et al., 2010). O dossel recebe uma quantidade maior de radiação solar direta, levando as formigas desse ambiente a lidar com temperaturas extremas e alto risco de dessecação (KASPARI et al.,

2016). A capacidade de resistir à dessecação está frequentemente associada à cor e ao tamanho do corpo: espécies de formigas maiores e de coloração escura, como muitas que forrageiam na luz do dia no topo da vegetação, tendem a ser mais resistentes do que formigas menores e mais claras, como aquelas que habitam a serapilheira (SPICER et al., 2017; LAW et al., 2020).

Essas observações fornecem informações importantes sobre a ecologia das formigas na região do PNCM, ressaltando a importância de considerar a heterogeneidade vertical de habitats e as interações entre diferentes estratos na compreensão da diversidade e distribuição dessas espécies no parque. Além disso, a presença de espécies exclusivas em cada estrato destaca a necessidade de estratégias de conservação que considerem a diversidade específica associada a diferentes ambientes, contribuindo para a preservação eficaz da biodiversidade das formigas.

Formigas bioindicadoras de ambientes

Na análise de agrupamentos *C. pusillus*, *Camponotus* sp.6 e *D. germani* possuíam forte associação com o estrato arbóreo. Essa especialização por ambientes arborícolas tem por característica a heterogeneidade ambiental do Cerrado, que forma mosaicos de tipos de vegetação e ajuda a explicar a alta diversidade de formigas arborícolas ao nível de paisagem (CAMAROTA; VASCONCELOS, 2023). Por outro lado, no solo, espécies como *Dinoponera gigantea* e *Ectatomma edentatum* exibiram valores significativos com preferência para o solo. A espécie *E. edentatum* em regiões da Amazônia central também mostrou ser uma espécie frequentemente coletada em armadilhas de queda (UTTA, 2017).

Os resultados das coletas em armadilhas de solo e vegetação revelaram que *Dinoponera gigantea* foi predominante em armadilhas de solo, representando 84,62% das ocorrências. Estudos anteriores também encontraram alta presença de *D. gigantea* em áreas de cocais (45,98%) e cerradão (39,08%) (SANTOS-FILHO, 2017), indicando sua possível associação com ambientes bem preservados ou baixa pressão humana (SILVA et al., 2021). Esta espécie é conhecida por sua natureza predatória e é adaptada para caçar e construir colônias no solo, onde há uma abundância de presas e espaço para ninhos (FOURCASSIÉ; OLIVEIRA, 2002; SILVA et al., 2021). A falta da presença de *D. gigantea* em armadilhas

arbóreas indica que esses ambientes podem não oferecer recursos adequados para a espécie, como alimentos e espaço para ninhos. Espécies especializadas como *D. gigantea* desempenham papéis importantes na predação e ciclagem de nutrientes, influenciando a estrutura e função dos ecossistemas (PEIXOTO; CAMPIOLO; DELABIE, 2010).

Cephalotes pusillus foi predominante na vegetação, sugerindo uma especialização para viver e explorar recursos nesse tipo de ambiente. Onde possui características taxonômicas como seu tórax achatado e cabeça larga, que são características adaptativas para se movimentar em superfícies verticais, como troncos e galhos (OLIVEIRA et al., 2021), fazem seus ninhos em fendas de árvores (OLIVEIRA; POWER; FEITOSA, 2021). Comumente encontrada na vegetação de Cerrado, especialmente em plantas com nectários extraflorais, em coletas realizadas no estado de Minas Gerais, foi a espécie com maior média (100 indivíduos) por planta ocupada (CAMAROTA et al., 2012).

Variáveis ambientais significativas

No melhor modelo de vegetação, observamos que a presença de serrapilheira tem um valor positivo, indicando uma associação positiva entre a quantidade de serrapilheira e a presença de formigas. Resultado que corrobora com outros autores (VARGAS et al., 2007) demonstrando que a diversidade dos componentes da serapilheira (folhas, galhos, flores e frutos), pode afetar mais a diversidade de formigas do que a profundidade da serapilheira em si (ARMBRECHT et al., 2004; PEREIRA et al., 2007; ALMEIDA et al., 2021). Em coletas realizadas em restinga formigas de diferentes habitats apresentaram uma maior densidade de espécies, abundância e diversidade em comparação com os habitats homogêneos (VARGAS et al., 2015). Além disso, observou-se uma correlação positiva entre a densidade de espécies e a abundância com a profundidade da serapilheira (VARGAS et al., 2015).

Da mesma forma, a densidade de árvores também apresenta uma relação positiva significativa. A conectividade pode facilitar o acesso a outras árvores próximas e, na ausência de espécies agressivas e/ou dominantes, favorece o forrageamento de formigas entre diferentes árvores, permitindo que os recursos sejam igualmente acessados pela assembleia de formigas (ANDRADE-SILVA; ALMEIDA, 2020). Chagas (2018) demonstrou que áreas de pastagens em regiões de Cerrado com densidade arbórea mais elevada apresentam uma maior riqueza e abundância de formigas, além de uma composição de espécies distinta. A presença de árvores contribui para a criação de habitats fundamentais para a fauna local,

aumentando a complexidade estrutural do ambiente e servindo como pontos de conectividade para a vida selvagem (FRIZZO; VASCONCELOS, 2013; MAJER; DELABIE, 1999; NEVES et al., 2012).

No melhor modelo de NDVI, as variáveis NDVI de 2019 e 2021 exibem coeficientes significativos, mas com sinal oposto. Enquanto NDVI.2021 possui um coeficiente negativo, indicando uma associação negativa, NDVI.2019 possui um coeficiente positivo, sugerindo uma relação positiva. Esses resultados apontam que formigas se distribuem preferencialmente em áreas com cobertura vegetal mais fechada, tais como florestas (floresta de restinga, floresta ombrófila densa, florestas estacionais decíduais e semidecíduais) ou agroflorestas (DELABIE et al., 2013). Fernández et al., 2020 em seu trabalho observou que a biomassa de artrópodes geralmente aumentou com o NDVI, uma relação positiva entre biomassa e NDVI foi observada para cada nível trófico individual. Segundo Sweet et al., (2015) sugere que medições do NDVI em estações diferentes (efeito histórico) podem ser capazes de quantificar a variação espacial e temporal na biomassa de artrópodes do dossel na paisagem em escalas regionais.

No contexto do PNCM, os anos de 2019 e 2021 foram significativos em termos de condições da vegetação, refletidas pelo NDVI. O NDVI foi particularmente alto em 2019, isso pode ter influenciado positivamente o crescimento e a diversidade da vegetação naquela época. Da mesma forma, se houve uma queda ou aumento significativo em 2021, isso poderia ter consequências na vegetação subsequente.

As comunidades de formigas são sensíveis às mudanças na vegetação, pois dependem dela para alimentação, abrigo e outras necessidades (LOBO et al., 2023). Se houve um NDVI alto e estável em 2019, é possível que as condições favoráveis da vegetação tenham sustentado populações de plantas e outras espécies associadas, o que pode ter beneficiado as comunidades de formigas. Em contraste, uma diminuição ou variação no NDVI em 2021 poderia ter efeitos adversos ou disruptivos nessas comunidades.

O efeito histórico do NDVI nos anos de 2019 e 2021 no Parque Nacional Chapada das Mesas pode ter tido uma influência direta nas comunidades de formigas coletadas em 2023, refletindo a interconexão entre a saúde da vegetação e a biodiversidade local. Essa análise fornece informações valiosas para a conservação e o manejo desses ecossistemas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo revelou um considerável número de espécies de formigas na região do Cerrado, destacando a importância de explorar os diferentes estratos verticais para melhor analisar a distribuição destes organismos. Novos registros foram feitos para o estado do Maranhão, o primeiro registro do gênero *Myrmicocrypta* e de *Cephalotes pellans*. A comparação com estudos anteriores no Cerrado revelou uma similaridade na riqueza de espécies, mesmo diante de variações nos métodos e esforços amostrais empregados. Sendo também o primeiro trabalho a relacionar o NDVI como variável preditora para a distribuição de formigas no Brasil. Esses resultados são importantes para a compreensão da biodiversidade no Cerrado maranhense, destacando a necessidade de pesquisas adicionais para elucidar como as formigas respondem às variações nos estratos e para desenvolver estratégias eficazes de conservação diante das mudanças ambientais em curso.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. P. S.; ANDRADE-SILVA, J.; SILVA, R. R.; FERNANDES, T. T.; SOUZA-CAMPANA, D. R.; SILVA, N. S.; MORINI, M. S. C. Twigs in leaf litter: overlap in twig size occupation by nesting ants. *INSECTES SOCIAUX*, v. 68, p. 00816-6, 2021.
- ANDRADE-SILVA, Joudellys & Almeida, Rony. Relação entre a circunferência da árvore e a comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) arborícolas em uma área de preservação amazônica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais*. 15. 145-153. 10.46357/bcnaturais.vbcnaturais.v15i1.287. (2020).
- ARMBRECHT, I.; Perfecto, I. & Vandermeer, J. 2004. Enigmatic biodiversity correlations: ant diversity responds to diverse resources. *Science* 304:284-286.
- CAMAROTA, F. ; Powell, S. ; Vasconcelos, H. ; Marquis, R. ; Priest, G. . The influence of extrafloral nectaries on the structure of Cerrado arboreal ant community. In: 49th Annual Meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation (ATBC), 2012, Bonito. 49th Annual Meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation (ATBC), 2012.
- CANTARELLI, Edison Bisognin et al. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serrapilheira em diferentes sistemas de uso do solo. *Ciência Florestal*, v. 25, p. 607-616, 2015.
- CARVALHO, K.S. & H.L. VASCONCELOS. Forest fragmentation in central Amazonia and its effects on litter-dwelling ants. *Biological Conservation* 91: 151-157. 1999.
- DELABIE, J. H. C. ; Santos, R,J. ; CARMO, A. F. R. ; Matos, I.S. ; STRENZEL, G. M. R. ; MARIANO, C. S. F. . Regional diversity and resource use in the ant genus *Pachycondyla* in southeastern Bahia, Brazil (Hymenoptera; Formicidae: Ponerinae).. In: 5th Central European Workshop of Myrmecology,, 2013, Innsbruck, Áustria. Regional diversity and resource use in the ant genus *Pachycondyla* in southeastern Bahia, Brazil (Hymenoptera; Formicidae: Ponerinae)., 2013.
- LOBO, N. C. R. et al.. Efeitos de fatores ambientais sobre as assembleias de formigas arborícolas e epigéicas na Floresta Estacional Semidecidual. *Ciência Florestal*, v. 33, n. 1, p. e67579, 2023.
- FRIZZO, T. L. M.; VASCONCELOS, H. L.; The potencial role of scattered trees for ant conservation in an agriculturally dominated neotropical landscape. *Biotropica*, v. 45, p. 644-651, 2013.

GOMES, D. S., Almeida, F. S., Vargas, A. B., & Queiroz, J. M. Resposta da assembleia de formigas na interface solo-serapilheira a um gradiente de alteração ambiental. *Iheringia. Série Zoologia*, 103(2), 104–109. 2013 <https://doi.org/10.1590/S0073-47212013000200004>.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. 2007. Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional da Chapada das Mesas. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/plano_operativo_parna_da_chapada_das_mesas.pdf. Acesso em: abril de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2002. Mapa de clima do Brasil – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br>. Acesso em: abril de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Mapa físico e de vegetação do Estado do Maranhão – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br>. Acesso em: abril de 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Metadados do Relevo do Brasil 1:5.000.000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://http://www.visualizador.inde.gov.br>. Acesso em: abril de 2022.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2018. Dados de previsão de tempo e estudos climáticos. Disponível em: <https://clima1.cptec.inpe.br/estacaochuvosa/pt>. Acesso em: abril de 2024.

MAJER, J.D.; DELABIE, J.H.C. Impacto f tree isolation on arboreal and ground ant communities in claread pasture in the Atlantic rain forest região of Bahia, Brazil. *Insectes Sociaux*, v.46, p.281-890, 1999.

NEIFF, J.J. 2003. “Planícies de Inundação São Ecótonos?” In: *Ecótonos nas interfaces dos Ecossistemas Aquáticos*, edited by Raol Henry, 1sted., 31–47.

NEVES, F.S.; BRAGA R.F.; ARAÚJO, L.S.; CAMPOS, R.I.; FAGUNDES, M. Differential effects of land use on ant and herbivore insect communities associated whit Caryocar brasiliense (Caryocaraceae). *Revista de biologia tropical*, v.60, p. 1065 1073, 2012.

PEIXOTO AV, CAMPIOLO S, DELABIE JHC. Basic ecological information about the threatened ant, *Dinoponera lucida* Emery (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae), aiming its effective long-term conservation. In: TEPPER GH (ed.), *Species Diversity and Extinction*, Nova Science Publishers, Inc. 183 p. 2010.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: dezembro de 2023.

R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: novembro de 2023.

RIBAS, Carla R.; Schoereder, Jose H.; PIC, MIREILLE; SOARES, SANDRA M. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology*, Austrália, v. 28, n.3, p. 305-314, 2003.

SANTOS-FILHO, Antônio, Jorge. Título: Comunidades De Formigas (Hymenoptera, Formicidae) Em Fragmentos Florestais De Mata De Cocais E Florestas Ombrófila Circundados Por Diferentes Culturas No Povoado Condurú Em Codó, Maranhão, Brasil. Mestrado em Biodiversidade, Ambiente e Saúde. Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, Brasil, 2017.

TOCANTINS. 2016. Plano de Manejo do Parque Estadual do Cantão: Revisão. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. Governo do Estado do Tocantins, Palmas, TO

UTTA, A. C. S. Espécies mais frequentes de formigas (Hymenoptera - Formicidae) como indicadoras da composição de espécies no tempo em uma floresta ombrófila densa na Amazônia Central. 2017, Dissertação Divisão do Curso de Pós-Graduação em Entomologia – DIENT. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, MANAUS, 2017.

VARGAS, A. B.; Mayhé-Nunes, A. J.; Queiroz J. M.; Souza, G. O. & Ramos, E. F. 2007. Efeitos de fatores ambientais sobre a mirmecofauna em comunidade de restinga no Rio de Janeiro, RJ. *Neotropical Entomology* 36(1):28-37.

VASCONCELOS, H.L. Effects of forest disturbance on the structure of ground-foraging ant communities in central Amazonia. *Biodiversity and Conservation* 8: 409-420. 1999

Vasconcelos, Heraldo L. ; FRIZZO, TIAGO L.M. ; Pacheco, Renata ; MARAVALHAS, JONAS B. ; CAMACHO, GABRIELA P. ; CARVALHO, KARINE S. ; KOCH, ELMO B.A. ; PUJOL-LUZ, JOSÉ R. . Evaluating sampling sufficiency and the use of surrogates for assessing ant diversity in a Neotropical biodiversity hotspot. *Ecological Indicators*, v. 46, p. 286-292, 2014.

VASCONCELOS, HERALDO L. ; MARAVALHAS, JONAS B. ; CORNELISSEN, TATIANA . Effects of fire disturbance on ant abundance and diversity: a global meta-analysis. *Biodiversity and Conservation*, v. 26, p. 177-188, 2017.

Vasconcelos, Heraldo L.; LEITE, MARCOS F.; VILHENA, JOSÉ M. S. ; LIMA, ALBERTINA P. ; MAGNUSSON, WILLIAM E. . Ant diversity in an Amazonian savanna: Relationship with vegetation structure, disturbance by fire, and dominant ants. *Austral Ecology*, v. 33, p. 221-231, 2008.

Agrawal AA, Ackerly DD, Adler F et al (2007) Filling Key Gaps in Population and Community Ecology. *Front Ecol Environ* 5(3):45–152.

Sutherland WJ, Freckleton RP, Godfray HCJ et al (2013) Identification of 100 fundamental ecological questions. *J Ecol* 101:58–67. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12025>.

Andersen A. N. (1986) Diversity, seasonality and community organization of ants at adjacent heath and woodland sites in southeastern Australia. *Aust. J. Zool.*, in press.

Wilson EO (1987) The arboreal ant fauna of Peruvian Amazon forests: A first assessment. *Biotropica*. 19: 245-251.

RIBAS, Carla R.; Schoereder, Jose H.; PIC, MIREILLE; SOARES, SANDRA M. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology*, Austrália, v. 28, n.3, p. 305-314, 2003.

AGUIAR, L. M. DE S.; CAMARGO, A. J. A. **Cerrado: ecologia e caracterizacao**. Embrapa Cerrados ed. Brasilia: [s.n.]. v. 1

AIKENS, K. R.; TIMMS, L. L.; BUDDLE, C. M. Vertical heterogeneity in predation pressure in a temperate forest canopy. **PeerJ**, v. 1, p. e138, 22 ago. 2013.

ALMEIDA, R. P. S. et al. The role of morphological traits in predicting the functional ecology of arboreal and ground ants in the Cerrado–Amazon transition. **Oecologia**, v. 201, n. 1, p. 199–212, 15 jan. 2023.

BASHAM, E. W. et al. Vertical stratification patterns of tropical forest vertebrates: a meta-analysis. **Biological Reviews**, v. 98, n. 1, p. 99–114, 8 fev. 2023.

BAYMA, A. P.; SANO, E. E. SÉRIES TEMPORAIS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI E EVI) DO SENSOR MODIS PARA DETECÇÃO DE DESMATAMENTOS NO BIOMA CERRADO. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 4, p. 797–813, dez. 2015.

BERG, M. P.; BENGTTSSON, J. Temporal and spatial variability in soil food web structure. **Oikos**, v. 116, n. 11, p. 1789–1804, 26 nov. 2007.

BRANDÃO, C. R. F.; SILVA, R. R.; FEITOSA, R. M. Cerrado ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) as indicators of edge effects. **Zoologia (Curitiba, Impresso)**, v. 28, n. 3, p. 379–387, jun. 2011.

DIAS, D. O.; MIZIARA, F. O Cerrado como patrimônio nacional: a inclusão do Cerrado no §4º do artigo 225 da Constituição Federal. **Revista Cerrados**, v. 19, n. 02, p. 323–342, 1 set. 2021.

FELICIANO, C. A.; ROCHA, C. E. R. TOCANTINS NO CONTEXTO DO MATOPIBA: TERRITORIALIZAÇÃO DO AGRONEGÓCIO E INTENSIFICAÇÃO DOS CONFLITOS TERRITORIAIS/ Tocantins in the context of the MATOPIBA program: Territorialization of agribusiness and intensification of territorial conflicts/ Tocantins en el contexto del MATOPIBA: Territorialización del agronegocio e intensificación de los conflictos territoriales. **REVISTA NERA**, n. 47, p. 230–247, 11 fev. 2019.

FERNÁNDEZ-TIZÓN, M. et al. Arthropod biomass increase in spring correlates with NDVI in grassland habitat. **The Science of Nature**, v. 107, n. 5, p. 42, 24 out. 2020.

FERREIRA, L. G. et al. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 534–550, nov. 2003.

GOUVEIA, S. F. et al. Forest structure drives global diversity of primates. **Journal of Animal Ecology**, v. 83, n. 6, p. 1523–1530, 27 nov. 2014.

IRACENIR ANDRADE DOS SANTOS. **Características estruturais de plantas determinam riqueza de espécies de formigas no Cerrado?** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

JANES ROCHA. **Soja e veneno levam destruição ao Matopiba.**

KLINGES, D. H.; SCHEFFERS, B. R. Microgeography, Not Just Latitude, Drives Climate Overlap on Mountains from Tropical to Polar Ecosystems. **The American Naturalist**, v. 197, n. 1, p. 75–92, 1 jan. 2021.

LAMANNA, C. et al. Functional trait space and the latitudinal diversity gradient. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 38, p. 13745–13750, 23 set. 2014.

LEE, C. J. et al. Stratification in French Guiana: Cerambycid Beetles Go Up When Rains Come Down. **Biotropica**, v. 46, n. 3, p. 302–311, 26 maio 2014.

LOBO, N. C. R. et al. Efeitos de fatores ambientais sobre as assembleias de formigas arborícolas e epigéicas na Floresta Estacional Semidecidual. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 1, p. e67579, 3 abr. 2023.

LUCAS GUARALDO. **Desmatamento no Matopiba já derrubou 494 mil hectares de Cerrado desde janeiro.**

LUCAS ITABORAHY. **O que é Cerrado: características e biodiversidade.**

MCCAIN, C. M. Global analysis of reptile elevational diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 4, p. 541–553, 8 jul. 2010.

MOACIR BUENO ARRUDA et al. **Ecorregiões, Unidades de Conservação e Representatividade Ecológica do Bioma Cerrado**. Embrapa Cerrados ed. Brasília : Cerrado: ecologia e flora, 2008. v. 1

- MONTEIRO, I. et al. Disturbance-modulated symbioses in termitophily. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 24, p. 10829–10838, 9 dez. 2017.
- PACHECO, R.; VASCONCELOS, H. L. Habitat diversity enhances ant diversity in a naturally heterogeneous Brazilian landscape. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 3, p. 797–809, 30 mar. 2012.
- PALMER, T. M. et al. Influence of neighboring plants on the dynamics of an ant–acacia protection mutualism. **Ecology**, v. 98, n. 12, p. 3034–3043, dez. 2017.
- PEREIRA, C. C.; FERNANDES, G. W. Cerrado conservation is key to the water crisis. **Science**, v. 377, n. 6603, p. 270–270, 15 jul. 2022.
- PEREIRA, T. A.; DEL CLARO, K. **Diversidade de formigas no solo do cerrado: uma análise da variação temporal e entre distintas fisionomias da vegetação**. Uberlândia : Universidade Federal de Uberlândia, 20 set. 2006.
- POLLIERER, M. M. et al. The underestimated importance of belowground carbon input for forest soil animal food webs. **Ecology Letters**, v. 10, n. 8, p. 729–736, 10 ago. 2007.
- PRADO, L. P. DO et al. An overview of the ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) of the state of Maranhão, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 59, p. e20195938, 15 ago. 2019.
- RADER, R.; KROCKENBERGER, A. Does resource availability govern vertical stratification of small mammals in an Australian lowland tropical rainforest? **Wildlife Research**, v. 33, n. 7, p. 571, 2006.
- ROBERTSON, C. E. et al. Diversity and Stratification of Archaea in a Hypersaline Microbial Mat. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 7, p. 1801–1810, abr. 2009.
- RYDER WILKIE, K. T.; MERTL, A. L.; TRANIELLO, J. F. A. Correction: Species Diversity and Distribution Patterns of the Ants of Amazonian Ecuador. **PLoS ONE**, v. 5, n. 10, 29 out. 2010.
- SCHEFFERS, B. R. et al. Increasing arboreality with altitude: a novel biogeographic dimension. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1770, p. 20131581, 7 nov. 2013.
- SILVA, E. F. DA et al. Nests architecture of *Dinoponera gigantea* Perty, 1833, (Hymenoptera:Formicidae) in Cerrado North Northeast of Brazil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 8, p. 25–37, 22 ago. 2021.
- SOUZA, D. R. DE; SOUZA, A. L. DE. Estratificação vertical em floresta ombrófila densa de terra firme não explorada, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 691–698, out. 2004.

VASCONCELOS, H. L. et al. Evaluating sampling sufficiency and the use of surrogates for assessing ant diversity in a Neotropical biodiversity hotspot. **Ecological Indicators**, v. 46, p. 286–292, nov. 2014.

VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882–892, 26 maio 2007.

WESTOBY, M.; WRIGHT, I. J. Land-plant ecology on the basis of functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 5, p. 261–268, maio 2006.

WINEMILLER, K. O. et al. Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches. **Ecology Letters**, v. 18, n. 8, p. 737–751, 21 ago. 2015.

YANOVIK, S. P.; KASPARI, M. Community structure and the habitat templet: ants in the tropical forest canopy and litter. **Oikos**, v. 89, n. 2, p. 259–266, 22 maio 2000.

APÊNDICES

Apêndice 1. Lista de espécies de formigas e número de pontos com registro no Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM).

Subfamília	Presença nos Pontos	Pitfall/tipo
AMBLYOPONINAE		
<i>Prionopelta antillana</i> Forel, 1909	1	solo
DOLICHODERINAE		
<i>Dolichoderus attelaboides</i> (Fabricius, 1775)	1	árvore
<i>Dolichoderus bispinosus</i> (Olivier, 1792)	2	árvore
<i>Dolichoderus germaini</i> Emery, 1894	8	árvore
<i>Dolichoderus lamellosus</i> (Mayr, 1870)	2	árvore
<i>Dolichoderus lutosus</i> (Smith, F., 1858)	9	árvore
<i>Dorymyrmex</i> sp. 1	3	solo
<i>Forelius</i> sp. 1	2	solo
<i>Forelius</i> sp. 2	2	solo
<i>Forelius heyeri</i> (Forel, 1902)	2	solo
<i>Linepithema</i> sp. 1	9	solo
<i>Linepithema cerradense</i> Wild, 2007	5	solo
DORYLINAE		
<i>Labidus coecus</i> (Latreille, 1802)	1	solo
<i>Labidus praedator</i> (Smith, F., 1858)	2	solo/árvore

ECTATOMMINAE

<i>Ectatomma</i> sp. 1	1	solo
<i>Ectatomma brunneum</i> Smith, F., 1858	12	solo/árvore
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	17	solo/árvore
<i>Ectatomma muticum</i> Mayr, 1870	6	solo
<i>Gnamptogenys acuminata</i> (Emery, 1896)	1	solo
<i>Gnamptogenys haenschi</i> (Emery, 1902)	1	solo
<i>Gnamptogenys sulcata</i> (Smith, F., 1858)	1	solo

FORMICINAE

<i>Camponotus</i> sp. 1	4	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 2	7	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 3	13	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 4	6	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 5	3	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 6	14	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 7	6	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 8	4	solo
<i>Camponotus</i> sp. 9	1	solo

<i>Camponotus</i> sp. 10	4	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 11	4	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 12	4	solo
<i>Camponotus</i> sp. 13	3	solo/árvore
<i>Camponotus</i> sp. 14	1	solo
<i>Camponotus arboreus</i> (Smith, F., 1858)	1	solo
<i>Camponotus atriceps</i> (Smith, F., 1858)	5	solo/árvore
<i>Camponotus Crassus</i> Mayr, 1862	1	solo
<i>Camponotus leydigi</i> Forel, 1886	4	solo/árvore
<i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894	8	solo/árvore
<i>Camponotus renggeri</i> Emery, 1894	9	solo/árvore
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1	17	solo/árvore
<i>Brachymyrmex</i> sp. 2	4	solo
<i>Nylanderia</i> sp. 1	8	solo
<i>Paratrechina</i> sp. 1	32	solo
MYRMICINAE		solo
<i>Acromyrmex</i> sp. 1	1	solo

<i>Acromyrmex</i> sp. 2	1	solo
<i>Atta</i> sp. 1	5	solo
	4	solo
<i>Carebara</i> sp. 1	1	solo
<i>Cephalotes</i> sp. 1	1	árvore
<i>Cephalotes atratus</i> (Linnaeus, 1758)	8	solo/árvore
<i>Cephalotes cordatus</i> (Smith, F., 1853)	3	árvore
<i>Cephalotes eduarduli</i> (Forel, 1921)	1	árvore
<i>Cephalotes maculatus</i> (Smith, F., 1876)	1	árvore
<i>Cephalotes minutus</i> (Fabricius, 1804)	1	árvore
<i>Cephalotes pellans</i> De Andrade, 1999	4	árvore
<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	1	solo/árvore
<i>Carebara</i> sp. 1	1	solo
<i>Crematogaster</i> sp. 1	2	solo
<i>Crematogaster erecta</i> Mayr, 1866	1	solo
<i>Crematogaster flavosensitiva</i> Longino, 2003	1	solo
<i>Crematogaster limata</i> Smith, F., 1858	2	solo

<i>Crematogaster tenuicula</i> Forel, 1904	3	solo
<i>Cyatta abscôndita</i> Sosa-Calvo, Schultz, Brandão, Klingenberg, Feitosa, Rabeling, Bacci, Lopes, Heraldo & Vasconcelos, 2013	1	solo
<i>Cyphomyrmex</i> sp. 1	3	solo
<i>Cyphomyrmex</i> sp. 2	1	solo
<i>Cyphomyrmex</i> sp. 3	1	solo
<i>Mycetomoellerius</i> sp. 1	1	solo
<i>Mycocepurus goeldii</i> (Forel, 1893)	1	solo
<i>Myrmicocrypta</i> sp. 1	9	solo
<i>Rogeria</i> ogms 001	3	solo
<i>Solenopsis</i> sp. 1	5	solo
<i>Solenopsis</i> sp. 2	2	solo
<i>Solenopsis</i> sp. 3	2	solo
<i>Solenopsis</i> sp. 4	2	solo
<i>Paratrachymyrmex</i> sp. 1	6	solo
<i>Pheidole</i> sp. 1	2	solo/árvore

<i>Pheidole</i> sp. 2	11	solo
<i>Pheidole</i> sp. 3	6	solo
<i>Pheidole</i> sp. 4	2	solo
<i>Pheidole</i> sp. 5	1	solo
<i>Pheidole</i> sp. 6	2	solo
<i>Pheidole</i> sp. 7	4	solo
<i>Pheidole</i> sp. 8	8	solo
<i>Pheidole</i> sp. 9	4	solo
<i>Pheidole</i> sp. 10	6	solo
<i>Pheidole</i> sp. 11	3	solo
<i>Pheidole</i> sp. 12	9	solo
<i>Pheidole</i> sp. 13	2	solo
<i>Pheidole</i> sp. 14	1	solo
<i>Pheidole</i> sp. 15	2	solo
<i>Pheidole</i> sp. 16	1	solo
<i>Pheidole</i> sp. 17	2	solo
<i>Pheidole</i> sp. 18	4	solo

<i>Pheidole</i> sp. 19	2	solo
<i>Pheidole</i> sp. 20	1	solo
<i>Pheidole</i> sp. 21	1	solo
<i>Pheidole</i> sp. 22	1	solo
<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr, 1884	2	solo
<i>Procryptocerus hylaeus</i> Kempf, 1951	1	solo
<i>Strumigenys</i> sp. 1	2	solo
	4	solo
<i>Strumigenys</i> sp. 2		
<i>Strumigenys alberti</i> Forel, 1893	2	solo
<i>Trachymyrmex</i> sp. 1	2	solo
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	11	solo
PARAPONERINAE		
<i>Paraponera clavata</i> (Fabricius, 1775)	4	solo
PONERINAE		
<i>Dinoponera gigantea</i> (Fabricius, 1775)	22	Solo
<i>Hypoponera</i> sp. 1	2	solo/árvore
<i>Hypoponera trigona</i> (Mayr, 1887)	2	solo
<i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884)	2	solo

<i>Neoponera</i> sp. 1	1	árvore
<i>Neoponera villosa</i> (Fabricius, 1804)	1	árvore
<i>Odontomachus</i> sp. 1	3	solo
<i>Odontomachus</i> sp. 2	3	solo
<i>Odontomachus</i> sp. 3	1	solo

<i>Pachycondyla crassinoda</i> (Latreille, 1802)	5	solo
--	---	------

<i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804)	1	solo
--	---	------

<i>Pachycondyla striata</i> Smith, F., 1858	1	solo
---	---	------

PSEUDOMYRMECINAE

<i>Pseudomyrmex</i> sp. 1	1	árvore
---------------------------	---	--------

<i>Pseudomyrmex</i> sp. 2	1	árvore
---------------------------	---	--------

<i>Pseudomyrmex browni</i> Kempf, 1967	1	árvore
--	---	--------

<i>Pseudomyrmex urbanus</i> (Smith, F., 1877)	1	árvore
---	---	--------

<i>Pseudomyrmex termitarius</i> (Smith, F., 1855)	3	árvore
---	---	--------



Apêndice 2. As áreas amostradas no Parque Nacional Chapada das Mesas (PNCM) foram registradas em imagens que mostram as diferentes fitofisionomias observadas durante o período de coleta em fevereiro de 2023.



Subponto 10C



Subponto 25C



Subponto 18A



Subponto 4A



Subponto 24B



Subponto 1C



Subponto 14C



Subponto 22C