



MARÍLIA MARIA SILVA DA COSTA

**DRIVERS OF SPECIES DIVERSITY AND DISTRIBUTION
OF ANTS IN THE SOUTHWEST BRAZILIAN AMAZON**

**LAVRAS – MG
2024**

MARÍLIA MARIA SILVA DA COSTA

**DRIVERS OF SPECIES DIVERSITY AND DISTRIBUTION OF ANTS IN THE
SOUTHWEST BRAZILIAN AMAZON**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada com área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Doutora.

Profa. Dra. Carla Rodrigues Ribas
Orientadora

Prof. Dr. Fernando Augusto Schmidt
Coorientador

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho
Coorientador

**LAVRAS – MG
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Costa, Marília Maria Silva da.

Drivers of species diversity and distribution of ants in the
southwest Brazilian Amazon / Marília Maria Silva da Costa. - 2024.
134 p.

Orientador(a): Carla Rodrigues Ribas.

Coorientador(a): Fernando Augusto Schmidt, Ronald Zanetti
Bonetti Filho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.
Bibliografia.

1. Ecologia. 2. Metacomunidade. 3. Formiga. I. Ribas, Carla
Rodrigues. II. Schmidt, Fernando Augusto. III. Bonetti Filho, Ronald
Zanetti. IV. Título.

MARÍLIA MARIA SILVA DA COSTA

**DRIVERS OF SPECIES DIVERSITY AND DISTRIBUTION OF ANTS IN THE
SOUTHWEST BRAZILIAN AMAZON**

**FATORES DIRECIONADORES DA DIVERSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE
ESPÉCIES DE FORMIGAS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada com área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 23 de agosto de 2024.

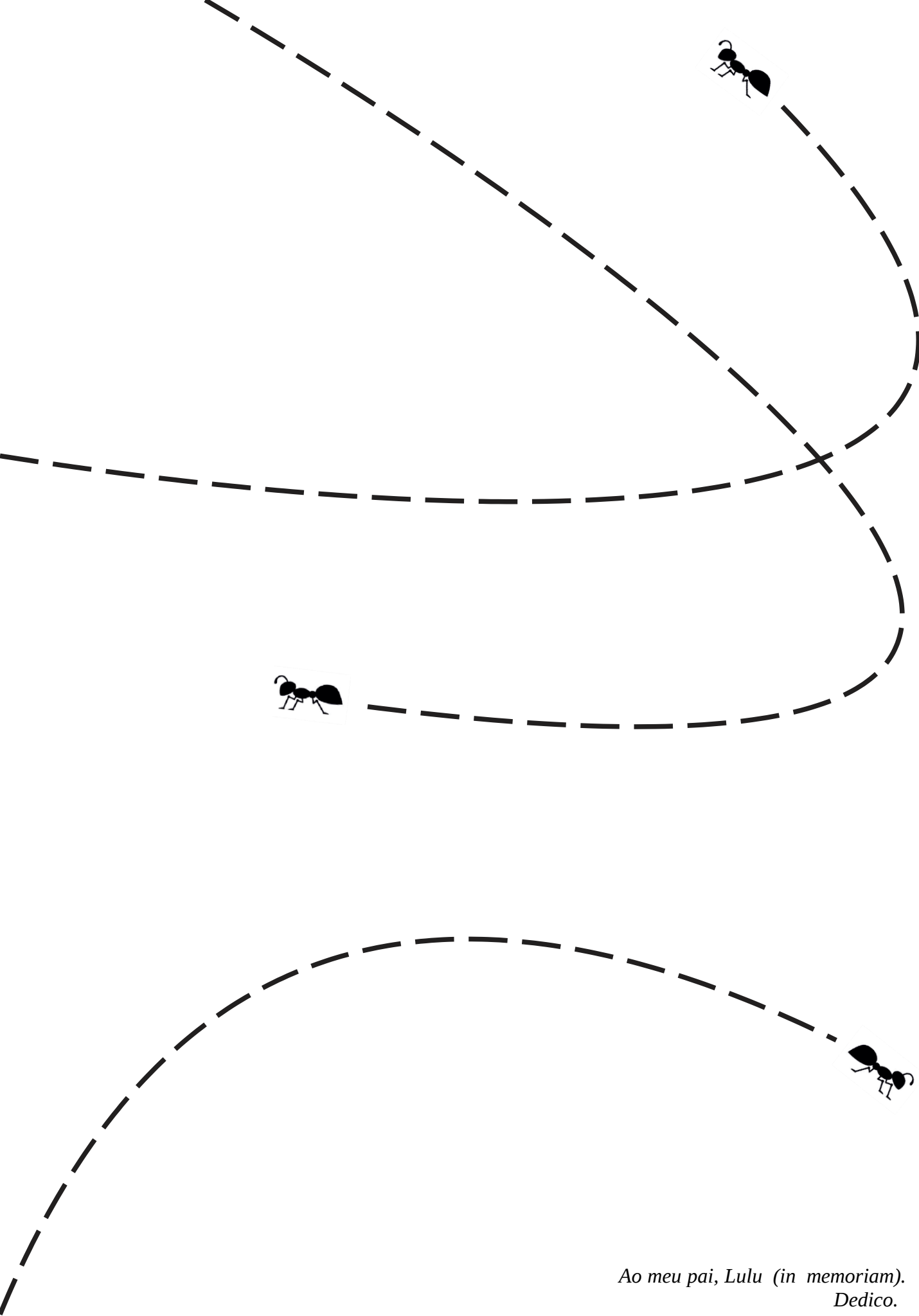
Dr. Xavier Arnan Viadiu	UPE
Dra. Fernanda Maria Pereira de Oliveira	UFPI
Dra. Itanna Oliveira Fernandes	INPA
Dr. Marcelo Tabarelli	UFPE

Profa. Dra. Carla Rodrigues Ribas
Orientadora

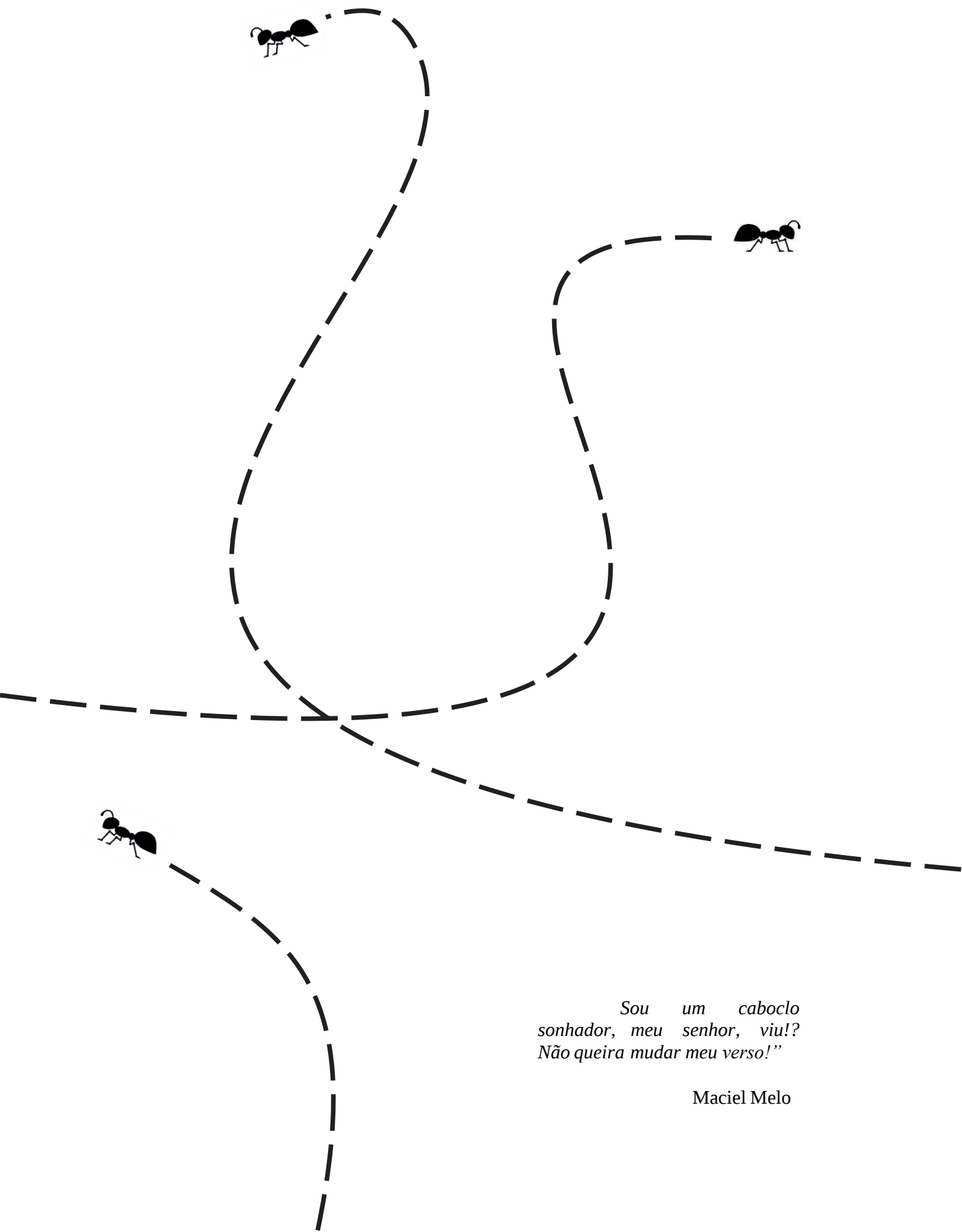
Prof. Dr. Fernando Augusto Schmidt
Coorientador

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho
Coorientador

**LAVRAS – MG
2024**



*Ao meu pai, Lulu (in memoriam).
Dedico.*



*Sou um caboclo
sonhador, meu senhor, viu!?
Não queira mudar meu verso!"*

Maciel Melo

AGRADECIMENTOS

Este é aquele momento em que um filme passa na minha cabeça e eu lembro, mais uma vez, o quanto amadureci como pessoa e como cientista nestes últimos quatro anos! Foram momentos de alegria, vitórias, conquistas e aprendizados, mas não posso esquecer que a ansiedade e o medo também estiveram presentes em muitos dias.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada. Obrigada a todos os professores e professoras do PPG-Ecologia Aplicada que contribuíram para a minha formação acadêmica. Quero agradecer também a Ellen Cristina, que enquanto esteve conosco como secretária do PPG-Ecologia Aplicada, não mediu esforços para ajudar.

Agradeço às contribuições e comentários feitos pelos professores Paulo Pompeu e Eduardo Van Den Berg durante as bancas de acompanhamento.

Agradeço aos membros da banca Xavier Arnan, Fernanda Oliveira, Itanna Fernandes, Marcelo Tabarelli, Alexandre Vasconcellos e Rafaella Maciel.

Agradeço ao Laboratório de Ecologia de Formigas da UFLA, que tornou meus dias mais leves pela companhia de todos vocês. Gui, Letícia, Tássia, Camila, Ícaro, Chaim, Luane, Dara e Heloísa, obrigada pelas fofocas (Myrmecological News), pelo carinho e por compartilharem comigo café, os surtos durante o doutorado e os momentos de esperança. Fui muito sortuda por ter a companhia de vocês.

Agradeço ao Laboratório de Ecologia de Formigas da Universidade Federal do Acre pela ajuda essencial na triagem, montagem e identificação ao nível de gênero do material que utilizei para desenvolver minha tese.

Esta pesquisa faz parte do "Projeto de Biodiversidade de Insetos da Amazônia" ("Rede BIA"), e agradeço imensamente ao professor Elder Ferreira Morato pela excelente companhia durante as coletas. Além disso, agradeço profundamente às comunidades de cada uma das dezesseis áreas onde realizamos nossas coletas, e também a Luane Fontenele e a Sara Andrade pelas contribuições durante a fase de coleta.

Agradeço ao Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo e ao Laboratório de Hymenoptera do MZUSP. A contribuição de vocês foi essencial para a identificação ao nível de espécie. Agradeço a Mônica Ulysséa, que além de tudo, abriu as portas da sua casa para me receber, ao Otávio Silva, ao Victor Nagatiani e à Gabriela Camacho. Além deles, agradeço

também ao Esperidião Neto e à Livia Prado pela ajuda nas identificações.

À Alice Arantes e Sofia Pimenta, nossa grande turma de três mulheres, foi muito bom tê-las por perto, mesmo que longe fisicamente, para compartilhar alegrias, tristezas e dúvidas. Quero agradecer a todas as pessoas que me receberam de braços abertos desde que cheguei em Lavras. Guilherme "verme" e Marina, meus primeiros amigos em Lavras, nos conhecemos na primeira disciplina por acaso e desde então, não deixei mais vocês em paz. Marina, eu nem sei dimensionar o quanto sua amizade foi e ainda é importante para mim. Obrigada pela sua amizade, seu carinho, suas palavras, áudios no WhatsApp, companhias de almoço e, claro, de cervejas.

Quero agradecer a todas as pessoas que dividiram casa comigo nesses quatro anos: Karina, Ananda, Luane (chatinha), Ketlen, Luane (doidinha) e Larissa (minha amiga da lignina). Tenho certeza de que meus dias foram mais felizes por causa de cada uma de vocês. Nossos churrascos, nossas festinhas, almoços em dia de domingo, dia de feira e tantas outras coisas que vivemos juntas, obrigada por tudo, meninas!

Durante esses anos, fiz muitas amizades! Dara, minha amiga, quero te agradecer primeiramente por me aceitar do jeitinho que eu sou, por ser minha companhia durante dias aflitos, mas também pelos dias felizes que vivemos juntas. Sinto sua falta diariamente!

Zé, Zezinho, Icaro, quem diria que tu iria me aguentar por quatro anos hein? Brincadeiras à parte, que bom é ter tua amizade e além disso, te ter como parceiro científico! Quero te agradecer pelos cafés, por toda ajuda com material, pelas risadas, cardápio semanal e tantas outras coisas que pudemos partilhar durante todo esse tempo. Tenho uma admiração enorme pela pessoa e pelo cientista que és! Obrigada por tudo, meu amigo!

Carol Lacerda, como falar de você hein? Eu recém-chegada e já me metendo como representante discente e só porque você estava comigo (eu nem te conhecia), mas foi tão bom compartilhar esse desafio com você e assim te conhecer de verdade! Ahh minha amiga, você foi e é muito importante para mim!

Aos meus amigos que eu amo demais, Chaim, Edinho, Cássio, Nathy gatinha, Ariel, Antônio, Lili, Grazi, Peixe, e ao meu amor todinho, Aurora! Meus amigos, muito obrigada por compartilharem tantos dias e momentos felizes comigo! Vocês foram meu porto seguro em Lavras. Que saudade, amo vocês demais!

Dentre tantas coisas que aconteceram nestes quatro anos, é impossível esquecer de você Marianne Azevedo. Que potência feminina, que cientista e que amiga a vida me apresentou. Quem diria que conviver dez dias contigo iria me proporcionar uma das minhas amigas

cientistas mais fiéis? Aquela que sempre, independentemente do país, me incentiva demais! Obrigada por tanto!

Aos meus companheiros e companheiras de almoço e algumas festinhas: Wandinha, Lyra, Carina, Ivo, Top (Andressa), André, Clarissa e Nayara. Saudade de rir com vocês! Quero agradecer ao Murilo Abacherli, por ter me ensinado tanto nestes anos sobre orientação e ciência e por compartilhar comigo seu amor pelas formigas!!!

Agradecer à Keila, Henrique, Naty, Yara, Mari e meu amigo Diego. Mesmo distantes, vocês sempre se fizeram presentes.

E Camilete, chegou quietinha e rapidinho conquistou o seu espaço na minha vida, foram muitos momentos especiais ao seu lado, e a saudade está grande amiga!

Mas, além de todos amigos queridos, tem alguém muito especial que está comigo desde 2016. Luane, é difícil tentar expressar todo carinho que tenho por você. Eita meu Deus! Amiga, bom demais foi compartilhar mais um formigueiro contigo, dias de tristeza e muitos e muitos dias de alegria! Obrigada por ser essa amiga, mesmo não olhando o WhatsApp, te amo demais chatinha. Conta comigo sempre e para qualquer coisa!

Voltar para Paraíba antes mesmo de defender o doutorado me deu medo e insegurança sobre como seriam meus dias, mas que bom foi chegar aqui e ser recebida por vocês. É sempre difícil retornar, mas eu sou feliz por saber que eu sempre tenho para onde voltar e ser recebida pelos meus!

Quero agradecer aos meus "Best's": Paula Virgínia, Rafaela Coutinho e Paulo Roberto (*in memoriam*). Sempre seremos nós! Paulinho, sei que você está aí de cima torcendo por mim, como você sempre fez. Está sendo difícil não compartilhar mais essa conquista com você, meu amigo.

Eu tenho a sorte de ter muitos amigos e amigas queridas, que por mais longe que eu vá sempre estão perto de mim! Júlia, Gordo, Samara, Carol Dias, Carol Marques, Layana, Isla, Alana e Betinho, obrigada por todo apoio, incentivo e por sempre acreditarem que eu conseguiria! E para completar essa galera, conheci a boneca (Maria Clara), uma amiga querida que me ouve e está sempre ali pronta para qualquer coisa!

Quero agradecer ao Laboratório de Ecologia animal da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – Campus IV, por me receber como agregada e me fazer sentir bem compartilhando esse espaço com vocês! Elaine Folly, nunca vou conseguir agradecer por todo apoio que você me deu, me incentivou desde a graduação até hoje. E Wallace, obrigada por dividir comigo meus dias de maior loucura, aqueles dias que você falava, falava sobre análise e eu fingia que entendia tudo e depois você estava lá me falando novamente. Obrigada

por aceitar estar comigo nessa reta final, me ajudando e além disso sempre falando "É assim mesmo, Marília, já tá perto de acabar". Valeu demais, cara!

Quero agradecer também ao Laboratório de Entomologia e o Labtermes, lá no Campus I da UFPB, por me receberem por inúmeras vezes.

Aline e Manu, foi muito bom conhecer vocês e saber que, nessa vida de cientista, por mais dolorosa que seja, sempre vamos encontrar pessoas boas! Obrigada pelo apoio, risadas, companhia e, além de tudo, carinho!

Quero agradecer sempre a companhia e apoio dos meus mirmecólogos paraibanos: Igor, Anderson e Raissa! Bom demais dividir as formigas da Paraíba com vocês!

Danilo, eita como você me ouviu nesses últimos meses. Já sei que te devo muitas cervejas! Obrigada pela amizade, incentivo e carinho de sempre.

Carla, o seu agradecimento é à parte. Caramba, muitas vezes tive a certeza que não conseguiria se você não me dissesse sempre o quanto confiava em mim e sabia que iriadar certo. Além de orientadora, foi incrível compartilhar momentos ao seu lado e aprender sobre como somos humanos, mesmo a academia querendo sempre que nos esqueçamos disso. Obrigada pela amizade que construímos além da orientação e por compartilhar comigo sua família, que muitas vezes foi a minha enquanto estava em Lavras.

Ao coronel Fefo, Fernando Schmidt ou Fefolê! Esse Fernando, sei não hein? Eu não sei como começar a te agradecer. São 8 anos desde o dia que você me recebeu em Rio Branco e acreditou naquela menina bem maluquinha que chegava para descobrir tanto sobre ciência. Sou muito grata por ter a oportunidade de aprender com você, um grande orientador, incentivador e uma inspiração para mim de um grande cientista!

Quero agradecer a Brisa Lunar e Rony Peterson, os responsáveis por me fazer conhecer as formigas e nunca mais soltar. Obrigada pelo carinho de sempre meus amigos!

Agradeço aos meus familiares, incluindo tias, tios, primos e primas, especialmente à Fernanda e à Cristina. É gratificante ver o apoio de todos vocês, assim como da minha avó, a quem amo profundamente e que sempre fez e continua fazendo tudo o que pode por mim!

Quero agradecer à minha família. Por muitas vezes pensei que seria impossível seguir sem você, pai, mas sei quanto se orgulhava de dizer da sua filha "doutora". Obrigada à minha mãe, que me incentiva como ninguém e acredita em mim todos os dias, e aos meus irmãos, que são os amores da minha vida. Sem vocês eu não teria conseguido!

E um agradecimento especial "*as pequenas criaturas que governam o mundo*".

RESUMO GERAL

Identificar áreas com alta riqueza de espécies e entender os fatores que determinam essa distribuição proporciona avanços teóricos e práticos para a conservação. Fatores ambientais, como variáveis climáticas e a disponibilidade de recursos, que variam em diferentes escalas espaciais, moldam a diversidade de espécies e refletem nas diferenças entre comunidades ecológicas. O estado do Acre, no sudoeste da Amazônia brasileira, exemplifica variação climática e ambiental significativa, com diversa cobertura florestal. Apesar da sua alta conservação, 13% da área perdeu a cobertura original devido a mudanças socioeconômicas. Organismos como formigas, com alta diversidade e rápida resposta a mudanças ambientais, são modelos ecológicos importantes devido à sua biomassa, papel na redistribuição de nutrientes e participação em diversas outras funções ecossistêmicas. Embora a fauna de formigas da região Neotropical tenha sua evolução associada a áreas de florestas, algumas espécies toleram variações ambientais maiores, sendo classificadas como generalistas ou especialistas em habitats abertos. Assim, esta tese apresenta dois capítulos originais organizados como manuscritos a serem enviados para revistas científicas, nos quais investigamos a diversidade e distribuição de formigas no sudoeste da Amazônia brasileira. Encontramos que a riqueza de espécies de formigas está associada ao aumento da cobertura florestal, especialmente para especialistas de floresta. Isso destaca a importância da conservação da cobertura florestal para a manutenção da biodiversidade de formigas e suas funções ecossistêmicas. A distância geográfica foi o principal fator determinante da composição de espécies de formigas, superando a influência da cobertura florestal e da precipitação, indicando a limitação na dispersão das formigas como um mecanismo importante na estruturação das comunidades. Os padrões de metacomunidade encontrados mostram que as comunidades locais são bem definidas e estruturadas por gradientes ambientais. Espécies com diferentes afinidades relacionadas ao uso de habitat apresentam mecanismos ecológicos diferentes na estruturação das metacomunidades. Os resultados encontrados nesta tese são úteis para orientar novos esforços de conservação e para entender os mecanismos que estruturam as comunidades de formigas. Ao utilizar a afinidade de uso de habitat das espécies de formigas, obtivemos uma visão detalhada das respostas específicas das espécies às mudanças ambientais. A conservação da cobertura florestal é necessária para manter a biodiversidade dessas espécies e os processos ecológicos fundamentais que elas desempenham, especialmente em áreas desmatadas e fragmentadas como a Amazônia.

PALAVRAS-CHAVE: biodiversidade; distribuição; metacomunidades; gradientes ambientais; guildas de uso de habitat.

GENERAL ABSTRACT

Identifying areas with high species richness and understanding the factors that determine this distribution provide both theoretical and practical advancements. Factors such as temperature, precipitation, and forest cover, which vary geographically, shape species diversity and reflect differences among ecological communities. These characteristics exemplify local ecological constraints, influencing metacommunity dynamics. The state of Acre, in the southwestern Brazilian Amazon, exemplifies significant climatic and environmental variation with diverse forest cover. Despite conservation efforts, 13% of the area has lost its original cover due to socioeconomic changes. Organisms such as ants, with high diversity and rapid response to environmental changes, are important ecological models due to their biomass, role in nutrient redistribution, and participation in several other ecosystem functions. Although the ant fauna of the Neotropical region has evolved in forest areas, some species tolerate greater environmental variations, being classified as generalists or specialists in open habitats. Thus, this thesis presents two original chapters organized as manuscripts to be submitted to scientific journals. Here, we investigated the diversity and distribution of ants in the southwestern Brazilian Amazon. We found that ant species richness is associated with increased forest cover, especially for forest specialists. This highlights the importance of forest cover conservation for maintaining ant biodiversity. Geographic distance was the primary factor in ant species composition, surpassing the influence of forest cover and precipitation, indicating that dispersal limitation is an important mechanism in community structuring. Metacommunity patterns showed that local communities were well-defined and structured by environmental gradients. Habitat use guilds exhibited distinct responses to ecological mechanisms. The results of this thesis are useful for guiding new conservation efforts and understanding the mechanisms that structure ant communities. By using habitat use specificity or affinity, we obtained a detailed view of species-specific responses to environmental changes. The conservation of forest cover is necessary to maintain the biodiversity of ant species and the fundamental ecological processes they perform, especially in deforested and fragmented areas such as the Amazon.

KEYWORDS: biodiversity; distribution; metacommunities; environmental gradients; habitat use guilds.

IMPACTOS SOCIAIS, TECNOLÓGICOS, ECONÔMICOS E CULTURAIS

O objetivo principal da tese foi identificar como as mudanças nas condições ambientais e na disponibilidade de recursos podem influenciar a diversidade de formigas em escalas espaciais regionais. Nesse contexto, nosso estudo representa o primeiro esforço documentado na região sudoeste da Amazônia brasileira para investigar os fatores que influenciam a diversidade de formigas em uma escala regional, considerando não apenas fatores climáticos, mas também o impacto da perda de cobertura florestal nos padrões de diversidade de formigas. Examinamos esse efeito em grupos de formigas com diferentes especificidades em relação as guildas de uso de habitat (especialistas de floresta, generalistas e especialistas de áreas abertas). Nossos achados fornecem informações valiosas sobre os padrões de diversidade e composição das formigas no sudoeste da Amazônia brasileira. Além disso, desenvolvemos diversos produtos relacionados a divulgação científica e comunicação pública da ciência, como um e-book intitulado “Formigas em cores”, com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre a fauna de formigas brasileira e tentar desmistificar as percepções negativas associadas a elas. Até a presente data, 472 pessoas baixaram o livro por meio de um questionário online, e mais de 1.295 pessoas acessaram o livro no ResearchGate (12 de julho de 2024). Participei também do podcast "Atiçando o Formigueiro" no episódio "Ciência para Além da Academia:

Popularizando o Conhecimento sobre Formigas", (<https://open.spotify.com/episode/2NQoREmKZoJAu59sg28DsL?si=m6dN6z3IRr6zdGmsk6BIL>), que teve um total de 54 acessos, com 92% de ouvintes do Brasil, 5% da Argentina e 2% da Austrália. Também contribuí para o desenvolvimento de jogos educativos, incluindo "Super Trunfo RESEX Chico Mendes", "Jogo da Memória - Descobrindo a Natureza", "Perfil Biológico – Explorando a Vida" e "Associação Ecológica – Descobrindo os Habitats". Esses jogos foram usados na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Rural Sandoval Batista de Araújo em agosto de 2022, envolvendo 150 estudantes do ensino fundamental em Assis Brasil, Acre. Além disso, participei do desenvolvimento do "Jogo da Memória - Formigas", disponível online (<https://drive.google.com/file/d/1JZKeSdjHA7wOW5yLg15YtJyMPJSaqChV/view>), e utilizado na mesma escola, alcançando 30 estudantes do ensino fundamental.

SOCIAL, TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND CULTURAL IMPACTS

The main aim of the thesis was to identify how changes in environmental conditions and resource availability can influence ant diversity at regional spatial scales. In this context, our study represents the first documented effort in the Southwestern Amazon region of Brazil to investigate the factors influencing ant diversity on a regional scale, considering not only climatic factors but also the impact of forest cover loss on ant diversity patterns. We examined this effect on ant groups with different habitat guilds (forest specialists, generalists, and open-area specialists). Our findings provide valuable insights into the diversity and composition patterns of ants in the Southwestern Amazon region of Brazil. Additionally, we developed several products related to scientific outreach and public communication of science, such as an e-book entitled "Formigas em Cores," aimed at expanding knowledge about Brazilian ant fauna and attempting to demystify negative perceptions associated with them. To date, 472 people have downloaded the book via an online questionnaire, and over 1,295 people accessed the book on ResearchGate (July 12, 2024). I also participated in the podcast "Atiçando o Formigueiro" in the episode "Ciência para Além da Academia: Popularizando o Conhecimento sobre Formigas," (<https://open.spotify.com/episode/2NQoREmKZoJAu59sg28DsL?si=m6dN6z3IRr6zdGmsk6BIL>) which had a total of 54 accesses, with 92% of listeners from Brazil, 5% from Argentina, and 2% from Australia. Furthermore, I contributed to the development of educational games, including "Super Trunfo RESEX Chico Mendes," "Jogo da Memória - Descobrindo a Natureza," "Perfil Biológico – Explorando a Vida," and "Associação Ecológica – Descobrindo os Habitats." These games were used at the Sandoval Batista de Araújo Rural Elementary and High School in August 2022, involving 150 elementary students in Assis Brasil, Acre. Additionally, I participated in the development of the "Jogo da Memória - Formigas,"(<https://drive.google.com/file/d/1JZKeSdjHA7wOW5yLg15YtJyMPJSaqChV/view>) available online, and used at the same school, reaching 30 elementary students.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	16
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2. REFERÊNCIAS	19
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	21
ARTIGO 1 - FOREST COVER AND GEOGRAPHIC DISTANCE SHAPE ANT COMMUNITIES IN THE SOUTHWEST BRAZILIAN AMAZON	22
ARTIGO 2 - PATTERNS AND MECHANISM OF METACOMMUNITY OF ANT ASSEMBLAGES IN SOUTHWESTERN BRAZILIAN AMAZON.....	66
3. CONCLUSÃO GERAL	86
4. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA	88

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

Compreender padrões de diversidade e distribuição de espécies em diferentes escalas espaciais é um dos principais objetivos da ecologia, tanto pela sua importância teórica quanto para o desenvolvimento de estratégias de conservação (Blackburn and Gaston, 2006). Identificar áreas com alta riqueza de espécies e entender os fatores subjacentes que determinam essa distribuição em diferentes escalas espaciais (Arruda et al., 2020; Deacon et al., 2020), promove um avanço teórico e prático sobre os principais determinantes da diferença na composição de espécies entre comunidades de uma região.

Extensas distribuições geográficas proporcionam uma vasta gama de condições ambientais às quais as populações são expostas e que direcionam as diferenças entre as comunidades locais (Sites and Marshall, 2004). Alguns fatores climáticos, como temperatura e precipitação, além de disponibilidade de recursos, que variam com a extensão geográfica, ajudam a moldar a diversidade de espécies em escalas regionais (Hawkins et al., 2003; Solar et al., 2016), refletindo na diferença entre as comunidades ecológicas de ecossistemas com diferentes características (Andersen et al., 2015). Estas características são as restrições ecológicas de cada local, que podem ser exemplificadas pela quantidade e variedade de recursos, condições e interações entre as espécies (Loreau, 2000).

Entender como fatores locais e regionais podem contribuir para a distribuição de espécies e assim influenciar na estrutura das comunidades é de extrema importância para a compreender a dinâmica das metacomunidades no tempo ou no espaço (Carolina et al., 2020; Dias-Silva et al., 2020). Dentre os diferentes processos que impulsionam a estrutura das metacomunidades, a filtragem de espécies (*species sorting*) e os efeitos de massa (*mass effects*) são os mais relatados (Cottenie, 2005), com ambos considerando a importância das condições ambientais. A distribuição de metacomunidades possui estreita relação com as condições ambientais locais e a capacidade de dispersão das espécies (Leibold et al., 2004), assim a heterogeneidade de uma região pode contribuir para que o ambiente molde a estrutura das metacomunidades locais.

O estado do Acre, no sudoeste da Amazônia brasileira, é um exemplo de região que apresenta uma considerável variação climática e ambiental, com grande diversidade nos tipos de formações florestais (Daly and Silveira, 2008). Embora a cobertura vegetal permaneça bem conservada devido a um sistema integrado de Unidades de Conservação e terras indígenas, nos últimos anos, com o avanço das mudanças socioeconômicas, 13% da área total do estado não possui mais a sua cobertura florestal original (Acre, 2010). O clima

do estado é caracterizado por uma significativa sazonalidade, precipitação relativamente baixa em comparação com o padrão amazônico e solos formados por sedimentos argilosos-arenosos da formação Solimões, que variam de ricos a pobres em nutrientes (Bardales et al., 2010).

Nesse contexto, o estudo de organismos que são modelo ecológico por apresentarem alta diversidade, ampla distribuição e responderem de maneira rápida e previsível às alterações ambientais e ecológicas (McGeoch, 1998) traz aplicação prática para a biologia da conservação. As formigas são consideradas bons modelos ecológicos, devido a sua alta biomassa (Wilson and Holldobler, 2005), seu papel fundamental na redistribuição de nutrientes (Griffiths et al., 2018) e estão envolvidas em uma ampla gama de funções ecossistêmicas, incluindo predação, herbivoria, dispersão de sementes e associações mutualísticas com outros organismos (Arnan et al., 2012). Apesar da maioria da fauna de formigas da região Neotropical ter sua evolução associada a áreas de florestas (Moreau and Bell, 2013), algumas espécies podem tolerar variações maiores nas condições ambientais, sendo classificadas como generalistas ou especialistas em habitats abertos (Dutra et al., 2023; Vasconcelos et al., 2018). A classificação das guildas de formigas com base na afinidade ao uso do habitat proporciona uma perspectiva mais clara de como essas mudanças afetam a composição da comunidade de formigas. Dado que as espécies respondem individualmente a novas condições, espera-se que os diferentes grupos de espécies de formigas por uso de afinidade de habitat tenham sua diversidade e distribuição afetadas de maneiras distintas por mudanças ambientais, sejam elas naturais (Vasconcelos et al., 2018) ou antrópicas (Dutra et al., 2023). Nesse sentido, esta tese apresenta dois capítulos originais organizados como manuscritos a serem submetidos a revistas científicas. O primeiro capítulo investiga os impulsionadores da diversidade de formigas em escala regional, considerando não apenas fatores climáticos, mas também o impacto da perda de cobertura florestal nos padrões de diversidade de formigas. O segundo capítulo explora os padrões e mecanismos de distribuição das espécies de formigas no sudoeste da Amazônia brasileira dentro de um contexto de metacomunidade. Além desses capítulos, a tese inclui esta introdução geral, a conclusão geral e os produtos de comunicação pública gerados ao longo do meu doutorado.

REFERÊNCIAS

- Acre, Governo do Estado, 2010. Programa estadual de zoneamento ecológico econômico do estado do acre, Fase II (escala 1:250,000): documento síntese. Rio Branco: **Secretaria Estadual de Meio Ambiente**, 152p
- Ahuatzin, D.A., Corro, E.J., Jaimes, A.A., Valenzuela González, J.E., Feitosa, R.M., Ribeiro, M.C., Acosta, J.C.L., Coates, R., Dáttilo, W., 2019. Forest cover drives leaf litter ant diversity in primary rainforest remnants within human-modified tropical landscapes. **Biodivers. Conserv.** 28, 1091–1107. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01712-z>
- Andersen, A.N., Del Toro, I., Parr, C.L., 2015. Savanna ant species richness is maintained along a bioclimatic gradient of increasing latitude and decreasing rainfall in northern Australia. **J. Biogeogr.** 42, 2313–2322. <https://doi.org/10.1111/jbi.12599>
- Annan, X., Molowny-Horas, R., Rodrigo, A., Retana, J., 2012. Uncoupling the Effects of Seed Predation and Seed Dispersal by Granivorous Ants on Plant Population Dynamics. **PLoS One** 7, e42869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042869>
- Arruda, D.M., Magnago, L.F.S., Solar, R.R.C., Duque-Brasil, R., Rodrigues, P.M.S., Santos, R.M., Schaefer, C.E.G.R., 2020. Soil and climate equally contribute to changes in the species compositions of Brazilian dry forests across 300 km. **J. Plant Ecol.** 13, 171–176. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtz059>
- Bardales, N.G., Rodrigues, T.E., Oliveira, H., Amaral, E.F., Araújo, E.A., Lani, J.L., Melo, A.W.F., Amaral, E.F., 2010. Formação, classificação e distribuição geográfica dos solos no Estado do Acre, in: Recursos Naturais: Geologia, Geomorfologia e Solos Do Acre. **SEMA**, Rio Branco, pp. 64–91.
- Blackburn, T.M., Gaston, K.J., 2006. There's more to macroecology than meets the eye. **Glob. Ecol. Biogeogr.** 15, 537–540. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00276.x>
- Carolina, M., Pablo, T., Gerardo Ruben, C., 2020. Changes in the roles of spatial and environmental processes in the structuring of rodent metacommunities. **Basic Appl. Ecol.** 45, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.03.001>
- Costa, M.M.S. da, Schmidt, F.A., 2022. Gamma, alpha, and beta diversity of ant assemblages response to a gradient of forest cover in human-modified landscape in Brazilian Amazon. **Biotropica** 54, 515–524. <https://doi.org/10.1111/btp.13073>
- Cottenie, K., 2005. Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics. **Ecol. Lett.** 8, 1175–1182. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>
- Daly, D.C., Silveira, M., 2008. Primeiro catálogo da flora do Acre, Brasil. **EDUFAC**, Rio Branco, AC.
- Deacon, C., Samways, M.J., Pryke, J.S., 2020. Determining drivers of dragonfly diversity patterns and the implications for conservation in South Africa. **Biol. Conserv.** 245, 108548. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108548>
- Dias-Silva, K., Brasil, L.S., Juen, L., Cabette, H.S.R., Costa, C.C., Freitas, P. V., de Marco, P., 2020. Influence of Local Variables and Landscape Metrics on Gerromorpha

- (Insecta: Heteroptera) Assemblages in Savanna Streams, Brazil. **Neotrop. Entomol.** 49, 191–202. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00748-8>
- Dutra, D.B. de S., Feitosa, R.M., Jory, T.T., da Silva Sales, F.M., Fontenele, L.K., da Costa, M.M.S., Schmidt, F.A., 2023. Ant habitat-use guilds response to forest-pasture shifting in the southwestern Amazon. **J. Insect Conserv.** <https://doi.org/10.1007/s10841-023-00544-1>
- Griffiths, H.M., Ashton, L.A., Walker, A.E., Hasan, F., Evans, T.A., Eggleton, P., Parr, C.L., 2018. Ants are the major agents of resource removal from tropical rainforests. **J. Anim. Ecol.** 87, 293–300. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12728>
- Hawkins, B.A., Field, R., Cornell, H. V., Currie, D.J., Gan, J.-F.G., Kaufman, D.M., Kerr, J.T., Mittelbach, G.G., Oberdorff, T., O'brien, E.M., Porter, E.E., 2003. ENERGY, WATER, AND BROAD-SCALE GEOGRAPHIC PATTERNS OF SPECIES RICHNESS BRADFORD. **Ecology** 84, 3105–3117.
- Leibold, M.A., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J.M., Hoopes, M.F., Holt, R.D., Shurin, J.B., Law, R., Tilman, D., Loreau, M., Gonzalez, A., 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. **Ecol. Lett.** 7, 601–613. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x>
- Loreau, M., 2000. Are communities saturated? On the relationship between alpha, beta and gamma diversity. **Ecol. Lett.** 3, 73–76. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00127.x>
- McGeoch, M.A., 1998. The selection , testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biol. Rev.** 73, 181–201. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1997.tb00029.x>
- Moreau, C.S., Bell, C.D., 2013. Testing The Museum Versus Cradle Tropical Biological Diversity Hypothesis: Phylogeny, Diversification, And Ancestral Biogeographic Range Evolution Of The Ants. **Evolution** (N. Y). 67, 2240–2257. <https://doi.org/10.1111/evo.12105>
- Paolucci, L.N., Solar, R.R.C., Sobrinho, T.G., Sperber, C.F., Schoereder, J.H., 2012. How does small-scale fragmentation affect litter-dwelling ants? The role of isolation. **Biodivers. Conserv.** 21, 3095–3105. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0356-5>
- Sites, J.W., Marshall, J.C., 2004. Operational Criteria for Delimiting Species. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.** 35, 199–227. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130128>
- Solar, R.R. de C., Barlow, J., Andersen, A.N., Schoereder, J.H., Berenguer, E., Ferreira, J.N., Gardner, T.A., 2016. Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. **Biol. Conserv.** 197, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.03.005>
- Vasconcelos, H.L., Maravalhas, J.B., Feitosa, R.M., Pacheco, R., Neves, K.C., Andersen, A.N., 2018. Neotropical savanna ants show a reversed latitudinal gradient of species richness, with climatic drivers reflecting the forest origin of the fauna. **J. Biogeogr.** 45, 248–258. <https://doi.org/10.1111/jbi.13113>
- Wilson, E.O., Holldobler, B., 2005. The rise of the ants: A phylogenetic and ecological explanation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102, 7411–7414. <https://doi.org/10.1073/pnas.0502264102>

SEGUNDA PARTE**ARTIGOS**

ARTIGO 1**FOREST COVER AND GEOGRAPHIC DISTANCE SHAPE ANTCOMMUNITIES IN
THE SOUTHWEST BRAZILIAN AMAZON**

Versão preliminar submetida em 21 de julho de 2024 na revista
Biodiversity and Conservation

**FOREST COVER AND GEOGRAPHIC DISTANCE SHAPE ANT ASSEMBLAGES
THE SOUTHWEST BRAZILIAN AMAZON FOREST**

Marília Maria Silva da Costa*¹, Fernando A. Schmidt ², Icaro Wilker¹, Chaim José Lasmar¹, Carla Rodrigues Ribas^{1,3}

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Departamento de Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil

Corresponding author*: mariliamcostta@gmail.com

²Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, AC, Brasil

³Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

ORCID ID:

Marília Maria Silva da Costa (0000-0002-1130-0063)

Fernando Augusto Schmidt (0000-0002-3722-5196)

Icaro Wilker (0000-0002-3951-0759)

Chaim José Lasmar (0000-0002-7710-4161)

Carla Rodrigues Ribas (0000-0002-9781-0450)

ABSTRACT

Understanding the factors affecting species richness and composition in local communities is crucial for discerning differences among communities in a specific region. In large regions, a variety of environmental conditions shape diversity, reflecting the peculiarities of each location, such as available resources and species interactions. While many species are associated with forest habitats, some can adapt to open environments, reflecting how environmental changes affect ant assemblages. The southwestern Brazilian Amazon stands out for significant contrasts in precipitation and forest cover, with the drier and deforested east compared to the wetter and forested west. Thus, we investigated how precipitation, forest cover and spatial distance influence ant species richness and composition. We conducted the study in the state of Acre, selecting 16 collection areas. We collected 365 species, of which 151 were classified based on their habitat use. We observed that increased forest cover is directly related to increased ant species richness, especially for forest specialists, highlighting the sensitivity of these species to forest habitat loss or gain. Additionally, we found that spatial distance between communities plays a significant role in explaining variance in ant diversity, surpassing the influence of forest cover. However, species composition is still influenced by variability in forest cover and precipitation, even when controlling for geographical distance. Our results provide important insights into ant diversity and composition in the Amazon. We emphasize the importance of considering the different responses of ants to environmental factors, using habitat use guilds, to guide effective biodiversity conservation measures in the region.

KEYWORDS: Beta diversity; Habitat use guilds; Neotropical region; Precipitation. Species richness.

1. Introduction

Understanding the drivers of species richness and species composition among local communities within a common region is a central goal of macroecology (Blackburn and Gaston 2006; Gotelli et al. 2009; Martins et al. 2021; Jiménez-Alfaro et al. 2023). The identification of areas with high species richness and the identification of underlying factors influencing this distribution (Leach et al. 2016; Deacon et al. 2020; Arruda et al. 2020) not only offer theoretical advances in understanding the differences in species composition among communities but also provide practical insights to guide conservation strategies, especially in the face of increasing habitat loss (Arantes et al. 2018; Macedo-Reis et al. 2019; Pyles et al. 2020; Farneda et al. 2020).

While precipitation and temperature are widely recognised as primary drivers of local diversity across taxa (Gotelli et al. 2009; Prather et al. 2020; Korell et al. 2021), their influence is not always readily apparent, especially in studies considering limited climatic variation due to their reduced scale (Field et al. 2009). However, in extensive geographical regions, a broader array of environmental conditions exist to which populations are exposed, influencing differences among local communities (Sites and Marshall 2004). Factors, such as land cover, climatic variables, and geographical characteristics that vary across geographic extents, contribute to shaping species diversity on large spatial scales (Hawkins et al. 2003; Solar et al. 2016), reflecting differences among ecological communities in ecosystems with distinct characteristics (Andersen et al. 2015). These characteristics represent the ecological constraints of each location, exemplified by the quantity and variety of resources, conditions, and interactions among species (Loreau 2000).

Ants, owing to their high diversity, wide distribution, and rapid, predictable response to environmental and ecological changes, have been utilised as biological models in studies of ecology, macroecology, biogeography, and conservation biology (Wilson and Holldobler 2005; Lach et al. 2010; Griffiths et al. 2018). Thus, the diversity of ant species on a global scale is determined by climate and landscape characteristics (Arnan et al. 2015; Andersen et al. 2015; Silva et al. 2018; Castro et al. 2020; Dantas and Fonseca 2023). In the Neotropical region (e.g., Atlantic Forest, Amazon forest, and *Cerrado* – Brazilian savanna), factors such as altitude,

precipitation, and temperature have been identified as drivers of ant species diversity at regional scales (Silva and Brandão 2010; Vasconcelos et al. 2018; Lasmar et al. 2021a, b).

Although ant diversification in the Neotropical region is primarily associated with forest habitats (Moreau and Bell 2013), some species can tolerate more open habitats, making them generalists, while a few are specialists in open habitats (BAH! 2023). These habitat use guilds offer a clearer perspective on how environmental changes, whether natural (Vasconcelos et al. 2018) or anthropogenic (Martins et al. 2022; Dutra et al. 2023), affect the composition of ant assemblages. Forest specialist ants are more sensitive to changes in land use and habitat opening, reducing their richness in areas with low forest cover (Martins et al. 2022; Dutra et al. 2023). However, open habitat specialists and generalists tend to increase species richness in environments with a lower proportion of forest cover (Martins et al. 2022).

In addition to exhibiting extensive climatic and vegetation variation, the Brazilian Amazon, the largest continuous area of tropical rainforest globally (Artaxo 2023), is also a landscape in constant transformation, marked by a prominent deforestation gradient (INPE 2023) that holds crucial implications for global climate change (Monteverde et al. 2022; Papastefanou et al. 2022). These changes are driven by land-use conversion systems and the abandonment of areas previously dedicated to agriculture and pastures (Chaddad et al. 2022, Nunes et al. 2022). Its southwestern portion, specifically in the state of Acre, is a notable example of a region with marked differences in both precipitation and forest cover (Acre 2010). This variation is notable, ranging from the east, where the region is drier, to the west, where it becomes more humid (Duarte 2006). The same applies to the proportion of forest cover, with the eastern region experiencing more pronounced deforestation than the western region (Acre 2010; INPE 2023).

Despite being recognised as one of the most extensive and biodiverse forests, the Amazon harbours vast areas that remain unsampled for taxa (Carvalho et al. 2023). In this context, our study represents the first documented effort in the region (Schmidt et al. 2020) to investigate the drivers of ant diversity at a regional scale, considering not only climatic factors but also the impact of forest cover on ant diversity patterns. Our objective was to examine the influence of precipitation and forest cover proportion

on ant species richness and composition. We expected a positive effect of forest cover and precipitation on ant species richness (Vasconcelos et al. 2018; Costa and Schmidt 2022; Parr and Bishop 2022). Additionally, we examined this effect for habitat use guilds, where forest specialist richness should respond positively to increased precipitation and forest cover, open habitat specialists should respond negatively, and generalists should not exhibit a great response (Martins et al. 2022; Dutra et al. 2023). For ant species composition, we expected to observe differences among the sampled ant assemblages, driven by variations in precipitation levels and forest cover proportions (Costa and Schmidt 2022). However, differences in species composition between two assemblages may also be influenced solely by the spatial distance between them (Soininen et al. 2018; Martins et al. 2022). Thus, we determined whether the change in species composition among ant assemblages was due to climatic and forest cover differences or the spatial distance among them.

2. Materials and Methods

2.1. Study site

We conducted our study in the state of Acre, which is in the southwestern Brazilian Amazon. Acre exhibits considerable climatic and environmental variation, with its vegetation organised along this geographical gradient, providing the state with a wide diversity of forest types (Daly and Silveira 2008; Daly et al. 2016). This diversity ranges from upland forests with bamboo and palms and dense forests with continuous canopy to vegetation complexes on white sand, known as 'campinas' and 'campinaranas' (Acre 2010, Silveira 2005). The state has an equatorial climate that is hot and humid, with an average annual precipitation of 2,200-2,500 mm, with January being the rainiest month and July the driest (Alvares et al. 2013). The soils of the state are predominantly clay–sandy sediments from the Solimões Formation, covering almost the territory (80%), except for the northwestern region where Palaeozoic and Mesozoic rocks predominate (Bardales et al. 2010, Acre 2010). The relief of Acre is predominantly flat, with little altitude variation throughout the state, ranging from approximately 300 metres at the international borders to just over 110 metres at the boundaries with the State of Amazonas (Acre 2010). The hydrography of the state is characterised by the presence of four major basins—Acre, Purus, Juruá, and

Tarauacá—flowing towards the Amazon (Acre 2010), which were used to guide collection logistics throughout the state.

2.2. Sampling design

The sampling areas (16) (Table 1 – Supplementary Material) were delineated from east to west in the state of Acre to achieve a geographically representative range (Figure 1) and capture the respective bioclimatic variations and forest cover changes in the study region.

Ant sampling was carried out from 2014 to 2019, occurring in the dry season (between May and August) and in the rainy season (between December and March). This logistical approach was necessary because some areas are accessible only by land, which becomes nearly impossible during the rainy season. Conversely, other areas are accessible only by rivers, and during the dry season, the river levels become too low, causing access to be challenging.

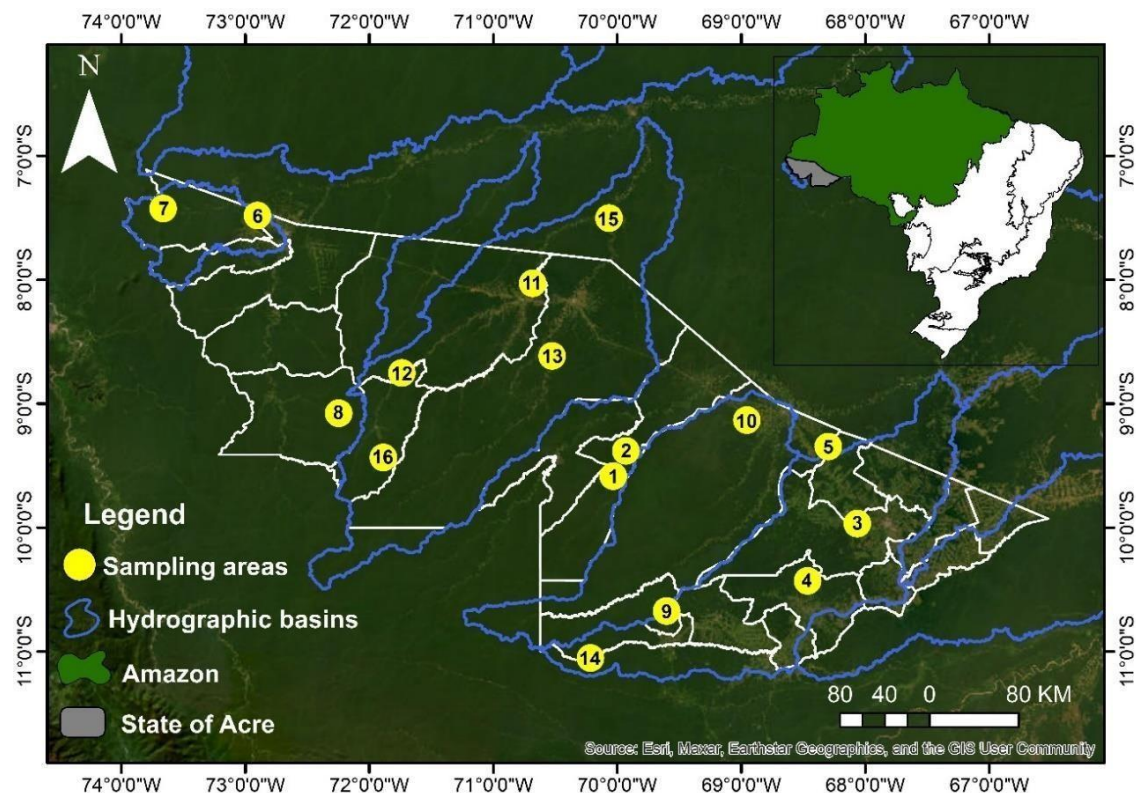


Figure 1. Geographical distribution of the sampling areas throughout the state of Acre, southwestern Brazilian Amazon. The samplings were carried out from 2014 to 2019. Area 1 was the first sample, and area 16 was the last.

2.3. Sampling and identification of ants

The sampling areas were in a forest habitat with a high level of canopy cover

(previously checked in Google Earth®) and a high level of conservation (according to reports by residents). In each sampling area, 10 plots were distributed along a transect of 200 m. The plots had an area of 25 m², and they were 20 m apart.

In each plot, we installed a pitfall trap on the ground surface, one on the tree trunks, and one underground (Bestelmeyer et al. 2000; Ribas et al. 2003; Schmidt and Solar 2010) and collected a 1 m² litter sample (Bestelmeyer et al. 2000). The pitfall traps consisted of 300 ml plastic containers containing a lethal solution composed of water, glycerol (5%), and salt (0.9%), which remained in the field for 48 hours. Ants present in the litter sample were collected using a mini-Winkler extractor, involving a 48-hour fauna extraction period (Bestelmeyer et al. 2000). The ants collected in both the pitfall traps and the litter together formed the ant sample for each plot, while the ants collected in the ten plots formed the ant assemblage for each sampling area, which resulted in 16 sample units.

All the sampled ants were stored in containers with 90% alcohol for sorting, mounting, and identification in the laboratory. Specimens of each morphospecies from each sample were separated for mounting, forming a physical collection and project voucher specimens.

We used the taxonomic keys available in Baccaro et al. (2015) to identify the ants. Ants belonging to the same genus were separated into morphospecies based on the similarity of their external morphology. Species-level identification was conducted at the Museum of Zoology, University of São Paulo – MZUSP, through comparisons with specimens from the Ant Collection of the Insect Ecology Laboratory, Federal University of Acre – UFAC. Species-level determinations were carried out by Mônica Ulyseá, Lívia Prado, Otávio Silva, Victor Nagatani, and Esperidião Santos Neto. All collected ants were deposited in the Ant Collection of the Insect Ecology Laboratory at UFAC.

2.4. Set of variables

To obtain precipitation data, we selected the following bioclimatic variables: annual precipitation, precipitation of the wettest month, and precipitation of the driest month, considering that precipitation is reported as an influencing factor on ant richness (Vasconcelos et al. 2018; Parr and Bishop 2022) (Table 2 – Supplementary Material). We manually extracted values of bioclimatic variables from each raster using the "extract" function from the R package "raster" (Hijmans 2020). This process

involved obtaining values using the geographical coordinates of the sampling areas as reference points. The bioclimatic variables consisted of sets of raster layers with a spatial resolution of 1 km², which are available in WorldClim (Fick and Hijmans 2017).

To assess the forest cover surrounding the sampling areas, we measured the proportion of forest cover based on land use and land cover maps provided by MapBiomas (2024) using the "*multi.land.mtrc*" function in the R package "*spatialEco*" (Evans 2021). To do this, we created a buffer with a radius of 500 metres from the central point of the transect. This radius was chosen because it represents a biologically relevant geographic area for ants to interact with landscape elements through alate dispersal (Hölldobler and Wilson 1990) and for the coexistence of ant species in the area and their ability to disperse between habitat types (Spiesman and Cumming 2008; Schmidt et al. 2017). The extraction of the described variables was performed in R version 4.3.0 (R Core Team 2023).

2.5. *Habitat-use guilds definition*

To classify the ant fauna according to habitat-use guilds, we considered only ants identified at the species level. This decision was made because ants identified at the species level provided more precise information about their habitat preferences, enabling more reliable classification. Initially, we assessed the habitat-use guilds provided by the BAH (2023). For ant species whose habitat-use guilds were not available, we applied the method proposed by Dutra et al. (2024).

2.6. *Data analysis*

All analyses were performed in the R program version 4.3.0 (R Core Team 2023). Initially, we tested the normality of the data using the Shapiro–Wilk normality test. Subsequently, we performed Spearman correlation tests among the three bioclimatic variables: annual precipitation (Bio 12), precipitation of the wettest month (Bio 13), and precipitation of the driest month (Bio 14). We established a reference criterion of 0,7 ($p < 0,05$) for correlation, meaning that if the correlation between variables exceeded this value, we opted to select the variable we considered biologically more capable of explaining the observed patterns and having its use reported in previous studies (Vasconcelos et al. 2018).

We found a high correlation between annual precipitation (Bio 12) and

precipitation in the wettest month (Bio 13) (0,94). Therefore, we decided to use only annual precipitation, as it was reported as an explanatory variable with a large influence on ant diversity at the regional scale (Vasconcelos et al. 2018). Additionally, we considered the precipitation of the driest month as an explanatory variable in the models, as it weakly correlated with annual precipitation (0,64).

To assess the influence of annual precipitation, precipitation in the driest month, and forest cover on total ant species richness, we constructed generalised linear models (GLMs). We used the total ant species richness found in each sampling area as the response variable and annual precipitation, precipitation of the driest month, and forest cover proportion as explanatory variables. This model had a Poisson error distribution, and due to overdispersion observed in the residual analysis, we used a negative binomial error distribution (Crawley 2013).

We utilized the *backwards selection regression* approach for model simplification. Finally, if any explanatory variable significantly influenced the total species richness or the species richness of habitat-use guilds, we tested which model best explained this relationship: the linear model or the "broken stick" model with a threshold. We used Akaike's information criterion (AIC), obtained through the R package "AICcmodavg" (Mazerolle 2023), as the selection criterion. If the difference between the AICs was greater than two, we chose the model with the lowest AIC. If the difference was less than two, both models explained equally; thus, we opted for the simpler model.

To estimate the species composition of ants, we calculated β diversity per area based on differences between them using the Sørensen dissimilarity index, obtained through the R package "*betapart*" (Baselga 2010) and utilising the 'beta.pair' function. The Sørensen dissimilarity index is a measure that ranges from identical sets (0) to completely different sets (1). We also partitioned β_{sor} into its components, turnover (β_{sim}) and nestedness (β_{nes}), through the R package 'betapart', where β_{sim} and β_{nes} range from 0 (0%) to 1 (100%), indicating their relative contributions to β_{sor} . β_{sim} refers to species replacement, and β_{nes} refers to species gain or loss (Baselga 2010). We used partial Mantel tests to evaluate whether differences in forest cover, annual precipitation, precipitation in the driest month, and spatial distance between sampling areas influenced β_{sor} diversity and its components β_{sim} and β_{nes} (Legendre and Legendre 2012).

We individually estimated differences in annual precipitation, precipitation in

the driest month, and forest cover with the Euclidean distance of these variables between pairs of sampling locations, generating three matrices, one for each analysed variable. We estimated spatial distance as the Euclidean distance between pairs of sampling locations using longitude and latitude in decimal degrees.

We ran a partial Mantel test to estimate the effect of a predictor matrix (differences in annual precipitation, precipitation of the driest month, forest cover, or spatial distance) on a response matrix ($\beta_{s\sigma}$ dissimilarities, β_{sim} , or β_{sne}) while controlling for the effect of a third matrix (differences in annual precipitation, precipitation of the driest month, spatial dissimilarity, or differences in forest cover) (Legendre and Legendre, 2012). We estimated the partial Mantel association with Pearson's coefficient and assessed its significance with 9,999 permutations. We calculated partial Mantel tests separately for each response matrix for $\beta_{s\sigma}$, β_{sim} , or β_{sne} dissimilarities.

We used variation partitioning to assess the contributions of differences in annual precipitation, precipitation in the driest month, forest cover, and spatial distances between sampling areas to calculate the proportion of variance in the dissimilarity indices of multiple sites. To do this, we performed variation partitioning with distance-based redundancy analysis (dbRDA; Legendre and Anderson 1999) using dissimilarities of multiple sites as the response matrix and differences in annual precipitation, precipitation of the driest month, forest cover, and longitude of the sampling location as explanatory matrices. Similar to the partial Mantel test described above, we estimated the individual effect of each explanatory matrix on the response matrix, controlling for the effects of the other explanatory matrix. We described spatial distance only with longitude to avoid collinearity between latitude and longitude in the dbRDA. We assessed the significance of individual fractions with 9,999 permutations.

3. Results

3.1. *Ant fauna and habitat-use guilds*

We collected 365 ant species, 41% of which were identified at the species level and 59% of which were morphospecies. The ant species belonged to 59 genera and were distributed across eight subfamilies, with Myrmicinae being the subfamily with the greatest number of species (215 species), followed by Formicinae (50), Ponerinae

(45), Dolichoderinae (21), Ectatomminae (17), Dorylinae (7), Pseudomyrmecinae (6), Amblyoponinae (2), Proceratiinae (2), and Paraponerinae (1). Among the collected species, *Pseudomyrmex crudelis*, *Strumigenys longispinosa*, *Strumigenys gundlachi* and *Stegomyrmex connectens* were recorded for the first time in Brazil (Janicki et al. 2023). Additionally, we recorded 30 new species in the State of Acre (Table 3 – SupplementaryMaterial).

We classified 151 ant species based on their habitat use, where 102 species were identified as forest specialists, 45 species were identified as generalists, and four species were identified as open-area specialists. However, two species could not be classified due to a lack of available information: *Apterostigma jubatum* Wheeler, 1925, and *Paratrachymyrmex diversus* (Mann, 1916).

3.2. *Ant species richness*

The total species richness of ants varied from 39 to 100 species per sampling area ($62,31 \pm 20,87$ species). Among the set of explanatory variables (annual precipitation, precipitation of the driest month, and forest cover), we found only a positive relationship between total ant species richness and percentage of forest cover ($\chi^2_{(1,14)} = 6,63$; $p < 0,01$; Figure 2). When assessing which model, linear or “*broken stick*”, best described the relationship between forest cover and total ant species richness, we observed that the difference in the AIC between the two models was greater than two (Figure 1 – Supplementary Material). Given this difference, we opted for the model with the lowest AIC, which was the linear model.

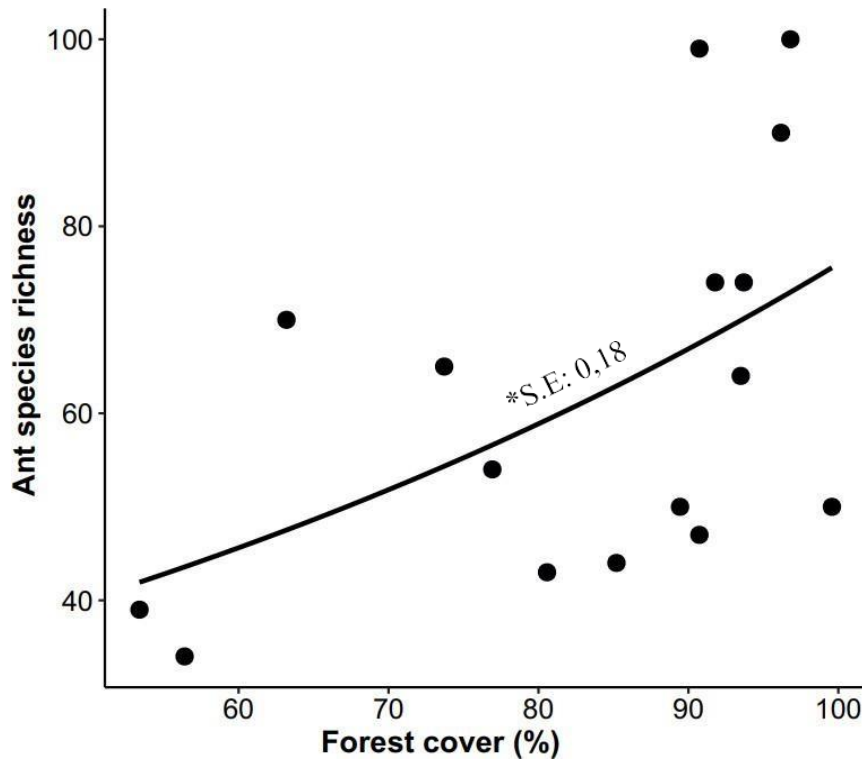


Figure 2. Relationship between total ant species richness and forest cover proportion ($\chi^2_{(1,14)} = 6.63$; $p < 0.01$; $R^2 = 0.294$). Acre, southwestern Brazilian Amazon. *S. E: Standardised estimate.

Considering the 151 species classified according to their habitat-use guilds, the ant species richness of forest specialists ranged from 8 to 32 (19.94 ± 6.32 species), the generalist species richness ranged from 4 to 16 (10.12 ± 3.18 species), and the open-areaspecialist species richness ranged from 0 to 2 (0.62 ± 0.62 species).

According to the model constructed to verify the effects of annual precipitation, precipitation in the driest month, and forest cover on the species richness of ant habitat- use guilds, only forest cover ($F_{(1,46)} = 4.31$; $p < 0.03$), habitat-use guilds ($F_{(2,44)} = 366.59$; $p < 0.05$) and the interaction ($F_{(2,42)} = 8.92$; $p < 0.01$) between these two factors significantly affected species richness. Thus, forest ant specialists increased the species richness with forest cover, but open-area ants and generalists decreased (Figure 3).

When evaluating which model, linear or "*broken stick*," best describes the relationship between forest cover and the species richness of habitat-use guilds (forest specialists, open-area specialists, and generalists), the difference in AIC between the models was greater than two. For forest specialist species, the AIC of the linear model

was 108,245, and for the "broken stick" model, it was 111,756 (Figure 2 - SupplementaryMaterial). For the open-area specialist species, the AIC of the linear model was 32,392, and for the "broken stick" model, it was 35,556 (Figure 3 - Supplementary Material). Based on this analysis, we opted for the model with the lowest AIC, which was the linearmodel. For generalist species, the difference between the models was less than two, withthe AIC value for the linear model being 89,092 and the AIC for the "broken stick" modelbeing 89.703 (Figure 4 - Supplementary Material). Therefore, both models explained things equally, and we chose the linear model.

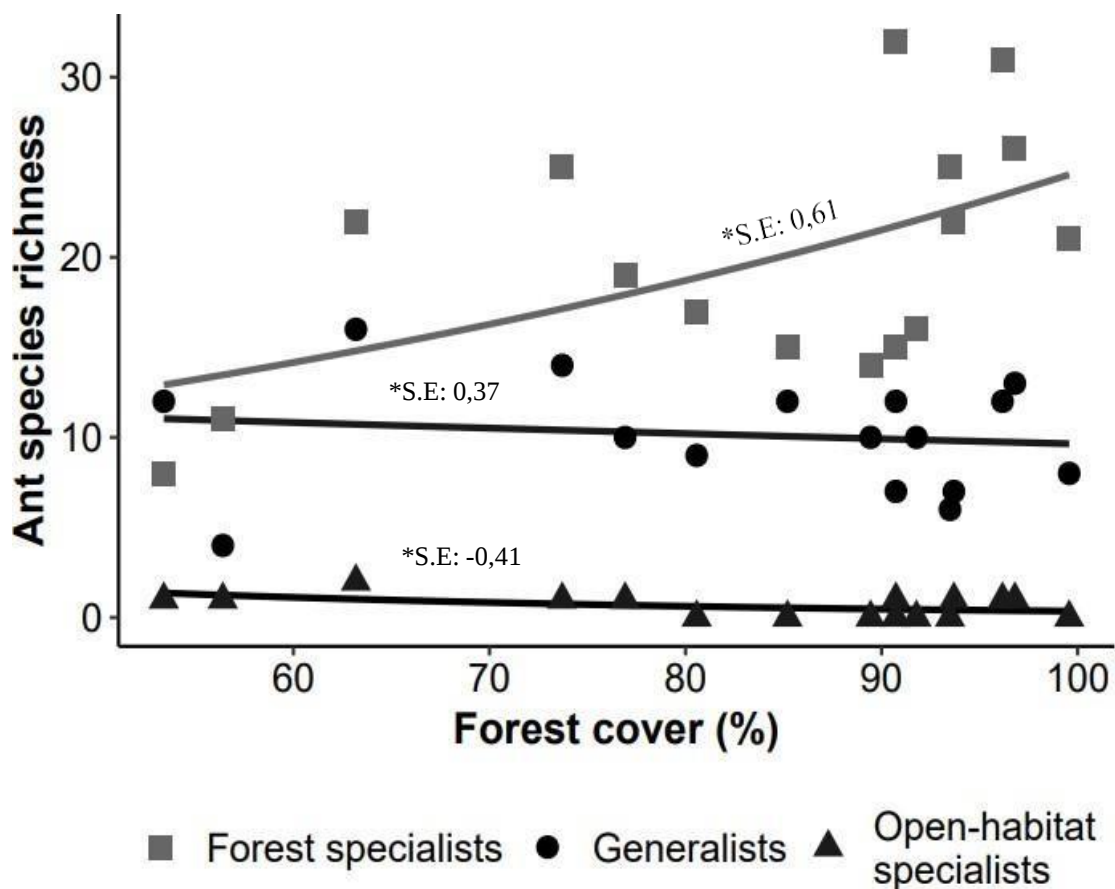


Figure 3. Species richness of three habitat-use ant guilds with forest cover proportions in the southwestern Brazilian Amazon. Effects on ant species ($F_{(2,42)} = 8,92$; $p < 0,01$). *S. E: Standardised estimate. Squares: forest specialists; circles: generalists; triangles: open area specialists.

3.3. *Ant species composition*

The β_{sor} diversity ranged from 0,64 to 0,92 ($0,77 \pm 0,06$), while its turnover component (β_{sim}) ranged from 0,41 to 0,86 ($0,71 \pm 0,08$), and its nestedness component (β_{sne}) ranged from zero to 0,25 ($0,04 \pm 0,04$), suggesting that a large

portion of the dissimilarity was due to species turnover areas among the ant assemblages. We found a positive correlation between β_{sne} and forest cover (Figure 4 C) and between β_{sne} and precipitation in the driest month (Figure 5 F) when controlling for spatial distance (Table1). This meant that the difference in species composition between ant assemblages due to differences in forest cover and rainfall in the dry season among sampled areas occurred due to the nestedness component. We also found that the greater the spatial distance between sampling areas was, the greater the β_{sim} (Figure 4 F) while controlling for differences in precipitation in the driest month (Table 1). This meant that as the distance between locations increased, species communities became more distinct from each other, driven by the species turnover component even when conditions of rainfall in the driest month were similar.

Table 1. The partial Mantel test was used to evaluate the relationships between forest cover differences and $\beta_{s\sigma r}$, β_{sim} , and β_{sne} dissimilarities across sites while controlling for spatial distance [$r M (ForCov | Spa)$] (Figure 4 A, B, and C) and between spatial distance and $\beta_{s\sigma r}$, β_{sim} , and β_{sne} dissimilarities across sites while controlling for forest cover differences [$r M (Spa | ForCov)$] (Figure 4 D, E, and F). We also assessed the relationships between annual precipitation differences and differences in precipitation in the driest month among sites and between $\beta_{s\sigma r}$, β_{sim} , and β_{sne} dissimilarities across sites while controlling for spatial distance [$r M (Bio12 | Spa)$; $r M (Bio14 | Spa)$] (Figures 5 A, B, C, D, E, and F) and between spatial distance and $\beta_{s\sigma r}$, β_{sim} , and β_{sne} dissimilarities across sites while controlling for differences in annual precipitation (Bio 12) and precipitation in the driest month (Bio 14). Statistically significant partial Mantel correlations ($r M$) are in bold. ForCov: forest cover and Spa: spatial distance.

Response Matrix	Forest Cover Difference	P	Difference in Bio 12	P	Difference in Bio 14	P
	$r M (ForCov Spa)$		$r M (Bio12 Spa)$		$r M (Bio14 Spa)$	
Bσr	-0,01869	0,5588	-0,000165	0,4969	-0,2016	0,9038
Bsim	-0,1542	0,8947	-0,07995	0,7508	-0,3211	0,9915
Bsne	0,2462	0,0294	0,1396	0,1104	0,3058	0,0125
	$r M (Spa ForCov)$		$r M (Spa Bio12)$		$r M (Spa Bio14)$	
Bσr	0,04755	0,3502	0,0463	0,3347	0,17	0,06
Bsim	0,02306	0,4319	0,05074	0,3251	0,2386	0,0094
Bsne	0,02118	0,3871	-0,03005	0,5868	-0,1982	0,9922

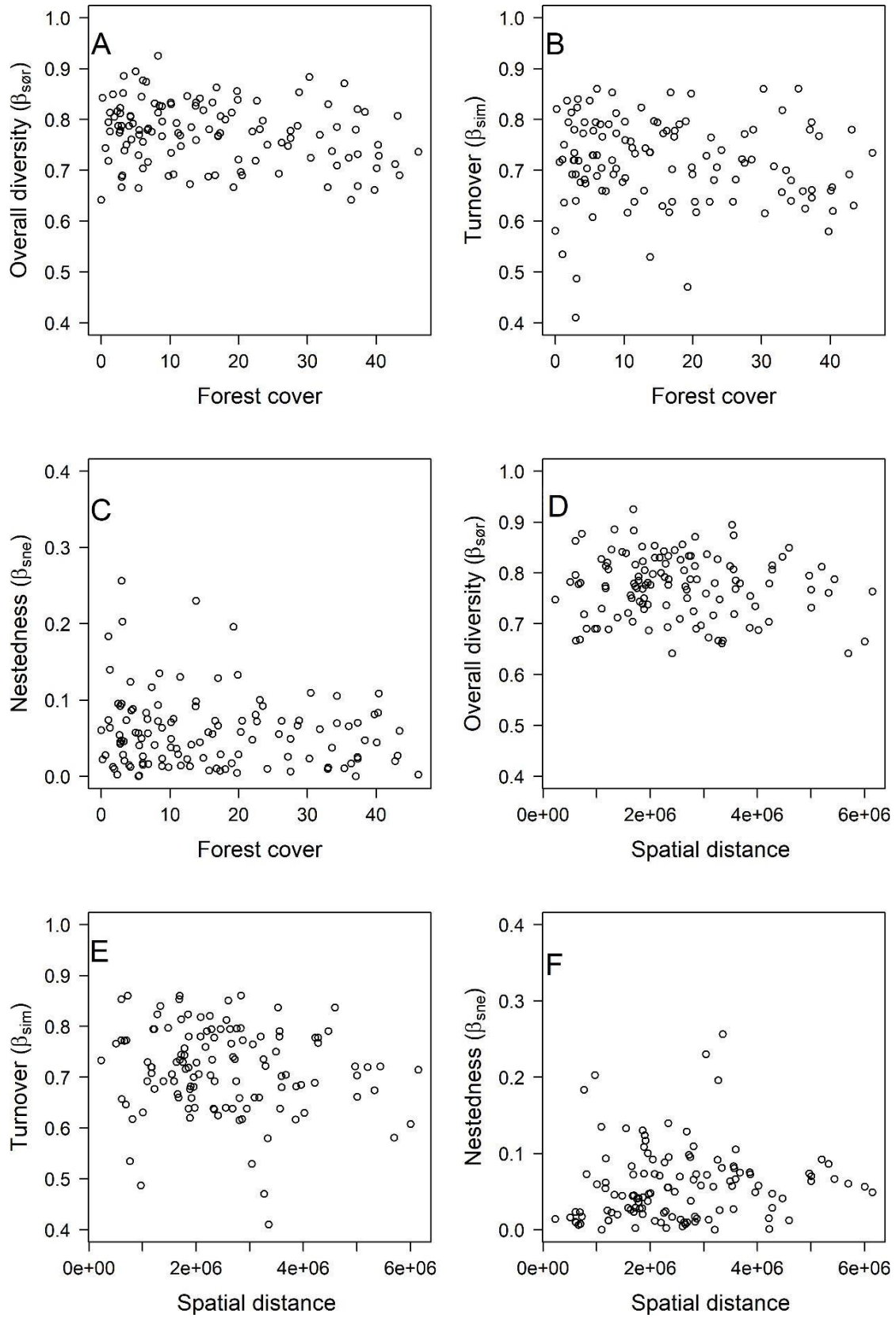


Figure 4. Relationships between forest cover differences (A, B, C) or spatial distances (D, E, F) and β_{sor} dissimilarity (A, D), β_{sim} (B, E), and β_{sne} (C, F).

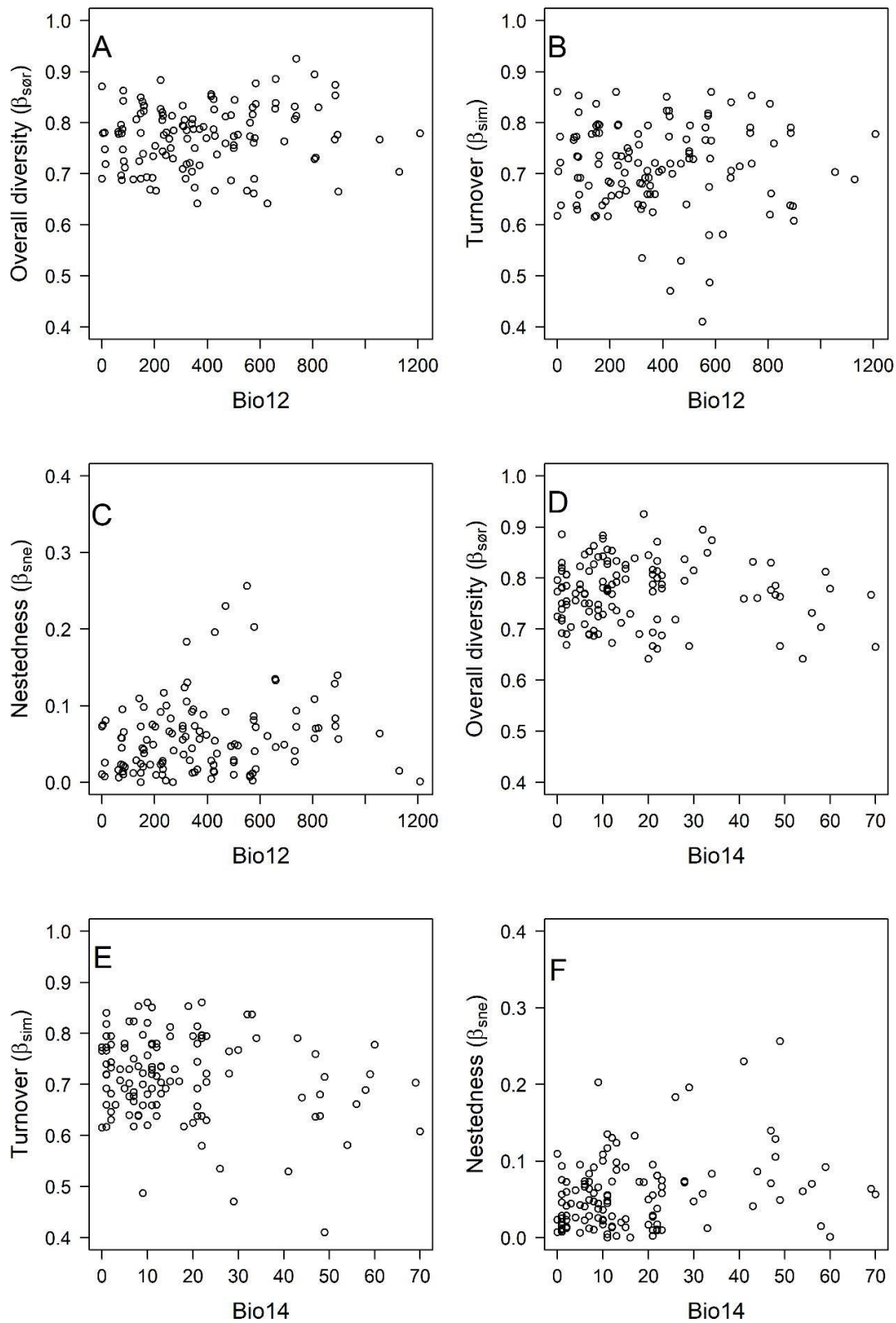


Figure 5. Relationship between the difference in annual precipitation (Bio 12) (A, B, C) or precipitation of the driest month (Bio 14) (D, E, F) and β_{sor} dissimilarity (A, D), β_{sim} (B, E), and β_{sne} (C, F).

Spatial distance explained a greater proportion of the variance in β_{sor} diversity and its turnover component (β_{sim}) than forest cover did (Table 2). We also observed that spatial distance, when controlling for annual precipitation (Bio12), also explained a greater proportion of the variance in β_{sor} diversity (Table 2). This suggested that the geographical allocation of the studied areas were more crucial in explaining changes in ant species composition than forest cover and precipitation. However, for the nestedness component (β_{sne}), differences in forest cover, annual precipitation, precipitation of the driest month, and spatial distance did not explain the variance proportion.

Tabela 2. Variation partitioning assessing the individual and shared contributions of forest cover differences and β_{sor} diversity and its components β_{sim} and β_{sne} while controlling for spatial distance (ForCov | Lon) and between spatial distance and β_{sor} diversity and its components β_{sim} and β_{sne} while controlling for forest cover differences (Lon | ForCov). Individual and shared contributions of annual precipitation difference (Bio12) and β_{sor} diversity and its components β_{sim} and β_{sne} while controlling for spatial distance (Lon | Bio12) and between spatial distance and β_{sor} diversity and its components β_{sim} and β_{sne} while controlling for annual precipitation difference (Bio12 | Lon). Individual and shared contributions of the differences in the precipitation of the driest month (Bio14) and β_{sor} diversity and its components β_{sim} and β_{sne} while controlling for spatial distance (Lon | Bio14) and between spatial distance and β_{sor} diversity and its components β_{sim} and β_{sne} while controlling for the differences in precipitation of the driest month (Bio14 | Lon). Statistically significant adjusted coefficients of determination (R^2 adj) are in bold. ForCov: forest cover; Lon: spatial distance.

Response matrix	Explanatory matrix	R^2 adj	P
Bsor (total)	ForCov Lon	0,05728	0,648
Bsor (total)	Lon ForCov	0,08888	0,038
Bsor (total)	Shared fraction	0,14880	
Bsim (turnover)	ForCov Lon	0,03702	0,878
Bsim (turnover)	Lon ForCov	0,10261	0,02
Bsim (turnover)	Shared fraction	0,14717	
Bsne (nestedness)	ForCov Lon	0,41119	0,08
Bsne (nestedness)	Lon ForCov	0,04229	0,621
Bsne (nestedness)	Shared fraction	0,34008	
Bsor (total)	bio12 Lon	0,07142	0,354
Bsor (total)	Lon bio12	0,08888	0,065
Bsor (total)	Shared fraction	0,15834	
Bsim (turnover)	bio12 Lon	0,07847	0,225
Bsim (turnover)	Lon bio12	0,10261	0,032
Bsim (turnover)	Shared fraction	0,17982	
Bsne (nestedness)	bio12 Lon	-0,04945	0,062
Bsne (nestedness)	Lon bio12	0,04229	0,645
Bsne (nestedness)	Shared fraction	-0,03210	

To be continued...

Bsor (total)	bio14 Lon	0,06785	0,848
Bsor (total)	Lon bio14	0,08888	0,279
Bsor (total)	Shared fraction	0,14157	
Bsim (turnover)	bio12 Lon	0,06699	0,804
Bsim (turnover)	Lon bio14	0,10261	0,132
Bsim (turnover)	Shared fraction	0,15183	
Bsne (nestedness)	bio12 Lon	0,13986	0,479
Bsne (nestedness)	Lon bio14	0,04229	0,649
Bsne (nestedness)	Shared fraction	0,09443	

4. Discussion

In this study, we determined that the increase in forest cover around the ant assemblages sampled is directly associated with an increase in ant species richness for both total species richness and forest specialist ants. This highlights the sensitivity of antspecies richness to forest habitat area (Ahuatzin et al. 2019; Costa & Schmidt 2022), but habitat-use guilds respond differently (Martins et al. 2022).

Spatial distance is critical in explaining the variance in β_{sor} diversity and its turnover component (β_{sim}), surpassing the contribution of forest cover. However, for the nestedness component (β_{sne}), even when controlling for the influence of geographic distance, variability in forest cover and precipitation during the driest month directly influences the ant species composition among the ant assemblages.

Thus, at the regional scale, the forest cover conservation level surrounding the ant assemblage sampled is a more crucial driving factor than precipitation-related variables for species richness. In turn, species composition variation among ant assemblages occurs due to increased geographic distance than differences in forest cover and precipitation. In the following sections, we present explanations and implications of these results.

4.1. Ant fauna

The collected data revealed the great diversity of ants in the southwestern Brazilian Amazon. Considering the number of ant species sampled (365), this study is the most comprehensive survey ever conducted on ant diversity in the region (Schmidt et al., 2020). Furthermore, it is worth noting that this study is pioneering in sampling ants across the territory of Acre, greatly contributing to the advancement of knowledge about ant diversity, distribution, and ecology. By contributing to the record of 30 new

ant species for the state of Acre and four new records for Brazil, this work fills important gaps in ant diversity sampling in the region (Schmidt et al. 2020; Carvalho et al. 2023).

4.2. *Ant species richness, habitat-use guilds, and environmental variables*

Among the variables analysed (forest cover, annual precipitation, and precipitation of the driest month) in this study, we found a positive relationship between changes in forest cover and ant species richness. The forest cover proportion has been identified as one of the major drivers of ant species diversity across spatial scales (Solar et al. 2016; Ahuatzin et al. 2019; Costa and Schmidt 2022; Martins et al. 2022). This positive relationship can be attributed to the greater environmental heterogeneity in landscapes with greater forest cover, which implies an increase in habitat variations, resources and breeding sites (Ribas et al. 2003; Stein et al. 2014; Ortega et al. 2018)

However, it is worth noting that the species richness of ants is affected differently depending on the habitat-use guild. We observed that forest cover positively affects only forest specialists and not open-area specialists or generalists. This can be explained by the fact that the diversification of most ant species in the Neotropical region is associated with forest habitat (Moreau and Bell 2013). For the ants identified as generalists, we observed that they are present in all sampling areas, showing no crucial variations between these areas, indicating that they are less affected by changes in forest cover. This characteristic can be attributed to the ability of some generalist species to tolerate a wider range of environmental conditions, enabling them to exhibit plasticity that enables them to inhabit both forested and open habitats (Olden and Rooney 2006; Vasconcelos et al. 2018; Kramer et al. 2023). This adaptive capacity may give these species an advantage in the face of changes in land use and land cover (Paolucci et al. 2017; Martins et al. 2022; Dutra et al. 2023). Finally, the richness of open area specialists remained low across sampling areas; however, this habitat-use guild may surpass forest specialist richness in landscapes with low forest cover (e.g., below 20%) (Martins et al., 2022), in forest areas degraded by fire (Paolucci et al., 2017), and in pasture areas (Sales and Schmidt 2023; Dutra et al. 2023).

4.3. *Ant species composition and environmental variables*

We observed that the variation in ant community composition is more influenced by geographic location than by habitat characteristics, such as forest cover or variations in precipitation. Spatial distance is critical in explaining the variance in β diversity and its turnover component (β_{sim}), surpassing the contribution of forest cover. This indicates that the distance between sampling areas influences dissimilarity more than the area of forest cover. This could be expected because we sampled ants exclusively from the forest habitat; however, for species richness, the proportion of around-forest cover matters, and because the sampling areas present the same habitat type, forest cover is not a limiting factor for species composition.

The difference in species composition among ecological communities within a common landscape may arise from at least three processes: i) differences in environmental characteristics, ii) spatial configuration of the landscape, and iii) limitations in the dispersal capacity of organisms (Soininen et al. 2018). Given that the variation in total beta diversity (β_{sor}) and its turnover component (β_{sim}) is primarily driven by spatial distance, we identified the limitation in the dispersal capacity of ant species (Hölldobler and Wilson 1990) as the primary mechanism for variation in species composition among the 16 ant assemblages sampled in the region. Of the 365 ant species collected, 217 are restricted to one or two sample areas, indicating a large limitation in the geographic dispersal capacity of these species. Additionally, only four species exhibited a broader distribution, occurring in more than 10 sample areas. These four species are *Neoponera apicalis*, *Mayaponera constricta*, and *Camponotus atriceps*, which occur in 11 areas, while the species *Odontomachus bauri* is found in 12 areas.

In areas characterised by forested landscapes, where there is little variation in tree quantity and structure and canopy openness (i.e., little environmental variation) among the areas, the mechanism responsible for differences in species composition among assemblages may be the limitation of the dispersal capacity of ant species (Schmidt et al. 2017). Thus, the difference in species composition among ant assemblages is associated with processes of ecological drift, dispersal, and random speciation (Soininen et al. 2007). However, the passage of four major hydrographic basins in the study region (Acre 2010) is also a factor that potentially contributes to restricting the dispersal capacity of ant species, resulting in differences in species

composition among assemblages.

5. Conclusion

Our findings provide valuable insights into the diversity and composition patterns of ants in the southwestern Brazilian Amazon. The association between increased forest cover and species richness, particularly for forest specialists, highlights the sensitivity of ant species to land use changes. However, geographic distance emerged as a primary factor in determining species composition variation, surpassing the influence of forest cover and precipitation variables. Moreover, we can assert that the limitation of ant dispersal capacity is a crucial mechanism in structuring the region's communities. Therefore, our results emphasise not only the importance of forest cover to species diversity within each habitat type but also the response patterns of each species group to changes in forest cover. The use of habitat-use ant guilds favours a more detailed analysis and underscores the need for different approaches in management and conservation, considering the response dynamics of ants to environmental factors, which can further enhance biodiversity preservation strategies in the studied region.

The richness and composition of communities are influenced by factors at both local and regional scales. While local forest cover is a critical determinant of richness at the transect scale, regional analysis revealed the importance of dispersal and regional variables such as distance. The potential loss of forest cover at regional scales may intensify these dynamics, exacerbating impacts on species composition and overall biological diversity. This understanding not only broadens our insight into underlying ecological processes but also provides valuable insights for conservation and ecosystem management. In summary, by recognising the interdependence between scales and processes, we are better equipped to develop effective conservation strategies that consider both local and regional aspects of biodiversity. Therefore, our results emphasise not only the importance of forest cover to species diversity within each habitat type but also the response patterns of each species group to changes in forest cover.

Acknowledgements

This research is part of the "Amazon Insect Biodiversity Project" ("BIA Network"),

and we express our gratitude to E. Morato for his excellent companionship throughout the collections. We deeply appreciate the community in each of the sixteen areas where we conducted our collections. We acknowledge the valuable contributions of L.K. Fontenele and S. Andrade during fieldwork. Our heartfelt thanks go to the dedicated team at the Laboratory of Systematics, Evolution, and Hymenoptera Biology at the Museum of Zoology, USP, for species identification, especially M. A. Ulysséa. We also extend our gratitude to the team involved in assembly and identification up to the genus level at the Ant Ecology Laboratory of the Universidade Federal do Acre. C. R. R. thanks the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (PPM-00736-18). This study is part of M.M.S. Costa's doctoral research, supported by financial aid from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES, financial code: 001).

6. References

- Acre, GOVERNO DO ESTADO (2010) Programa estadual de zoneamento ecológico econômico do estado do acre, Fase II (escala 1:250,000): documento síntese. Rio Branco: Secretaria Estadual de Meio Ambiente, 152p
- Ahuatzin DA, Corro EJ, Jaimes AA, et al (2019) Forest cover drives leaf litter ant diversity in primary rainforest remnants within human-modified tropical landscapes. *Biodivers Conserv* 28:1091–1107. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01712-z>
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, et al (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift* 22:711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andersen AN, Del Toro I, Parr CL (2015) Savanna ant species richness is maintained along a bioclimatic gradient of increasing latitude and decreasing rainfall in northern Australia. *J Biogeogr* 42:2313–2322. <https://doi.org/10.1111/jbi.12599>
- Arantes CC, Winemiller KO, Petrere M, et al (2018) Relationships between forest cover and fish diversity in the Amazon River floodplain. *J Appl Ecol* 55:386–395. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12967>
- Arnan X, Cerdá X, Retana J (2015) Partitioning the impact of environment and spatial structure on alpha and beta components of taxonomic, functional, and phylogenetic diversity in European ants. *PeerJ* 3:e1241. <https://doi.org/10.7717/peerj.1241>
- Arruda DM, Magnago LFS, Solar RRC, et al (2020) Soil and climate equally contribute to changes in the species compositions of Brazilian dry forests across 300 km. *J Plant Ecol* 13:171–176. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtz059>
- Artaxo P (2023) Amazon deforestation implications in local/regional climate change. *Proc Natl Acad Sci U S A* 120:3–5. <https://doi.org/10.1073/pnas.2317456120>
- Baccaro FB, Feitosa RM, Fernandez F, et al (2015) Guia para os gêneros de formigas do Brasil
- Bardales NG, Rodrigues TE, Oliveira H, et al AMARAL, EF (2010) Formação, classificação e distribuição geográfica dos solos do Acre. In: ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. Recursos naturais: geologia, geomorfologia e solos do Acre: zoneamento ecológico econômico do Acre fase II – escala 1:250.000. Rio Branco, AC. p. 64-98. (Coleção temática do ZEE. Livro temático, v. 2).
- Baselga A (2010) Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Glob Ecol Biogeogr* 19:134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Bestelmeyer BT, Agosti D, Alonso LE, Brandão, CRF et al (2000) Field

techniques for the study of ground dwelling ants. An overview, description, and evaluation. In: Agosti D., Majer J.D., Alonso L.E. and Schultz T.R. (Eds.), *Ants: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press. pp. 122–144.

Blackburn TM, Gaston KJ (2006) There's more to macroecology than meets the eye. *Glob Ecol Biogeogr* 15:537–540. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00276.x>

Carvalho RL, Resende AF, Barlow J, et al (2023) Pervasive gaps in Amazonian ecological research. *Curr Biol* 33:3495-3504.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.077>

Carvalho TS, Domingues EP, Horridge JM (2017) Controlling deforestation in the Brazilian Amazon: Regional economic impacts and land-use change. *Land use policy* 64:327–341. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.001>

Castro FS de, Da Silva PG, Solar R, et al (2020) Environmental drivers of taxonomic and functional diversity of ant communities in a tropical mountain. *Insect Conserv Divers* 13:393–403. <https://doi.org/10.1111/icad.12415>

Chaddad F, Mello FAO, Tayebi M, et al (2022) Impact of mining-induced deforestation on soil surface temperature and carbon stocks: A case study using remote sensing in the Amazon rainforest. *J South Am Earth Sci* 119:. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103983>

Costa MMS da, Schmidt FA (2022) Gamma, alpha, and beta diversity of ant assemblages response to a gradient of forest cover in human-modified landscape in Brazilian Amazon. *Biotropica* 54:515–524. <https://doi.org/10.1111/btp.13073>

Crawley MJ (2013) Generalized Linear Models. In: *The R Book*, 2nd edn. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp 557–578

Daly DC., Silveira M (2008) *Primeiro catálogo da flora do Acre, Brasil*. EDUFAC, Rio Branco, AC

Daly DC, Silveira M, Medeiros H, et al (2016) The White-sand Vegetation of Acre, Brazil. *Biotropica* 48:81–89. <https://doi.org/10.1111/btp.12307>

Dantas A, Fonseca CR (2023) Global biogeographical patterns of ants and their abiotic determinants. *Perspect Ecol Conserv* 21:237–246. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.07.003>

Deacon C, Samways MJ, Pryke JS (2020) Determining drivers of dragonfly diversity patterns and the implications for conservation in South Africa. *Biol Conserv* 245:108548. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108548>

Duarte AF (2006) Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo

1971-2000. *RevisBrasileiraMeteorologia*, v.21, n.3b

Dutra DB de S, Feitosa RM, Jory TT, et al (2023) Ant habitat-use guilds response to forest-pasture shifting in the southwestern Amazon. *J Insect Conserv.*
<https://doi.org/10.1007/s10841-023-00544-1>

Evans JS (2021) *_spatialEco_*. R package version 1.3-6,
 URL:<https://github.com/jeffreyevans/spatialEco>

Farneda FZ, Meyer CFJ, Grelle CE V. (2020) Effects of land-use change on functional and taxonomic diversity of Neotropical bats. *Biotropica* 52:120–128.
<https://doi.org/10.1111/btp.12736>

Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol* 37:4302–4315.
<https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Field R, Hawkins BA, Cornell H V., et al (2009) Spatial species-richness gradients across scales: a meta-analysis. *J Biogeogr* 36:132–147.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01963.x>

Gotelli NJ, Anderson MJ, Arita HT, et al (2009) Patterns and causes of species richness: a general simulation model for macroecology. *Ecol Lett* 12:873–886.
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01353.x>

Griffiths HM, Ashton LA, Walker AE, et al (2018) Ants are the major agents of resource removal from tropical rainforests. *J Anim Ecol* 87:293–300.
<https://doi.org/10.1111/1365-2656.12728>

Hawkins BA, Field R, Cornell H V., et al (2003) Energy, Water, and Broad-Scale Geographic Patterns Of Species Richness Bradford. *Ecology* 84:3105–3117

Hijmans RJ (2020) *_raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 3.3-13. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>

Hölldobler B, Wilson EO (1990). *The ants*. Harvard University Press

INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2020) Projeto PRODES- monitoramento da floresta amazônica por satélite.
<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/prodes>.
 Accessed on December 20, 2023

Janicki J, Narula N, Ziegler M, Guénard B, Economo, EP (2016) Visualizing and interacting with large-volume biodiversity data using client-server web-mapping applications: The design and implementation of antmaps.org. *Ecological Informatics* 32: 185-193

Jiménez-Alfaro B, Aunina L, Carbognani M, et al (2023) Habitat-based biodiversity responses to macroclimate and edaphic factors in European fen ecosystems. *Glob*

Chang Biol 29:6756–6771. <https://doi.org/10.1111/gcb.16965>

Korell L, Auge H, Chase JM, et al (2021) Responses of plant diversity to precipitation change are strongest at local spatial scales and in drylands. *Nat Commun* 12:2489. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22766-0>

Kramer JMF, Zwiener VP, Müller SC (2023) Biotic homogenization and differentiation of plant communities in tropical and subtropical forests. *Conserv Biol* 37:1–13. <https://doi.org/10.1111/cobi.14025>

Lach, LP, Kirsti A (2010). *Ant ecology*. Oxford University Press.

Lasmar CJ, Bishop TR, Parr CL, et al (2021a) Geographical variation in ant foraging activity and resource use is driven by climate and net primary productivity. *J Biogeogr* 48:1448–1459. <https://doi.org/10.1111/jbi.14089>

Lasmar CJ, Rosa C, Queiroz ACM, et al (2021b) Temperature and productivity distinctly affect the species richness of ectothermic and endothermic multitrophic guilds along a tropical elevational gradient. *Oecologia* 197:243–257. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-05011-9>

Leach K, Montgomery WI, Reid N (2016) Modelling the influence of biotic factors on species distribution patterns. *Ecol Modell* 337:96–106. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.06.008>

Legendre P, Anderson MJ (1999) Distance-based redundancy analysis: Testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs*, 69(4), 1–24.

Legendre P, Legendre L (2012) *Numerical ecology* (3rd ed.). Elsevier

Loreau M (2000) Are communities saturated? On the relationship between alpha, beta and gamma diversity. *Ecol Lett* 3:73–76. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00127.x>

Macedo-Reis LE, Quesada M, de Siqueira Neves F (2019) Forest cover drives insect guild diversity at different landscape scales in tropical dry forests. *For Ecol Manage* 443:36–42. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.007>

Martins IS, Ortega JCG, Guerra V, et al (2022) Ant taxonomic and functional beta-diversity respond differently to changes in forest cover and spatial distance. *Basic Appl Ecol* 60:89–102. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.02.008>

Martins PM, Poulin R, Gonçalves-Souza T (2021) Drivers of parasite β -diversity among anuran hosts depend on scale, realm and parasite group. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 376:20200367. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0367>

Mazerolle MJ (2023) `_AICcmodavg`: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). R package version 2.3.3, <URL: <https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg>>

Monteverde C, De Sales F, Jones C (2022) Evaluation of the CMIP6 Performance in Simulating Precipitation in the Amazon River Basin. *Climate* 10:1–18. <https://doi.org/10.3390/cli10080122>

Moreau CS, Bell CD (2013) Testing The Museum Versus Cradle Tropical Biological Diversity Hypothesis: Phylogeny, Diversification, And Ancestral Biogeographic Range Evolution Of The Ants. *Evolution* (N Y) 67:2240–2257. <https://doi.org/10.1111/evo.12105>

Nagendra H, Munroe DK, Southworth J (2004) From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agric Ecosyst Environ* 101:111–115. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.003>

Olden JD, Rooney TP (2006) On defining and quantifying biotic homogenization. *Glob Ecol Biogeogr* 15:113–120. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2006.00214.x>

Ortega JCG, Thomaz SM, Bini LM (2018) Experiments reveal that environmental heterogeneity increases species richness, but they are rarely designed to detect the underlying mechanisms. *Oecologia*. <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4150-2>

Paolucci LN, Schoereder JH, Brando PM, Andersen AN (2017) Fire-induced forest transition to derived savannas: Cascading effects on ant communities. *Biol Conserv* 214:295–302. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.08.020>

Papastefanou P, Zang CS, Angelov Z, et al (2022) Recent extreme drought events in the Amazon rainforest: assessment of different precipitation and evapotranspiration datasets and drought indicators. *Biogeosciences* 19:3843–3861. <https://doi.org/10.5194/bg-19-3843-2022>

Parr CL, Bishop TR (2022) The response of ants to climate change. *Glob Chang Biol* 28:3188–3205. <https://doi.org/10.1111/gcb.16140>

Prather RM, Castillioni K, Welti EAR, et al (2020) Abiotic factors and plant biomass, not plant diversity, strongly shape grassland arthropods under drought conditions. *Ecology* 101:1–7. <https://doi.org/10.1002/ecy.3033>

Pyles M V., Magnago LFS, Borges ER, et al (2020) Land use history drives differences in functional composition and losses in functional diversity and stability of Neotropical urban forests. *Urban For Urban Green* 49:126608. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126608>

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>

Ribas CR, Schoereder JH, Pic M, Soares SM (2003) Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecol* 28:305–314. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01290.x>

Sales FM da S, Schmidt FA (2023) Nesting stratum and habitat affinity matter in ant assemblage response to forest-pasture shifting. *EntomoBrasilis* 16:e1024. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v16.e1024>

Schmidt FA, Costa MMS, Martello F, et al (2020) Ant diversity studies in Acre : what we know and what we could do to know more ? Estudos de diversidade de formigas no Acre : o que sabemos e o que devemos fazer para saber mais ? *Bol Mus Para Emílio Goeldi Cienc Nat* 15:113–134

Schmidt FA, Ribas CR, Sobrinho TG, et al (2017) Similar alpha and beta diversity changes in tropical ant communities, comparing savannas and rainforests in Brazil and Indonesia. *Oecologia* 185:487–498. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-3960-y>

Schmidt FA, Solar RRC (2010) Hypogaeic pitfall traps: methodological advances and remarks to improve the sampling of a hidden ant fauna. *Insectes Soc* 57:261–266. <https://doi.org/10.1007/s00040-010-0078-1>

Silva SS da, Fearnside PM, Graça PML de A, et al (2018) Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. *For Ecol Manage* 424:312–322. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.041>

Silveira, M (2005) A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas. Edufac, Rio Branco, Acre. 157pp.

Silva RR, Brandão CRF (2010) Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. *Ecol Monogr* 80:107–124. <https://doi.org/10.1890/08-1298.1>

Sites JW, Marshall JC (2004) Operational Criteria for Delimiting Species. *Annu Rev Ecol Syst* 35:199–227. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130128>

Soininen J, Heino J, Wang J (2018) A meta-analysis of nestedness and turnover components of beta diversity across organisms and ecosystems. *Glob Ecol Biogeogr* 27:96–109. <https://doi.org/10.1111/geb.12660>

Soininen J, McDonald R, Hillebrand H (2007) The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography* (Cop) 30:3–12. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04817.x>

Solar RR de C, Barlow J, Andersen AN, et al (2016) Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. *Biol Conserv* 197:98–107. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.03.005>

Spiesman BJ, Cumming GS (2008) Communities in context: the influences of multiscale environmental variation on local ant community structure. *Landsc Ecol* 23:313–325. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9186-3>

Stein A, Gerstner K, Kreft H (2014) Environmental heterogeneity as a universal

driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecol Lett* 17:866–880. <https://doi.org/10.1111/ele.12277>

Vasconcelos HL, Maravalhas JB, Feitosa RM, et al (2018) Neotropical savanna ants show a reversed latitudinal gradient of species richness, with climatic drivers reflecting the forest origin of the fauna. *J Biogeogr* 45:248–258. <https://doi.org/10.1111/jbi.13113>

Wilson EO, Holldobler B (2005) The rise of the ants: A phylogenetic and ecological explanation. *Proc Natl Acad Sci* 102:7411–7414. <https://doi.org/10.1073/pnas.0502264102>

SUPPLEMENTARY MATERIAL

Table 1. Location and characterisation of the forest formation in the areas where antcollections were carried out in the state of Acre, Brazil.

Area	Municipality	Forest formation*	Geographic coordinates
1	Manoel Urbano	Open Alluvial Rainforest with Palms	09° 35'02,4"S 70°01'55,0"W
2	Manoel Urbano	Open Alluvial Rainforest with Palms	09° 22'47,5"S 69°55'45,0"W
3	Bujari	Open Lowland Rainforest with Palms	09° 58'00,7"S 68°03'47,5"W
4	Xapuri	Open Lowland Rainforest with Bamboo	10° 25'46,7"S 68°27'48,1"W
5	Sena Madureira	Dense Lowland Rainforest with Bamboo	09° 20'41,4"S 68°17'49,1"W
6	Cruzeiro do sul	Campinarana: Palm-free Forest	07° 28'48,5"S 72°54'01,5"W
7	Mâncio Lima	Open Lowland Rainforest with Palms	07° 25'27,1"S 73°39'42,4"W
8	Marechal Thaumaturgo	Open Lowland Rainforest with Bamboo	09° 04'34,5"S 72°14'46,0"W
9	Assis Brasil	Dense Lowland Rainforest	10° 40'21,5"S 69°36'02,9"W
10	Sena Madureira	Open Lowland Rainforest with Bamboo	09° 07'53,0"S 68°57'12,6"W
11	Jordão	Open Alluvial Rainforest with Palms	08° 01'39,3"S 70°40'52,5"W
12	Jordão	Open Alluvial Rainforest with Palms	08° 45'04,7"S 71°44'09,0"W
13	Feijó	Open Lowland Rainforest with Palms	08°36'48,1"S 70°31'28,9"W
14	Assis Brasil	Open Alluvial Rainforest with Palms	11°03'06,6"S 70°12'55,6"W
15	Envira	Open Alluvial Rainforest with Palms	07°30'07"S 70°03'54"W
16	Jordão	Open Alluvial Rainforest with Palms	09° 25'58,4"S 71°53'8,53"W

* Classification according to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE),2016.

Table 2. Forest cover variables, annual precipitation, precipitation in the rainy month, and precipitation in the dry month of collection areas distributed throughout the state of Acre, Brazil.

Watershed	Watershed portion	Municipality	Forest Cover (%)	Bio12 (Annual Precipitation - mm)	Bio13 (Rainy Month Precipitation - mm)	Bio14 (Dry Month Precipitation - mm)
Tarauacá	High	Jordão	73,71	1700	260	39
Tarauacá	Low	Jordão	76,92	2115	321	46
Tarauacá	Medium	Jordão	89,44	1690	250	40
Juruá	Low	Cruzeiro do sul	91,78	2263	290	61
Juruá	Medium	Mâncio Lima	90,73	2585	338	87
Juruá	High	Marechal Thaumaturgo	80,57	1762	268	40
Acre	Low	Bujari	63,19	1892	283	38
Acre	Medium	Xapuri	93,49	2115	339	28
Acre	High	Assis Brasil	96,17	1686	240	17
Acre	High II	Assis Brasil	99,57	1530	220	18
Purus	High	Chandless	85,20	1376	222	27
Purus	Medium	Chandless	96,80	1455	236	29
Purus	Low I	Sena Madureira	53,39	1773	261	31
Purus	Low II	Sena Madureira	90,73	1956	273	33
Envira	High	Feijó	93,69	2034	320	38
Envira	Low	Envira	56,40	2263	340	39

Table 3. List of ant species and habitat use guilds collected in the southwestern Brazilian Amazon. *First record of the species in the state of Acre (Janicki et al., 2023).

Species	Habitat Affinity
Amblyoponinae (2)	
<i>Prionopelta</i> aff. <i>amabilis</i>	-
<i>Prionopelta</i> aff. <i>dubia</i>	-
Dolichoderinae (21)	
<i>Azteca</i> sp.1	-
<i>Azteca</i> sp.2	-
<i>Azteca</i> sp.3	-
<i>Azteca</i> sp.4	-
<i>Azteca</i> sp.5	-
<i>Dolichoderus attelaboides</i> (Fabricius, 1775)	Forest Specialist
<i>Dolichoderus bidens</i> (Linnaeus, 1758)	Forest Specialist
<i>Dolichoderus bispinosus</i> (Olivier, 1792)	Forest Specialist
<i>Dolichoderus decollatus</i> Smith, 1858	Generalist
<i>Dolichoderus diversus</i> Emery, 1894	Generalist
<i>Dolichoderus imitator</i> Emery, 1894	Generalist
<i>Dolichoderus inermis</i> MacKay, 1993	Forest Specialist
<i>Dolichoderus laminatus</i> * (Mayr, 1870)	Generalist
<i>Dolichoderus lutosus</i> (Smith, 1858)	Generalist
<i>Dolichoderus mesonotalis</i> Forel, 1907	Open Area Specialist
<i>Dolichoderus rugosus</i> (Smith, 1858)	Forest Specialist
<i>Dolichoderus septemspinosus</i> Emery, 1894	Forest Specialist
<i>Dolichoderus</i> sp.1	-
<i>Linepithema</i> sp.1	-
<i>Linepithema</i> sp.2	-
<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius, 1793)	Generalist
Dorylinae (7)	
<i>Eciton burchellii</i> (Westwood, 1842)	Generalist
<i>Eciton rapax</i> Smith, 1855	Forest Specialist
<i>Labidus coecus</i> (Latreille, 1802)	Generalist
<i>Labidus praedator</i> (Smith, 1858)	Forest Specialist
<i>Labidus</i> sp.1	-
<i>Neivamyrmex</i> sp.1	-
<i>Nomamyrmex hartigii</i> (Westwood, 1842)	Generalist
Ectatomminae (17)	
<i>Acanthoponera mucronata</i> (Roger, 1860)	Generalist
<i>Alfaria falcifera</i> (Kempf, 1967)	Forest Specialist
<i>Alfaria minuta</i> Emery, 1896	Forest Specialist
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	Generalist
<i>Ectatomma lugens</i> Emery, 1894	Forest Specialist

To be continued...

<i>Ectatomma tuberculatum</i> (Olivier, 1792)	Generalist
<i>Gnamptogenys acuminata</i> (Emery, 1896)	Generalist
<i>Gnamptogenys</i> cf. <i>continua</i>	-
<i>Gnamptogenys haenschi</i> (Emery, 1902)	Forest Specialist
<i>Gnamptogenys kempfi</i> * Lenko, 1964	Forest Specialist
<i>Gnamptogenys regularis</i> Mayr, 1870	Forest Specialist
<i>Gnamptogenys</i> sp.1	-
<i>Gnamptogenys</i> sp.2	-
<i>Holcaponera moelleri</i> Forel, 1912	Generalist
<i>Holcaponera relictata</i> * (Mann, 1916)	Forest Specialist
<i>Holcaponera striatula</i> (Mayr, 1884)	Forest Specialist
<i>Poneracantha triangularis</i> (Mayr, 1887)	Forest Specialist
Formicinae (50)	
<i>Acropyga</i> sp.1	-
<i>Acropyga</i> sp.2	-
<i>Brachymyrmex cavernicola</i> Wheeler, 1938	Forest Specialist
<i>Brachymyrmex coactus</i> * Mayr, 1887	Forest Specialist
<i>Brachymyrmex</i> sp.1	-
<i>Brachymyrmex</i> sp.2	-
<i>Brachymyrmex</i> sp.3	-
<i>Brachymyrmex</i> sp.4	-
<i>Camponotus ager</i> (Smith, 1858)	Forest Specialist
<i>Camponotus atriceps</i> (Smith, 1858)	Generalist
<i>Camponotus bidens</i> Mayr, 1870	Forest Specialist
<i>Camponotus blandus</i> (Smith, 1858)	Generalist
<i>Camponotus cacticus</i> Emery, 1903	Forest Specialist
<i>Camponotus</i> cf. <i>bidens</i>	-
<i>Camponotus depressus</i> Mayr, 1866	Forest Specialist
<i>Camponotus femoratus</i> (Fabricius, 1804)	Generalist
<i>Camponotus latangulus</i> Roger, 1863	Forest Specialist
<i>Camponotus mirabilis</i> Emery, 1903	Forest Specialist
<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)	Generalist
<i>Camponotus</i> sp.1	-
<i>Camponotus</i> sp.2	-
<i>Camponotus</i> sp.3	-
<i>Camponotus</i> sp.4	-
<i>Camponotus</i> sp.6	-
<i>Camponotus</i> sp.7	-
<i>Camponotus</i> sp.8	-
<i>Camponotus</i> sp.9	-
<i>Camponotus</i> sp.10	-
<i>Camponotus</i> sp.12	-

To be continued...

<i>Camponotus</i> sp.13	-
<i>Camponotus</i> sp.14	-
<i>Camponotus</i> sp.15	-
<i>Camponotus</i> sp.16	-
<i>Camponotus</i> sp.17	-
<i>Camponotus</i> sp.18	-
<i>Camponotus</i> sp.19	-
<i>Camponotus</i> sp.20	-
<i>Camponotus</i> sp.21	-
<i>Camponotus</i> sp.22	-
<i>Camponotus</i> sp.23	-
<i>Camponotus</i> sp.24	-
<i>Camponotus</i> sp.25	-
<i>Camponotus</i> sp.26	-
<i>Gigantiops destructor</i> (Fabricius, 1804)	Forest Specialist
<i>Nylanderia</i> sp.1	-
<i>Nylanderia</i> sp.2	-
<i>Nylanderia</i> sp.3	-
<i>Nylanderia</i> sp.4	-
<i>Nylanderia</i> sp.5	-
<i>Nylanderia</i> sp.6	-
Myrmicinae (215)	
<i>Acromyrmex coronatus</i> (Fabricius, 1804)	Forest Specialist
<i>Acromyrmex hystrix</i> * (Latreille, 1802)	Generalist
<i>Acromyrmex</i> sp.1	-
<i>Acromyrmex</i> sp.2	-
<i>Acromyrmex subterraneus</i> (Forel, 1893)	Open Area Specialist
<i>Apterostigma</i> aff. <i>peruvianum</i>	-
<i>Apterostigma auriculatum</i> Wheeler, 1925	Forest Specialist
<i>Apterostigma ierense</i> * Weber, 1937	Forest Specialist
<i>Apterostigma jubatum</i> Wheeler, 1925	
<i>Apterostigma pilosum</i> * Mayr, 1865	Generalist
<i>Apterostigma</i> sp.1	-
<i>Apterostigma</i> sp.2	-
<i>Apterostigma</i> sp.3	-
<i>Apterostigma</i> sp.4	-
<i>Apterostigma urichii</i> * Forel, 1893	Forest Specialist
<i>Atta laevigata</i> (Smith, 1858)	Open Area Specialist
<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)	Generalist
<i>Atta</i> sp.1	-
<i>Atta</i> sp.2	-
<i>Carebara</i> sp.1	-

To be continued...

<i>Carebara</i> sp.2	-
<i>Carebara</i> sp.3	-
<i>Carebara</i> sp.4	-
<i>Cephalotes atratus</i> (Linnaeus, 1758)	Generalist
<i>Cephalotes clypeatus</i> (Fabricius, 1804)	Generalist
<i>Cephalotes complanatus</i> (Guérin-Méneville, 1844)	Forest Specialist
<i>Cephalotes laminatus</i> (Smith, 1860)	Forest Specialist
<i>Cephalotes opacus</i> Santschi, 1920	Forest Specialist
<i>Cephalotes pallidus</i> * De Andrade, 1999	Open-area Specialist
<i>Cephalotes pavonii</i> (Latreille, 1809)	Forest Specialist
<i>Cephalotes placidus</i> (Smith, 1860)	Generalist
<i>Cephalotes spinosus</i> (Mayr, 1862)	Forest Specialist
<i>Cephalotes umbraculatus</i> (Fabricius, 1804)	Generalist
<i>Crematogaster brasiliensis</i> Mayr, 1878	Forest Specialist
<i>Crematogaster flavosensitiva</i> Longino, 2003	Forest Specialist
<i>Crematogaster nigropilosa</i> Mayr, 1870	Generalist
<i>Crematogaster</i> sp.1	-
<i>Crematogaster</i> sp.2	-
<i>Crematogaster</i> sp.3	-
<i>Crematogaster</i> sp.4	-
<i>Crematogaster</i> sp.5	-
<i>Crematogaster</i> sp.6	-
<i>Crematogaster</i> sp.7	-
<i>Crematogaster</i> sp.8	-
<i>Crematogaster</i> sp.9	-
<i>Crematogaster</i> sp.10	-
<i>Crematogaster</i> sp.11	-
<i>Crematogaster</i> sp.12	-
<i>Crematogaster</i> sp.13	-
<i>Crematogaster</i> sp.14	-
<i>Crematogaster</i> sp.15	-
<i>Crematogaster</i> sp.16	-
<i>Crematogaster</i> sp.17	-
<i>Crematogaster</i> sp.18	-
<i>Crematogaster</i> sp.19	-
<i>Crematogaster</i> sp.20	-
<i>Crematogaster</i> sp.21	-
<i>Crematogaster</i> sp.22	-
<i>Crematogaster</i> sp.23	-
<i>Crematogaster</i> sp.24	-
<i>Crematogaster</i> sp.25	-
<i>Crematogaster</i> sp.26	-

To be continued...

<i>Crematogaster stollii</i> Forel, 1885	Generalist
<i>Cyphomyrmex costatus</i> * Mann, 1922	Forest Specialist
<i>Cyphomyrmex hamulatus</i> * Weber, 1938	Forest Specialist
<i>Cyphomyrmex laevigatus</i> Weber, 1938	Forest Specialist
<i>Cyphomyrmex rimosus</i> (Spinola, 1851)	Generalist
<i>Cyphomyrmex</i> sp.1	-
<i>Cyphomyrmex</i> sp.2	-
<i>Cyphomyrmex</i> sp.3	-
<i>Cyphomyrmex</i> sp.4	-
<i>Cyphomyrmex</i> sp.5	-
<i>Cyphomyrmex</i> sp.6	-
<i>Cyphomyrmex</i> sp.7	-
<i>Hylomyrma blandiens</i> Kempf, 1961	Forest Specialist
<i>Hylomyrma immanis</i> Kempf, 1973	Forest Specialist
<i>Hylomyrma marielleae</i> Ulysséa, 2021	Forest Specialist
<i>Lachnomyrmex pilosus</i> * Weber, 1950	Forest Specialist
<i>Leptogenys</i> sp.1	-
<i>Megalomyrmex ayri</i> Brandão, 1990	Forest Specialist
<i>Megalomyrmex drifti</i> * Kempf, 1961	Forest Specialist
<i>Megalomyrmex incisus</i> * Smith, 1947	Forest Specialist
<i>Megalomyrmex leoninus</i> Forel, 1885	Forest Specialist
<i>Megalomyrmex</i> sp.n	-
<i>Megalomyrmex wallacei</i> * Mann, 1916	Forest Specialist
<i>Monomorium pharaonis</i> (Linnaeus, 1758)	Generalist
<i>Mycetomoellerius farinosus</i> (Emery, 1894)	Forest Specialist
<i>Mycetophylax faunulus</i> (Wheeler, 1925)	Forest Specialist
<i>Mycocepurus smithii</i> (Forel, 1893)	Generalist
<i>Myrmicocrypta</i> sp.1	-
<i>Myrmicocrypta</i> sp.2	-
<i>Myrmicocrypta</i> sp.3	-
<i>Nesomyrmex</i> sp.n	-
<i>Ochetomyrmex neopolitus</i> Fernández, 2003	Forest Specialist
<i>Ochetomyrmex semipolitus</i> Mayr, 1878	Generalist
<i>Octostruma balzani</i> (Emery, 1894)	Forest Specialist
<i>Octostruma betschi</i> Perrault, 1988	Forest Specialist
<i>Octostruma iheringi</i> (Emery, 1888)	Forest Specialist
<i>Octostruma obtusidens</i> * Longino, 2013	Forest Specialist
<i>Octostruma pexidorsum</i> * Longino, 2013	Forest Specialist
<i>Octostruma</i> sp.1	-
<i>Paratrachymyrmex mandibularis</i> * (Weber, 1938)	Forest Specialist
<i>Paratrachymyrmex diversus</i> (Mann, 1916)	
<i>Pheidole astur</i> Wilson, 2003	Forest Specialist

To be continued...

<i>Pheidole bufo</i> Wilson, 2003	Forest Specialist
<i>Pheidole cataractae</i> Wheeler, 1916	Forest Specialist
<i>Pheidole fimbriata</i> Roger, 1863	Forest Specialist
<i>Pheidole lancifera</i> Wilson, 2003	Forest Specialist
<i>Pheidole leonina</i> Wilson, 2003	Forest Specialist
<i>Pheidole lovejoyi</i> Wilson, 2003	Forest Specialist
<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr, 1884	Generalist
<i>Pheidole sensitiva</i> Borgmeier, 1959	Forest Specialist
<i>Pheidole</i> sp.2	-
<i>Pheidole</i> sp.3	-
<i>Pheidole</i> sp.4	-
<i>Pheidole</i> sp.5	-
<i>Pheidole</i> sp.6	-
<i>Pheidole</i> sp.8	-
<i>Pheidole</i> sp.10	-
<i>Pheidole</i> sp.12	-
<i>Pheidole</i> sp.13	-
<i>Pheidole</i> sp.16	-
<i>Pheidole</i> sp.17	-
<i>Pheidole</i> sp.18	-
<i>Pheidole</i> sp.19	-
<i>Pheidole</i> sp.20	-
<i>Pheidole</i> sp.21	-
<i>Pheidole</i> sp.23	-
<i>Pheidole</i> sp.25	-
<i>Pheidole</i> sp.26	-
<i>Pheidole</i> sp.28	-
<i>Pheidole</i> sp.29	-
<i>Pheidole</i> sp.31	-
<i>Pheidole</i> sp.32	-
<i>Pheidole</i> sp.33	-
<i>Pheidole</i> sp.34	-
<i>Pheidole</i> sp.35	-
<i>Pheidole</i> sp.36	-
<i>Pheidole</i> sp.38	-
<i>Pheidole</i> sp.39	-
<i>Pheidole</i> sp.40	-
<i>Pheidole</i> sp.41	-
<i>Pheidole</i> sp.42	-
<i>Pheidole</i> sp.43	-
<i>Pheidole</i> sp.44	-
<i>Pheidole</i> sp.45	-

To be continued...

<i>Pheidole</i> sp.46	-
<i>Pheidole</i> sp.47	-
<i>Pheidole</i> sp.48	-
<i>Pheidole</i> sp.49	-
<i>Pheidole</i> sp.50	-
<i>Pheidole</i> sp.51	-
<i>Pheidole</i> sp.52	-
<i>Pheidole</i> sp.53	-
<i>Pheidole</i> sp.54	-
<i>Pheidole</i> sp.55	-
<i>Pheidole</i> sp.56	-
<i>Pheidole</i> sp.57	-
<i>Pheidole</i> sp.58	-
<i>Pheidole</i> sp.60	-
<i>Pheidole</i> sp.61	-
<i>Pheidole</i> sp.62	-
<i>Pheidole</i> sp.63	-
<i>Pheidole</i> sp.64	-
<i>Pheidole vorax</i> (Fabricius, 1804)	Forest Specialist
<i>Rogeria blanda</i> * (Smith, 1858)	Forest Specialist
<i>Rogeria scobinata</i> * Kugler, 1994	Forest Specialist
<i>Rogeria</i> sp.1	-
<i>Rogeria</i> sp.2	-
<i>Sericomyrmex bondari</i> Borgmeier, 1937	Forest Specialist
<i>Sericomyrmex mayri</i> Forel, 1912	Generalist
<i>Sericomyrmex parvulus</i> Forel, 1912	Generalist
<i>Sericomyrmex saussurei</i> Emery, 1894	Forest Specialist
<i>Sericomyrmex</i> sp.1	-
<i>Sericomyrmex</i> sp.2	-
<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius, 1804)	Forest Specialist
<i>Solenopsis</i> gr. brevicornis	-
<i>Solenopsis</i> sp.1	-
<i>Solenopsis</i> sp.2	-
<i>Solenopsis</i> sp.3	-
<i>Solenopsis</i> sp.4	-
<i>Solenopsis</i> sp.5	-
<i>Solenopsis</i> sp.6	-
<i>Solenopsis</i> sp.7	-
<i>Solenopsis</i> sp.8	-
<i>Solenopsis</i> sp.9	-
<i>Solenopsis</i> sp.10	-
<i>Solenopsis</i> sp.11	-

To be continued...

<i>Solenopsis</i> sp.12	-
<i>Solenopsis</i> sp.13	-
<i>Solenopsis</i> sp.14	-
<i>Solenopsis virulens</i> (Smith, 1858)	Forest Specialist
<i>Stegomyrmex connectens</i> Emery, 1912	Forest Specialist
<i>Strumigenys beebei</i> (Wheeler, 1915)	Forest Specialist
<i>Strumigenys denticulata</i> Mayr, 1887	Forest Specialist
<i>Strumigenys eggersi</i> Emery, 1890	Generalist
<i>Strumigenys elongata</i> Roger, 1863	Generalist
<i>Strumigenys godmani</i> * Forel, 1899	Forest Specialist
<i>Strumigenys</i> gr. <i>hyphata</i> sp.n	-
<i>Strumigenys gundlachi</i> (Roger, 1862)	Forest Specialist
<i>Strumigenys interfectiva</i> Lattke & Goitía, 1997	Forest Specialist
<i>Strumigenys longispinosa</i> Brown, 1958	Forest Specialist
<i>Strumigenys perparva</i> * Brown, 1958	Forest Specialist
<i>Strumigenys schulzi</i> * Emery, 1894	Forest Specialist
<i>Strumigenys trudifera</i> Kempf & Brown, 1969	Forest Specialist
<i>Strumigenys urrhobia</i> * (Bolton, 2000)	Forest Specialist
<i>Trachymyrmex</i> sp.1	-
<i>Trachymyrmex</i> sp.2	-
<i>Trachymyrmex</i> sp.3	-
<i>Trachymyrmex</i> sp.4	-
<i>Trachymyrmex</i> sp.5	-
<i>Trachymyrmex</i> sp.6	-
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	Generalist
<i>Wasmannia iheringi</i> * Forel, 1908	Forest Specialist
<i>Wasmannia scrobifera</i> * Kempf, 1961	Forest Specialist
Paraponerinae (1)	
<i>Paraponera clavata</i> (Fabricius, 1775)	Forest Specialist
Ponerinae (45)	
<i>Anochetus diegensis</i> Forel, 1912	Forest Specialist
<i>Anochetus mayri</i> * Emery, 1884	Forest Specialist
<i>Hypoponera</i> sp.1	-
<i>Hypoponera</i> sp.2	-
<i>Hypoponera</i> sp.3	-
<i>Hypoponera</i> sp.4	-
<i>Hypoponera</i> sp.5	-
<i>Hypoponera</i> sp.6	-
<i>Hypoponera</i> sp.7	-
<i>Hypoponera</i> sp.8	-
<i>Hypoponera</i> sp.9	-
<i>Hypoponera</i> sp.10	-

To be continued...

<i>Hypoponera</i> sp.11	-
<i>Hypoponera</i> sp.12	-
<i>Hypoponera</i> sp.13	-
<i>Hypoponera</i> sp.14	-
<i>Hypoponera</i> sp.15	-
<i>Hypoponera</i> sp.16	-
<i>Hypoponera</i> sp.17	-
<i>Hypoponera</i> sp.18	-
<i>Hypoponera</i> sp.19	-
<i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884)	Forest Specialist
<i>Mayaponera arhuaca</i> (Forel, 1901)	Forest Specialist
<i>Neoponera apicalis</i> (Latreille, 1802)	Forest Specialist
<i>Neoponera carinulata</i> (Roger, 1861)	Forest Specialist
<i>Neoponera globularia</i> (MacKay & MacKay, 2010)	Generalist
<i>Pachycondyla lenkoi</i> * Kempf, 1962	Forest Specialist
<i>Neoponera moesta</i> (Mayr, 1870)	Forest Specialist
<i>Neoponera</i> sp.1	-
<i>Neoponera</i> sp.2	-
<i>Neoponera oberthueri</i> *(Emery, 1890)	Generalist
<i>Neoponera unidentata</i> (Mayr, 1862)	Forest Specialist
<i>Neoponera verenae</i> Forel, 1922	Generalist
<i>Odontomachus bauri</i> Emery, 1892	Generalist
<i>Odontomachus caelatus</i> Brown, 1976	Forest Specialist
<i>Odontomachus haematodus</i> (Linnaeus, 1758)	Generalist
<i>Odontomachus meinerti</i> Forel, 1905	Generalist
<i>Odontomachus</i> sp.1	-
<i>Pachycondyla crassinoda</i> (Latreille, 1802)	Forest Specialist
<i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804)	Generalist
<i>Pachycondyla</i> sp.1	-
<i>Platythyrea angusta</i> Forel, 1901	Forest Specialist
<i>Rasopone</i> sp.1	-
<i>Thaumatomyrmex</i> aff. <i>atrox</i>	-
Proceratiinae (2)	
<i>Discothyrea neotropical</i> * Bruch, 1919	Forest Specialist
<i>Probolomyrmex dentinodis</i> * Oliveira & Feitosa, 2019	Forest Specialist
Pseudomyrmecinae (6)	
<i>Pseudomyrmex crudelis</i> Ward, 1999	Forest Specialist
<i>Pseudomyrmex</i> sp.1	-
<i>Pseudomyrmex</i> sp.2	-
<i>Pseudomyrmex</i> sp.3	-
<i>Pseudomyrmex</i> sp.4	-
<i>Pseudomyrmex tenuis</i> (Fabricius, 1804)	Generalist

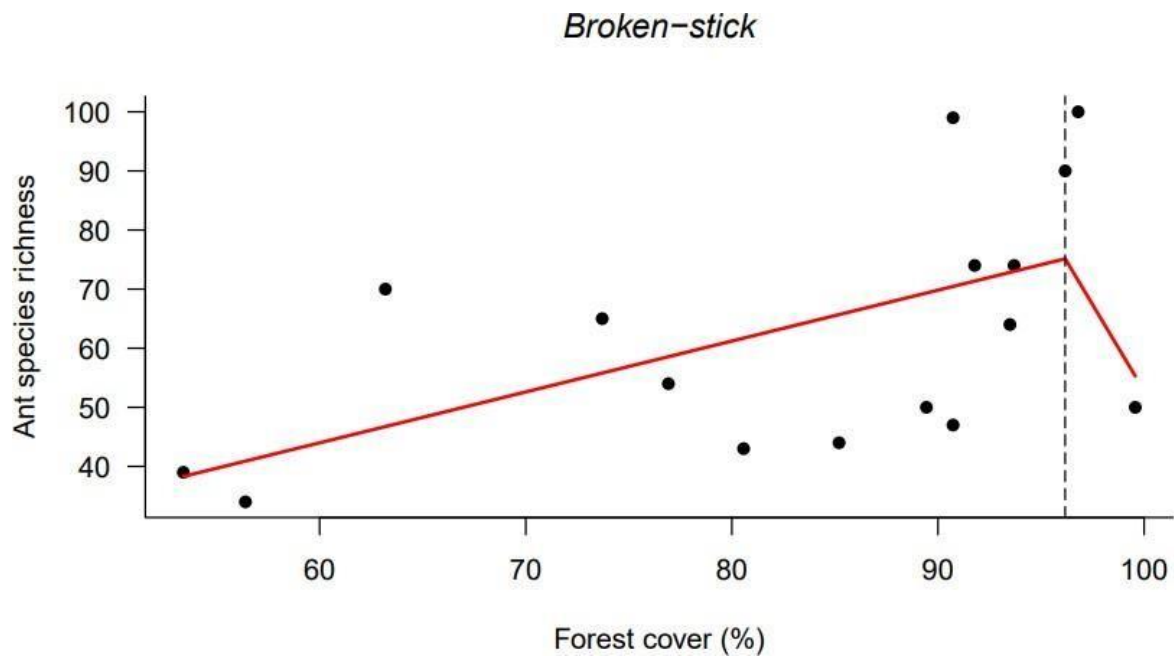


Figure 1. Broken stick model revealing the relationship between forest cover and the richness of ant species (AIC: 146,923).

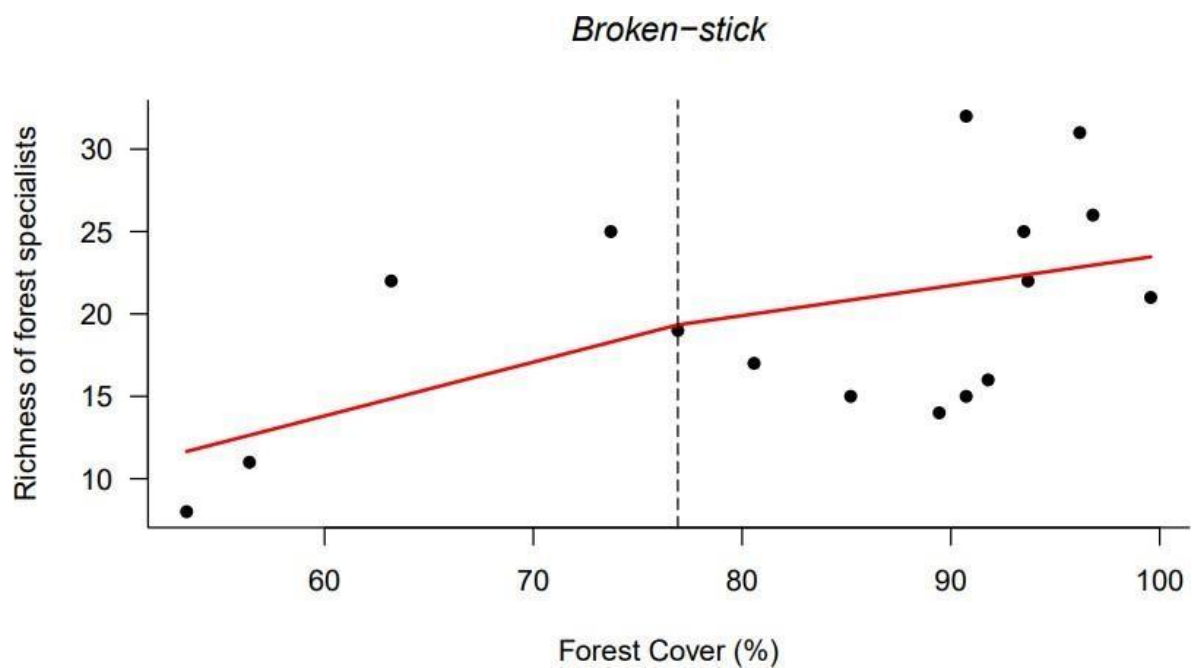


Figure 2. Broken stick model revealing the relationship between forest cover and the richness of forest specialist ant species (AIC: 111,756).

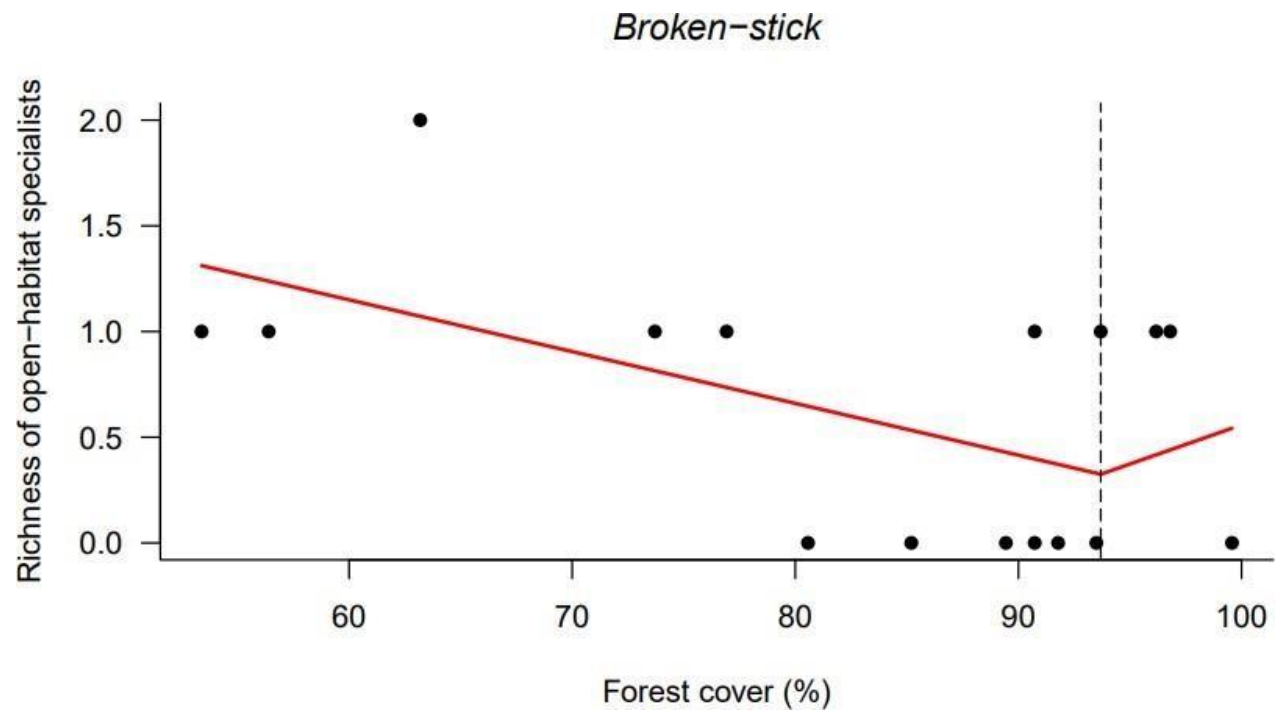


Figure 3. Broken stick model revealing the relationship between forest cover and the richness of open area specialist ant species (AIC: 35,556).

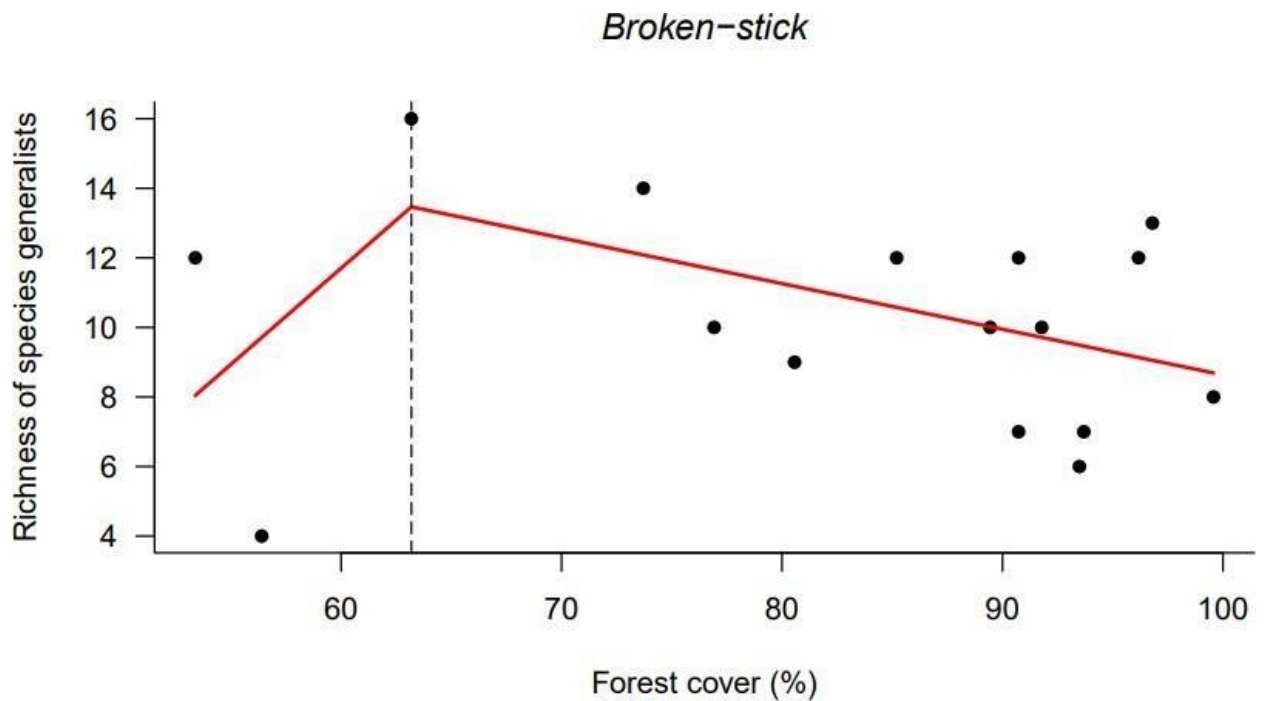


Figure 4. Broken stick model revealing the relationship between forest cover and the richness of generalist ant species (AIC: 89,703).

ARTIGO 2

**PATTERNS AND MECHANISM OF METACOMMUNITY OF ANT ASSEMBLAGES
IN SOUTHWESTERN BRAZILIAN AMAZON**

Versão preliminar para submissão na revista *Diversity and Distributions*

PATTERNS AND MECHANISM OF METACOMMUNITY OF ANT ASSEMBLAGES IN SOUTHWESTERN BRAZILIAN AMAZON

Marília Maria Silva da Costa*¹, Fernando A. Schmidt ², Wallace Beiroz ³, Chaim José Lasmar¹, Carla Rodrigues Ribas^{1, 4}

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Departamento de Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil

²Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, AC, Brasil

³Centro de Ciências aplicadas e Educação, Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Monitoramento Ambiental, Universidade Federal da Paraíba – Campus IV, Rio Tinto, PB, Brasil

⁴Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

***Corresponding author:** mariliamcostta@gmail.com

ORCID ID:

Marília Maria Silva da Costa (0000-0002-1130-0063)

Fernando Augusto Schmidt (0000-0002-3722-5196)

Wallace Beiroz (0000-0002-9677-6799)

Chaim José Lasmar (0000-0002-7710-4161)

Carla Rodrigues Ribas (0000-0002-9781-0450)

ABSTRACT

Metacommunity consists of local communities that exchange species within a common region. There are two main approaches: one focused on distribution patterns and the other on the mechanisms explaining this distribution. The Amazon is a major focus of conservation as it faces an alarming increase in forest loss due to conversion to agricultural and livestock areas. Ants are an excellent model for conservation studies, and their classification by habitat affinity helps understand how environmental changes affect their composition. Therefore, understanding the patterns and mechanisms governing the distribution of ant species at regional scales, which present environmental gradients, can provide valuable information for the management and conservation of biodiversity in the Amazon. We investigated the distribution of ants in the southwestern Brazilian Amazon to understand patterns and mechanisms, considering that habitat use influences these aspects. Sixteen areas were chosen in the state of Acre, where we collected 365 species, of which 151 were classified based on their habitat affinity. The coherence analysis revealed significant results for all groups of ant species, indicating that local communities are well-defined units within the metacommunity and that environmental gradients structure these metacommunities in the southwestern Brazilian Amazon. The structuring patterns vary according to different species sets, with Clementsian patterns evident for forest specialist ants but not for the total species set and generalist species. The analysis by habitat use guilds allowed for identifying clearer patterns, especially for forest specialist ants. For the total species set, the mass effect was the predominant mechanism, suggesting that immigration and emigration dynamics are crucial. For forest specialists, neutral theory was the structuring mechanism, indicating that stochastic processes dominate metacommunity dynamics. For generalist species, latitude was the significant variable, suggesting that patch dynamics is the predominant mechanism. Our study highlights the importance of investigating how anthropogenic impacts can affect the patterns and mechanisms of ant assemblages in the Amazon, reinforcing the need to consider the response of habitat use guilds to climate change and land use.

KEYWORDS: Conservation. Environmental gradients. Habitat use guilds. Species Distribution. Tropical Forest.

1. Introduction

A metacommunity is a set of local communities that exchange individuals of multiple species within a common region (Leibold et al., 2004; Leibold & Chase, 2018). This concept has been essential in describing alternative patterns of species distribution among local communities. Two interrelated and complementary pathways of investigation have been developed at the metacommunity scale (Presley et al., 2010): one focused on patterns (Leibold & Mikkelsen, 2002) and the other on mechanisms (Cottenie, 2005).

The pattern-based approach describes possible configurations of species distributions, such as random patterns where community species do not respond to the same environmental gradient (Leibold & Mikkelsen, 2002); checkerboard patterns, with a higher number of species substitutions between locations than expected (Diamond, 1975); nested subsets, where less rich communities are subsets of richer ones (Patterson & Atmar, 1986); evenly spaced, where species are more spaced along the environmental gradient than expected (Tilman, 1982); Gleasonian patterns, with species exhibiting independent distributions suggesting different environmental and resource requirements (Gleason, 1926)); and Clementsian patterns, where species have similar environmental requirements (Clements, 1916).

Understanding how local and regional factors can contribute as determining processes for species distribution and thus influence community structure is of utmost importance for comprehending metacommunity dynamics over time or space (Brasil et al., 2017; Carolina et al., 2020). This knowledge allows for identifying priority areas for protection, developing more effective management strategies, and predicting the impacts of environmental changes. The mechanism-based approach (Cottenie, 2005) presents possible explanations for species distribution, considering the roles of patch dynamics, species sorting, mass effects, and neutrality (Leibold et al., 2004; Holyoak et al., 2005). Among the different mechanisms that determine metacommunity structure, species sorting and mass effects are the most reported (Cottenie, 2005), both considering the importance of environmental conditions and niche dynamics (Göthe et al., 2013), representing species-environment relationships, with differences occurring in the dispersal abilities of the species pool (Vieira et al., 2020). Patch dynamics and neutrality involve analysing the relationships between the species pool and regional environmental conditions, often expressed by the geographic distance between communities (Cottenie, 2005).

In general, studies conducted at the metacommunity scale tend to address pattern descriptions (Leibold & Mikkelsen, 2002) or mechanisms (Cottenie, 2005) in isolation.

However, the rare studies that simultaneously address both patterns and mechanisms (Meynard et al., 2013) offer a more integrative and conclusive approach to species distribution at the metacommunity scale. This integrated approach is crucial for advancing our understanding of community ecology at multiple spatial scales and for providing effective guidelines for ecosystem conservation. Studies that combine species distribution with underlying mechanisms can identify essential areas for the connectivity of local communities within a region.

One of the world's focal points for conservation is the Amazon rainforest, the largest continuous tropical forest in the world (Artaxo, 2023), considered the most species-rich subcontinental-scale ecosystem (Albert et al., 2023). However, the region faces an alarming increase in forest loss (INPE, 2023), with an expansion from 4,600 km² in 2012 to 13,000 km² in 2021 (INPE, 2023) due to forest conversion into agricultural and livestock areas (Carvalho et al., 2017; Chaddad et al., 2022; Moutinho & Azevedo-Ramos, 2023). Although the Amazon is a major centre of ant diversity, there is a lack of studies on diversity patterns and their structuring mechanisms (Wilkie et al., 2010; Vasconcelos et al., 2010). To date, there remains significant ignorance about the patterns and mechanisms of ant species distribution in the region on a metacommunity scale, which is essential for their conservation.

Ants are an excellent model for conservation studies and other ecological research, as they represent a biomass four times greater than that of vertebrates (Wilson & Holldobler, 2005), are responsible for 52% of nutrient redistribution in tropical forests (Griffiths et al., 2018), and are involved in various other ecosystem functions (predation, herbivory, seed dispersal, mutualistic associations with other organisms) (Lach et al., 2010). Additionally, ants can be classified according to their habitat use, as forest specialists, open area specialists, and generalists (Dutra et al., 2023). Habitat use classification offers a clearer perspective on how environmental changes (Dutra et al., 2023; Martins et al., 2022; Vasconcelos et al., 2018) affect ant assembly composition. Although numerous studies address the diversity patterns of ant species at different spatial scales (e.g., (Ahuatzin et al., 2019; Costa & Schmidt, 2022; Economo et al., 2018; Lasmar et al., 2021; Paolucci et al., 2012; Fernando A. Schmidt et al., 2017)), there is a significant lack of studies addressing issues related to ant species distribution among local communities within a metacommunity (Schmidt et al., 2022). This knowledge gap highlights the need for further research exploring the dynamics of ant communities on a broader scale, considering not only local diversity patterns but also how these communities interact, and their species distribute in a regional context, along environmental and gradient.

The southwestern Brazilian Amazon, specifically in the state of Acre, exemplifies a region with considerable environmental variation. This variation is evident: the eastern region

is drier, while the western region is wetter (Duarte, 2006). The same trend is observed in forest cover, with the east showing more significant deforestation compared to the west (Acre, 2010; INPE, 2023). Therefore, understanding the patterns and mechanisms governing the distribution of ant species at regional scales, which present environmental gradients, can provide valuable information for the management and conservation of biodiversity in the Amazon.

To contribute to the knowledge related to metacommunities, we investigated the patterns and mechanisms of ant species distribution in the southwestern Brazilian Amazon. We hypothesize that the distribution pattern of ant species will be random, indicating no deterministic factor in ant distribution within the metacommunity. Alternatively, if coherence in distribution patterns is diagnosed, we predict it to be positive, indicating a Clementsian pattern (species assemblages respond similarly to a gradient of resources and conditions). Regarding mechanisms, we expect ant assemblages to be primarily structured by species sorting, one of the most commonly reported mechanisms in metacommunity studies (Vazquez et al., 2019). Additionally, we verify if patterns and mechanisms are influenced by ant habitat use. We expect forest specialists to be mainly shaped by species sorting, while open-area specialists and generalists are structured by mass effects.

2. Methods

2.1. Study site

The study was conducted in the state of Acre, located in the southwestern Brazilian Amazon. This region exhibits a varied geographical gradient, resulting in considerable climatic and environmental diversity that influences vegetation and provides the state with a wide range of forest types (Daly & Silveira, 2008). These forest types range from “Terra Firme” forests with the presence of bamboo and palm trees to dense forests with continuous canopies and white-sand vegetational complexes such as “Campinas” and “Campinaranas” (Acre, 2010; Silveira, 2005). The equatorial climate of the state is characterized as hot and humid, with an annual precipitation average of 2,200-2,500 mm, with January being the wettest month and July the driest (Alvares et al., 2013). Most of the state's territory (80%) comprises clay-sand sediment soils of the Solimões formation, except for the northwestern region, where Paleozoic and Mesozoic rocks predominate (Bardales et al., 2010; Acre, 2010).

2.2. Sampling design

A total of 16 areas were chosen throughout the state of Acre (Figure 1). In each of these areas, we established a 200 m long transect, along which we set up 10 plots of 25 m² (5x5 m), spaced 20 m apart.

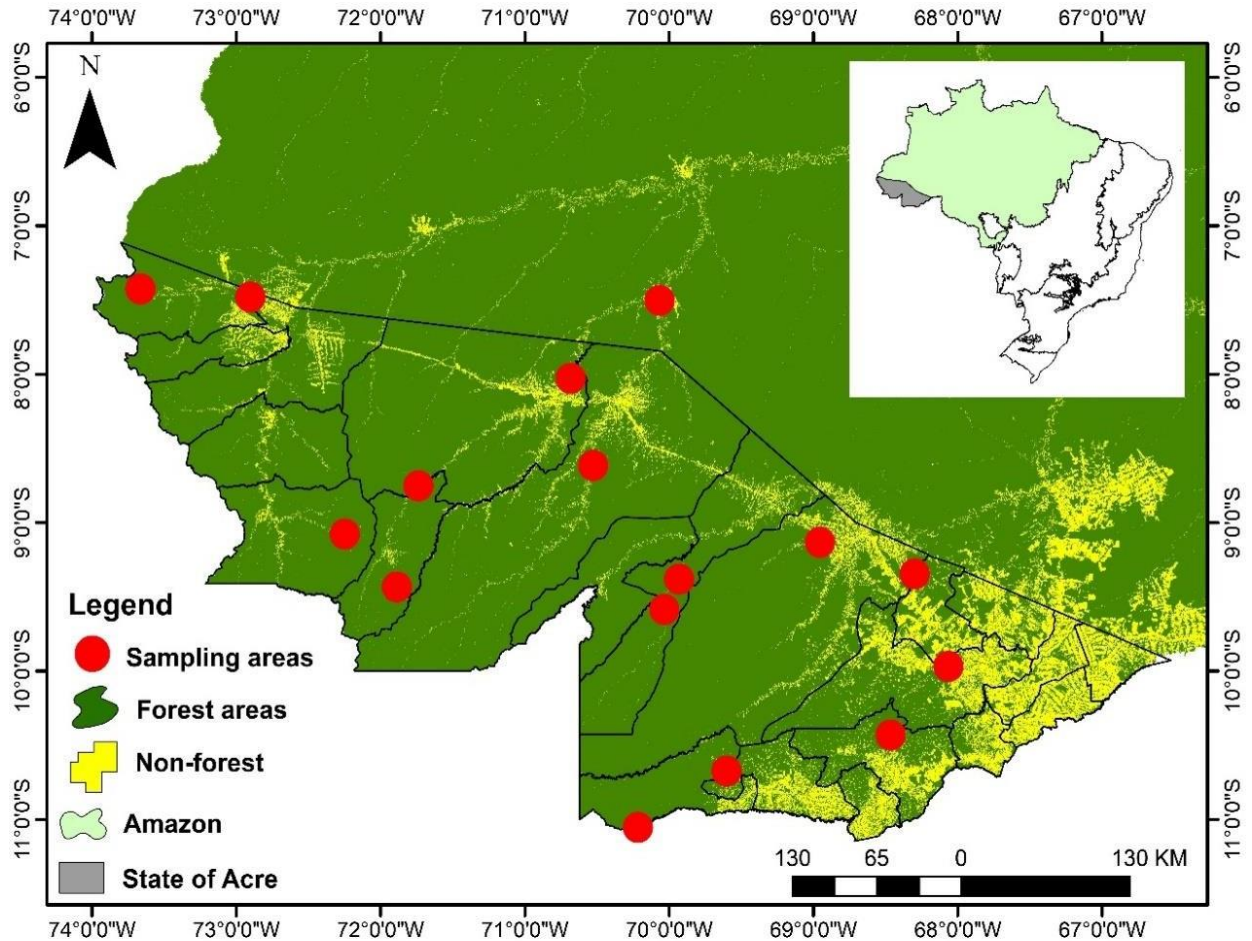


Figure 1. Geographical distribution of the sampling areas in the state of Acre, southwestern Brazilian Amazon.

2.3. Sampling and identification of ants

Ant sampling was conducted between November 2014 and May 2019. In each plot, we installed three pitfall traps: one on the soil surface, one on tree trunks, and one in the subsoil (Bestelmeyer et al., 2000; Ribas et al., 2003; Schmidt & Solar, 2010). Additionally, we collected a 1 m² sample of leaf litter. The pitfall traps consisted of 300 ml plastic containers containing a killing solution of water, glycerol (5%), and salt (0.9%), left in the field for 48 hours. Ants in the leaf litter sample were collected using a mini-Winkler extractor, with a fauna extraction period of 48 hours (Bestelmeyer et al., 2000). The ants collected in the pitfall traps and leaf litter constituted the plot's ant sample, while the combined ant samples from the ten

plots comprised the ant assemblage of the sampling area.

All collected material was stored in vials containing 90% alcohol for sorting, mounting, and identification in the laboratory. Specimens of each morphospecies from each sample were separated for mounting, forming a physical and reference collection for the project. For ant identification to the genus level, we used taxonomic keys available for the ant genera of Brazil (Baccaro et al., 2015). Ants belonging to the same genus were separated into morphospecies based on external morphology similarity. Species-level identification was conducted at the Museum of Zoology of the University of São Paulo (MZUSP) and through comparisons with specimens from the Ant Collection of the Insect Ecology Laboratory at the Federal University of Acre (UFAC). Species-level determinations were made by experts: Dr. Mônica Ulyseá, Dr. Lívia Prado, Dr. Otávio Silva, Dr. Victor Nagatani, and M.Sc. Esperidião Santos Neto. All collected ants were deposited in the Ant Collection of the Insect Ecology Laboratory at UFAc.

2.4. Definition of habitat-use guilds

To categorize the ant fauna according to habitat use, we restricted our analysis to ants identified to the species level. This approach was adopted because species-level identified ants provide more precise information about their habitat preferences, enabling a more reliable classification. Initially, we consulted the habitat use affinity available in the BAH! application (2023), which provides this information for approximately 80% of the ant fauna occurring in Brazil. Ant species for which habitat affinity was not available were categorized using the method proposed by Dutra et al., (2023), categorizing the species into three groups: forest specialists (with 80% or more occurrence in forests), open-area specialists (with 80% or more occurrence in open areas such as savannas and pastures), and generalists (without clear habitat affinity).

2.5 Set of variables

To identify the mechanisms responsible for the distribution of ant species in the southwestern Brazilian Amazon, we utilized environmental and spatial variables. We selected variables related to environmental conditions (precipitation) and available resources (proportion of forest cover). For precipitation data, we opted to use annual precipitation, precipitation of the wettest month, and precipitation of the driest month, due to their reported influence on ant richness (Parr & Bishop, 2022; Vasconcelos et al., 2018). Values were manually extracted from each raster using the "*extract*" function from the R package "*raster*"

(Hijmans, 2020), using the geographical coordinates of the sampling areas as reference points. The bioclimatic precipitation variables consist of raster layers with a spatial resolution of 1 km², available from WorldClim (Fick & Hijmans, 2017).

The proportion of forest cover has been identified as one of the main drivers of ant species diversity across various spatial scales (Ahuatzin et al., 2019; Costa & Schmidt, 2022; Martins et al., 2022; Solar et al., 2016). Therefore, we delineated a buffer with a radius of 500 meters from the central point of the transect. This radius was selected to represent a biologically significant spatial extent for ant interactions with landscape elements, including the dispersal of winged ants (Hölldobler & Wilson, 1990), and is crucial for the coexistence and dispersal of various ant species between different habitats (Schmidt et al., 2017; Spiesman & Cumming, 2008). To assess forest cover around the sampling areas, we calculated this proportion based on land use and land cover maps provided by the MapBiomias project, using the "*multi.land.mtrc*" function from the R package "*spatialEco*" (Evans, 2021).

The extraction of the above-mentioned variables was performed in R 4.3.0 (R Core Team, 2024).

As a spatial variable, we used the geographical coordinates of each of the 16 sampling areas, including both latitude and longitude, which were obtained directly in the field.

2.6. Data analysis

Initially, we evaluated the normality of the data using the Shapiro-Wilk normality test. Subsequently, we conducted Spearman correlation tests between the three precipitation variables: annual precipitation, precipitation of the wettest month, and precipitation of the driest month. We established a correlation threshold of 0,7 ($p < 0,05$), indicating that if the correlation between variables exceeded this value, we would select the variable deemed ecologically more important. We identified a strong correlation between annual precipitation and precipitation of the wettest month (0,94) and decided to use annual precipitation, as it better reflects local conditions.

The determination of ant species distribution patterns was based on the analytical procedure described by Presley et al., (2010). For this, the data were organized in a doubly ordered incidence matrix, with species richness and occurrence in communities (Leibold & Mikkelsen, 2002). This procedure grouped species by similar occurrence and communities by similar richness, creating a gradient within the matrix (Presley et al., 2010). The communities analysed included the total ant community, forest specialist ants, and generalist ants. Ant

species specialized in open areas were not included in the analysis due to the low number of species (four species). Double matrix ordering is the best procedure to identify patterns of species co-occurrence in the absence of an explicit gradient (Leibold & Mikkelsen, 2002).

The coherence of the communities was calculated considering the ratio between observed and simulated values (Vieira et al., 2020). If this ratio is not significant ($p < 0,05$), it indicates a lack of coherence in the species distribution among local communities within the metacommunity (Leibold & Mikkelsen, 2002). If the ratio between observed and simulated values is significant ($p \geq 0,05$), it means there is coherence in the formation of local communities within the metacommunity (Presley et al., 2010). A value of this ratio greater than one is considered coherence due to competition, forming a checkerboard pattern. If the value is less than one, it is considered that community coherence is due to species turnover.

When *turnover* is identified as the structuring element of local communities within the metacommunity, two patterns are then verified: *nested subsets* and *boundary clumping*. If the ratio between observed and simulated values is significant and less than one (1), *turnover* occurs due to *nested subsets*; if greater than one (1), it occurs due to *boundary clumping*. If the ratio between observed and simulated values is not significant, *turnover* between communities occurs in a quasi-structured manner.

Finally, we calculated the Morisita index independently of the patterns identified above. The Morisita index will have a specific meaning according to the *turnover* patterns – *nested subsets* or *boundary clumping* (Vieira et al., 2020). In the case of *nested subsets*, a non-significant Morisita index represents a random loss of species; a significant index greater than one (1) indicates aggregated species loss; and less than one (1) indicates hyper-dispersed species loss. Conversely, for *boundary clumping*, a non-significant index represents a Gleasonian pattern of species replacement; a significant index greater than one (1) indicates a Clementsonian pattern of species replacement; and less than one (1) indicates a uniformly spaced pattern of species replacement.

To identify the mechanisms responsible for structuring ant communities within the metacommunity context in the southwestern Brazilian Amazon, we conducted Redundancy Analysis (RDA) to verify the relative contribution of environmental variables (precipitation and proportion of forest cover) and spatial variables (latitude and longitude). We then used the community matrix (presence/absence) of ant species, with the ant assemblage of each collection area composed of ants collected from the ten plots, resulting in 16 collection areas and the chosen predictor variables to determine the variance partitioning. To identify the predominant mechanism (i.e., species filtering, patch dynamics, mass effect, and neutral theory), we

considered the significant relative contribution ($p \geq 0,05$) of environmental (precipitation or proportion of forest cover) and spatial (geographical) variables. We followed the decision based on the relative importance of environmental and spatial processes (Cottenie, 2005). Thus, if only environmental variables show significant values, we can infer that the predominant mechanism is species filtering. If only spatial variables show significant values, the predominant mechanism is patch dynamics. However, if both variables (environmental and spatial) show significant contributions, the structuring mechanism is the mass effect. If no variable shows a significant contribution, species distribution occurs randomly – neutral theory. We conducted Redundancy Analysis (RDA) for all ant species and also for groups classified by habitat affinity separately.

3.Results

3.1. *Ant fauna and habitat affinity*

We collected a total of 365 ant species, of which 41% were identified to the species level, while 59% were separated into morphospecies. These ant species belong to 59 genera and are distributed across eight subfamilies. The Myrmicinae subfamily had the highest number of species, with 215 records, followed by Formicinae (50), Ponerinae (45), Dolichoderinae (21), Ectatomminae (17), Dorylinae (7), Pseudomyrmecinae (6), Amblyoponinae (2), Proceratiinae (2), and Paraponerinae (1). Among the collected species, four were recorded for the first time in Brazil: *Pseudomyrmex crudelis* Ward, 1999, *Strumigenys longispinosa* Brown, 1958, *Strumigenys gundlachi* (Roger, 1862), and *Stegomyrmex connectens* Emery, 1912 (Janicki et al. 2023). Additionally, 30 species were recorded for the first time in the state of Acre.

We classified 151 ant species based on their habitat use. Of these, 102 species were identified as forest specialists (67,55%), 45 as generalists (29,80%), and four as open area specialists (2,65%) (Table 1 – Supplementary Material - Scientific paper 1). However, two species could not be classified due to a lack of available information: *Apterostigma jubatum* Wheeler, 1925 and *Paratrachymyrmex diversus* (Mann, 1916).

3.2. *Patterns of ant metacommunity*

We identified different patterns in the metacommunity analyses for each set of ant species. For the dataset analysed using all ant species, we found significant coherence ($p < 0,001$) with an observed-to-simulated ratio of 0,80839, but with non-significant *turnover* ($p =$

0,151) - quasi-structured with a significant Morisita's index of 1,219394 indicating a Clementsonian pattern (Table 1). For the dataset of forest specialist ant species, the metacommunity analysis showed significant coherence ($p < 0,001$) with an observed-to-simulated ratio of 0,88152, indicating *turnover* with a value of 1,204546 and significant ($p = 0,035$), and finally, a significant Morisita's index of 1,238255 indicating a Clementsonian pattern. The metacommunity analysis for the group of generalist ant species indicated coherence with an observed-to-simulated ratio of 0,617049 and significant ($p < 0,001$), indicating *turnover* with a value of 1,287398 and non-significant ($p = 0,052$), quasi-structured with a Morisita's index of 1,387387 indicating a Clementsonian pattern.

Table 1: Statistics of the metacommunity structure elements for ant metacommunity in the southwestern Brazilian Amazon. Observed: The observed value; Randomized: The value obtained from a randomized null model; Observed/Randomized: The ratio of observed to randomized values; $P < 0,05$; df = degrees of freedom.

Element	Metacommunity		
	Total	Forest Specialists	Generalists
Species richness	365	102	45
Coherence			
Observed	3.613	830	258
Randomized	4.469,377	1.110,228	418,1191
Observed/Randomized	0,80839	0,747594	0,617049
P	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$
Turnover			
Observed	294.747	25942	6187
Randomized	276.697,8	21536,74	4805,818
Observed/Randomized	1,066231	1,204546	1,287398
P	0,151	0,035	0,052
Boundary clumping			
Morisita's index	1,219394	1,238255	1,387387
P	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$
df	13	13	13

3.3. Mechanisms of ant metacommunity

In the variance partitioning for all ant species (365 species), the explanatory variables (latitude, longitude, proportion of forest cover, annual precipitation, and precipitation of the

driest month) explained about 36% of the total variability. Among the variables analysed, latitude ($p > 0,038$ – spatial variable) and annual precipitation ($p > 0,016$ – environmental variable) showed significant values (Table 1). Thus, we can infer that the structuring mechanism of the ant metacommunity in the southwestern Brazilian Amazon is the mass effect.

Analysing the ant species by habitat use, for forest specialists the explanatory variables explained about 34% but none of the analysed variables had significant values (Table 1). Therefore, the structuring mechanism for the metacommunity of forest specialist ants in the southwestern Brazilian Amazon is the neutral theory. For the species classified as generalists, the variables explained about 37% of the total variability. Among these explanatory variables, latitude ($p > 0,022$ – spatial variable) was the only one with a significant value (Table 2). Consequently, the metacommunity of generalist ant species in the southwestern Brazilian Amazon is structured by patch dynamics.

Table 2: Redundancy Analysis and significance of explanatory variables in structuring the ant metacommunity grouped by habitat affinity in the southwestern Amazon region of Brazil. Significant values are indicated with an asterisk (*).

	<i>Latitude (geographical)</i>	<i>Longitude (geographical)</i>	<i>Forest Cover (environmental)</i>	<i>Annual Precipitation (environmental)</i>	<i>Precipitation of Driest Month (environmental)</i>
All Ants	0,038*	0,639	0,589	0,016*	0,238
Forest Specialist Ants	0,473	0,924	0,335	0,427	0,156
Generalist Ants	0,022*	0,599	0,652	0,814	0,116

4. Discussion

4.1. Ant fauna and habitat affinity

We observed a wide diversity of ants in the southwestern Amazon, with the collection of 365 ant species. By classifying the ants into habitat use guilds, we gained a clearer understanding of the composition of ant assemblages. The majority of ant species were classified as forest specialists, likely due to the predominance of forested areas in the collection sites and the strong association of ants with forest habitats in the Neotropical region (Moreau & Bell, 2013). However, some species show the ability to tolerate more open habitats, being classified as generalists, while a few are specialists in open habitats (Dutra et al., 2023; Martins et al., 2022). These guilds respond differently to natural variation in conditions (e.g., precipitation) (Vasconcelos et al., 2018) and changes in land use (Dutra et al., 2023; Sales & Schmidt, 2023) and forest cover (Martins et al. 2022; Scientific paper 1).

4.2. Structuring patterns of the ant metacommunity

The coherence analysis revealed significant results for all groups of ant species (total, forest specialists, and generalists), suggesting that local communities are well-defined units within the metacommunity. This pattern implies that environmental gradients structure the metacommunities of ant species in the southwestern Amazon (Mouquet & Loreau, 2003; Presley et al., 2010).

The metacommunity structuring patterns of ant species in the southwestern Amazon vary according to different species sets (total, forest specialists, and generalists). The analysis by habitat use guilds affinity allowed for identifying which segment of the ant fauna shows evident metacommunity patterns, detected only for forest specialist ants. Studies adopting this approach provide a more accurate view of how environmental changes, both natural (Vasconcelos et al., 2018) and anthropogenic (Dutra et al., 2023; Martins et al., 2022), affect the composition of ant assemblages. Thus, applying guilds habitat use affinity in metacommunity analysis allowed a more conclusive identification of patterns and mechanisms. Forest specialist ant species demonstrated a Clementsian pattern, indicating they share similar environmental requirements (Clements, 1916). This can be explained by the gradient of forest cover, ranging from 53,39% to 99,57% in the areas and local communities. Forest specialist ants are responding to this gradient, as evidenced by the variation in species richness of forest ants at different levels of forest cover (Scientific paper 1; Martins et al., 2022).

The lack of an evident species distribution pattern for both the total species set and the generalist species suggests that the communities are partially organized into clusters, characterized by a less evident pattern and a weak species-environment gradient relationship (Presley et al., 2010). This pattern can be explained, in the case of the total species set, by a large presence of morpho-species, generating many occurrences, making it difficult to detect a clear species distribution pattern. For the generalist ant species, this pattern may be due to their ability to tolerate a wide range of environmental conditions, thus not being specific to a particular habitat type (Dutra et al., 2023).

4.3. Structuring mechanisms of ant species in a metacommunity

The mechanisms revealed by Redundancy Analysis did not corroborate our initial hypotheses. For the total set of ant species, the mass effect was predominant. This suggests that

immigration and emigration dynamics are crucial for local population dynamics, as less efficient competitor species migrate to areas with better environmental conditions, where they become more effective competitors (Bowler & Benton, 2005; Morales et al., 2010). Thus, we must emphasize the importance of well-preserved areas that serve as sources of biodiversity for less preserved regions, reinforcing the need for conservation of these areas.

For forest specialist ant species, none of the variables showed statistical significance, suggesting that the structuring of these metacommunities can be explained by neutral theory. Neutral theory posits that all species are ecologically similar in their competitive ability, dispersal, and ecological requirements, with metacommunity dynamics dominated by stochastic processes such as random dispersal, extinction, and colonization (Hubbell, 2001). Thus, for forest specialist ants, having stochastic processes as the structuring mechanism of the metacommunity can be explained by the fact that all ant assemblages are in forest areas, with all species being specialists in this habitat, facilitating unrestricted dispersal among these forest areas (Schmidt et al., 2017).

For generalist ant species, latitude was the only significant variable, indicating that spatial distribution is an important factor in the structuring of this metacommunity. This suggests that the predominant structuring mechanism is patch dynamics, which assumes that all areas are similar and can be either occupied or unoccupied (Amarasekare & Possingham, 2001; Wimberly, 2006).

5. Conclusion

This study stands out for its pioneering approach in addressing both the patterns and mechanisms of metacommunity in ant assemblages. The analyses conducted by habitat use guilds affinity provided a clear visualization of the differences in patterns and mechanisms within a single ant assemblage.

Considering the increasing anthropogenic pressure on the Amazon rainforest (Flores et al., 2024; Lapola et al., 2023), it is important to investigate how these impacts may affect the patterns and mechanisms of ant assemblages. Given that habitat use guilds respond differently to anthropogenic impacts, our results reinforce the need to project the response of distribution and diversity of these guilds under future scenarios of climate change and land use in the Amazon. This will help identify potential tipping points for its biodiversity.

Acknowledgements

This research is part of the "Amazon Insect Biodiversity Project" ("BIA Network"), and we express our gratitude to E. Morato for his excellent companionship throughout the collections. We deeply appreciate the community in each of the sixteen areas where we conducted our collections. We acknowledge the valuable contributions of L.K. Fontenele and S. Andrade during fieldwork. Our heartfelt thanks go to the dedicated team at the Laboratory of Systematics, Evolution, and Hymenoptera Biology at the Museum of Zoology, USP, for species identification, especially M. A. Ulysséa. We also extend our gratitude to the team involved in assembly and identification up to the genus level at the Ant Ecology Laboratory of the Federal University of Acre. Special thanks to F.M. for his assistance with statistical analyses. C. R. R. thanks the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (PPM-00736-18). This study is part of M.M.S. Costa's doctoral research, supported by financial aid from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES, financial code: 001).

6. References

- Acre, GOVERNO DO ESTADO (2010) Programa estadual de zoneamento ecológico econômico do estado do acre, Fase II (escala 1:250,000): documento síntese. Rio Branco: *Secretaria Estadual de Meio Ambiente*, 152p
- Ahuatzin, D. A., Corro, E. J., Jaimes, A. A., Valenzuela González, J. E., Feitosa, R. M., Ribeiro, M. C., Acosta, J. C. L., Coates, R., & Dáttilo, W. (2019). Forest cover drives leaf litter ant diversity in primary rainforest remnants within human-modified tropical landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 28(5), 1091–1107. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01712-z>
- Albert, J. S., Carnaval, A. C., Flantua, S. G. A., Lohmann, L. G., Ribas, C. C., Riff, D., Carrillo, J. D., Fan, Y., Figueiredo, J. J. P., Guayasamin, J. M., Hoorn, C., de Melo, G. H., Nascimento, N., Quesada, C. A., Ulloa Ulloa, C., Val, P., Arieira, J., Encalada, A. C., & Nobre, C. A. (2023). Human impacts outpace natural processes in the Amazon. *Science*, 379(6630). <https://doi.org/10.1126/science.abo5003>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Amarasekare, P., & Possingham, H. (2001). Patch Dynamics and Metapopulation Theory: the Case of Successional Species. *Journal of Theoretical Biology*, 209(3), 333–344. <https://doi.org/10.1006/jtbi.2001.2269>
- Artaxo, P. (2023). Amazon deforestation implications in local/regional climate change.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 120(50), 3–5. <https://doi.org/10.1073/pnas.2317456120>

Baccaro, F. B., Feitosa, R. M., Fernandez, F., Fernandes, I. O., Izzo, T. J., Souza, J. L. P., & Solar, R. (2015). Guia para os gêneros de formigas do Brasil. In *Editora INPA*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.32912>

BAH! (2023) - Brazilian Ant Habitat-use guilds. *Mobile application software*. (Version 1.0). Rio Branco: Laboratório de Ecologia de Formigas - UFAC

Bardales, N.G., Rodrigues T.E., Oliveira H., et al AMARAL, E.F. (2010) Formação, classificação e distribuição geográfica dos solos do Acre. In: ACRE. *Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. Recursos naturais: geologia, geomorfologia e solos do Acre: zoneamento ecológico econômico do Acre fase II – escala 1:250.000*. Rio Branco, AC. p. 64-98. (Coleção temática do ZEE. Livro temático, v. 2).

Bestelmeyer, B. T., & Wiens, J. A. (2001). Ant biodiversity in semiarid landscape mosaics: The consequences of grazing vs. natural heterogeneity. *Ecological Applications*, 11(4), 1123–1140. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1123:ABISLM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1123:ABISLM]2.0.CO;2)

Bestelmeyer, B.T., Agosti D., Alonso L.E., Brandão, C. R. F., et al (2000) Field techniques for the study of ground dwelling ants. An overview, description, and evaluation. In: Agosti D., Majer J.D., Alonso L.E. and Schultz T.R. (Eds.), *Ants: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press. pp. 122– 144.

Bowler, D. E., & Benton, T. G. (2005). Causes and consequences of animal dispersal strategies. *Biological Reviews*, 80, 205–225.

Brasil, L. S., Vieira, T. B., de Oliveira-Junior, J. M. B., Dias-Silva, K., & Juen, L. (2017). Elements of metacommunity structure in Amazonian Zygoptera among streams under different spatial scales and environmental conditions. *Ecology and Evolution*, 7(9), 3190–3200. <https://doi.org/10.1002/ece3.2849>

Carolina, M., Pablo, T., & Gerardo Ruben, C. (2020). Changes in the roles of spatial and environmental processes in the structuring of rodent metacommunities. *Basic and Applied Ecology*, 45, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.03.001>

Carvalho, T. S., Domingues, E. P., & Horridge, J. M. (2017). Controlling deforestation in the Brazilian Amazon: Regional economic impacts and land-use change. *Land Use Policy*, 64, 327–341. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.001>

Chaddad, F., Mello, F. A. O., Tayebi, M., Safanelli, J. L., Campos, L. R., Amorim, M. T. A., Barbosa de Sousa, G. P., Ferreira, T. O., Ruiz, F., Perlatti, F., Greschuk, L. T., Rosin, N. A., Fim Rosas, J. T., & Demattê, J. A. M. (2022). Impact of mining-induced deforestation on soil surface temperature and carbon stocks: A case study using remote sensing in the Amazon rainforest. *Journal of South American Earth Sciences*, 119(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103983>

Clements, F. E. (1916). *Plant succession: an analysis of the development of vegetation* (No. 242). Carnegie institution of Washington

Costa, M. M. S. da, & Schmidt, F. A. (2022). Gamma, alpha, and beta diversity of ant assemblages response to a gradient of forest cover in human-modified landscape in Brazilian Amazon. *Biotropica*, 54(2), 515–524. <https://doi.org/10.1111/btp.13073>

Cottenie, K. (2005). Integrating environmental and spatial processes in ecological community

- dynamics. *Ecology Letters*, 8(11), 1175–1182. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>
- Daly, D. C., & Silveira, M. (2008). *Primeiro catálogo da flora do Acre, Brasil*. EDUFAC.
- Diamond, J.M. (1975) Assembly of species communities. In: Cody ML, Diamond JM (eds) *Ecology and evolution of communities*. Cambridge, Mass: Harvard Univ Press, p 342–444
- Duarte, A. F. (2006). Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971 - 2000. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3), 308–317.
- Dutra, D. B. de S., Feitosa, R. M., Jory, T. T., da Silva Sales, F. M., Fontenele, L. K., da Costa, M. M. S., & Schmidt, F. A. (2023). Ant habitat-use guilds response to forest-pasture shifting in the southwestern Amazon. *Journal of Insect Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10841-023-00544-1>
- Economo, E. P., Narula, N., Friedman, N. R., Weiser, M. D., & Guénard, B. (2018). Macroecology and macroevolution of the latitudinal diversity gradient in ants. *Nature Communications*, 9(1), 1778. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04218-4>
- Evans, J. S. (2021) spatialEco_. *R package version 1.3-6*,
<URL:<https://github.com/jeffrejevans/spatialEco>>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Flores, B. M., Montoya, E., Sakschewski, B., Nascimento, N., Staal, A., Betts, R. A., Levis, C., Lapola, D. M., Esquivel-Muelbert, A., Jakovac, C., Nobre, C. A., Oliveira, R. S., Borma, L. S., Nian, D., Boers, N., Hecht, S. B., ter Steege, H., Arieira, J., Lucas, I. L., ... Hirota, M. (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature*, 626(7999), 555–564. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06970-0>
- Gleason, H. (1926). The Individualistic Concept of the Plant Association Author (. *Torrey Botanical Society*, 53(1), 7–26.
- Göthe, E., Angeler, D. G., & Sandin, L. (2013). Metacommunity structure in a small boreal stream network. *Journal of Animal Ecology*, 82(2), 449–458. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12004>
- Griffiths, H. M., Ashton, L. A., Walker, A. E., Hasan, F., Evans, T. A., Eggleton, P., & Parr, C. L. (2018). Ants are the major agents of resource removal from tropical rainforests. *Journal of Animal Ecology*, 87(1), 293–300. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12728>
- Hijmans, R. J. (2020) _raster: *Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 3.3-13. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Hölldobler B. & Wilson E. O. (1990). The ants. *Harvard University Press*
- Holyoak, M., Leibold, M. A., Mouquet, N., Holt, R. D., & Hoopes, M. (2005). A framework for large scale community ecology. *Metacommunities: spatial dynamics and ecological communities*. The University of Chicago Press, Chicago, 1-31
- Hubbell, S. P. (2011). *The unified neutral theory of biodiversity and biogeography (MPB-32)*. Princeton University Press.
- INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2020) *Projeto PRODES - monitoramento da floresta amazônica por satélite*. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/prodes>. Accessed on December 20, 2023

- Lach, L., Parr, C., & Abbott, K. (Eds.). (2010). *Ant ecology*. Oxford university press.
- Lapola, D. M., Pinho, P., Barlow, J., Aragão, L. E. O. C., Berenguer, E., Carmenta, R., Liddy, H. M., Seixas, H., Silva, C. V. J., Silva-Junior, C. H. L., Alencar, A. A. C., Anderson, L. O., Armenteras, D., Brovkin, V., Calters, K., Chambers, J., Chini, L., Costa, M. H., Faria, B. L., ... Walker, W. S. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*, 379(6630). <https://doi.org/10.1126/science.abp8622>
- Lasmar, C. J., Rosa, C., Queiroz, A. C. M., Nunes, C. A., Imata, M. M. G., Alves, G. P., Nascimento, G. B., Ázara, L. N., Vieira, L., Louzada, J., Feitosa, R. M., Brescovit, A. D., Passamani, M., & Ribas, C. R. (2021). Temperature and productivity distinctly affect the species richness of ectothermic and endothermic multitrophic guilds along a tropical elevational gradient. *Oecologia*, 197(1), 243–257. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-05011-9>
- Leibold, M. A., & Chase, J. M. (2018). *Metacommunity ecology, volume 59*. Princeton University Press.
- Leibold, M. A., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J. M., Hoopes, M. F., Holt, R. D., Shurin, J. B., Law, R., Tilman, D., Loreau, M., & Gonzalez, A. (2004). The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*, 7(7), 601–613. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x>
- Leibold, Mathew A., & Mikkelsen, G. M. (2002). Coherence, species turnover, and boundary clumping: elements of meta-community structure. *Oikos*, 97(2), 237–250. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970210.x>
- Martins, I. S., Ortega, J. C. G., Guerra, V., Costa, M. M. S., Martello, F., & Schmidt, F. A. (2022). Ant taxonomic and functional beta-diversity respond differently to changes in forest cover and spatial distance. *Basic and Applied Ecology*, 60, 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.02.008>
- Meynard, C. N., Lavergne, S., Boulangeat, I., Garraud, L., Van Es, J., Mouquet, N., & Thuiller, W. (2013). Disentangling the drivers of metacommunity structure across spatial scales. *Journal of Biogeography*, 40(8), 1560–1571. <https://doi.org/10.1111/jbi.12116>
- Morales, J. M., Moorcroft, P. R., Matthiopoulos, J., Frair, J. L., Kie, J. G., Powell, R. A., Merrill, E. H., & Haydon, D. T. (2010). Building the bridge between animal movement and population dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1550), 2289–2301. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0082>
- Moreau, C. S., & Bell, C. D. (2013). Testing The Museum Versus Cradle Tropical Biological Diversity Hypothesis: Phylogeny, Diversification, And Ancestral Biogeographic Range Evolution Of The Ants. *Evolution*, 67(8), 2240–2257. <https://doi.org/10.1111/evo.12105>
- Mouquet, N., & Loreau, M. (2003). Community Patterns in Source-Sink Metacommunities. *The American Naturalist*, 162(5), 544–557. <https://doi.org/10.1086/378857>
- Moutinho, P., & Azevedo-Ramos, C. (2023). Untitled public forestlands threaten Amazon conservation. *Nature Communications*, 14(1), 1152. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36427-x>
- Paolucci, L. N., Solar, R. R. C., Sobrinho, T. G., Sperber, C. F., & Schoereder, J. H. (2012). How does small-scale fragmentation affect litter-dwelling ants? The role of isolation. *Biodiversity and Conservation*, 21(12), 3095–3105. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0356-5>

- Parr, C. L., & Bishop, T. R. (2022). The response of ants to climate change. *Global Change Biology*, 28(10), 3188–3205. <https://doi.org/10.1111/gcb.16140>
- Patterson, B. D., & Atmar, W. (1986). Nested subsets and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos. *Biological Journal of the Linnean Society*, 28(1–2), 65–82. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1986.tb01749.x>
- Presley, S. J., Higgins, C. L., & Willig, M. R. (2010). A comprehensive framework for the evaluation of metacommunity structure. *Oikos*, 119(6), 908–917. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18544.x>
- R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>
- Ribas, C. R., Schoereder, J. H., Pic, M., & Soares, S. M. (2003). Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology*, 28(3), 305–314. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01290.x>
- Ryder Wilkie, K. T., Mertl, A. L., & Traniello, J. F. A. (2010). Species Diversity and Distribution Patterns of the Ants of Amazonian Ecuador. *PLoS ONE*, 5(10), e13146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013146>
- Sales, F. M. da S., & Schmidt, F. A. (2023). Nesting stratum and habitat affinity matter in ant assemblage response to forest-pasture shifting. *EntomoBrasilis*, 16, e1024. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v16.e1024>
- Schmidt, F. A., Ribas, C. R., Feitosa, R. M., Baccaro, F. B., de Queiroz, A. C. M., Sobrinho, T. G., Quinet, Y., Carvalho, K. S., Izzo, T., de Castro Morini, M. S., Nogueira, A., Torezan-Silingardi, H. M., Souza, J. L. P., Ulysséa, M. A., Vargas, A. B., Dáttilo, W., Del-Claro, K., Marques, T., Moraes, A. B., ... Martello, F. (2022). Ant diversity studies in Brazil: an overview of the myrmecological research in a megadiverse country. *Insectes Sociaux*, 69(1), 105–121. <https://doi.org/10.1007/s00040-022-00848-6>
- Schmidt, F. A., & Solar, R. R. C. (2010). Hypogaecic pitfall traps: methodological advances and remarks to improve the sampling of a hidden ant fauna. *Insectes Sociaux*, 57(3), 261–266. <https://doi.org/10.1007/s00040-010-0078-1>
- Schmidt, Fernando A., Ribas, C. R., Sobrinho, T. G., Ubaidillah, R., Schoereder, J. H., Clough, Y., & Tscharrntke, T. (2017). Similar alpha and beta diversity changes in tropical ant communities, comparing savannas and rainforests in Brazil and Indonesia. *Oecologia*, 185(3), 487–498. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-3960-y>
- Silveira, M. (2005) A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas. *Edufac*, Rio Branco, Acre. 157pp.
- Solar, R. R. de C., Barlow, J., Andersen, A. N., Schoereder, J. H., Berenguer, E., Ferreira, J. N., & Gardner, T. A. (2016). Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. *Biological Conservation*, 197, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.03.005>
- Spiesman, B. J., & Cumming, G. S. (2008). Communities in context: the influences of multiscale environmental variation on local ant community structure. *Landscape Ecology*, 23(3), 313–325. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9186-3>
- Tilman, D. (1982) Resource competition and community structure. *Monographs in Population Biology*, 17, 1–29

- Vasconcelos, H. L., Maravalhas, J. B., Feitosa, R. M., Pacheco, R., Neves, K. C., & Andersen, A. N. (2018). Neotropical savanna ants show a reversed latitudinal gradient of species richness, with climatic drivers reflecting the forest origin of the fauna. *Journal of Biogeography*, 45(1), 248–258. <https://doi.org/10.1111/jbi.13113>
- Vasconcelos, H. L., Vilhena, J. M. S., Facure, K. G., & Albernaz, A. L. K. M. (2010). Patterns of ant species diversity and turnover across 2000 km of Amazonian floodplain forest. *Journal of Biogeography*, 37(3), 432–440. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02230.x>
- Vieira, T. B., Brasil, L. S., da Silva, L. C. N., Tejerina-Garro, F. L., de Aquino, P. de P. U., Pompeu, P. S., & de Marco, P. (2020). Elements of fish metacommunity structure in Neotropical freshwater streams. *Ecology and Evolution*, 10(21), 12024–12035. <https://doi.org/10.1002/ece3.6804>
- Villatarco Vazquez, A. P., Fernández, D. A., & Albariño, R. J. (2019). Drivers of macroinvertebrate metacommunity structure in Tierra del Fuego rivers. *Acta Oecologica*, 97(April), 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.04.001>
- Wilson, E. O., & Holldobler, B. (2005). The rise of the ants: A phylogenetic and ecological explanation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(21), 7411–7414. <https://doi.org/10.1073/pnas.0502264102>
- Wimberly, M. C. (2006). Species Dynamics in Disturbed Landscapes: When does a Shifting Habitat Mosaic Enhance Connectivity? *Landscape Ecology*, 21(1), 35–46. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-7757-8>

CONCLUSÃO GERAL

Nessa tese, objetivamos fornecer informações importantes sobre como as comunidades de formigas são influenciadas por diferentes variáveis ambientais e desvendar quais são os mecanismos ecológicos envolvidos nos padrões de diversidade e distribuição das espécies de formigas no sudoeste da Amazônia Brasileira. Isto é extremamente importante uma vez que as formigas são modelos ecológicos e participam de diversas funções ecossistêmicas, podendo influenciar outros organismos e a conservação dos mesmos e da floresta Amazônica. Primeiramente, observamos que a riqueza de espécies de formigas está fortemente associada ao aumento da cobertura florestal. Mas, ressaltamos que esse efeito é particularmente observado para as espécies que são classificadas como especialistas de floresta, destacando a sensibilidade dessas formigas às mudanças no uso da terra. Isso sugere que a conservação da cobertura florestal é crucial para a manutenção da biodiversidade de formigas, especialmente em regiões que vastas áreas de florestas tropicais têm sido desmatadas e convertidas em paisagens intensamente fragmentadas, como é o caso da Amazônia brasileira. A conservação das áreas de floresta não apenas sustenta a diversidade das espécies, mas também mantém os processos ecológicos fundamentais desempenhados pelas formigas. Para a composição de espécies de formigas, a distância geográfica foi o principal fator determinante, superando a influência da cobertura florestal e da precipitação, mostrando que a limitação na capacidade de dispersão das formigas é um mecanismo importante na estruturação das comunidades da região. Nossos resultados enfatizam tanto a importância da cobertura florestal para a diversidade de espécies de formigas quanto os diferentes padrões de resposta de cada grupo de afinidade de habitat das espécies (especialistas de floresta, generalistas e especialistas de área aberta) às mudanças na cobertura florestal.

Também exploramos os padrões e mecanismos de metacomunidade das espécies de formigas no sudoeste da Amazônia brasileira. Encontramos que, para todos os grupos de espécies de formigas (total, especialistas florestais e generalistas), as comunidades locais são unidades bem definidas dentro da metacomunidade. Isso indica que gradientes ambientais estruturam as metacomunidades de espécies de formigas no sudoeste da Amazônia. Além disso, cada grupo de as guildas por uso de habitat das formigas no sudoeste da Amazônia também apresentam respostas distintas a mecanismos ecológicos.

Dessa forma, os resultados desta tese são úteis para orientar o estabelecimento de novos e eficientes esforços de conservação da Floresta Amazônica, além de contribuir para o entendimento dos mecanismos que estruturam as comunidades de formigas. Ao utilizar guildas

de uso de habitat, obtivemos uma visão detalhada das respostas específicas das espécies às mudanças ambientais. Esse achado não apenas reforça a necessidade de abordagens diversificadas de manejo, considerando a resposta das diferentes guildas de formigas aos fatores ambientais, mas também sugere que outros grupos de organismos podem apresentar respostas semelhantes. Portanto, seria importante investigar como essas mudanças ambientais afetam diferentes grupos de organismos para desenvolver estratégias de conservação e manejo mais abrangentes e eficazes.

Além disso, a Comunicação Pública da Ciência teve um papel crucial na minha formação como doutora. Desenvolver habilidades em divulgação científica me permitiu transformar meu conhecimento acadêmico em conteúdo acessível e relevante para o público em geral e me ajudou a construir uma ponte entre o meio acadêmico e a sociedade. O sucesso e a aceitação do meu trabalho demonstram como a comunicação eficaz é importante para promover a ciência e aumentar o interesse público.

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

Durante meu doutorado, fui organizadora e participei de várias ações voltadas para a divulgação e popularização da ciência. Uma dessas iniciativas foi a organização de um *e-book* intitulado "Formigas em Cores", lançado em novembro de 2022 (Em anexo), a fim de proporcionar conhecimento sobre a fauna de formigas brasileiras e desmistificar o papel negativo associado a elas. Para escolha das 25 espécies de formigas que fazem parte do *e-book* seguimos alguns critérios de seleção buscando contemplar a maior diversidade morfológica possível entre as espécies: i) espécies popularmente conhecidas; ii) variedade nas funções ecológicas que desempenham; iii) espécies ameaçadas de extinção; iv) espécies com registro de ocorrência no Brasil; e v) espécies descritas por pesquisadoras e pesquisadores brasileiros. Até o momento, 472 pessoas fizeram o download por meio do questionário online, e mais de 1.295 pessoas acessaram o *e-book* (ResearchGate - acesso em 12 de julho de 2024). Além disso, participei do *podcast* "Atiçando o Formigueiro" no episódio "Ciência para Além da Academia: Popularizando o conhecimento sobre formigas" (Figura 1), que teve um total de 54 reproduções (acesso em 12 de julho de 2024), com 92% dos ouvintes do Brasil, 5% da Argentina e 2% da Austrália. Este *podcast* é uma iniciativa do Laboratório de Etologia, Ecologia e Evolução dos Insetos Sociais (LEEEIS) da Universidade de São Paulo (USP) que visa disseminar e popularizar a ciência. Também participei do desenvolvimento de jogos educativos, incluindo "Super Trunfo RESEX Chico Mendes" (Figura 2), "Jogo da Memória - Descobrindo a Natureza" (Figura 3), "Perfil Biológico – Explorando a Vida" (Figura 4) e "Associação Ecológica – Descobrindo os Habitats" (Figura 5). Esses jogos foram aplicados na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Rural Sandoval Batista de Araújo em agosto de 2022, com a participação de 150 alunos do ensino fundamental na cidade de Assis Brasil, Acre. Além disso, participei também do desenvolvimento do "Jogo da Memória - Formigas" (Figura 6), disponível online e aplicado na mesma escola, alcançando 30 alunos do ensino fundamental.

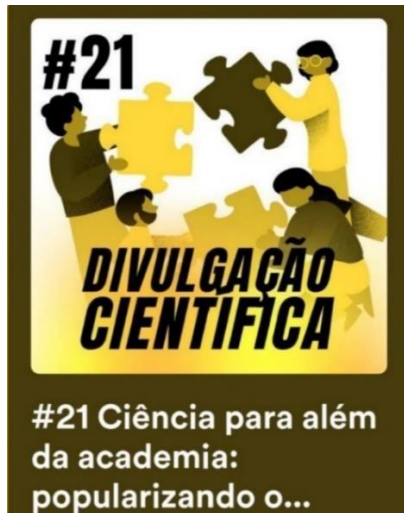


Figura 1

Descrição do episódio

“Saudações ouvintes! Hoje vamos refletir sobre pra quê e para quem serve a divulgação científica com as pesquisadoras e divulgadoras Marília Costa (UFLA) e Mariana Rabelo (UFLA). Quer saber mais sobre ciência e formigas? acompanhe o Instagram do LEEEIS (@leeeisusp). Você também pode mandar dúvidas e sugestões para o podcast através do e-mail aticandoformigueiro@gmail.com. Para conhecer mais projetos de divulgação científica com formigas confira nossas recomendações ao fim do episódio.”



Figura 2: Super Trunfo Resex Chico Mendes



Figura 3: Jogo da memória – Descobrindo a Natureza



Figura 4: Perfil Biológico – Explorando a vida

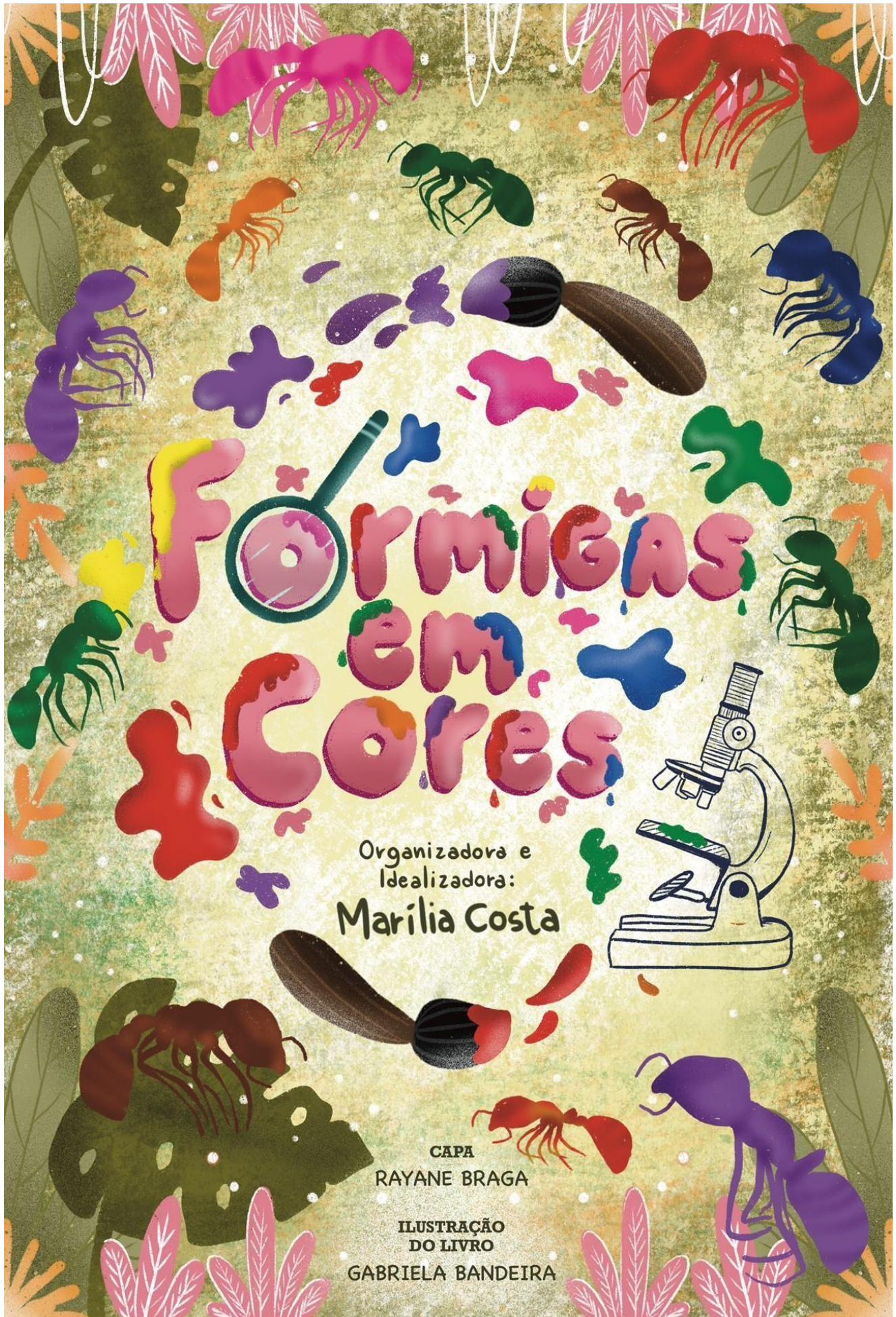


Figure 5: Associação ecológica – Descobrindo os habitats

**Download link**

<https://drive.google.com/file/d/1JZKeSdjHA7wOW5yLg15YtJyMPJSaqChV/view>

Figure 6: Jogo da memória – Formigas





Arte da Capa
Rayanne Braga

Ilustração do livro
Gabriela Bandeira

Organizadora e Idealizadora
Marília Costa

Autoras e Autores

Marília Costa

Carla Ribas

Gabriela Bandeira

Luane Fontenele

Rodrigo Feitosa

Lívia Prado

Fernando Schmidt



Edição

Marília Costa



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Formigas em cores [livro eletrônico] / organização
 Marília Costa ; ilustração Gabriela Bandeira.
 -- 1. ed. -- Lavras, MG : Ed. dos Autores,
 2022.
 PDF.

Vários autores.
 ISBN 978-65-00-56249-1

1. Biodiversidade - Literatura infantojuvenil
 2. Ecologia - Literatura infantojuvenil 3. Formigas -
 Literatura infantojuvenil I. Costa, Marília.
 II. Bandeira, Gabriela.

22-135149

CDD-028.5

Índices para catálogo sistemático:

1. Literatura infantil 028.5
2. Literatura infantojuvenil 028.5

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Autores

Marília Maria Silva da Costa

Ecóloga - Doutoranda em Ecologia Aplicada na Universidade Federal de Lavras (UFLA)
mariliamcostta@gmail.com

Carla Rodrigues Ribas

Bióloga - Professora e pesquisadora na Universidade Federal de Lavras (UFLA)
crribas@ufla.br

Gabriela Bandeira do Nascimento

Bióloga - Mestre em Entomologia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA)
gabrielabandeira.nascimento@gmail.com

Luane Karoline Fontenele Rocha

Bióloga - Doutoranda em Ecologia Aplicada na Universidade Federal de Lavras (UFLA)
luanefontenele@gmail.com

Rodrigo Machado Feitosa

Biólogo - Professor e pesquisador na Universidade Federal do Paraná (UFPR)
rsmfeitosa@gmail.com

Lívia Pires do Prado

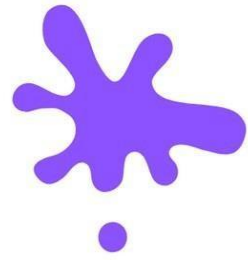
Zoóloga - Pós-doutoranda no Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP)
livia.pires7@gmail.com

Fernando Augusto Schmidt

Biólogo - Professor de Ecologia na Universidade Federal do Acre (UFAC)
fernando.schmidt@ufac.br

Ahh, as formigas...

Muitas pessoas me perguntam o porquê me apaixonei por estes pequenos seres que muitas vezes passam despercebidos por nós no dia a dia. Pode até parecer clichê, mas eu sempre respondo a mesma coisa: -Elas são lindas, fantásticas, eficientes e têm uma organização invejável. E é bem isso mesmo, as formigas me encantam por sua beleza, variedade de formas, cores, tamanhos, estratégias de vida, além das inúmeras funções que desempenham na natureza. E foi dessa minha paixão pelas formigas que nasceu a ideia do “Formigas em cores”. Este livro vem como uma maneira de demonstrar para vocês parte dessa diversidade de espécies de formigas conhecidas pela ciência. Todas as espécies presentes neste livro ocorrem no Brasil e serão apresentadas a vocês juntamente com seu nome científico, a autora ou o autor responsável por sua descrição e o seu nome popular. Suspeito que algumas dessas espécies vocês já conhecem e agora vão descobrir mais curiosidades sobre elas, legal demais, né? Dentre estas espécies, algumas foram nomeadas por pesquisadoras e pesquisadores do Brasil que serão apresentados para vocês aqui. Durante a leitura do livro, algumas palavras podem ser novas para vocês, elas estarão sublinhadas e suas definições podem ser encontradas no glossário presente no final do livro. Espero que ao decorrer destas páginas vocês possam também se encantar por estas pequenas e usarem a imaginação para colorir com muita criatividade todas as “Formigas em cores”.



Marília Costa

Prefácio

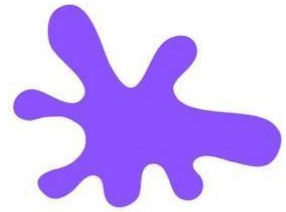
A todos vocês que engrandecem cor, coisas ínfimas de chão são minhas preferidas. Tenho a impressão que Marília, Carla, Gabriela, Luane, Livia, Rodrigo e Fernando, autoras e autores deste livro, também compartilham comigo essa paixão. Todos temos imensa predileção por formigas. Guardamos em nós a criança que vê caminhos de formigas pela primeira vez e, aguçada de curiosidade, tenta brotar qualquer entendimento sobre esses seres minúsculos de seis pernas que vagueiam em paisagens de latitudes diversas - na grama, na casca da árvore, na pedra, em casa, no chão da cozinha, no espaço entre azulejos.

Nestas páginas moram formigas antes desconhecidas para a ciência mas sabidas do lugar que escolheram para si. Cada uma com jeito, forma, tamanho, ninho, importância e nome únicos no mundo, como vocês. Ao vestirem cor a estas páginas, abandonem toda a precisão científica dos tons formigas preta, marrons, amareladas e, quando muito, avermelhadas. Aqui cabe toda a fantasia inventada em múltiplas cores que florescem o hoje e o amanhã. Que este livro formigável trilhe caminhos de tanajuras em todos vocês!

Mônica Antunes Ulysséa



Conhecendo as formigas



Com mais de um milhão de espécies conhecidas, os insetos são considerados os animais mais ricos e diversos, pois são incrivelmente variados em termos de formas e comportamentos e ocupam a maioria dos ecossistemas terrestres ou mesmo aquáticos. Entre os insetos, as formigas se destacam por viverem em sociedade, assim como algumas abelhas e os cupins. A sociedade das formigas é composta geralmente por uma rainha, que é a mãe de todas as formigas da colônia, e as operárias, que recebem este nome por participarem quase exclusivamente da “força de trabalho da colônia”, seja trabalhando na manutenção interna do ninho, no cuidado com a rainha e com as formiguinhas mais jovens (as larvas e pupas) ou saindo para buscar alimento e defender a colônia.

Um dos fatos mais interessantes sobre as formigas é que sua sociedade é basicamente feminina! Ou seja, tanto a rainha quanto as operárias são todas fêmeas. Os machos só surgem na colônia em períodos muito específicos, quando a colônia entra no período de reprodução. Nessa fase, a rainha coloca ovos que não foram fecundados e que darão origem aos machos. Diferente das operárias, os machos tendem a ser menores em tamanho e apresentam asas. No mesmo período, alguns dos ovos fecundados colocados pela rainha, que darão origem às fêmeas, recebem um “tratamento especial”. As larvas nascidas destes ovos recebem alimentos em maior quantidade e qualidade. Isso desencadeia uma mudança muito importante no corpo destas larvas. Elas tendem a aumentar em tamanho corporal e passam a desenvolver asas, além de um tórax muito robusto e um abdômen volumoso. Surgem assim as “rainhas aladas” ou “princesas”, que no futuro se tornarão as rainhas de suas próprias colônias.

No final do período reprodutivo, os machos e princesas de uma colônia saem voando para encontrar parceiros de outros ninhos, com os quais se acasalam. Este é o chamado “voo nupcial”. Após o acasalamento os machos morrem e as fêmeas, agora fecundadas, perdem as asas e começam o árduo trabalho de fundar sua própria colônia. Surge assim, mais um formigueiro, com sua nova rainha e em breve suas filhas, as operárias. Em algumas espécies de formigas, as operárias podem ter formas e tamanhos diferentes de acordo com a função que desempenham no ninho.

Algumas operárias podem desenvolver grandes e musculosas cabeças que internamente comportam uma potente musculatura, associada às mandíbulas. Essas operárias maiores e cabeçudas são as soldadas, cuja função é defender o ninho de inimigos ou, em alguns casos, transportar e triturar os alimentos rígidos que suas irmãs menores não conseguem manipular.

Estima-se que as formigas surgiram há cerca de 120 milhões de anos e hoje são conhecidas como o mais rico e ecologicamente diverso grupo de insetos sociais do planeta. Ao lado dos cupins, as formigas representam cerca de 2% das espécies de insetos conhecidas pela ciência até hoje, mas, por conta de sua abundância, podem representar mais de 50% do peso total de insetos em florestas tropicais do planeta. Atualmente, são conhecidas cerca de 14 mil espécies de formigas no mundo todo, mas os cientistas acreditam que este número possa superar 20 mil espécies! Isso porque certamente existem formigas em regiões ainda pouco exploradas pela humanidade que ainda não foram descobertas! Sendo um grupo tão diverso e dominante, as formigas mantêm interações com muitos outros organismos, incluindo diversos animais e plantas e, conseqüentemente, são fundamentais para a manutenção do equilíbrio de qualquer ecossistema terrestre.

Entre os serviços fundamentais prestados pelas formigas estão o controle da população de outros organismos por meio da predação, a dispersão de sementes, a proteção de plantas contra herbívoros e a modificação na estrutura física dos ambientes, já que seus ninhos podem remover grandes quantidades de terra e incorporar muita matéria orgânica no solo, aumentando sua fertilidade e promovendo o crescimento de plantas. Então, não é exagero dizer que, sem as formigas, nenhum ambiente terrestre poderia se manter a longo prazo e logo colapsaria. Claro, como as formigas dividem este planeta conosco, muitas das atividades realizadas pelas formigas podem afetar diretamente a nós humanos. Formigas que cortam folhas ou comem grãos podem afetar economicamente a produção de alimentos de consumo humano. Outras formigas se adaptaram a ambientes urbanos e podem causar problemas médicos e sanitários, no caso de pessoas alérgicas à sua picada ou em ambientes hospitalares, onde formigas urbanas podem transportar microrganismos causadores de doenças. Ainda assim, quando comparamos o número de espécies de formigas existentes com aquelas que possuem alguma importância econômica ou sanitária, fica óbvio que formigas são amplamente mais benéficas ao meio ambiente e a nós humanos do que potencialmente nocivas. Para compreender toda esta diversidade de formas, comportamentos e estratégias de vida, uma área inteira das Ciências Biológicas se dedica ao estudo das formigas, é a chamada Mirmecologia! Ou seja, as mirmecólogas e os mirmecólogos, cientistas que estudam formigas, dedicam sua profissão a compreender todos os aspectos relacionados à diversidade e importância das formigas.

Neste livro, apresentamos o fascinante mundo de algumas das espécies de formigas conhecidas pela ciência. Esperamos que as informações que trazemos aqui despertem em vocês o mesmo fascínio que nós temos por elas. Afinal, as formigas são os pequenos seres que movem o mundo!

Explicando o nome das formigas.



Atta sexdens (Linnaeus, 1758) - Formiga cortadeira; Formiga limão

Gênero

É a categoria taxonômica acima de espécie, que pode conter uma ou mais espécies. As espécies de um gênero geralmente são agrupadas por compartilharem uma ou mais características, que podem ser morfológicas, comportamentais, genéticas, entre outras. O nome do gênero aparece logo no início do nome de uma espécie e é sempre escrito com letra inicial maiúscula. *Atta*, *Cephalotes* e *Daceton* são alguns exemplos de nomes de gêneros que vocês encontrarão ao longo do livro.

Nome específico

Quando uma espécie é colocada em um gênero, a combinação do nome do gênero e do nome específico forma um binômio, por isso o nome científico tem sempre dois nomes. Esse segundo componente do nome binomial é o nome específico e deve ser escrito com letra inicial minúscula. Quando citado isoladamente, o nome específico não possui significado na nomenclatura zoológica.

Autor (a) e ano da descrição

Todo nome de espécie publicado tem um ou mais autores e uma data de publicação. A autora ou o autor de um nome é a pessoa que o publicou pela primeira vez, podendo existir duas ou mais pessoas como autoras de um mesmo nome. A data de publicação refere-se ao ano em que o nome foi disponibilizado formalmente pela primeira vez através da publicação do trabalho em que a espécie foi cientificamente descrita.

Nome popular

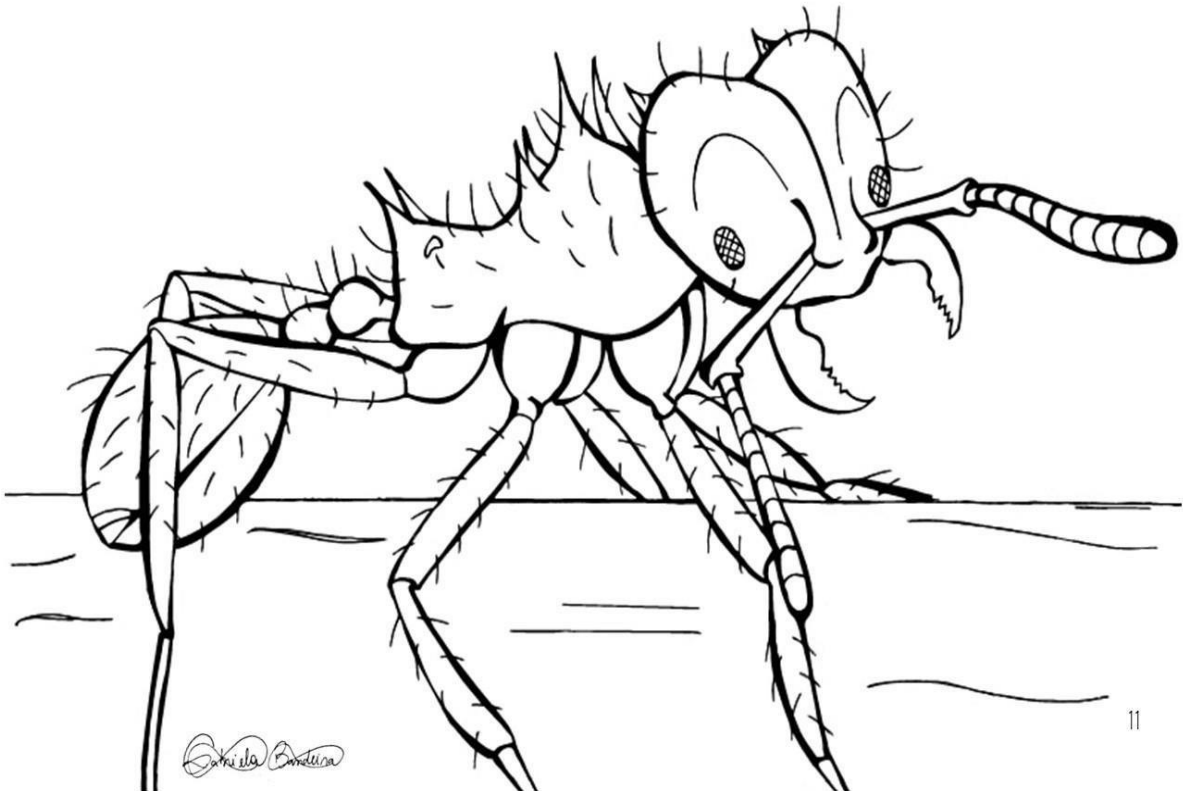
Nome comum de um organismo que não segue as regras do Código Internacional de Nomenclatura Zoológica mencionadas acima. Esses nomes se estabelecem através do convívio das pessoas com esses organismos, podendo variar de acordo com a região e englobar mais de uma espécie. Formiga-cabo-verde, Tocandira, Tucandeira e Formiga-bala são exemplos de nomes populares da espécie que tem o nome científico *Paraponera clavata*.

Atta sexdens (Linnaeus, 1758) - Formiga cortadeira; Formiga limão

As formigas do gênero *Atta* são conhecidas como formigas cultivadoras de fungos e já iremos explicar os motivos... Acho que muitos de nós já vimos aquele caminho enorme com várias formiguinhas carregando folhas, galhos, frutos e até mesmo sementes. Vocês sabiam que essas formigas não se alimentam disso? Na verdade, elas levam essas folhas para cultivar os fungos que se desenvolvem em seus ninhos (por isso o nome “cultivadora de fungos”). Isso mesmo. Elas têm um “jardim de fungos” e se alimentam dele. Assim como nós cuidamos das nossas plantações para ter sempre legumes e verduras, elas cuidam dos seus fungos tendo sempre alimento disponível. Interessante, né?

Por coletarem folhas, galhos, frutos e sementes, as cortadeiras possuem uma péssima fama de causarem prejuízos econômicos em plantações. Porém, também são benéficas, ajudando na aeração do solo, infiltração de água e na ciclagem de nutrientes da região onde vivem. Os ninhos são construídos no solo, podendo atingir até oito metros de profundidade! Durante a construção do ninho tudo é muito organizado, sabia? A arquitetura do formigueiro leva em conta a expulsão do gás carbônico produzido por elas e ainda faz com que o oxigênio circule, deixando tudo mais arejado.

Essa espécie foi descrita pelo naturalista sueco Carl Linnaeus. Ele é considerado o pai da taxonomia e idealizador do sistema de classificação, que foi o ponto de partida da nomenclatura zoológica.

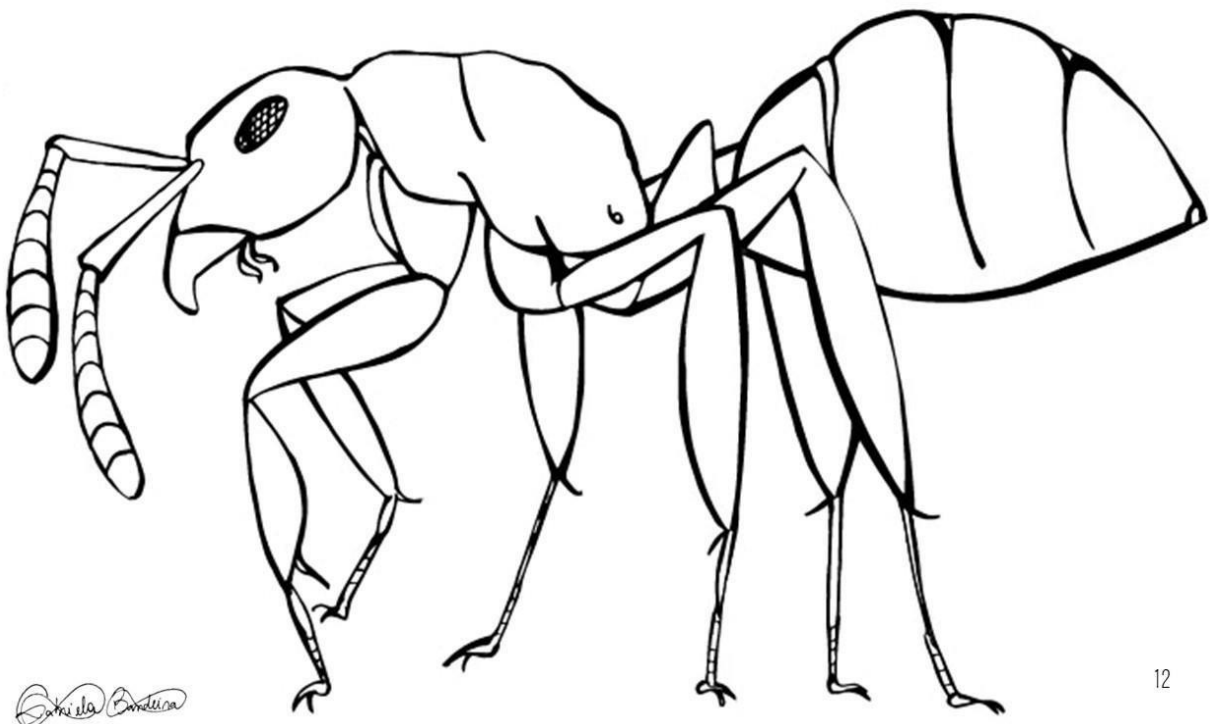


Camponotus sericeiventris (Guérin-Méneville, 1838)- Formiga carpinteira

Camponotus é um dos maiores gêneros de formigas, com mais de 1.000 espécies conhecidas até o momento. Algumas espécies deste gênero constroem seus ninhos em estruturas de madeira, como árvores, troncos caídos e até mesmo armários (por isso o nome “carpinteiras”). Seus ninhos geralmente são grandes e as colônias podem apresentar milhares de indivíduos. A alimentação das espécies deste gênero é diversificada, incluindo desde a seiva de algumas plantas até pequenos animais. A coloração varia entre tons de amarelo, preto e até mesmo dourada por conta de sua pilosidade, como é o caso de *Camponotus sericeiventris*. Uma verdadeira “formiga de ouro”!

Além da aparência dourada, um outro aspecto muito interessante é que existem aranhas muito parecidas com essa formiga. Esse fenômeno é conhecido como mimetismo, que é quando uma espécie imita características morfológica, químicas ou comportamentais de outra espécie. Assim, a aranha obtém vantagens como confundir o seu predador ou até mesmo se infiltrar nas colônias de formigas para se alimentar de algumas delas.

Essa espécie foi descrita por Félix Edouard Guérin-Méneville, entomólogo francês conhecido por suas contribuições envolvendo diversos grupos de insetos e também na criação de revistas científicas na área da Zoologia.

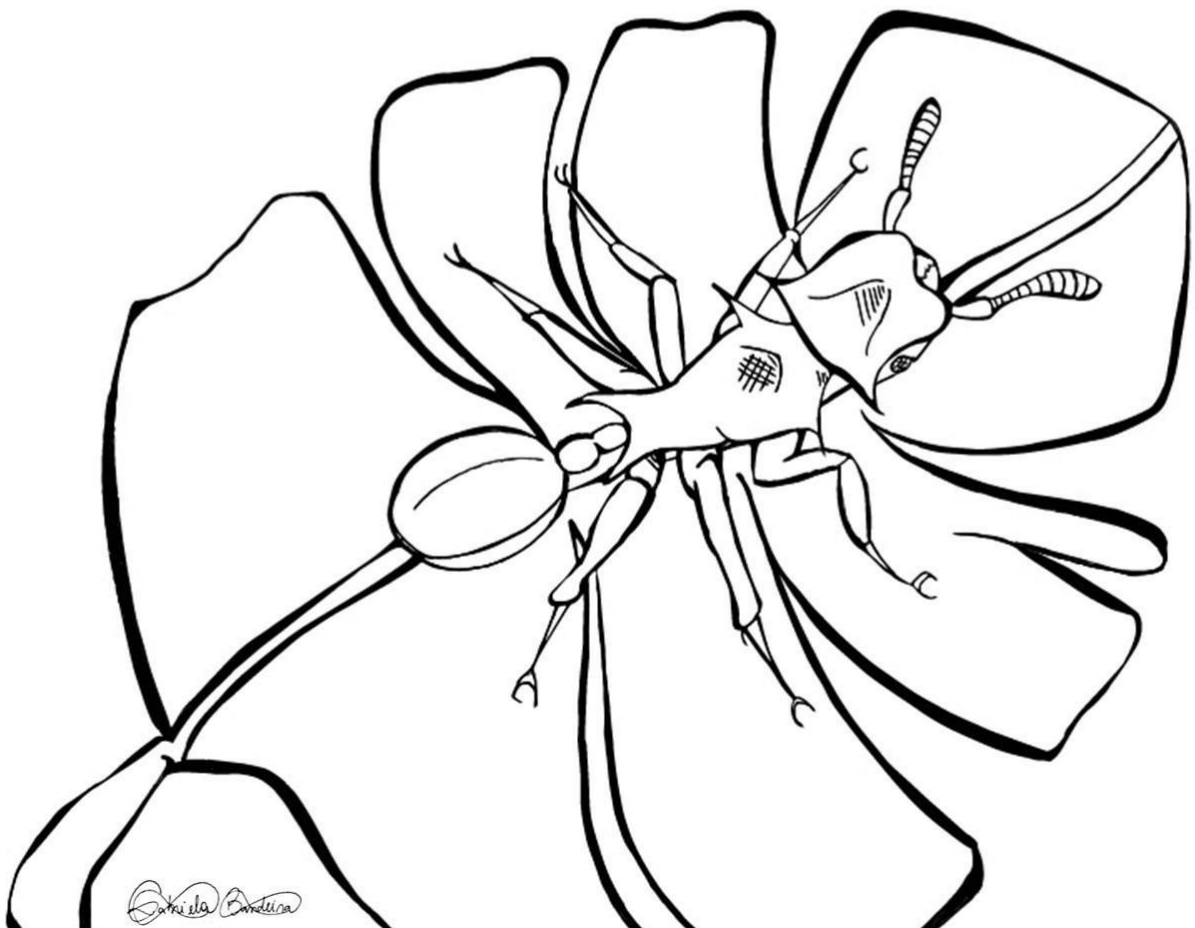


Cephalotes atratus (Linnaeus, 1758) – Formiga tartaruga

As formigas do gênero *Cephalotes* possuem o corpo endurecido e moderadamente achatado e são responsáveis por encantar mirmecólogas e mirmecólogos. Elas são encontradas em todos os ecossistemas tropicais e a maioria das espécies vivem em árvores. Elas se alimentam de secreções açucaradas produzidas por alguns insetos e plantas, animais em decomposição e grãos de pólen. Uma curiosidade sobre *Cephalotes atratus*... Por viverem na vegetação, quando caem do alto de uma árvore conseguem planar de volta para o tronco de onde caíram antes de chegar ao chão, impedindo que se percam da árvore onde está o ninho.

Outra curiosidade sobre os indivíduos dessa espécie é que existe um parasita que quando infecta essas formigas faz com que parte do corpo delas mude de cor, acreditam? Elas são todas pretinhas e depois de infectadas ficam com o abdômen avermelhado, ficando expostas e visivelmente parecidas com frutinhas que algumas aves consomem, sendo predadas facilmente.

Assim como a primeira espécie do nosso livro (*Atta sexdens*), a espécie *Cephalotes atratus* também foi descrita pelo pai da taxonomia, o naturalista Carl Linnaeus.

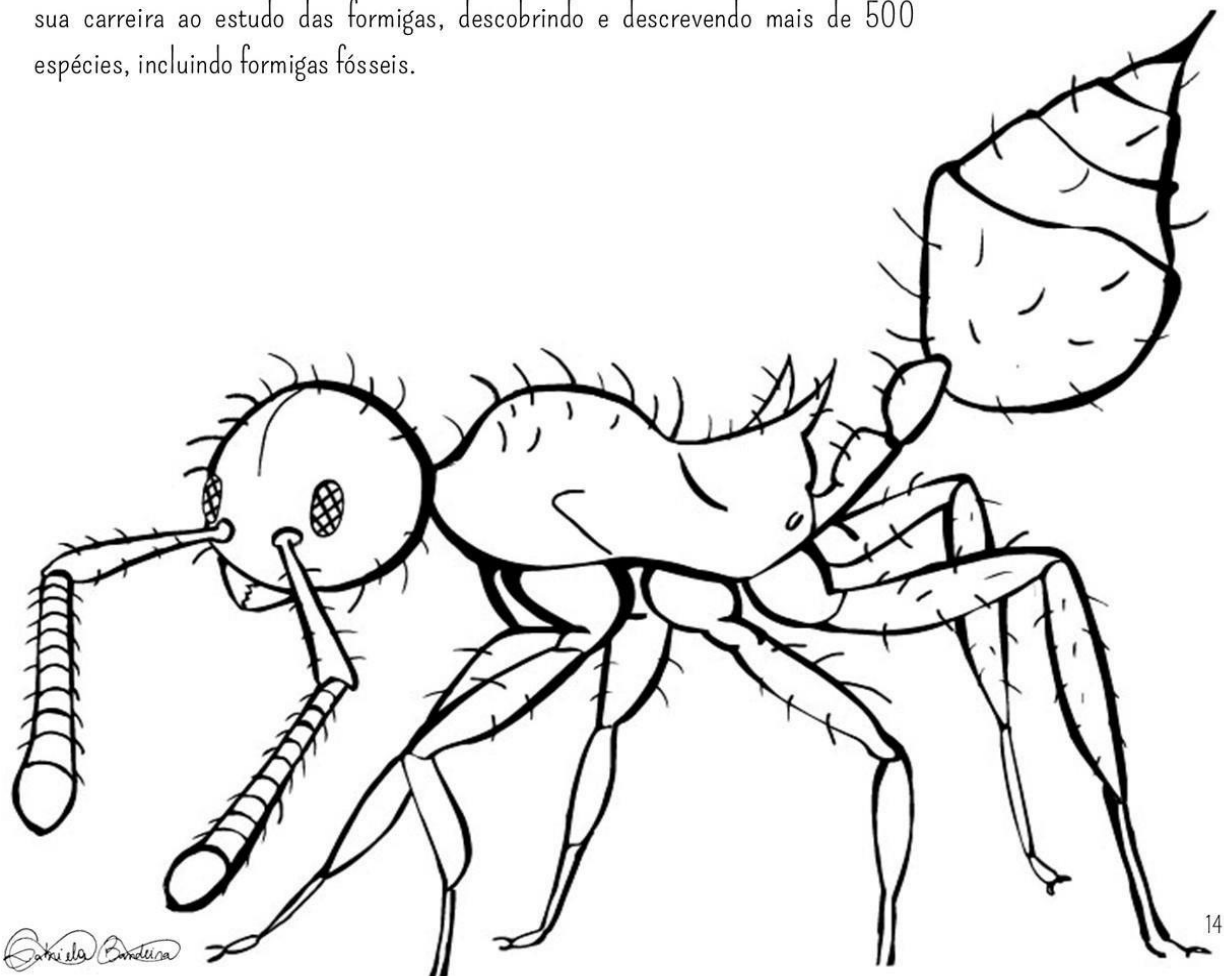


Crematogaster brasiliensis Mayr, 1878

As espécies do gênero *Crematogaster* possuem o abdômen em forma de coração e são consideradas acrobatas pelo jeito que “levantam” o mesmo quando estão alarmadas ou são perturbadas.

As formigas deste gênero são principalmente encontradas em ecossistemas tropicais. A maioria das espécies possuem hábitos arborícolas, porém ninhos podem ser encontrados no solo, nas folhas do chão da floresta, dentro de ninhos abandonados de cupins, caules ocos e até mesmo em árvores vivas. Os ninhos podem ser mistos, ou seja, rainhas de espécies diferentes podem viver juntas no mesmo ninho. Incrível, né!? Elas se alimentam de soluções açucaradas e visitam nectários extraflorais. A *Crematogaster brasiliensis* ocorre principalmente em florestas úmidas de vegetação primária ou secundária. Suas operárias podem ser encontradas procurando comida a qualquer hora do dia ou da noite.

Espécie descrita por Gustav L. Mayr, um taxonomista austríaco que dedicou sua carreira ao estudo das formigas, descobrindo e descrevendo mais de 500 espécies, incluindo formigas fósseis.

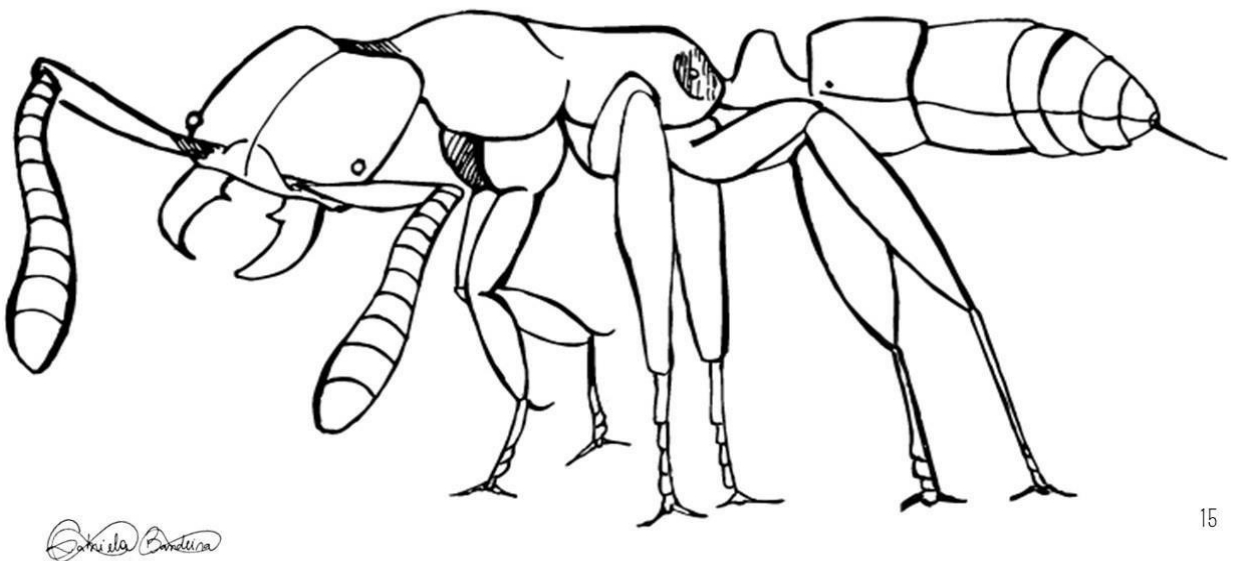


Simopelta minima (Brandão, 1989)

O gênero *Simopelta* possui aproximadamente 20 espécies conhecidas e cinco delas são registradas para o Brasil. As formigas deste gênero procuram alimento durante o dia, no solo onde predam pequenas larvas de insetos de corpo mole, cupins e até mesmo outras formigas. Suas colônias possuem cerca de 1.000 a 2.000 indivíduos.

Simopelta minima foi descoberta na década de 1980 em uma pequena plantação de cacau localizada na cidade de Ilhéus, Bahia, no nordeste brasileiro. Porém, alguns anos depois essa plantação foi eliminada e como a espécie jamais havia sido encontrada em outro local, ela passou a ser considerada extinta. Quase 30 anos depois, alguns indivíduos de *Simopelta minima* foram coletados pelos cientistas Fernando Schmidt, autor do nosso livro, e Ricardo Solar na cidade de Viçosa, Estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil, e assim a espécie foi considerada redescoberta! Ufa!

Essa espécie foi descrita pelo biólogo brasileiro Carlos Roberto Ferreira Brandão, professor, pesquisador e curador da Coleção de Hymenoptera do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo. Brandão fez importantes contribuições nas áreas da biologia e museologia e formou diversos pesquisadores e pesquisadoras, incluindo Livia Prado e Rodrigo Feitosa, autora e autor do nosso livro!

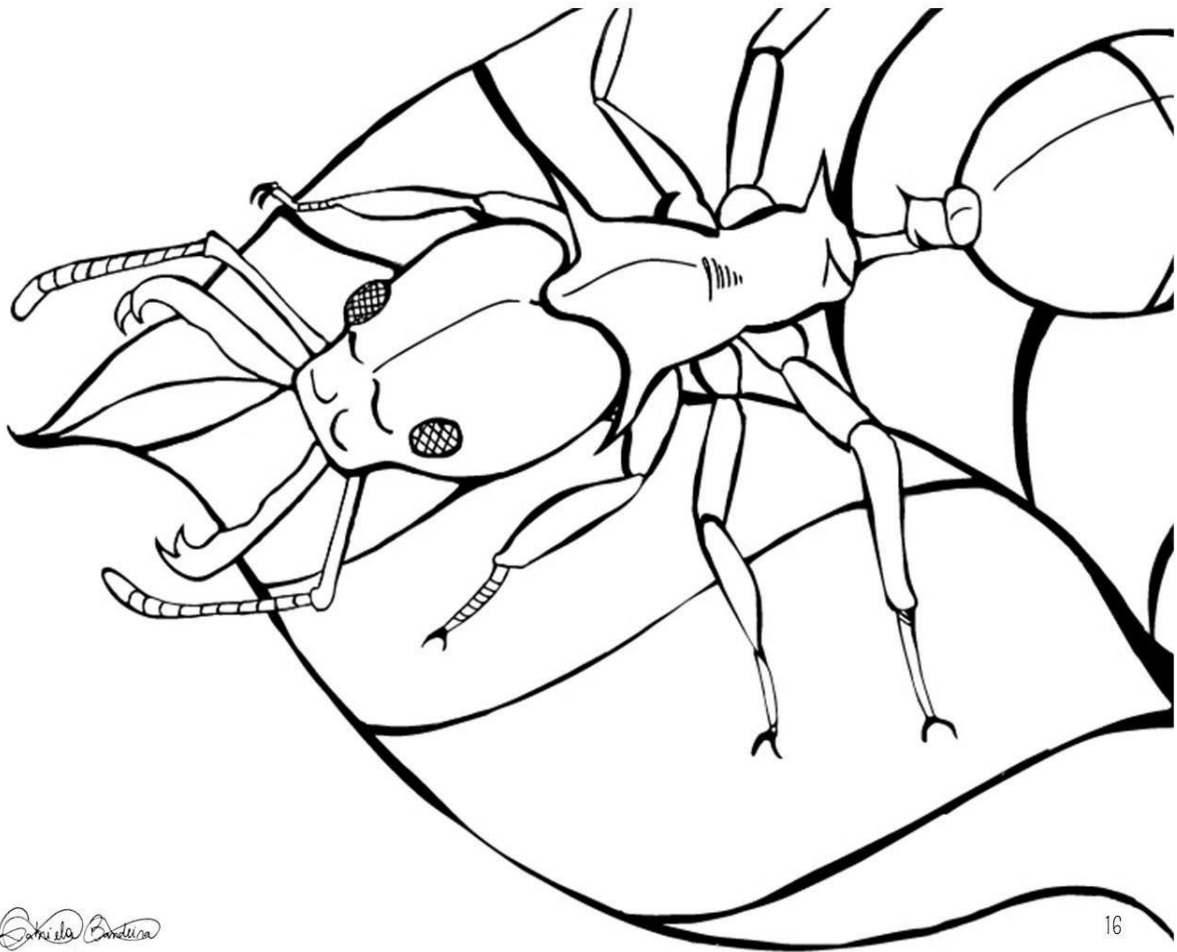


Daceton armigerum (Latreille, 1802)

A forma corporal das formigas do gênero *Daceton* chama atenção de longe; vocês concordam? Por enquanto só existem duas espécies conhecidas: *Daceton armigerum* (essa do desenho) e a *Daceton boltoni*. As duas estão presentes principalmente nas regiões de Floresta Amazônica da América do Sul.

Elas são arborícolas e vivem em troncos de árvores. Assim como muitas outras espécies de formigas, aproveitam as cavidades que foram construídas por besouros para estabelecer seus ninhos. Possuem mandíbulas com fechamento muito rápido, chamadas de mandíbulas-armadilha, e por isso são consideradas ótimas predadoras. Eficientes demais! Elas se alimentam de besouros, moscas, gafanhotos e larvas e adultos de mariposas.

Essa espécie foi descrita pelo francês Pierre André Latreille, professor de zoologia e entomólogo. Por causa das importantes contribuições em diferentes áreas da entomologia, era reconhecido pelos cientistas de sua época como “o principal entomólogo de seu tempo”.



Isabella Bandeira

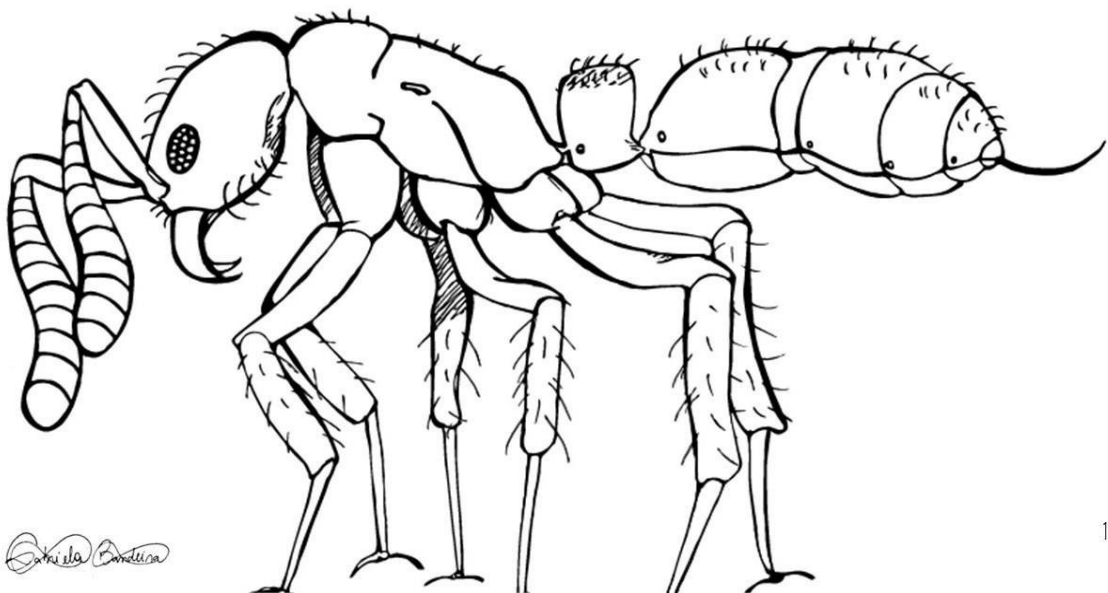
Dinoponera lucida Emery, 1901

O que vocês pensam quando leem *DINOponera*?? Pensam em dinossauros, certo? É isso mesmo que vocês estão pensando! O nome deste gênero que vamos conhecer faz referência aos famosos dinossauros. As formigas deste gênero são muito maiores que as demais e são consideradas as maiores formigas existentes, podendo ultrapassar 3 cm de comprimento corporal!! Muito legal, né?

Os aspectos surpreendentes deste gênero não param por aqui... Além de serem as maiores formigas, as espécies do gênero *Dinoponera* não possuem rainhas como as demais formigas. Pois é, a reprodução é realizada por meio de operárias férteis, que apesar de não serem rainhas verdadeiras, desempenham a função reprodutiva na colônia. Por não terem reprodutores com asas, a locomoção destas formigas é basicamente feita caminhando pelo solo e a fragmentação do seu habitat pode acabar limitando este deslocamento. Elas constroem seus ninhos no solo, tanto em florestas como também em áreas abertas. Se alimentam principalmente de animais mortos, basicamente artrópodes. Também fazem parte da sua dieta, em menor proporção, pequenos frutos e sementes.

A espécie *Dinoponera lucida* é natural da Mata Atlântica e está incluída no Livro Vermelho da Fauna Brasileira ameaçada de Extinção do IBAMA (2018). Recebeu a categoria EM PERIGO DE EXTINÇÃO, devido à destruição de seus habitats naturais.

Essa espécie foi descrita pelo médico, professor de zoologia e entomólogo a Carlo Emery. Apesar de ter estudado diversos animais, Emery dedicou a maior parte de sua vida ao estudo das formigas, sendo responsável pela descoberta de muitas espécies.

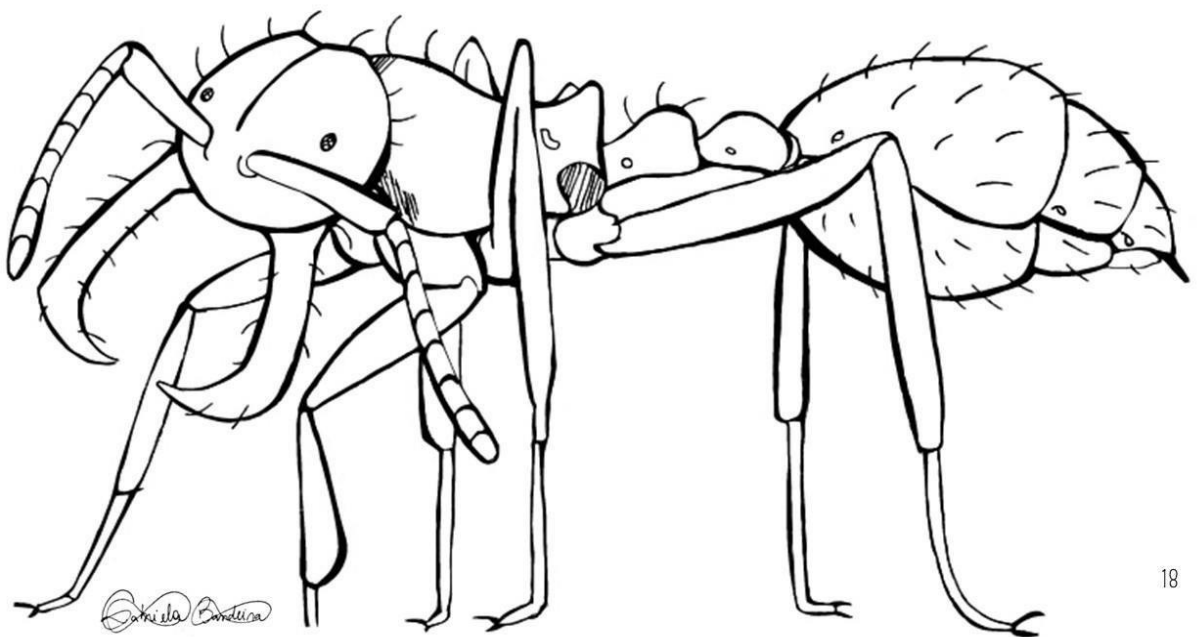


Eciton burchellii (Westwood, 1842) - Formigas nômades

As formigas do gênero *Eciton* estão quase sempre em movimento e não constroem um ninho permanente como a maioria das outras espécies de formigas. Isso mesmo, elas não possuem ninhos fixos! Mas em determinados períodos elas “param” e com o próprio corpo constroem um ninho provisório, chamado de bivaque, onde a rainha e os imaturos ficam protegidos. A estrutura é desfeita quando a colônia volta a se deslocar. Suas colônias são muito grandes, podendo chegar a 6 milhões de operárias e são encontradas geralmente em ambientes bem preservados. As formigas de correição são consideradas “grandes predadoras dos trópicos”, pela grande população de suas colônias e por saírem em grupo para procurar suas presas. Essas presas podem variar desde artrópodes de diversos tamanhos, incluindo outras formigas, e ocasionalmente até mesmo pequenos mamíferos e aves.

A espécie *Eciton burchellii* é apontada como espécie-chave em ecossistemas tropicais, pois chega a ter associação com mais de 300 outras espécies de animais, incluindo pássaros que seguem as colônias para se alimentarem de invertebrados que tentam fugir das formigas. Na Amazônia, os indígenas aprenderam a aproveitar esse deslocamento das colônias e suas estratégias de caça. Quando as espécies de formigas de correição chegam nas aldeias, eles saem das suas ocas por algumas horas e as deixam passar tranquilamente, pois sabem que quando voltarem não haverá nenhuma aranha, barata ou mesmo escorpiões no lugar. Incrível demais como elas são eficientes!

Esta espécie foi descrita pelo inglês John Obadiah Westwood, que além de suas contribuições para a arqueologia e entomologia, era conhecido pela qualidade artística de seus desenhos.

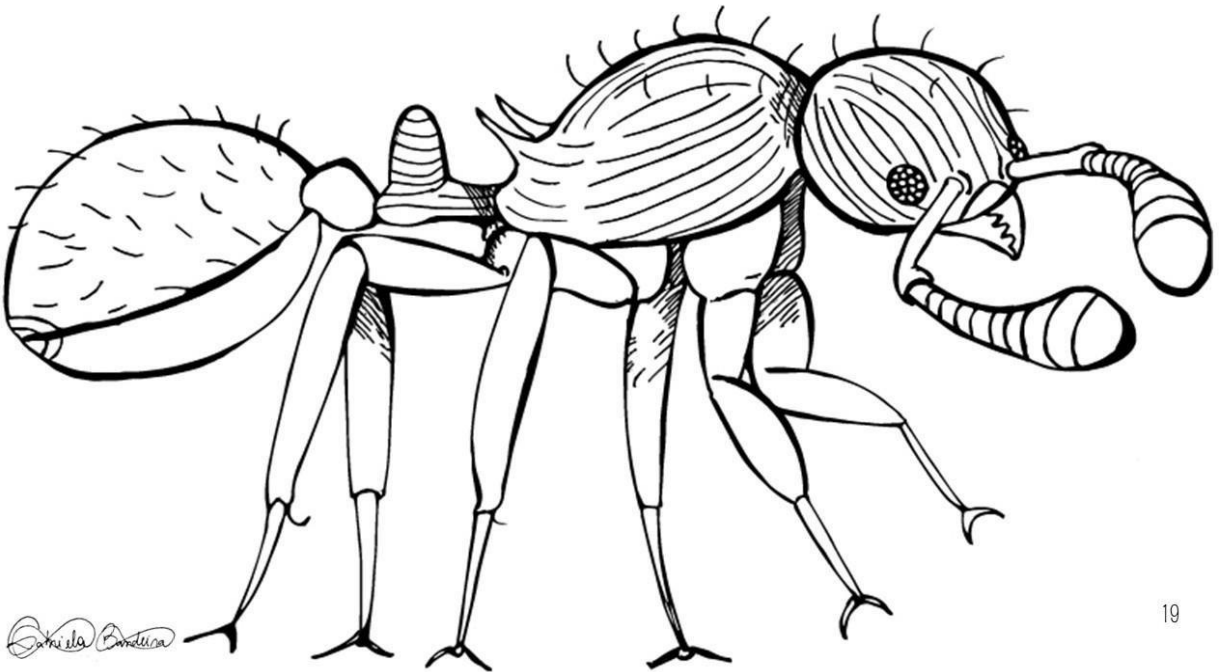


Oxyepoecus regularis Ulysséa & Brandão, 2012

O gênero *Oxyepoecus* possui cerca de 20 espécies conhecidas e a maioria delas ocorrem no Brasil. São formigas que habitam áreas de floresta nos biomas Cerrado e Caatinga. Constroem seus ninhos no solo ou entre folhas do chão da floresta.

A espécie *Oxyepoecus regularis* foi descrita em 2012 pelos pesquisadores brasileiros, Mônica Ulysséa e Carlos Roberto Brandão. A descoberta dessa espécie é resultado dos estudos sobre as formigas da Caatinga, que foi tema da dissertação de mestrado da Mônica Ulysséa, orientada por Carlos Brandão.

A espécie recebeu este nome pois possui uma escultura regular em forma de linhas longitudinais que recobre todo seu corpo. Esta escultura não foi encontrada em nenhuma outra espécie do gênero *Oxyepoecus*.

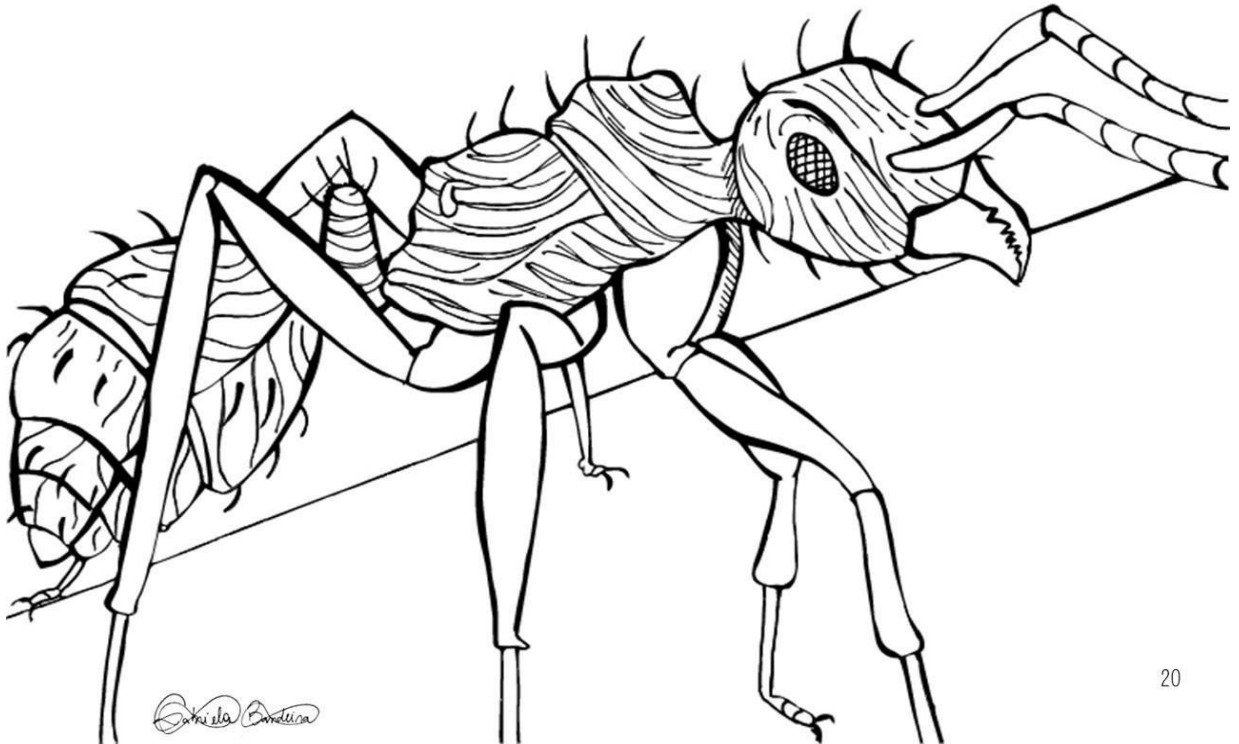


Ectatomma tuberculatum (Olivier, 1792)

Você provavelmente já encontrou algumas formigas do gênero *Ectatomma*. Isso porque elas são facilmente encontradas entre os mais diversos tipos de ambiente, desde áreas de floresta até locais abertos e savanas. Possuem hábito generalista e predam diversos artrópodes, como vespas, pupas de abelhas, lagartas, cupins e até mesmo outras formigas. Valentes, né!? Também são frequentemente vistas coletando líquidos açucarados produzidos por outros insetos ou plantas.

Elas realizam uma tarefa muito importante para a natureza. Elas são dispersoras de sementes! Essas formigas se alimentam de parte das sementes que encontram no solo, o elaiossoma, e ao carregarem estas para os seus ninhos, podem ajudar as sementes a germinarem e se tornarem uma nova planta. Isso porque o solo no entorno dos ninhos é rico em nutrientes. Assim, elas nos ajudam a reflorestar áreas degradadas. Fantásticas, né? As espécies deste gênero constroem seus ninhos no chão. Os ninhos são quase sempre uma abertura no solo, mas no caso da espécie *Ectatomma tuberculatum* essa abertura tem um formato de chaminé, que é construída com mistura de solo e material vegetal, sempre na base das árvores. Apesar dos seus ninhos serem construídos no solo, elas vivem procurando alimentos nas árvores.

Esta espécie foi descrita por Guillaume Antoine Olivier, um médico, professor e naturalista francês. Participou de importantes expedições de campo, que possibilitaram a organização de coleções científicas e o estudo do material coletado, resultando na descoberta de espécies novas para diversos grupos animais.

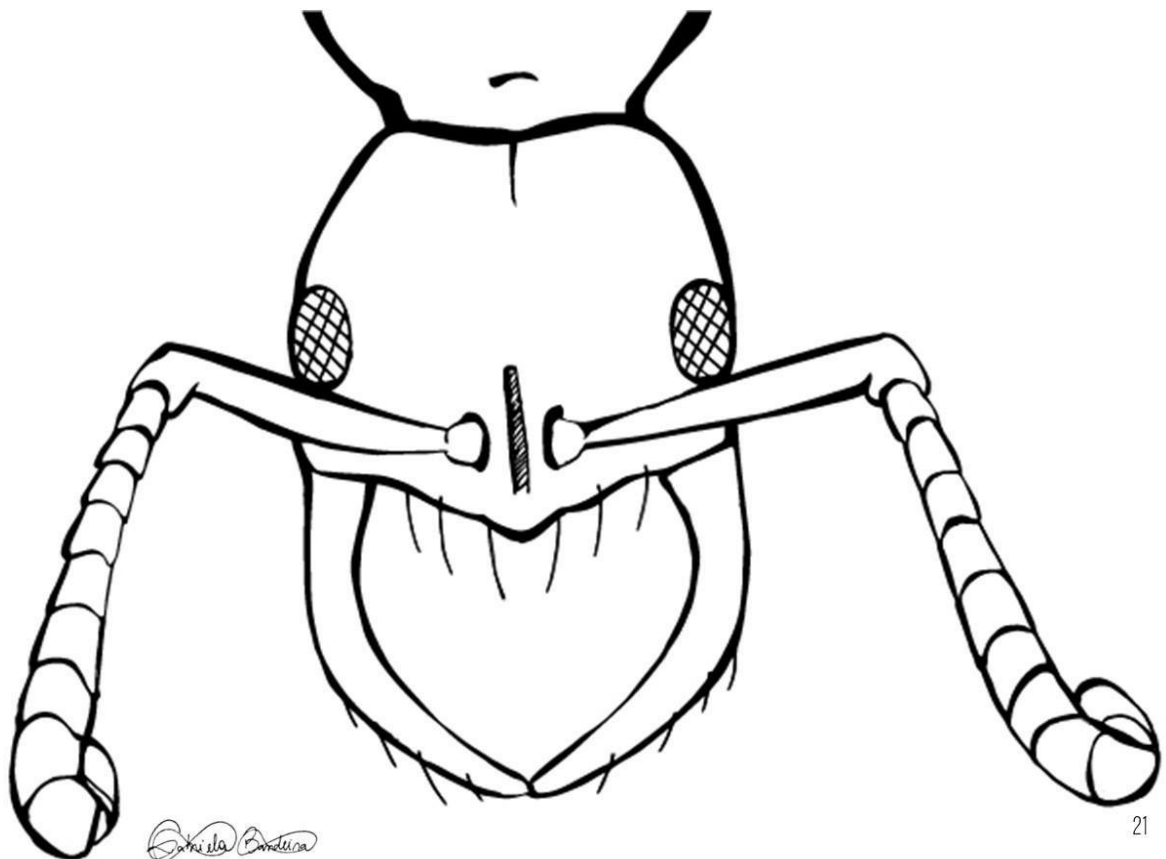


Leptogenys carioca López-Muñoz et al., 2018

O gênero *Leptogenys* possui mais de 300 espécies descritas e a maior parte delas ocorrem em florestas tropicais. Essas espécies possuem grande diversidade de comportamentos. Algumas espécies fazem seus ninhos no solo ou em madeira podre, já outras espécies podem os construir em galhos de árvores mortas e em cupinzeiros abandonados.

Leptogenys carioca recebeu esse nome por ter sido encontrada no estado do Rio de Janeiro, no Parque Nacional do Itatiaia, localizado na Serra da Mantiqueira. A espécie foi descrita em 2018 por três autores, o mexicano Román A. López-Muñoz, o peruano Erick Villarreal e o colombiano John E. Lattke. López-Muñoz e Villarreal foram estudantes de mestrado de Lattke na Universidade Federal do Paraná e durante esse período dedicaram-se ao estudo da fauna de formigas do Brasil. Os cientistas que descreveram esta espécie acreditam que ela esteja associada a regiões mais elevadas e frias da Mata Atlântica.

Uma curiosidade bem legal é que algumas espécies deste gênero parecem estar sempre sorridentes. Olhem para o desenho e me digam. Vocês concordam?



Martialis heureka Rabeling & Verhaagh, 2008 – Formiga de marte

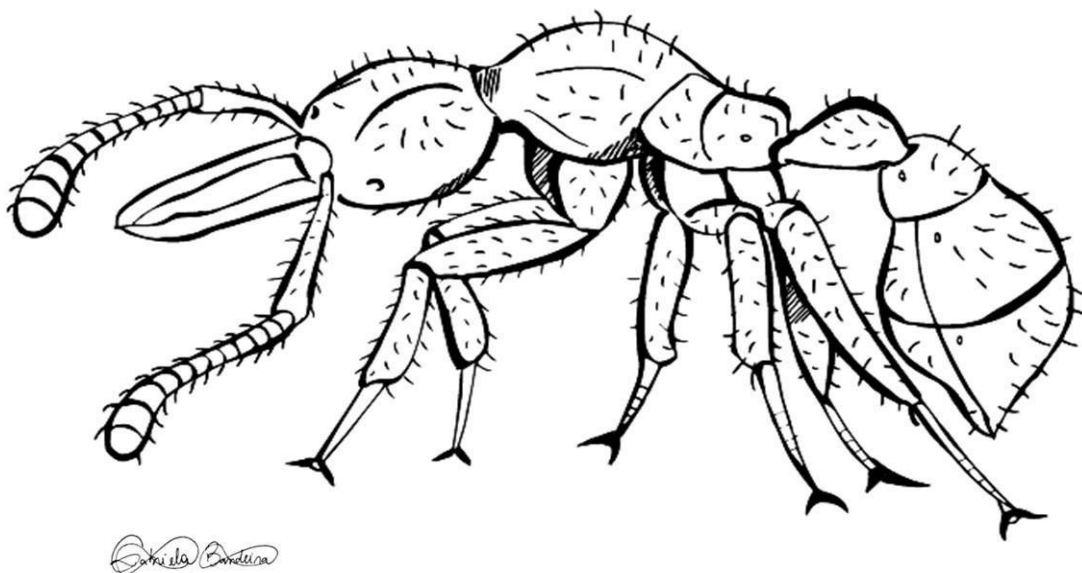
Por ser um tanto quanto diferente quando comparada com outras formigas, *Martialis heureka* foi batizada como “a formiga de marte”. Esta espécie é a única conhecida para o gênero *Martialis* e ela é “do **Brasiliill**”, mais especificamente da Amazônia!

Ao ser coletada e estudada pela primeira vez os autores perceberam que ela era muito diferente de qualquer outra formiga existente e pensaram: “só pode ser de outro planeta”, e assim nasceu o gênero *Martialis*. Já o nome específico da espécie foi dado após os pesquisadores descobrirem que esta espécie representa uma linhagem ancestral que mudou a compreensão sobre a evolução das formigas. Heureka em grego significa “descobri” ou “encontrei”, que foi supostamente dita pelo cientista grego Arquimedes, quando descobriu um método para calcular o volume de um corpo.

Os cientistas que descreveram a *Martialis heureka* acreditam que ela é uma espécie de hábito subterrâneo ou noturno. É possível que ela aproveite espaços vazios que já existem debaixo do solo, como raízes que estão ocas, para viver. Ela não possui olhos, sua mandíbula tem um formato de pinça, o que sugere uma preferência alimentar por presas de corpo mole.

E o mais interessante ainda está por vir...Tan tan tan tan 🥁
Os cientistas acreditam que *Martialis* é o gênero pertencente à linhagem mais antiga entre todas as formigas!

Os responsáveis pela descrição de uma das espécies mais raras e diferentes de formigas do mundo foi a dupla de pesquisadores alemães Christian Rabeling e Manfred Verhaagh.

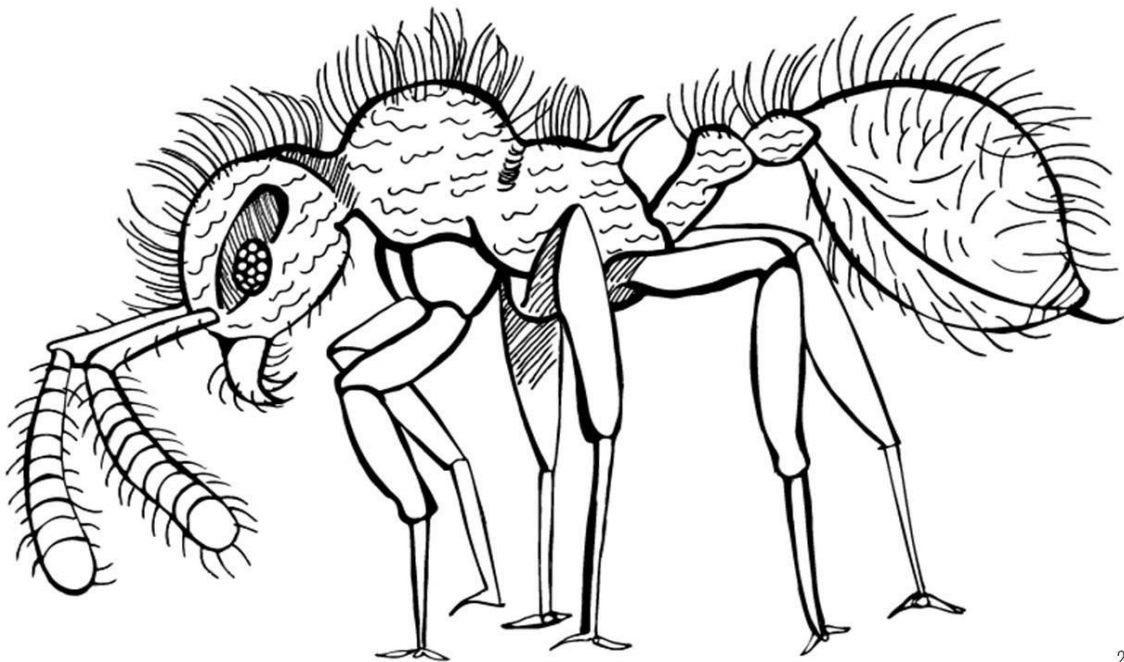


Lachnomyrmex amazonicus Feitosa & Brandão, 2008

As formigas do gênero *Lachnomyrmex* são pequenas e constroem seus ninhos entre raízes do solo, troncos caídos e em folhas no chão da floresta e apresentam colônias pequenas. Elas estão presentes na Região Neotropical, incluindo a maior parte dos Estados do Brasil.

Essa espécie foi descrita em 2008 por dois pesquisadores brasileiros, Rodrigo M. Feitosa e Carlos Roberto F. Brandão. Atualmente, Rodrigo Feitosa é professor e pesquisador da Universidade Federal do Paraná, e essa espécie é um dos resultados de sua dissertação de mestrado onde ele fez várias descobertas para o gênero de formigas *Lachnomyrmex*, incluindo a descoberta de *Lachnomyrmex amazonicus*.

A espécie recebeu esse nome em referência ao seu bioma de ocorrência, a Amazônia. Esta espécie é uma das poucas espécies do gênero que ocorre em florestas inundáveis.



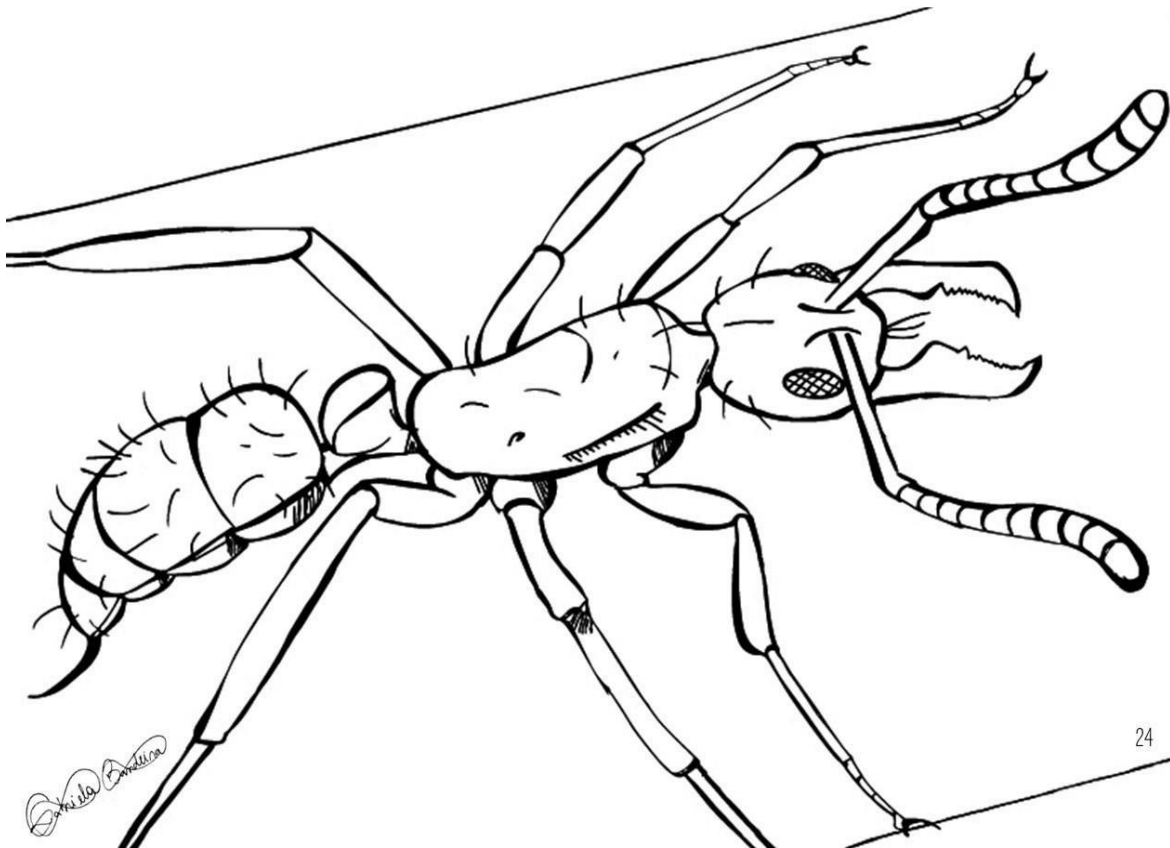
Gabriela Brandão

Neoponera apicalis (Latreille, 1802)

As formigas do gênero *Neoponera* são exclusivamente neotropicais, com grande diversidade morfológica e comportamental. Seus ninhos podem ser encontrados em diversos tipos de habitats e suas colônias são pequenas, com cerca de 200 operárias. Algumas espécies deste gênero, que não são especialistas na sua alimentação, são consideradas como predadoras generalistas e exploram desde carcaças de outros animais até néctar e frutos. Versáteis, né?

A espécie *Neoponera apicalis* possui uma alimentação composta por frutas e carcaças de vertebrados e outros artrópodes. Entre as características mais interessantes desta espécie está a que deu nome a ela. A ponta, ou “ápice”, das antenas é de coloração amarelo-brilhante que forma um belo contraste com o corpo escuro!

Assim como a espécie *Daceton armigerum*, a espécie de formiga *Neoponera apicalis* também foi descrita pelo francês Pierre André Latreille, considerado um dos principais entomólogos de seu tempo, responsável pela descoberta de muitas espécies novas de formigas.

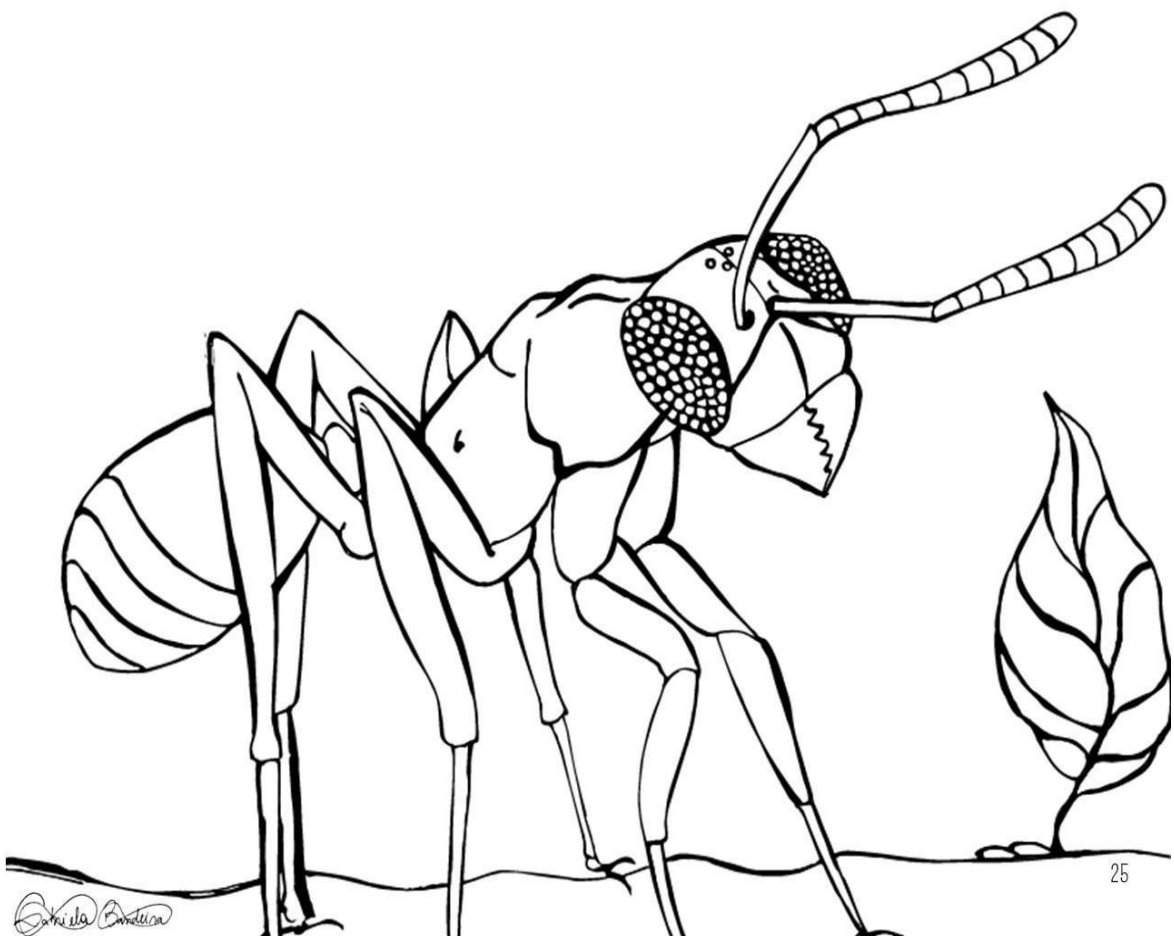


Gigantiops destructor (Fabricius, 1804)

O gênero *Gigantiops* possui uma única espécie conhecida, a *Gigantiops destructor*. Este gênero é exclusivamente neotropical e no Brasil ocorre em áreas de floresta nas regiões Norte e Centro-Oeste. Ela é bem diferente de outras espécies de formigas e chama bastante atenção por possuir olhos bem grandes. Muito grandes mesmo! Os olhos ocupam quase toda a cabeça e as suas pernas posteriores são muito longas. As pernas longas provavelmente ajudam essas formigas a saltarem, se deslocando mais rapidamente na busca por alimentos ou escapando de ameaças, sendo sensíveis a qualquer movimento.

Gigantiops destructor forma colônias com mais ou menos 150 indivíduos e seus ninhos ficam em galhos ou gravetos ocos, em acúmulos de matéria orgânica e no solo. Essas formigas procuram alimento solitariamente no solo, entre o folhijo ou na vegetação. Se alimentam de néctar e carcaças de insetos.

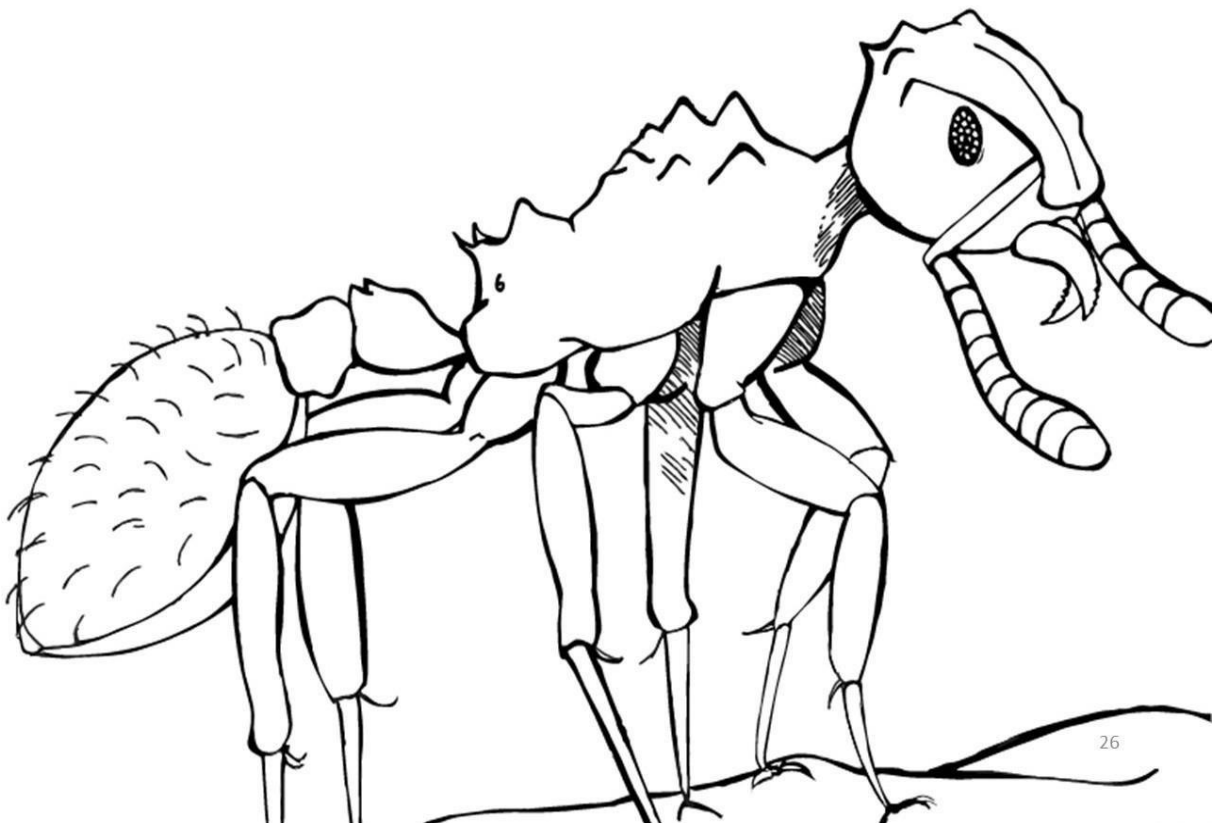
Esta espécie foi descrita por Johann Christian Fabricius, um professor, economista e entomólogo dinamarquês, que estudou e coletou diversos artropodes, fazendo importantes descobertas.



Mycetarotes carinatus Mayhé-Nunes, 1995

As formigas do gênero *Mycetarotes* são cultivadoras de fungo. Ou seja, essas formigas são agricultoras! Isso porque elas recolhem carcaças de insetos e as utilizam como material para revestir o interior dos seus ninhos formando um ambiente favorável para o crescimento dos fungos que usam para sua alimentação. Os seus ninhos são subterrâneos e pequenos, podendo conter entre 100 e 350 indivíduos. Elas podem ser encontradas em florestas, até mesmo em áreas mais abertas. Este gênero possui quatro espécies conhecidas e todas ocorrem no Brasil: *Mycetarotes acutus*, *Mycetarotes carinatus*, *Mycetarotes parallelus* e *Mycetarotes senticosus*.

Essa espécie foi descrita pelo pesquisador brasileiro, Antônio José Mayhé-Nunes, biólogo e professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que dedicou a maior parte de sua carreira ao estudo das formigas cultivadoras de fungos, como é o caso de *Mycetarotes carinatus*.

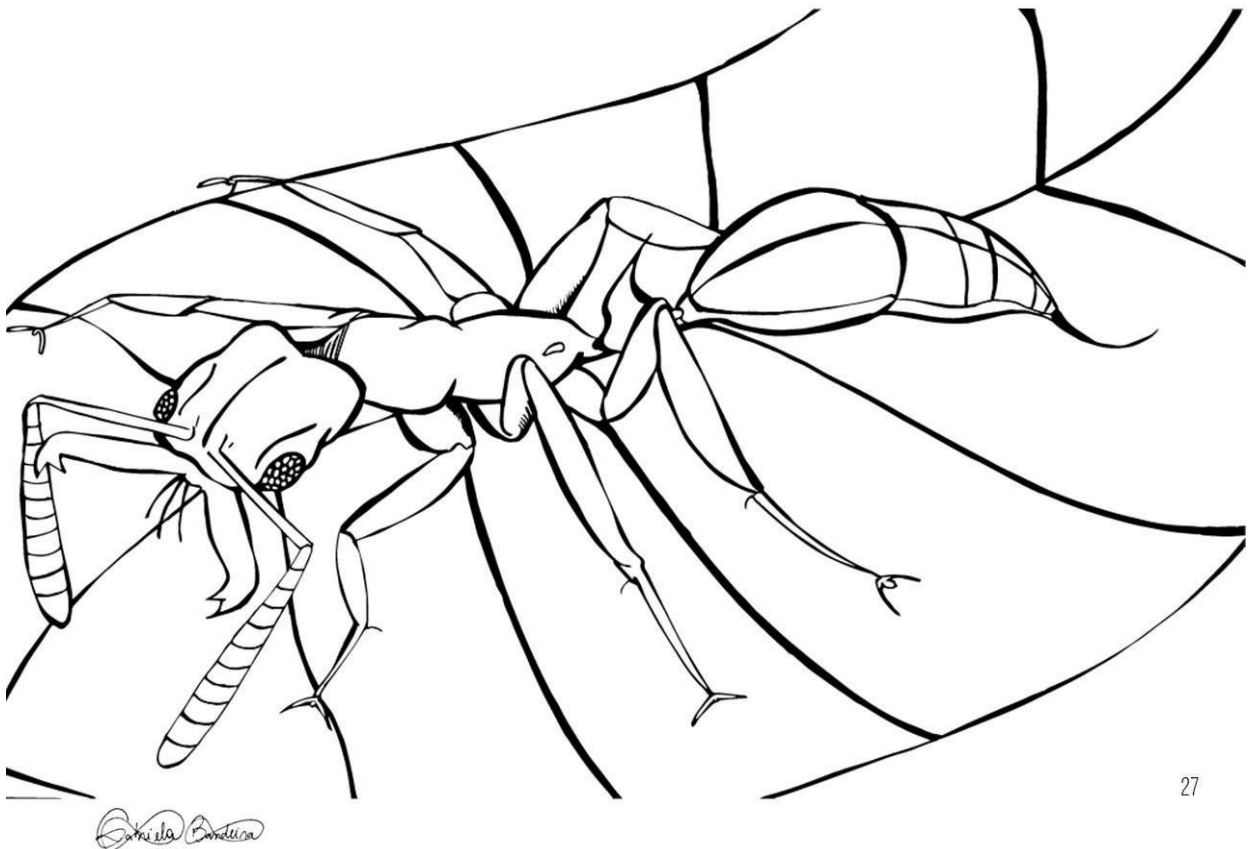


Odontomachus bauri Emery, 1892

As formigas do gênero *Odontomachus* possuem mandíbulas alongadas e lineares. Elas possuem um mecanismo na mandíbula que permite que sejam abertas em um ângulo de 180° e fechadas instantaneamente para capturar a presa ou para se defender. Este fechamento das mandíbulas é considerado um dos movimentos mais rápidos do mundo animal. Os ninhos das formigas *Odontomachus* são construídos no solo, na madeira em decomposição ou em árvores. O tamanho da colônia pode variar de 20 até 10.000 indivíduos. Algumas espécies, como *Odontomachus haemadotus*, são consideradas boas dispersoras de sementes em áreas de floresta.

Estas formigas usam a mandíbula para outros fins além de buscar alimento. Elas podem literalmente “morder o chão”, articulando as mandíbulas com uma força 300 vezes maior que o peso do seu corpo, saltando para longe dos inimigos. Essa é uma excelente estratégia de fuga quando estas formigas são ameaçadas.

Esta espécie também foi descrita por Carlo Emery, assim como muitas outras espécies descobertas por ele!

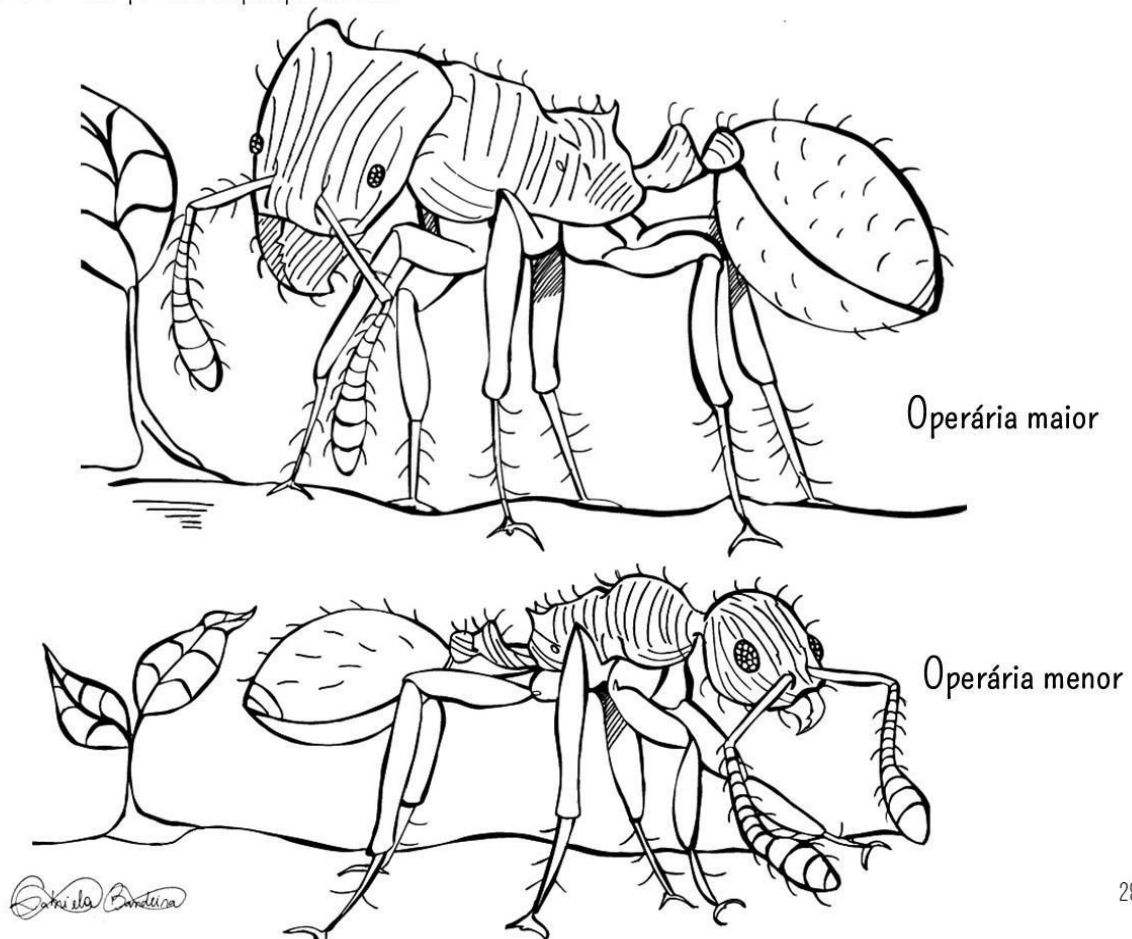


Pheidole oxyops Forel, 1908

Pheidole é o gênero que possui o maior número de espécies de formigas, contando atualmente com mais de 1.100 espécies conhecidas. As espécies deste gênero podem construir seus ninhos nos mais diferentes locais, como solo, árvores, troncos de árvores mortas, folhas e até mesmo sob pedras. A maioria das espécies de *Pheidole* possui operárias maiores, as soldadas, e operárias menores, sendo possível identificar claramente ambas as formas pelo tamanho da cabeça, muito maior nas soldadas. Elas se alimentam de pequenos animais, carcaças e algumas espécies possuem grande importância para a dispersão de sementes.

A espécie *Pheidole oxyops* apresenta uma característica curiosa... Elas colocam penas de pássaros ao redor da entrada de seus ninhos! Será que vocês já viram isso por aí? Acredita-se que a entrada do ninho funcione como uma armadilha para captura de alimento, pois as penas servem de isca, pelo cheiro, cor ou forma, para alguns artrópodes. As penas na entrada do seu ninho aumentam a diversidade e quantidade de animais capturados.

Esta espécie foi descrita pelo mirmecólogo, neuroanatomista e psiquiatra suíço Auguste-Henri Forel. Na mirmecologia foi reconhecido por descrever muitas espécies de formigas de expedições que participou e de material enviado por outros pesquisadores.

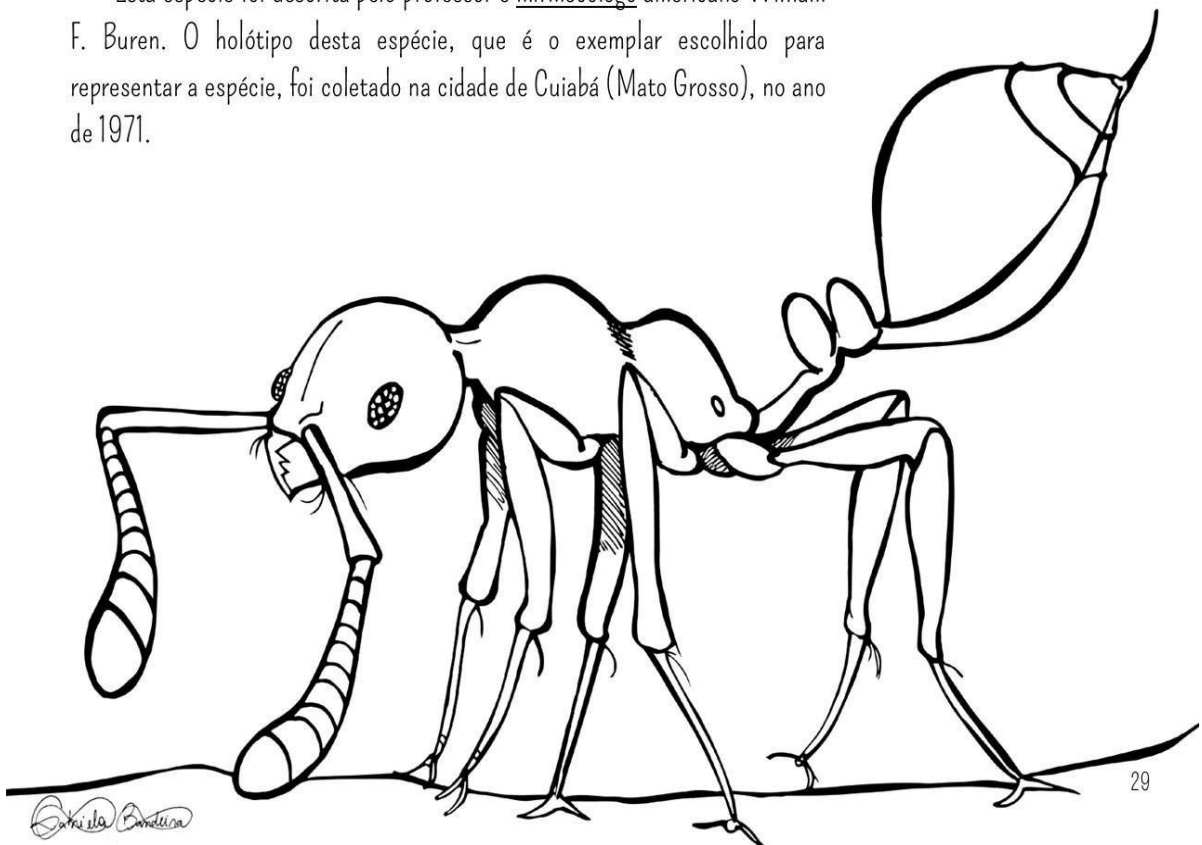


Solenopsis invicta Buren, 1972 – Formigas de fogo; Formigas lava-pé

As formigas do gênero *Solenopsis* possuem uma picada dolorida que pode causar bolhas ou até mesmo alergias mais graves. Em ambientes de floresta fazem seus ninhos no solo, sob pedras, no interior dos galhos e na vegetação. Já outras espécies, em ambientes modificados por nós, constroem seus ninhos em residências, praças e até mesmo hospitais. Em hospitais, podem atuar como vetores de bactérias, causando danos à saúde. Elas se alimentam de restos de alimentos domésticos e carcaças de animais, por isso são excelentes fragmentadoras e ajudam na decomposição e no retorno de nutrientes para o solo, tanto em ambientes urbanos quanto florestais. Uma curiosidade muito legal sobre as formigas de fogo é a capacidade de construírem “jangadas” para sobreviver às inundações.

A espécie *Solenopsis invicta* atualmente tem chamado atenção pois infestou mais de 128 milhões de hectares nos Estados Unidos, trazendo danos significativos para a sociedade, o meio ambiente e para economia. No Brasil uma cidade inteira no estado do Amazonas foi invadida pelas formigas de fogo. Vale lembrar que essas formigas causam esses danos quando são transportadas por nós para outros lugares onde não existiam e lá atuam como espécies invasoras. Ou seja, a culpa não é delas!

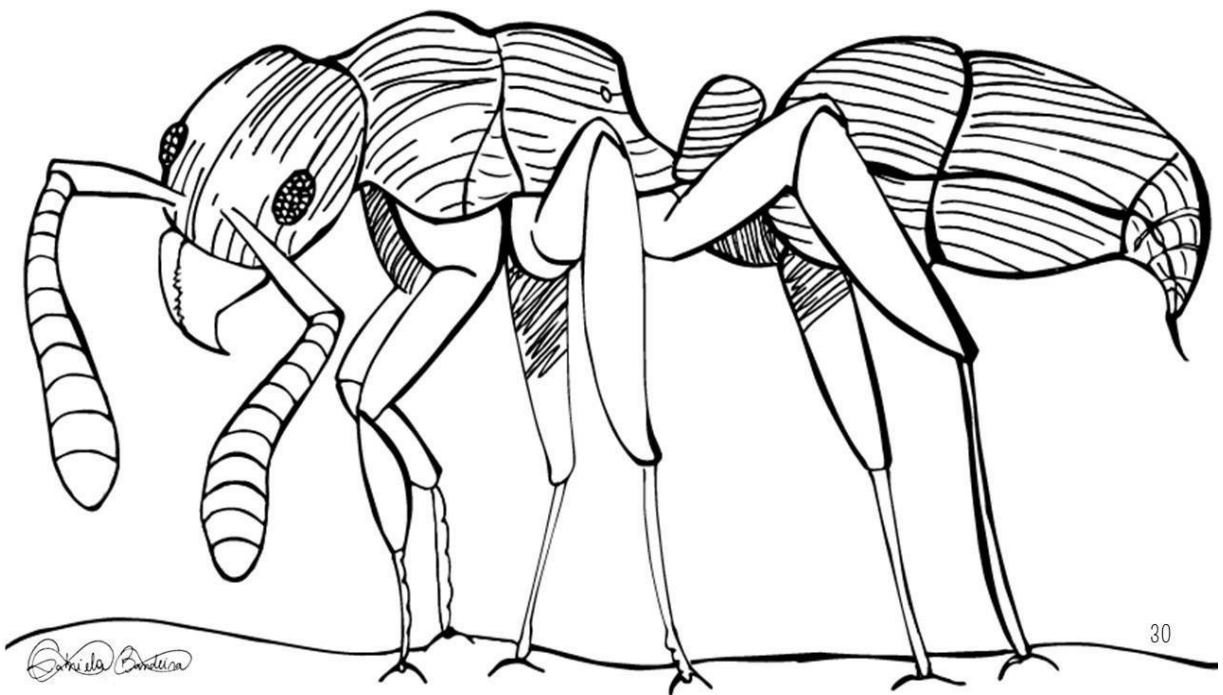
Esta espécie foi descrita pelo professor e mirmecólogo americano William F. Buren. O holótipo desta espécie, que é o exemplar escolhido para representar a espécie, foi coletado na cidade de Cuiabá (Mato Grosso), no ano de 1971.



Typhlomyrmex lavra (Lattke, 2002)

O gênero *Typhlomyrmex* possui atualmente 35 espécies que se distribuem pelas Américas. Elas são encontradas principalmente em florestas úmidas. Os seus ninhos são construídos no solo, em troncos de árvores podres ou nas folhas que ficam no chão da floresta e são geralmente pequenos, com 100 a 200 indivíduos. A maioria das espécies são predadoras generalistas.

A espécie *Typhlomyrmex lavra* foi descrita pelo colombiano John Lattke, professor e pesquisador da Universidade Federal do Paraná, que trabalha com taxonomia e história natural de formigas. A espécie recebeu esse nome em homenagem ao local em que ela foi encontrada, a cidade de Lavras, no Estado brasileiro de Minas Gerais. Esta espécie é geralmente encontrada em florestas tropicais do Sudeste e Sul do Brasil.

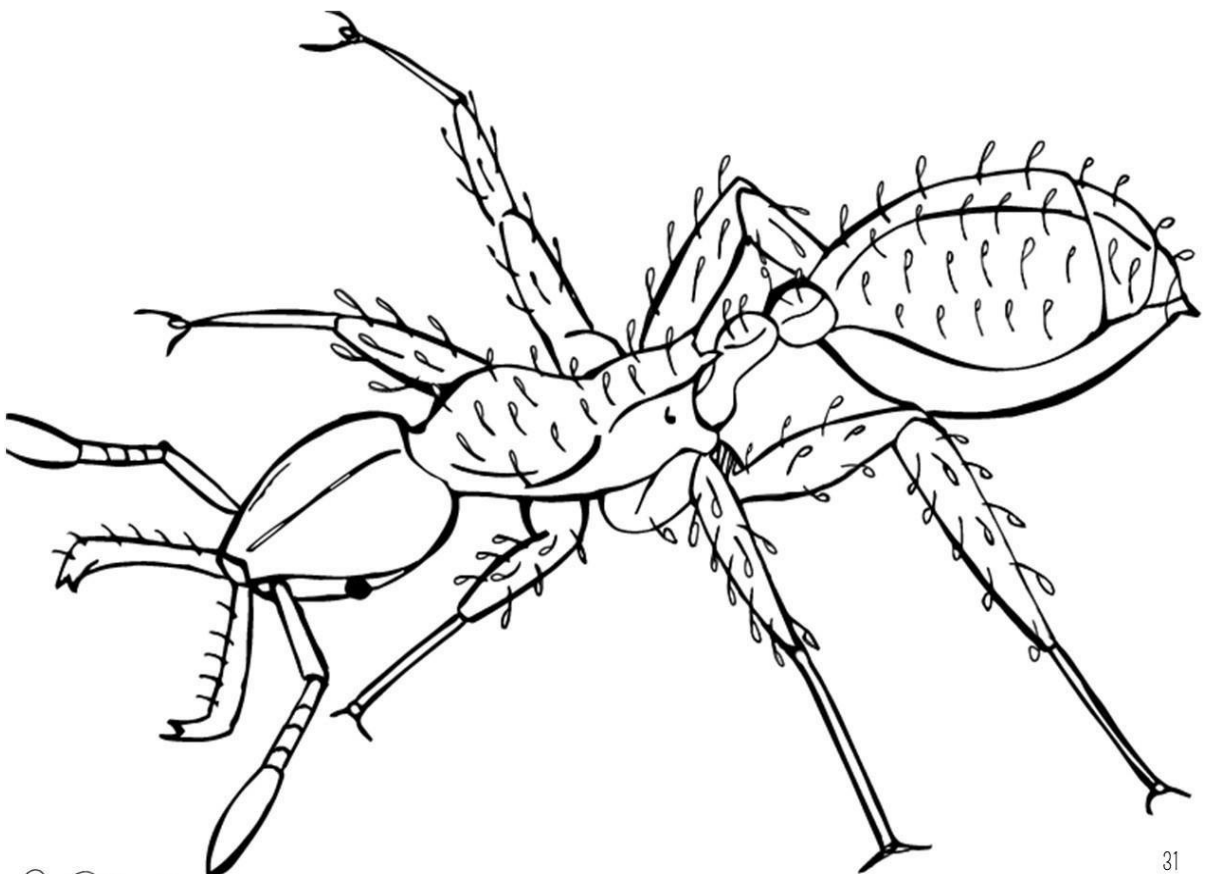


Strumigenys louisianae Roger, 1863

As formigas do gênero *Strumigenys* são bem pequenas, chegando a medir aproximadamente 2 milímetros. Elas possuem mandíbulas triangulares e longas, porém há uma grande variação no formato das quase 1.000 espécies conhecidas.

Com a sua mandíbula especializada se alimentam de pequenos artrópodes, principalmente os ácaros e os colêmbolos. Porém, algumas espécies, como *Strumigenys louisianae*, também consomem substâncias açucaradas. As formigas deste gênero são encontradas em abundância nas florestas úmidas e fazem seus ninhos entre as folhas que estão no chão da floresta, cascas de árvores ou até mesmo em troncos caídos na camada superficial do solo. A *Strumigenys louisianae* apresenta uma grande variação quanto ao tamanho, pilosidade, formato e até mesmo a cor! Suas mandíbulas podem ser abertas em até 180° e atuam como armadilhas para suas presas.

Essa espécie foi descrita pelo alemão Julius Roger, um médico, anatomista, folclorista e entomólogo. Roger descobriu e descreveu diversas espécies de insetos ao longo de sua carreira e foi responsável por compor canções folclóricas.



Thaumatomyrmex contumax Kempf, 1975

Eu sei que já falamos que várias formigas são lindas, mas olhem só para esse desenho. Não é maravilhosa? As formigas do gênero *Thaumatomyrmex* vivem em ambientes variados, desde florestas úmidas tropicais até ambientes secos como o Cerrado e a Caatinga. Este gênero possui características diferentes de outros gêneros de formigas. Suas colônias são muito pequenas, com menos de dez indivíduos e constroem seus ninhos em cavidades no solo, nas folhas do chão da floresta, bromélias ou na base de árvores. Também podem ser encontradas em conchas de caracóis abandonadas. Elas saem para procurar alimento sozinhas e fingem-se de mortas quando perturbadas.

As espécies deste gênero possuem mandíbulas especializadas, sendo que a principal fonte de alimento são pequenos milípedes, animais conhecidos como embuás ou piolho de cobra, que possuem cerdas por todo corpo. Elas utilizam as mandíbulas para segurar e “depilar” esses animais antes de devorá-los. Demais, né?

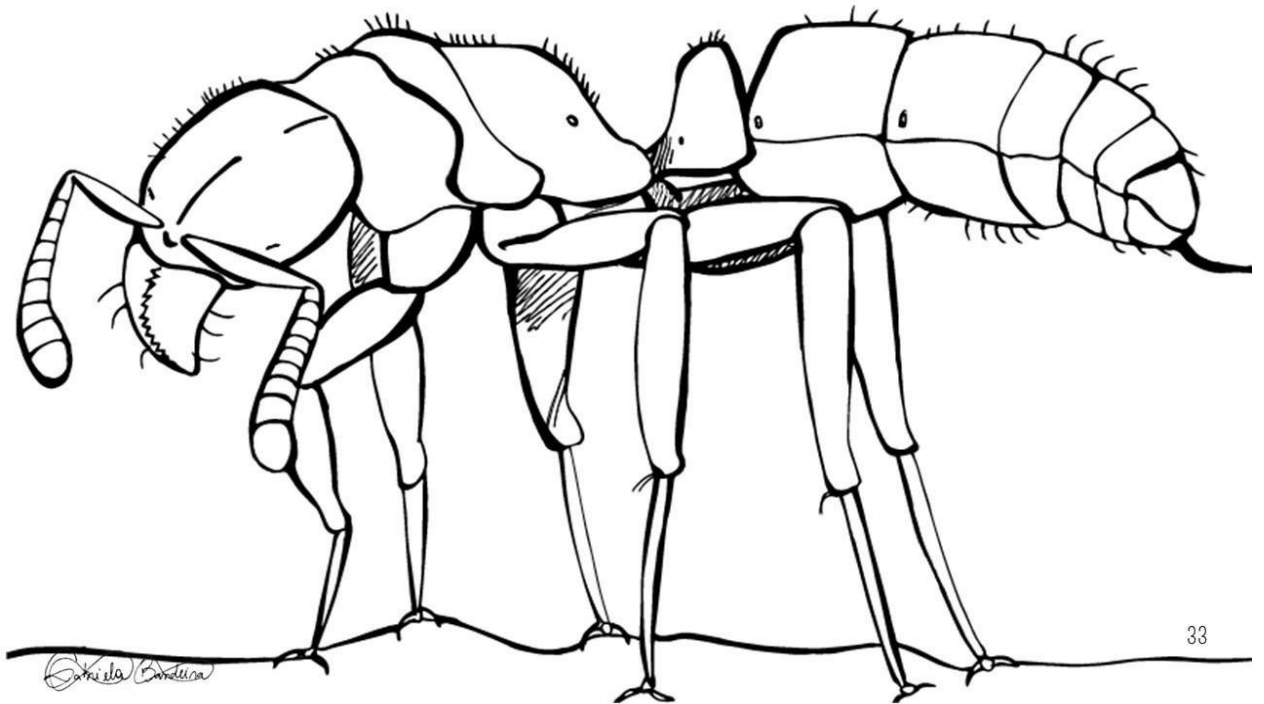
Essa espécie foi descrita pelo alemão naturalizado brasileiro Walter W. Kempf, mais conhecido como “Frei Kempf”. Além de Frade Franciscano, era mirmecólogo, e foi professor da Universidade de Brasília. Suas importantes contribuições ao estudo das formigas da região Neotropical, somadas à sua personalidade e capacidade incrível de trabalho inspiraram e continuam a inspirar várias gerações de mirmecólogas e mirmecólogos.



Cryptopone pauli Fernandes & Delabie, 2019

As formigas do gênero *Cryptopone* podem ser encontradas em diferentes locais, como troncos podres, raízes de plantas e até mesmo ninhos de cupins. As formigas desse gênero se alimentam de pequenos artrópodes de corpo mole que encontram no solo.

A espécie *Cryptopone pauli* foi descrita por Itanna Fernandes, pesquisadora brasileira, e seu orientador Jacques Delabie, que é francês, porém desenvolve pesquisas no Brasil desde 1986 e é professor da Universidade Estadual de Santa Cruz em Ilhéus na Bahia. A espécie recebeu este nome como uma homenagem de Itanna para seu companheiro, Paulo Vilela Cruz.

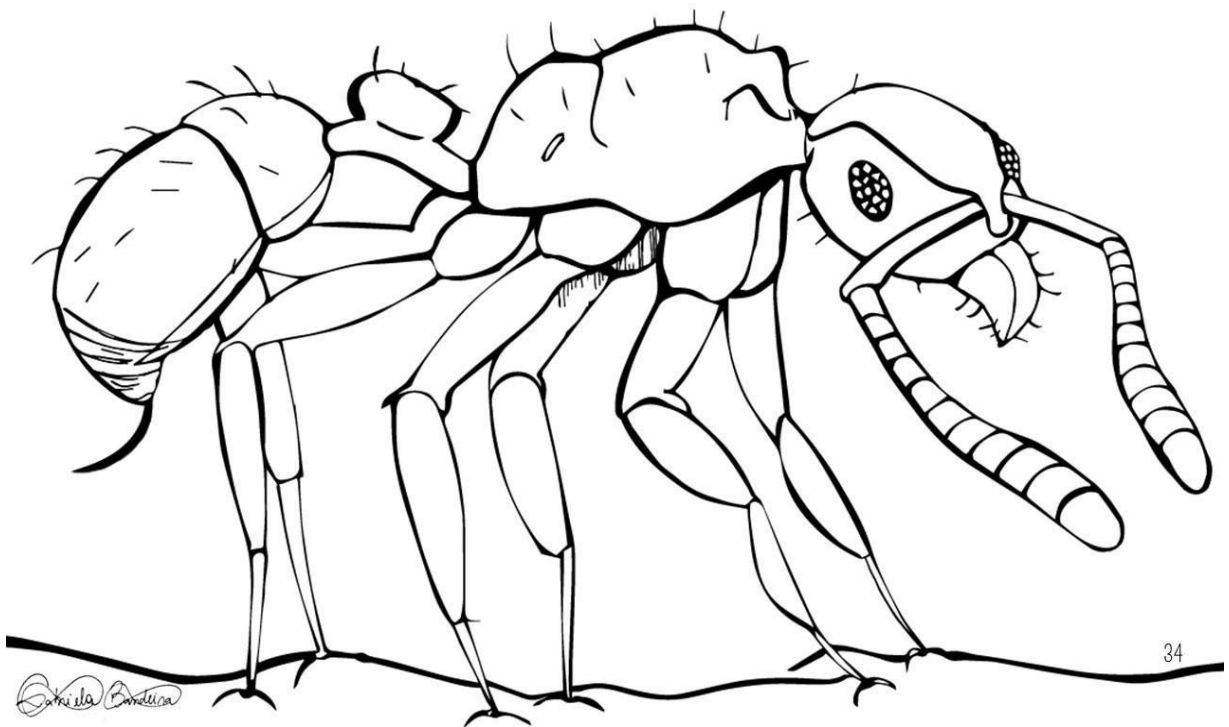


Paraponera clavata (Fabricius, 1775) – Formiga-cabo-verde, tocandira, tucandeira e formiga-bala

O gênero *Paraponera* possui apenas uma espécie, *Paraponera clavata* que ocorre na região Neotropical, desde a América Central ao Centro-Sul do Brasil. São formigas grandes, que podem chegar a mais de 2,5cm e têm uma picada capaz de causar muita dor, febre, náuseas e vômito. Quem já tomou uma picada diz que a dor equivale ao tiro de uma bala de revólver (por isso formiga-bala) e pode durar até 24 horas. São formigas extremamente agressivas e fazem seus ninhos na base das árvores em florestas. O tamanho de suas colônias pode variar de 200 até 300 indivíduos. Apesar de serem consideradas predadoras, são frequentemente observadas alimentando-se de nectários extraflorais.

Essas formigas também têm um papel cultural importante na região amazônica, sendo usadas em rituais indígenas. Este é um ritual de iniciação da infância para a vida adulta, que consiste em meninos colocarem suas mãos em uma luva de palha com muitas formigas presas e receberem dezenas de picadas simultâneas. Durante o ritual os meninos não podem demonstrar dor, pois a sua resistência à dor é associada a bravura, força e coragem. Apesar de ser tradicionalmente masculino, em algumas aldeias mulheres e até pessoas que não são indígenas tem sido aceitas nesse ritual. Além disso, os indígenas acreditam que o ritual contribui para a elevação espiritual.

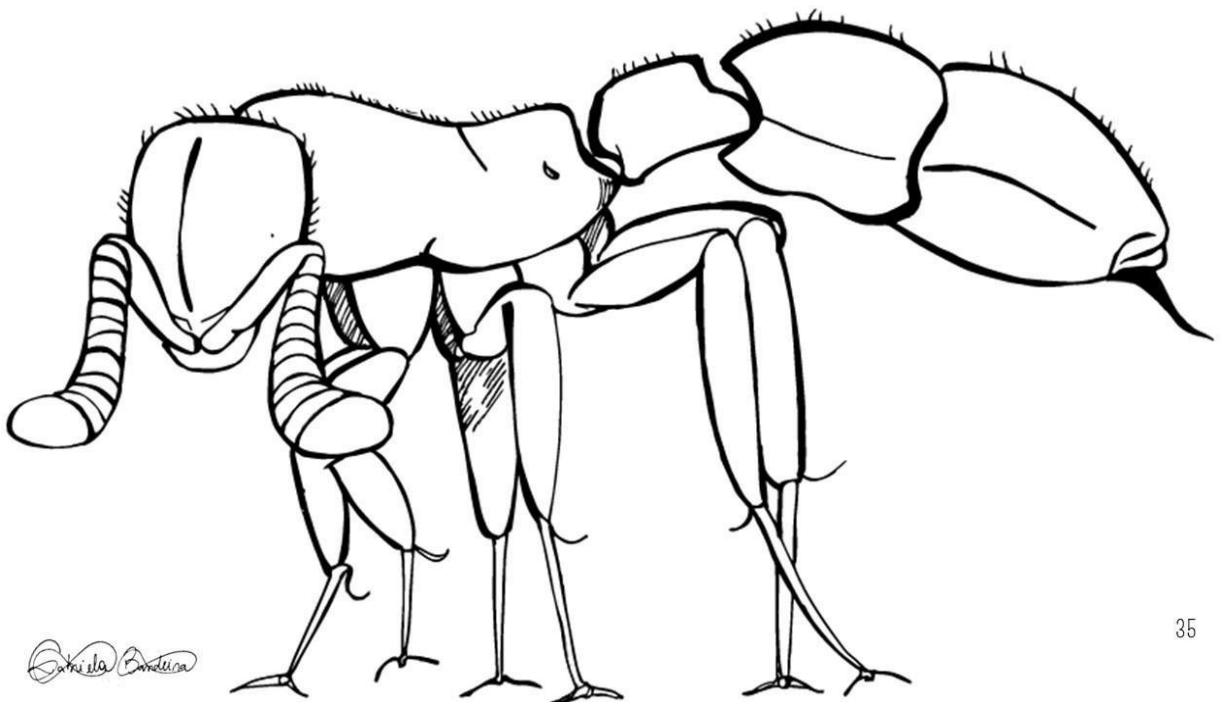
Assim como *Gigantiops destructor*, a temida espécie de formiga *Paraponera clavata* também foi descrita por Johann Christian Fabricius.



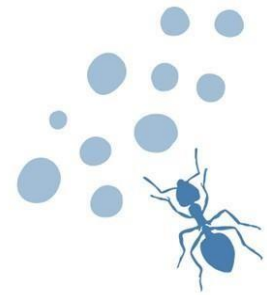
Probolomyrmex dentinodis Oliveira & Feitosa, 2019

O gênero *Probolomyrmex* possui 30 espécies descritas. As colônias são pequenas, com cerca de 20 indivíduos. As formigas deste gênero podem ser encontradas em florestas com diferentes níveis de umidade. Acredita-se que elas são predadoras especialistas de milípedes, conhecidos como “piolhos-de-cobra” ou “embuás”.

A espécie *Probolomyrmex dentinodis* foi descrita pela pesquisadora Aline Oliveira e pelo pesquisador Rodrigo Feitosa, brasileiros. O nome da espécie é uma referência à presença de um par de projeções (que lembram os formatos de “dentes”) que essas formigas possuem na cintura.



Glossário



Aeração do solo: processo de circulação de ar no interior do solo.

Infiltração de água: processo de circulação de água no interior do solo.

Ciclagem de nutrientes: troca de nutrientes entre os seres vivos, solo, água e ar.

Predadores: animais que matam e consomem outro animal para se alimentar.

Seiva das plantas: substância líquida que está presente no interior das plantas e que ajudam no transporte de alguns nutrientes.

Abdômen: nos insetos, o corpo é dividido em três partes: cabeça, tronco e abdômen. Nas formigas, em específico, os últimos segmentos do tronco se juntaram com os primeiros do abdômen, formando uma cintura que recebe o nome de pecíolo. Os segmentos restantes do abdômen das formigas são chamados de gáster.

Nectários extraflorais: néctar produzido em outras estruturas que não as flores, como por exemplo na base das folhas e galhos. O líquido produzido nos nectários extraflorais é açucarado e é usado pelas formigas como alimento.

Vegetação primária: vegetação formada em um local que é destituído de qualquer forma de vida. Assim, essa vegetação que se forma é a primeira a existir neste local, por isso recebe o nome de primária.

Vegetação secundária: quando a vegetação sofre uma perturbação, seja natural ou feita pelo homem, há a retirada da vegetação original (primária). Porém, algumas plantas podem persistir no local seja por adaptações que lhes permite resistir ao distúrbio ou pelo fato de suas sementes estarem no interior do solo, e uma vez passado o distúrbio conseguem se desenvolver. É chamada de secundária porque essa vegetação que se forma após um distúrbio não é a vegetação original de um determinado local. Adicionalmente, sementes podem chegar neste local perturbado via dispersão pelo vento ou trazidas por algum animal dispersor.

Operárias: nome dado aos indivíduos de uma colônia de animais sociais cuja principal função é a manutenção interna do ninho, busca de alimento e cuidado com as mais jovens. Estes indivíduos geralmente não se reproduzem.

Fragmentação: divisão de uma área contínua de um ecossistema em várias partes menores.

Artrópodes: invertebrados (animais sem coluna vertebral) que possuem apêndices (antenas, pernas, mandíbulas, etc.) articulados e exoesqueleto (proteção externa).

Perigo de extinção: quando a população de um organismo se encontra drasticamente reduzida. Se por algum motivo os últimos indivíduos vierem a morrer, a população acaba e a espécie se torna extinta.

Oca: local de moradia de uma família indígena.

Glossário

Generalista: espécie que não tem preferência em relação ao espaço que ocupa e aos alimentos que consome.

Espécie-chave: espécie que tem papel essencial na realização de determinada função ecológica, por exemplo a dispersão de sementes. Essa espécie é tão importante que a sua ausência prejudica a realização da função.

Elaiossoma: estrutura gordurosa presente em algumas sementes e que atrai as formigas.

Grupo de espécies: agrupamentos informais utilizados como categorias intermediárias entre gêneros e espécies. Utilizados especialmente para grupos com grande riqueza de espécies.

Hábito subterrâneo: vivem no interior do solo.

Linhagem ancestral: quando um grupo de organismos é considerado muito semelhante à possível espécie da qual descendem todos os seus membros viventes.

Neotropicais ou Neotropical: organismos geograficamente distribuídos desde o México até a América do Sul.

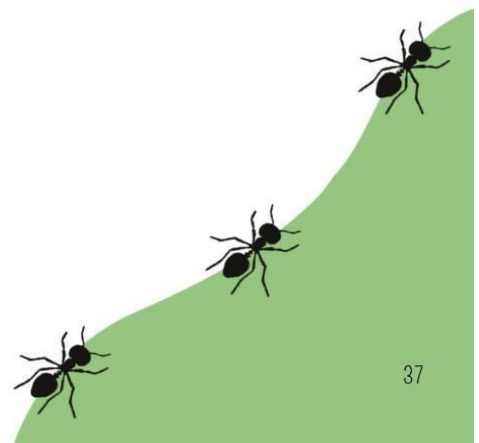
Especialistas: espécies que apresentam exigências específicas em relação ao espaço que ocupam e aos alimentos que consomem.

Predadoras generalistas: consomem vários tipos de presas.

Pilosidade: conjunto de cerdas (pelos) que recobre o corpo da formiga.

Florestas inundáveis: florestas que sofrem inundações naturais frequentes.

Mirmecólogas e mirmecólogos: cientistas que se dedicam ao estudo das formigas.



Autores

“Eu era aquela aluna da graduação em ecologia que enchia a boca e dizia: - Não quero estudar nem bicho e nem planta. Durante toda a graduação estudei sobre geodiversidade, geoprocessamento e elementos abióticos, que me ensinaram muito. Mas, aquela pessoa que não era muito fã de insetos, nem imaginaria que as formigas iriam ganhar seu coração. No final da graduação me apaixonei perdidamente por essas pequenas e foi daquelas paixões arrematadoras que você larga tudo e corre atrás. E foi isso mesmo que fiz, terminei a graduação e me aventurei em cursar meu mestrado na Amazônia para conhecer mais sobre as formigas. Aí vocês já devem imaginar, né? Já não tinha mais volta, cada espécie que eu coletava e olhava na lupa me deixava ainda mais encantada. As formigas me ensinaram/ensinam diariamente, principalmente por elas serem fortes, determinadas, diversas e tanta outras características marcantes que as tornam esse super organismo fascinante. Além de aprender com as formigas, aprendi muito com minhas colegas mirmecólogas. Acho que a ideia desse livro foi para que outras pessoas possam ter o prazer de conhecer como as formigas são apaixonantes e lindas.”



Marília Costa



Carla Ribas

“Minha paixão pelas formigas, começou pela ecologia! Eu queria muito estudar ecologia e descobri que, através das formigas, isso seria possível. De “ser possível” a me encantar com tanta diversidade de formas, cores, tamanhos, jeitos, formas de viver, nossa, foi um pulinho...E aí não tinha mais volta, já estava querendo saber mais sobre elas e conhecer algumas pelo nome e sobrenome. Essa diversidade toda que eu nem imaginava que existia nas formigas, me tornou também uma pessoa mais consciente de outras diversidades de conhecimentos, escolhas pessoais, formas de viver e tudo o mais nos seres humanos. Agradeço às formigas por me fazerem enxergar um mundo mais diverso, melhor e mais colorido e por me inspirar a querer conhecer onde e como elas estão, porque estão em um lugar e não no outro e a trocar conhecimento com diferentes pessoas sobre elas, inclusive diferentes tipos de conhecimento! Ah, e além de tudo, são elas, né? Mais admirável... 😊 Quem eu sou? Meu nome é Carla, sou bióloga, ecóloga, formigóloga, mãe de duas filhas e apaixonada por contar (e ouvir) sobre as formigas!”

“Professor de Ecologia na Universidade Federal do Acre. Me dedico ao estudo dos padrões de diversidade e funções ecológicas em assembleias de formigas e como estes respondem às mudanças do uso da terra. Tive o primeiro contato com a pesquisa com formigas durante a graduação. Inicialmente, não era a minha área de atuação desejada, mas com o tempo me encantei com a exuberante variação morfológica que as formigas possuem e com o avançar da minha formação como são excelentes modelos para o teste de hipóteses em ecologia de comunidades.”



Fernando Augusto Schmidt



Livia Pires do Prado

“Bióloga e Zoóloga por formação. Mirmecóloga desde 2009. Gosto de estudar formigas... Seja na natureza ou no laboratório, mas também gosto de conhecer um pouco mais sobre as pessoas que coletaram essas formigas que estão depositadas nas coleções científicas, sobre os lugares e o porquê delas terem sido coletadas. Unir processos históricos e evolutivos com as teorias ecológicas me ajuda a entender um pouco da complexidade do mundo. Adicionar um componente artístico em tudo isso, que é a proposta do nosso livro, me permite enxergar as formigas pelo olhar do outro, com a leveza, imaginação, cores e ângulos, sempre tão inesperados e surpreendentes.”

“Eu sou a Gabriela, sou bióloga e apaixonada pelas formigas desde 2014 e apaixonada por desenhos desde criança. Com as formigas aprendi como organização, respeito pela natureza e trabalho em equipe são importantes! Com os desenhos, eu aprendi que posso expressar meus sentimentos, ideias e personalidade. E por que não juntar as duas coisas? Eu espero que vocês sintam todo o carinho que colocamos nesse livro e espero que se divirtam muito assim como nós nos divertimos preparando ele para vocês! Preparem o lápis de colorir, giz de cera e tinta e venha descobrir mais sobre o mundo das formigas. Nós estamos ansiosos por esse encontro!”



Gabriela Bandeira



Luane Fontenele

“Sou uma cientista de sorte! Tenho o privilégio da minha jornada na ciência ter sido sempre associada a uma trilha de formigas. Ainda no começo da graduação em biologia descobri que as formigas nos ajudam a entender como as atividades humanas impactam as florestas e desde então não parei de estudar e admirar as espécies mais fantásticas do planeta Terra. Foi amor à primeira vista (na lupa)! Uma cor de caramelo e que parece ter um lacinho entre as estruturas do corpo, outra tão grande e avermelhada e têm aquelas que parecem ter estruturas quase transparentes moldando o corpo. As formigas são fortes, delicadas, persistentes e extremamente admiráveis! Como cientista, nunca esqueço que as formigas me ensinam muito além do que cabe em uma pergunta científica.”

“Como um grande biólogo disse uma vez: ‘toda criança tem uma fase de amar insetos, mas a minha fase nunca passou’. Muitas pessoas passam por grandes crises vocacionais quando precisam escolher uma profissão a seguir, mas para minha sorte (ou não), isso nunca foi um problema para mim. Eu sempre soube que me dedicaria às ciências naturais. O caminho até as formigas foi natural, pois quando ainda bem menino já colecionava potes e mais potes de insetos embaixo da cama, para desespero da minha mãe. Na faculdade, imediatamente “me agarrei” ao jaleco do professor de Zoologia. Me tornei biólogo e na sequência busquei um estágio em entomologia sob orientação do Dr. Carlos Roberto Brandão. Como grande especialista em formigas, o prof. Brandão não teve dificuldades em me convencer a seguir o caminho destes insetos fascinantes. Tudo nas formigas sempre me encantou, a vida em sociedade, o domínio feminino nos formigueiros, as diversas estratégias de reprodução, defesa e busca de alimento. Sempre dedicando boa parte do meu tempo em ler e observar formigas, os próximos passos me levaram ao mestrado e ao doutorado, nos quais me especializei na taxonomia e história natural das formigas. Hoje, como coordenador de um grupo de pesquisa na Universidade Federal do Paraná, sigo na trilha das formigas. Minha missão, além de desvendar os segredos destas criaturinhas, é plantar no coração de jovens estudantes o amor pelos pequenos seres que movem o mundo.”



Rodrigo Feitosa

Referências Bibliográficas

- * AntWeb. Version 8.66. California Academy of Science, online at <https://www.antweb.org>. Acesso em 6 de dezembro de 2021.
- * Apyrehyt, Y. 2011. Comunidade sateré-mawé Y'Apyrehyt: ritual e saúde na periferia urbana de Manaus: 723–744.
- * Araújo, Arrilton; Medeiros, Jeniffer da Câmara; Azevedo, Dina Lillia Oliveira de; Medeiros, Ingrid Araújo de; Neto, Waldemar Alves da Silva; Garcia, Deisylyne. Poneromorfas sem rainhas – Dinoponera: aspectos ecológico-comportamentais. In: DELABIE, Jacques H. C. et al. As formigas poneromorfas do Brasil. Ilhéus: Editus, 2015. p. 237–246.
- * Arnold, D.P.; Balasubramani, S.P.; Valles, S.M.; Hottel, B.A. 2021. Examining the Prevalence of *Solenopsis invicta* Virus 3 (Solinviviridae: Invictavirus) in *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) Alates Collected in North Florida. Florida Entomologist 104: 9–12.
- * Azorsa, F.; Sosa-Calvo, J. 2008. Description of a remarkable new species of ant in the genus *Daceton* Perty (Formicidae: Dacetini) from South America. Zootaxa 1749: 27.
- * Baccaro, F.B.; Feitosa, R.M.; Fernandez, F.; Fernandes, I.O.; Izzo, T.J.; Souza, J.L.P.; et al. 2015. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. 388p.
- * Barros, L.A.C.; Chaul, J.C.M.; Orivel, J.; Aguiar, H.J.A.C. de. 2021. Cytogenetics of *Strumigenys louisianae* Roger, 1863 (Formicidae: Myrmicinae) from North-eastern Amazonia shed light on a difficult species complex. Zoologischer Anzeiger 294: 100–105.
- * Brandão, C.R.F.; Diniz, J.L.M.; Tomotake, E.M. 1991. *Thaumatomyrmex* strips millipedes for prey: a novel predatory behaviour in ants, and the first case of sympatry in the genus (Hymenoptera: Formicidae). Insectes Sociaux 38: 335–344.
- * Brandão, C.R.F.; Feitosa, R.M.; Schmidt, F.A.; Solar, R.R. de C. 2008. Rediscovery of the putatively extinct ant species *Simopelta minima* (Brandão) (Hymenoptera, Formicidae), with a discussion on rarity and conservation status of ant species. Revista Brasileira de Entomologia 52: 480–483.
- * Brandão, C.R.F., et al. Dieta das Poneromorfas Neotropicais. In: Delabie, J.H.C., et al., orgs. As formigas poneromorfas do Brasil [online]. Ilhéus, BA: Editus, 2015, pp. 145–161. ISBN 978-85-7455-441-9.
- * Byk, J.; Del-Claro, K. 2010. Nectar-and pollen-gathering *Cephalotes* ants provide no protection against herbivory: a new manipulative experiment to test ant protective capabilities. Acta ethologica 13: 33–38.
- * Camacho, G.P.; Franco, W.; Branstetter, M.G.; Pie, M.R.; Longino, J.T.; Schultz, T.R.; et al. 2022. UCE Phylogenomics Resolves Major Relationships Among Ectaheteromorph Ants (Hymenoptera: Formicidae: Ectatomminae, Heteroponerinae): A New Classification For the Subfamilies and the Description of a New Genus. Insect Systematics and Diversity .
- * Camacho, G.P.; Franco, W.; Feitosa, R.M. 2020. Additions to the taxonomy of *Gnamptogenys* Roger (Hymenoptera: Formicidae: Ectatomminae) with an updated key to the New World species. Zootaxa 4747: 450–476.
- * Farias, Elaine. Aldeia sateré-mawé preserva cultura com ritual da tucandeira. Amazônia Real, Manaus, 25 de novembro de 2013. Povos Indígenas. Disponível em: <https://amazoniareal.com.br/aldeia-satere-mawe-preserva-cultura-com-ritual-da-tucandeira/>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.
- * Feitosa, R.M.; Brandão, C.R.F. 2008. A taxonomic revision of the Neotropical myrmicine ant genus *Lachnomyrmex* Wheeler (Hymenoptera: Formicidae). Zootaxa 1890:
- * Fernandes, I.O.; Delabie, J.H.C. 2019. A New Species of *Cryptopone* Emery (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae) from Brazil with Observations of this Genus and a Key for New World Species. Sociobiology 66: 408.
- * Fontenele, L.K.; Schmidt, F.A. 2021. Forest-pasture shifting alters the assemblages of seed-removing ants in southwestern Brazilian Amazon. Journal of Insect Conservation 25: 213–220.
- * Garcia, F.H.; Fisher, B.L. 2014. Taxonomic revision of the cryptic ant genus *Probolomyrmex* Mayr (Hymenoptera, Formicidae, Proceratiinae) in Madagascar. Deutsche Entomologische Zeitschrift 61: 65–76.
- * Gomes, I.J.M.T.; Santiago, D.F.; Campos, R.I.; Vasconcelos, H.L. 2019. Why do *Pheidole oxyops* (Forel, 1908) ants place feathers around their nests? Ecological Entomology 44: 451–456.
- * Gronenberg, W. 1995. The fast mandible strike in the trap-jaw ant *Odontomachus*. Journal of Comparative Physiology A 176: 391–398.
- * Gronenberg, W. 1996. The trap-jaw mechanism in the dacetine ants *Daceton armigerum* and *Strumigenys* sp. Journal of Experimental Biology 199: 2021–2033.
- * Hora, R.R.; Vilela, E.; Féron, R.; Pezon, A.; Fresneau, D.; Delabie, J. 2005. Facultative polygyny in *Ectatomma tuberculatum* (Formicidae, Ectatomminae). Insectes Sociaux 52: 194–200.
- * International Commission of Zoological Nomenclature [ICZN]. 1999. International code of zoological nomenclature [the Code]. Fourth edition. The International Trust for Zoological Nomenclature, c/o Natural History Museum, London. xxix + 306 p. [online version at <https://www.iczn.org/the-code/the-code-online/>]. 41

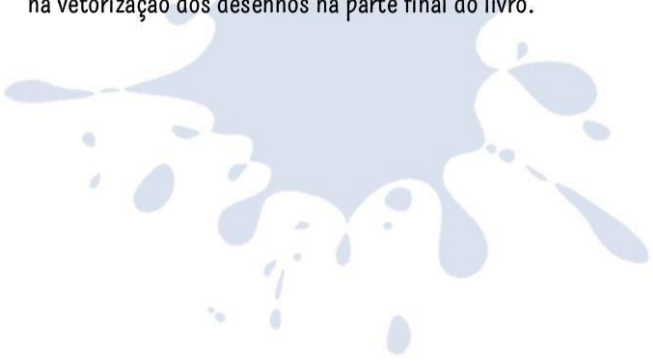
Referências Bibliográficas

- * Jahyny, B., e outros. Estudos biogeográficos sobre o gênero *Thaumatomyrmex* Mayr, 1887 (Ponerinae, Ponerini). In: Delabie, J.H.C., et al., organizações. As formigas poneromorfas do Brasil [conectados]. Ilhéus, BA:Editus, 2015, pp. 327-343. ISBN 978-85-7455-441-9.
- * Lima, H.P.; Châline, N.G.; De Lima, R.L.C.; Châline, R.D.S.F. 2020. Primeiro registro de bivaque arbóreo para a espécie de formiga de correição *Eciton rapax* Smith, 1855 (Formicidae: Dorylinae). Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais 15: 221-225.
- * Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. 2018. Volume VII – Invertebrados -- 1. ed. -- Brasília, DF: ICMBio/MMA.
- * López-Muñoz, R.A.; Villarreal, E.; Latke, J.E. 2018. Two new species of *Leptogenys* from southern Brazil (Hymenoptera: Formicidae). Zootaxa 4410: 559-566.
- * Martins, A.; Revisão, D.; De, T.; Roger, D. 2019. Revisão taxonômica de *Dinoponera* Roger.
- * Mayhé-Nunes, A.J.; Brandão, C.R.F. 2006. Revisionary notes on the fungus-growing ant genus *Mycetarotes* Emery (Hymenoptera, Formicidae). Revista Brasileira de Entomologia 50: 463-472.
- * Mlot, N.J.; Tovey, C.; Hu, D.L. 2012. Dynamics and shape of large fire ant rafts. Communicative & Integrative Biology 5: 590-597.
- * Oliveira, A.M.; Feitosa, R.M. 2019. Taxonomic revision of the genus *Probolomyrmex* Mayr, 1901 (Hymenoptera: Formicidae: Proceratiinae) for the Neotropical Region. Zootaxa 4614: 61-94.
- * Paiva, C. T. (2019). Interação entre *Crematogaster brasiliensis* Mayr, 1887 (Hymenoptera: Formicidae) e *Pseudacteon* sp. (Diptera: Phoridae). Dissertação de Mestrado em Zoologia. Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus- AM, 39p.
- * Papavero, N. 1994. Fundamentos práticos de taxonomia zoológica. São Paulo, Unesp, 2ª ed., 285p.
- * Patek, S.N.; Baio, J.E.; Fisher, B.L.; Suarez, A. V. 2006. Multifunctionality and mechanical origins: Ballistic jaw propulsion in trap-jaw ants. Proceedings of the National Academy of Sciences 103: 12787-12792.
- * Peixoto, A. V.; Campiolo, S.; Lemes, T.N.; Delabie, J.H.C.; Hora, R.R. 2008. Comportamento e estrutura reprodutiva da formiga *Dinoponera lucida* Emery (Hymenoptera, Formicidae). Revista Brasileira de Entomologia 52: 88-94.
- * Powell, S.; Baker, B. 2008. Os grandes predadores dos neotrópicos: comportamento, dieta e impacto das formigas de correição (Ecitoninae). Insetos sociais: da biologia à aplicação: 18-37.
- * Powell, S.; Franks, N.R. 2007. How a few help all: living pothole plugs speed prey delivery in the army ant *Eciton burchellii*. Animal Behaviour 73: 1067-1076.
- * Rabeling, C.; Brown, J.M.; Verhaagh, M. 2008. Newly discovered sister lineage sheds light on early ant evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences 105: 14913-14917.
- * Rettenmeyer, C.W.; Rettenmeyer, M.E.; Joseph, J.; Berghoff, S.M. 2011. The largest animal association centered on one species: the army ant *Eciton burchellii* and its more than 300 associates. Insectes Sociaux 58: 281-292.
- * Santos, P.F.; Fonseca, R.; Sanches, N.M. 2009. Ants (Hymenoptera: Formicidae) as vectors for bacteria in two hospitals in the municipality of Divinópolis, State of Minas Gerais. Revista Da Sociedade Brasileira De Medicina Tropical 42: 565-569.
- * Silva, A.; Bacci Jr., M.; Gomes de Siqueira, C.; Correa Bueno, O.; Pagnocca, F.C.; Aparecida Hebling, M.J. 2003. Survival of *Atta sexdens* workers on different food sources. Journal of Insect Physiology 49: 307-313.
- * Solomon, S.E.; Mueller, U.G.; Schultz, T.R.; Currie, C.R.; Price, S.L.; Oliveira da Silva-Pinhati, A.C.; et al. 2004. Nesting biology of the fungus growing ants *Mycetarotes* Emery (Attini, Formicidae). Insectes Sociaux 51: 333-338.
- * Ulysséa, M.A.; Brandão, C.R.F. 2013. Ant species (Hymenoptera, Formicidae) from the seasonally dry tropical forest of northeastern Brazil: a compilation from field surveys in Bahia and literature records. Revista Brasileira de Entomologia 57: 217-224.
- * Verble, R.M.; Meyer, A.D.; Kleve, M.G.; Yanoviak, S.P. 2012. Exoskeletal Thinning in *Cephalotes atratus* Ants (Hymenoptera: Formicidae) Parasitized by *Myrmecinema neotropicum* (Nematoda: Tetradenematidae). Journal of Parasitology 98: 226-228.
- * Wilson, E.O. 1953. The Ecology of Some North American Dacetinae Ants. Annals of the Entomological Society of America 46: 479-495.
- * Winston, J., 1999. Describing Species: Practical Taxonomic Procedure for Biologists. Columbia University Press, New York.
- * Yamamoto, M. (2004). Ecologia e comportamento da formiga *Camponotus sericeiventris* Guérin, 1838 (Formicinae, Camponotini) no cerrado. Dissertação de mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 64 p.
- * Yanoviak, S.P.; Dudley, R.; Kaspari, M. 2005. Directed aerial descent in canopy ants. Nature 433: 621-624.

Agradecimentos



Marília Costa agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código financeiro 001 pela concessão a bolsa de estudos; aos colegas de laboratório pelas dicas e sugestões; a Lucas Arroxelas pelo incentivo de sempre e aos pesquisadores Júlio Chaul e Jorge Souza pelas considerações sobre algumas das espécies presentes no livro. Luane Fontenele agradece pela concessão da bolsa de estudos da Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG). Livia P. Prado agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo/FAPESP (processo nº 2022/01974-8). Rodrigo Feitosa foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (processo nº 301495/2019-0). Carla Ribas agradece a PPM-00736-18-FAPEMIG. As autoras e os autores agradecem a Dara Veiga Alves pela auxílio na vetorização dos desenhos na parte final do livro.



Quer nos mostrar como ficaram as formigas depois de coloridas? Estamos lá no Instagram como @Formigas.em.cores, podem nos marcar ou usar #formigasemcores. Assim podemos repostar e ver várias formigas lindas e coloridas.

