Revista EDUCAmazônia

Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente, Humaitá, LAPESAM/GISREA/UFAM/CNPq/
EDUA –ISSN 1983-3423 –IMPRESSA –ISSN 2318 –8766 –CDROOM –ISSN 2358-1468 -DIGITAL ONLINE

UFAM

REESMA, Humaitá - Amazonas, Ano 18, Volume XVIII, nº ESPECIAL, Jul-dez. 2025

PROTOCOLO DE COLETA DE FORMIGAS DE SOLO E VEGETAÇÃO EM SÍTIOS RAPELD

PROTOCOL FOR COLLECTING GROUND-DWELLING AND ARBOREAL ANTS IN RAPELD SITES

Patrícia Nakayama Miranda[1], Ricardo Eduardo Vicente[2], Jorge Luiz Pereira Souza[3], Itanna Oliveira Fernandes[4], Amanda Batista da Silva[5], Wesley Dáttilo[6] & Fabricio Beggiato Baccaro[7]

Resumo:

A falta de padronização dos métodos e esforço de coleta entre estudos de biodiversidade compromete a integração das esparsas informações existentes. Para superar esse desafio, as redes de amostragem padronizada de larga escala, como o sistema RAPELD adotado pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), figuram como uma alternativa adequada para aumentar a integração de informações sobre a biodiversidade. As formigas, organismos amplamente considerados em estudos de biodiversidade devido às importantes funções que exercem no solo e na vegetação, vêm sendo cada vez mais coletadas. Diferentes métodos de coleta podem ser empregados, e a escolha do método ou a combinação destes depende do propósito do levantamento, do quanto da fauna de formigas pretende-se acessar, e do tempo e recurso financeiro disponível para execução do trabalho. Neste artigo, descrevemos alguns dos principais métodos de coleta de formigas de solo, folhiço e da vegetação já testados e aplicados em diversos sítios RAPELD mantidos pelo PPBio na Amazônia, e apresentamos as perspectivas do uso de cada um deles com base em estudos já realizados.

Palavras-chave: Amazônia, amostragem padronizada, Formicidae, PPBio, solo, vegetação

[1] Campus Rio Branco, Instituto Federal do Acre, Av. Brasil, 920, Xavier Maia, CEP 69903-068, Rio Branco-AC, Brasil. Email: patricia.miranda@ifac.edu.br
[2] Departamento de Biologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil
[3] Programa de Pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, Brasil.
[4] Coordenação de Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM, Brasil.
[5] Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil.
[6] Red de Ecoetología, Instituto de Ecología, A.C, Xalapa-Veracruz, México.

Abstract:

The lack of standardization in sampling methods and collection efforts among biodiversity studies undermines the integration of the sparse existing information. To overcome this challenge, large-scale standardized sampling networks, such as the RAPELD system adopted by the Brazilian Program for Biodiversity Research (PPBio), seem to be a suitable alternative for promoting the integration of biodiversity information. Ants are increasingly collected in biodiversity studies for their crucial ecological roles in soil and vegetation. Various sampling methods can be employed to study ants. The selection of a specific method, or a combination of them, is influenced by the survey's purpose, the extent of ant fauna to be assessed, as well as the time and funding available for the project. Here, we present key sampling methods for both ground-dwelling and arboreal ants that have been tested at various RAPELD sites managed by PPBio in the Amazon. Additionally, we discuss the perspectives on the application of each method based on previous studies.

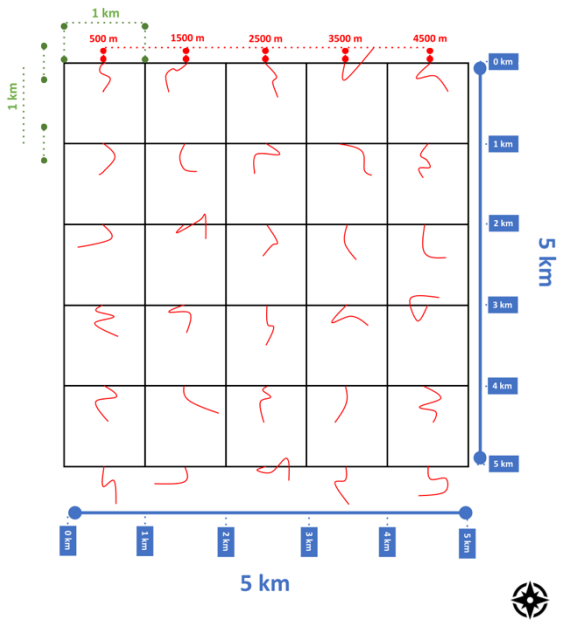
Keywords: Amazon, standardized sampling, Formicidae, PPBio, soil, vegetation.

[7] Departamento de Biologia, Universidade Federal do Amazonas, Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200, Coroado I, CEP 69067-005, Manaus-AM, Brasil. Email: baccaro@ufam.edu.br

O que é o RAPELD?

O RAPELD é um sistema padronizado de infraestrutura de campo voltado ao monitoramento integrado da biodiversidade e de processos ecossistêmicos. Ele combina padronização e flexibilidade, permitindo sua aplicação em diferentes ecossistemas. Seu objetivo é atender à demanda por **levantamentos rápidos de biodiversidade** (RAP) e por uma metodologia padrão para **pesquisas ecológicas de longa duração** (PELD). A infraestrutura consiste em grades (*grids*) ou módulos de pesquisa com trilhas principais de 5 km e parcelas uniformemente distribuídas de 250 metros, instaladas a cada 1 km. Em áreas com cursos d'água, incluem-se parcelas ripárias (250 metros) e aquáticas (50 metros), complementando a amostragem em ambientes específicos. Essa disposição maximiza a representatividade de diferentes grupos taxonômicos e variações ambientais, sendo facilmente replicável em outras localidades, o que permite comparações em diversas escalas espaciais e temporais. Além disso, favorece a integração de dados ecológicos e informações sobre uso sustentável de recursos, sendo amplamente aplicado no Brasil para subsidiar políticas de manejo ambiental.

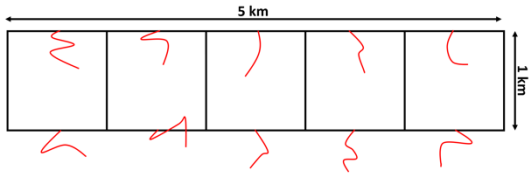
Grid de amostragem com as trilhas principais de 5 km e parcelas dispostas a cada 1 km



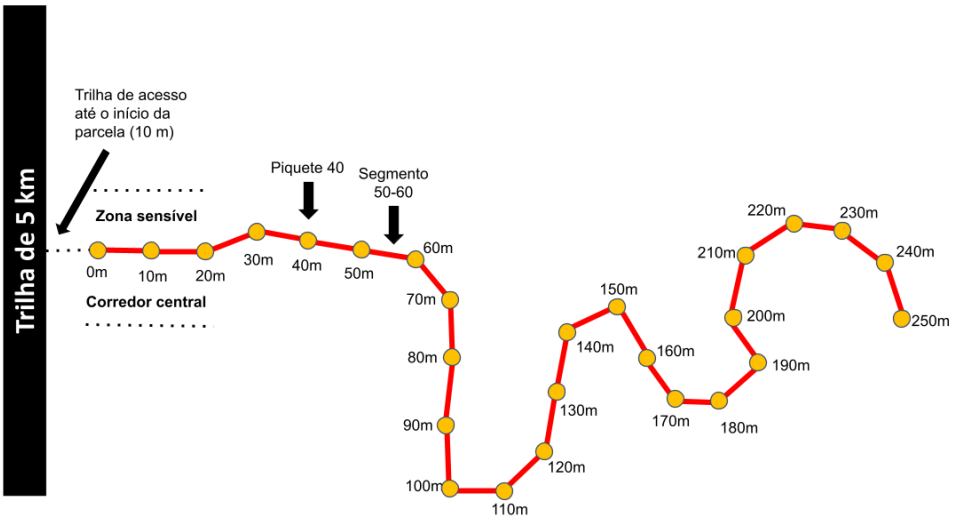
As **parcelas uniformemente distribuídas** são transectos de 250 metros de comprimento posicionados ao longo de curvas de nível, com larguras ajustadas conforme o grupo taxonômico ou variável estudada. Essa disposição minimiza os efeitos da topografia sobre as condições ambientais dentro das parcelas, garantindo que as variações sejam registradas entre parcelas, e não dentro delas, já que cada parcela é a unidade amostral central na maioria dos estudos. Piquetes são instalados a cada 10 metros e conectados por uma linha central marcada com barbante plástico ou fitilho, facilitando a aplicação dos protocolos metodológicos. À esquerda da linha central, localiza-se a **zona sensível**, uma faixa de 1,5 metros dedicada a estudos de regeneração florestal, onde o trânsito de pesquisadores é restrito para evitar pisoteio. À direita, há um **corredor de deslocamento** de 1 metro de largura que permite a movimentação dos pesquisadores.

As **parcelas ripárias** estão localizadas às margens de pequenos cursos d'água, também com 250 metros de comprimento. Cada parcela é demarcada ao longo da margem direita do curso d'água, seguindo em direção à nascente (montante), com piquetes a cada 10 metros. Elas sempre começam onde a trilha principal da grade ou módulo cruza o curso d'água

Módulo de amostragem com as trilhas principais de 5 km e parcelas dispostas a cada 1 km



As **parcelas aquáticas fixas** são posicionadas nos canais dos riachos, geralmente a 10 metros da trilha principal. Cada parcela mede 50 metros de comprimento, com piquetes nos pontos 0, 16, 32 e 50 metros, instalados próximos às margens para representar adequadamente o ambiente aquático.



1 INTRODUÇÃO

As formigas (Hymenoptera, Formicidae) são insetos dominantes, com ampla distribuição na maioria dos ecossistemas terrestres, representando entre 10 a 25% do total da biomassa animal nestes ambientes (Holldöbler & Wilson, 1990; Ellwood & Foster, 2004; Schultheiss et al., 2022). Elas são importantes constituintes da macrofauna do solo, pois atuam significativamente na drenagem e aeração do solo, e na ciclagem de nutrientes (Farji-Brener & Illes, 2000; Sousa-Souto et al., 2007), além de serem importantes dispersoras de sementes (Rabello et al., 2018), polinizadoras (Delnevo et al., 2020) e de atuarem na proteção de plantas contra herbivoria (Pereira et al., 2020). Estes animais também representam grande parte da fauna de artrópodes encontrados na vegetação, especialmente em ambientes tropicais (Oliveira & Freitas, 2004). Muitas espécies de formigas se alimentam de partes ou substâncias produzidas pelas plantas, tais como folhas (Swanson et al., 2019), néctar floral (Del-Claro et al., 2019) e extrafloral (Nogueira et al., 2020) e elaiossomo (estrutura rica em lipídios e nutrientes) presente em algumas sementes (Munguía-Rosas & Álvarez-Espino, 2021), ou utilizam a vegetação como superfície de forrageamento na busca por presas (Wills et al., 2019), exsudados de insetos herbívoros (Blüthgen et al., 2000), ou como local para construção de seus ninhos (Pacheco et al., 2022).

As formigas estão entre os grupos ideais para estudos de biodiversidade (Andrade-Silva et al., 2022; Costa & Schmidt, 2022; Guilherme et al., 2022), pois além de desempenharem funções essenciais no solo e na vegetação, também podem ser facilmente coletadas e identificadas (Feitosa et al., 2023). Além disso, por serem sensíveis a mudanças antropogênicas, são frequentemente utilizadas como indicadores biológicos em paisagens modificadas pelo homem (Ribas et al., 2012; Santos et al., 2021; Souza Dutra et al., 2024).

Por serem muito abundantes e nidificarem em diversos habitats, as formigas podem ser coletadas de muitas formas. Há vinte anos, um grupo de mirmecólogos experientes organizou um protocolo geral para coleta de formigas que nidificam e/ou forrageiam no solo e folhiço. Esse protocolo foi chamado de ALL Protocol (Ants of the Leaf Litter), que emprega extratores de Winkler (Agosti et al., 2000) e armadilhas de queda ("pitfall"). No entanto, para complementar as amostragens, é possível usar iscas atrativas (Vasconcelos, 2006; Baccaro et al., 2011; Souza et al., 2012; Lasmar et al., 2021;

Lasmar et al., 2023) e coleta manual ativa (Gotelli et al., 2011). Para formigas hipogéicas, que raramente sobem a superfície, pitfalls subterrâneos iscados ou não, são mais indicados. Essas armadilhas são enterradas verticalmente em profundidades variáveis, e coletam formigas hipogéicas e outros invertebrados que raramente vêm à superfície (Schmidt & Solar, 2010; Torres et al., 2020). Para a coleta de formigas que nidificam e/ou forrageiam na vegetação, o método de guarda-chuva entomológico (Vicente et al., 2015), pitfall arbóreo (Oliveira & Schmidt, 2019) ou coleta manual (Antoniazzi et al., 2020) é frequentemente empregado. Vários estudos demonstraram a complementaridade entre métodos (Olson, 1991; Delabie et al., 2000; Souza et al., 2012; Antoniazzi et al., 2020), no entanto, a escolha do método ou a combinação destes depende do propósito do levantamento, do quanto da fauna de formigas pretende-se acessar, e do tempo e recurso financeiro disponível para execução do trabalho (Souza et al., 2012).

A falta de padronização dos métodos e esforço de coleta entre estudos de biodiversidade compromete a integração das informações existentes (Carvalho et al., 2023; Guimarães et al., 2024). Nesse contexto, as redes de amostragem padronizada de larga escala, como o sistema RAPELD (Costa & Magnusson, 2010) adotado pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), figuram como uma boa alternativa para superar esse desafio. Na Amazônia brasileira, estudos com formigas vêm sendo cada vez mais desenvolvidos em sítios de coleta RAPELD, distribuídos em diferentes regiões do estado do Amazonas (Souza et al., 2012; 2022), Rondônia (Souza & Fernandes, 2021), Roraima (Souza et al., 2012; 2016), Mato Grosso (Vicente & Izzo, 2021) e Acre (Oliveira & Schmidt, 2019). As informações oriundas dessas amostragens têm contribuído com o conhecimento sobre os fatores que explicam a distribuição das espécies de formigas (Baccaro et al., 2012; Baccaro et al., 2013; Guilherme et al., 2019; Oliveira et al., 2009; Torres et al., 2020) e de suas interações ecológicas (Dáttilo et al., 2013; Falcão et al., 2015; Vicente & Izzo, 2021) na Amazônia. Outros trabalhos usando o sistema RAPELD também têm proporcionado discussões valiosas sobre eficiência de amostragem de formigas envolvendo aspectos como recurso financeiro, tempo empregado e nível taxonômico (Souza et al., 2012; Souza et al., 2022). Neste artigo descrevemos os principais métodos de coleta de formigas de solo, folhiço e da vegetação já testados e aplicados em diversos sítios RAPELD mantidos pelo PPBio na Amazônia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Formigas de solo

Os materiais e equipamentos utilizados para coleta de formigas de folhiço compreendem extratores de Winkler, que consistem em um saco de malha sustentado por hastes internas de metal formando um retângulo vertical. Dentro do extrator, é instalada uma rede telada (4 mm) onde a serrapilheira peneirada é colocada (Figura 1). A peneira (também conhecida como funil de Winkler) utilizada para particionar o folhiço possui uma grade de metal com malha de 1 cm^2. A área de coleta do folhiço é delimitada por quatro pedaços de cano de PVC ½ polegadas unidas por quatro cotovelos (para formar um quadrado de $1m^2$). Também é necessário luvas para coleta e sacos de tecido para o transporte do folhiço. Para a instalação é necessário cordas para pendurar os extratores, copos de plástico, álcool 70%, pelo menos duas bandejas e pincel (Figura 1).

O pitfall (ou armadilha de queda) mais utilizado é um copo de plástico resistente (9,5 cm de diâmetro; 8,0 cm de altura; 500 mL de volume). Esse copo é mais facilmente instalado usando uma cavadeira (boca de lobo). Também são necessários pratos de plástico, palitos de churrasco, álcool 70%, peneira, pisseta e um pouco de detergente (Figura 2).

As coletas com iscas atrativas podem ser feitas com diversos alimentos. A isca atrativa comumente utilizada é a sardinha em lata, muitas vezes usada (com o óleo) em uma proporção de 1:1 com farinha de mandioca. A farinha ajuda a manter a isca menos viscosa e facilita seguir as formigas até o ninho (Baccaro & Ferraz, 2013).

Após a coleta, utilizando um ou mais de um dos métodos acima citados, todo o material deve ser transferido para recipientes de coleta (potes) com álcool 70%, com auxílio de pinças entomológicas e pissetas. No caso dos pitfalls, é recomendado utilizar uma peneira e uma pisseta para facilitar o processo (Figura 2). Dependendo do tamanho do pote de plástico, pode ser necessário utilizar um pequeno funil (de cozinha). Para rotular corretamente todas as amostras é necessário etiquetas de papel vegetal e caneta nankin ou indelével. As informações das áreas de coleta (sítio, módulo, parcela e ponto) são registradas em fichas de campo (Material Suplementar S1).

2.1.2 Formigas arborícolas

Os materiais e equipamentos utilizados para coleta de formigas arborícolas compreendem guarda-chuva entomológico e pitfalls. O guarda-chuva entomológico consiste em duas hastes de madeira cruzadas e encaixadas em cada ponto de um tecido resistente de cor clara com dimensões de aproximadamente 75 x 75 cm, de maneira a dar sustentação à estrutura. Os pitfalls arborícolas recomendados devem ser copos de plástico resistente (8,0 cm de diâmetro; 8,0 cm de altura; 350 mL de volume), que possam ser fixados em árvores vivas usando barbante ou arame galvanizado. Cada pitfall deve ser parcialmente preenchido (⅓) com urina humana diluída em água (3:1) com algumas gotas de detergente.

Após a utilização destes métodos, todo o material amostrado deve ser transferido para recipientes de coleta (potes) contendo álcool 70%, com auxílio de pinças entomológicas. Para rotular corretamente todas as amostras é necessário etiquetas de papel vegetal e caneta nankin ou indelével. As informações das áreas de coleta (sítio, módulo, parcela e ponto) são registradas em fichas de campo (Material Suplementar S1 e S2).

2.2 Métodos

2.2.1 Formigas de solo

As formigas de folhiço, coletadas pelo método de Winkler, são amostradas a cada 25 m ao longo do corredor central das parcelas RAPELD (Souza et al., 2012). Nesses pontos, a serrapilheira demarcada por um quadrado de 1 m^2 (usando os pedaços e cotovelo de cano PVC) deve ser rapidamente recolhida e colocada dentro de uma peneira com malha de 1 cm^2 (funil de Winkler), a qual deverá ser agitada vigorosamente (vertical e horizontalmente). O tempo de agitação não deve ser menor que 1 minuto. Posteriormente, a serrapilheira peneirada que contém a maior parte dos invertebrados é transferida para um saco de transporte devidamente etiquetado. No laboratório ou acampamento, a serrapilheira peneirada é transferida para os sacos feitos de tela e colocada dentro dos extratores de Winkler usando as bandejas e pincel. Os extratores de Winkler devem ser bem fechados e permanecer pendurados por 48 h (Bestelmeyer et al., 2000). No decorrer deste período, as formigas e outros invertebrados migram da serapilheira em resposta ao distúrbio e à dissecação, caindo no recipiente de coleta fixado na parte inferior do extrator

parcialmente preenchido com álcool 70% (Figura 1). Importante não esquecer de transferir a etiqueta de coleta do saco de transporte da serrapilheira para o copo coletor preenchido com álcool 70% que fica na base do extrator de Winkler (Figura 1).

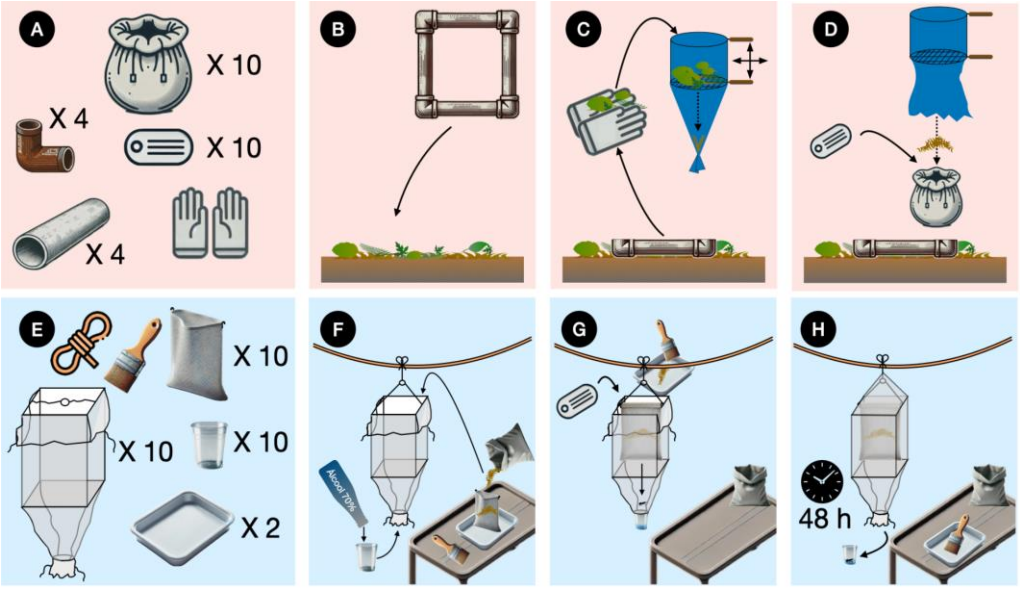


Figura 1 - Material de coleta e etapas para amostragem de liteira no campo (A-D) e passo a passo para a transferência da serrapilheira peneirada do saco de transporte para o saco telado e extratores de Winkler no acampamento ou laboratório (E-H). Para mais detalhes veja descrição no texto.

No mesmo local em que a serapilheira é retirada, um pitfall (9,5 cm de diâmetro; 8 cm de altura; 500 mL de volume) deve ser instalado com auxílio de uma boca de lobo. Os copos devem ficar com a borda bem rente ao solo, e devem ser parcialmente preenchidos com álcool 70% e algumas gotas de detergente. É possível usar água com sal também. Na maioria dos estudos realizados nos sítios RAPELD, os pitfalls ficam em funcionamento por 48 h (Souza et al., 2012), mas é possível estender o tempo se o objetivo foi coletar organismos menos abundantes e/ou com menor mobilidade, como escorpiões (Araújo & Souza, 2022). Normalmente, coloca-se sobre a armadilha um prato descartável sustentado por dois palitos de churrasco acima da boca do copo (cerca de 10 cm). Isso diminui a entrada de água da chuva e facilita a localização do pitfall durante a retirada (Figura 2). Após o tempo de coleta de 48 horas, todo conteúdo de cada pitfall deve ser individualmente passado para um frasco com álcool 70% devidamente etiquetado. O uso de uma peneira de malha fina e pisseta facilita a transferência do material. O restante do material de coleta (prato de plástico e palitos de churrasco) deve ser recolhido.

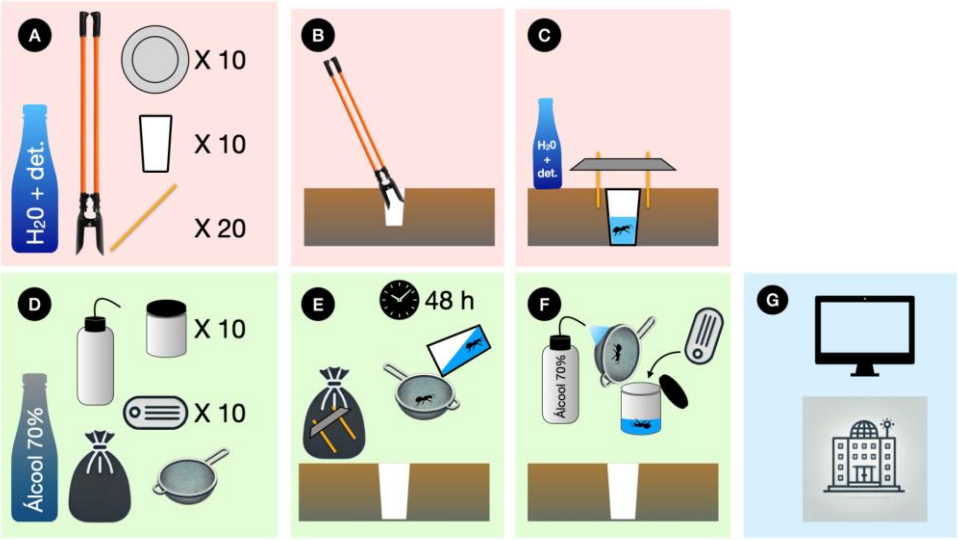


Figura 2 - Material de coleta e etapas para instalação (A-C) e retirada (D-F) dos pitfalls terrestres. Para mais detalhes veja descrição no texto.

Próximo ao local de coleta da serrapilheira e instalação do pitfall, cerca de 3 gramas (uma colher de chá) de isca de sardinha misturada com farinha de mandioca na proporção 1:1 deve ser oferecida em cima de pedaços de plástico (10 X 10 cm) sobre a serrapilheira (Souza et al., 2012). Após 60 minutos, as iscas e as formigas atraídas devem ser removidas usando um saco plástico. O processo é bem simples e similar ao ato de recolher as fezes de cachorros nas cidades. Basta colocar uma das mãos no saco de plástico, pegar a isca, virar rapidamente o saco de plástico do avesso, de forma que o conteúdo (isca, formigas e o pedaço de plástico onde a isca estava) fique dentro do saco. Após esse processo, é necessário etiquetar e dar um nó para evitar que as formigas saiam. No laboratório ou acampamento, cada saco deve ser individualmente aberto sobre uma bandeja e as formigas devem ser transferidas para potes com álcool 70%. Colocar os sacos em refrigeradores antes de abri-los, facilita bastante a transferência das formigas. Se o coletor for experiente, também é possível coletar apenas algumas operárias utilizando uma pinça flexível, ao invés de coletar todas as formigas atraídas para as iscas. Neste último caso, normalmente o coletor faz anotações sobre a abundância relativa e interações entre espécies (Baccaro et al., 2011).

2.2.2 Formigas arborícolas

As formigas arborícolas devem ser coletadas com guarda-chuva entomológico em intervalos de 25 m nas parcelas RAPELD. Em cada ponto de coleta, quatro quadrantes de bateção localizados a dois metros de distância do ponto de coleta de formigas de solo devem ser amostrados (Figura 3). Os 4 quadrantes de bateção devem ser definidos com base nos pontos cardeais. Nestes quadrantes, toda a vegetação com altura entre 1 a 3 metros dentro de 1 m^2 deve ser vigorosamente agitada (Vicente et al., 2015). Todas as formigas que caírem no guarda-chuva entomológico devem ser transferidas para recipientes contendo álcool 70%, e devidamente etiquetadas (Figura 3). As formigas que nidificam e/ou forrageiam na vegetação também podem ser amostradas usando pitfalls arborícolas. Os pitfalls arborícolas são confeccionados utilizando copos plásticos resistentes (8,0 cm de diâmetro; 8,0 cm de altura; 350 mL de volume), que são amarrados a cerca de 1,5 m do chão em árvores vivas, em intervalos de 25 m nas parcelas RAPELD. Cada pitfall deve ser preenchido até um terço da sua capacidade com uma solução atrativa de água e urina humana, preparada na proporção 3:1 (três partes de água para uma de urina humana) e algumas gotas de detergente. Por exemplo, para se preparar 2 litros da solução deve-se adicionar 1,5 litro de água e 0,5 litro (500 mL) de urina humana. O copo deve permanecer em campo por 48 horas (Figura 3).

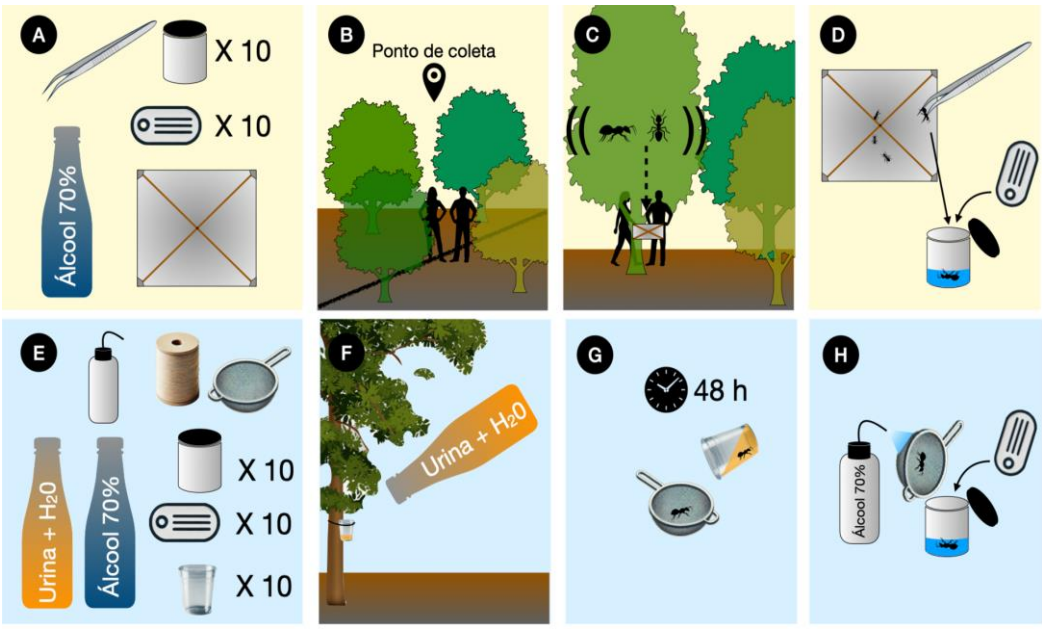


Figura 3 - Material de coleta e etapas para amostragem de formigas nidificando ou forrageando na vegetação de sub-bosque (A-D) e material de coleta, instalação e retirada (E-H) dos pitfalls arborícolas. Os pitfalls arborícolas podem ser amarrados usando barbante ou arame galvanizado (F). Para mais detalhes veja descrição no texto.

A coleta de formigas em interação com plantas portadoras de nectários extraflorais é realizada através da busca ativa ao longo dos 250 m das parcelas RAPELD. Mais especificamente, a busca pela interação é realizada em uma área de 2500 m^2 (250 x 10 m) ao longo das parcelas RAPELD, evitando a área sensível de amostragem de espécies herbáceas. Essa área deve ser percorrida lentamente na busca por interações entre formigas e plantas com nectários extraflorais a uma altura acessível ao coletor (entre 0,5 a 3,0 m de altura) (Dáttilo et al., 2014). Todas as plantas portadoras de nectários extraflorais devem ser cuidadosamente observadas. A interação será confirmada quando as formigas permanecerem imóveis com seus aparelhos bucais em contato com os tecidos secretores dos nectários extraflorais por alguns poucos minutos (Díaz-Castelazo et al., 2013) (Figura 4). Após a confirmação, todas as formigas presentes e uma amostra botânica para identificação devem ser coletadas. As formigas podem ser coletadas manualmente com pinças entomológicas, e devem ser armazenadas em tubos eppendorfs contendo álcool 70%. Antes da coleta, um guarda-chuva entomológico deve ser posicionado embaixo da interação, para registrar aqueles indivíduos que saltam da planta ao menor sinal de distúrbio (Dáttilo & Dyer, 2014). Ainda em campo, um mesmo código deve ser atribuído para ambas as amostras (planta e formigas), e este mesmo código deve ser também anotado na ficha de campo (Material Suplementar S2). Este procedimento garante o rastreamento da interação após as identificações. Para minimizar a possibilidade de coletar indivíduos de formigas de uma mesma colônia em diferentes plantas, uma distância de 10 m entre plantas deve ser mantida (Dáttilo et al., 2014). As coletas são realizadas entre 09h00min e 15h00min. Considerando os efeitos da variação fenológica das plantas portadoras de nectários extraflorais (Nogueira et al., 2020), é recomendado realizar mais de uma coleta ao longo do ano, respeitando os aspectos sazonais de cada região (Miranda et al., 2025). Alguns parâmetros como temperatura, precipitação e características da vegetação (por exemplo, cobertura de dossel, altura das árvores, densidade arbustiva e arbórea) são potenciais impulsionadores da estrutura destas interações entre formigas e plantas, sendo interessantes de serem mensurados durante as coletas (mais detalhes em Rico-Gray & Oliveira, 2008; Oliveira et al., 2011; Del-Claro et al., 2016).

Figura 4 - Formigas com seus aparelhos bucais em contato com os tecidos secretores dos nectários extraflorais. Para a coleta, um guarda-chuva entomológico deve ser posicionado embaixo do ramo contendo a interação, e as formigas são coletadas manualmente com pinça entomológica. Para mais detalhes veja descrição no texto.

2.2.3 Preservação, identificação e gestão de dados

Todos os materiais coletados a partir dos métodos descritos acima devem ser preservados em recipientes com álcool (70%). As espécies de formigas normalmente são triadas, devidamente montadas em triângulos (Figura 5) e identificadas utilizando chaves taxonômicas e artigos específicos (Feitosa & Dias 2024; Fernandes et al., 2014; 2019; Fernandes & Delabie, 2019; França et al., 2024; Chaul, 2020; Camacho et al., 2020; 2022; Dias & Lattke, 2019; 2021; Ješovnik & Schultz, 2019; Ladino & Feitosa, 2020; Oliveira & Feitosa, 2019; Oliveira et al., 2021; Ortiz-Sepúlveda et al., 2019; Probst & Brandão, 2022; Troya et al., 2022; Ulysséa & Brandão, 2021), além de comparações com material depositado em coleções. É importante destacar que muitas identificações em nível específico são viabilizadas não somente pelas recentes publicações voltadas para revisões que incluem chaves, mas também dependem muito da expertise dos especialistas ao observar variações morfológicas para tomada de uma decisão de validação ou não para espécie. Após a identificação, as formigas devem ser depositadas em coleções. Os dados devem ser tabulados conforme modelo de planilhas apresentadas na seção de materiais suplementares (Material Suplementar S3 e S4), possibilitando assim a inserção das

informações no repositório de dados online do PPBio. Importante ressaltar que os metadados devem ser rapidamente tabulados após as coletas para garantir que informações relevantes não sejam esquecidas ou perdidas.

Figura 5 - Formigas montadas no alfinete para identificação e depósito em coleção entomológica.

3 PERSPECTIVAS

3.1 Formigas de solo

Os protocolos de coleta apresentados aqui já foram amplamente testados, demonstrando-se eficazes para estudos sobre biodiversidade em ambientes complexos como a Amazônia (Souza et al., 2012). A aplicação de técnicas de coleta padronizadas, como pitfalls, extratores Winkler e iscas, combinada com uma estrutura de amostragem espacialmente explícita como do RAPELD, permite capturar variações na composição funcional das comunidades ao longo de gradientes topográficos e edáficos (Oliveira et al., 2009). Esses métodos são essenciais para investigações que buscam entender as respostas das espécies a fatores ambientais e flutuações sazonais do ambiente e clima (Baccaro et al., 2013; Souza Holanda et al., 2021). Vários trabalhos destacam a importância e as limitações dos diferentes protocolos de coleta de formigas do solo e do folhiço, sugerindo que a combinação de métodos pode maximizar a representatividade

dos dados obtidos (Oliveira et al., 2009; Souza et al., 2012; Baccaro et al., 2013; Torres et al., 2020). Dessa forma, dependendo da questão central do trabalho, uma combinação de métodos de coleta pode ser mais interessante, do que o uso de apenas um método de coleta (Baccaro et al., 2012; Souza et al., 2012). No entanto, modificações no esforço de coleta devem ser feitas buscando manter a cobertura ou a amostragem de toda a parcela e sítio amostrado (módulos e grades RAPELD - ex. Souza & Fernandes, 2021). Esse tipo de modificação facilita a comparação entre estudos e a integração entre banco de dados.

Estes protocolos também se mostram robustos nos casos onde a identificação em nível específico é muito cara ou demorada, reforçando sua aplicação em monitoramentos de longo prazo e em estudos de mudanças climáticas (Souza et al., 2016; Souza et al., 2018; Souza et al., 2022). A aplicação desses métodos, ou uma combinação deles, também permite investigar a distribuição e diversidade das formigas em relação à complexidade ambiental e gradientes latitudinais (Baccaro et al., 2012; Guilherme et al., 2022) e antrópicos (Santos et al., 2023), além de documentar a variação temporal da diversidade de formigas (Costa et al., 2020; Rodrigues Filho et al., 2024). Esses métodos também oferecem aplicabilidades em outras áreas de estudo, como a ecologia funcional. Ao considerar atributos funcionais das formigas, tais métodos auxiliam na compreensão de como gradientes ambientais influenciam características morfológicas e comportamentais das espécies (Guilherme et al., 2019; Oliveira et al., 2023). Além de serem facilmente integrados a iniciativas internacionais (Gibb et al., 2017; Parr et al., 2017).

3.2 Formigas arborícolas

Os resultados obtidos em pesquisas realizadas com os métodos de amostragem de formigas arborícolas na Amazônia provavelmente são eficientes. O uso do método de bateção na vegetação (beating-tray) somente no período diurno na vegetação do sub-bosque (arvoretas entre 1 a 3 m de altura do solo), permite o registro de espécies de formigas diferentes daquelas coletadas no solo. Essa diferença é tão acentuada, que cerca de 80% da diversidade amostrada é restrita a um estrato, tendo o método de bateção na vegetação colaborado com cerca de 30% da diversidade total de formigas amostradas de um local (Vicente et al., 2016). No entanto, essa segregação entre estratos pode diminuir bastante em ambientes mais abertos, como as campinas amazônicas (Oliveira et al.,

2023). Inventários realizados com a padronização desse método, já possibilitaram a ampliação do registro de espécies de formigas, além da realização de estudos investigando o uso de habitat por formigas, competição entre espécies e efeitos ambientais como cobertura vegetal do dossel e distância geográfica (Vicente & Izzo, 2017; 2021). Sobre o método de pitfall arborícola, recentemente foram realizadas amostragens no Parque Estadual do Xingu (Schornobay-Bochenski et al., no prelo), e os dados demonstram o mesmo padrão de estratificação vertical (Ricardo Eduardo Vicente, comunicação pessoal), sendo o nível de diferença entre as comunidades, detectado mesmo com a utilização de um grande esforço amostral (Ryder-Wilkie et al., 2010).

Os métodos de amostragem de formigas arborícolas utilizados no sistema RAPELD, têm se mostrado eficientes na captura de padrões da assembleia arborícola. Porém, os protocolos de coleta de formigas arborícolas aqui descritos, ainda carecem de estudos sobre eficiência e complementaridade entre métodos de amostragem da diversidade local, bem como estudos sobre suas aplicabilidades para investigação de padrões ecológicos na Amazônia, como já foi feito para fauna de formigas de solo. Estudos sistemáticos sobre eficiência e complementaridade entre métodos, considerando as diferenças estruturais na vegetação amazônica, podem auxiliar em tomadas de decisões quanto à indicação do uso de um dos métodos ou ambos. Assim, a execução de pesquisas que visem preencher esta grande lacuna científica é urgente.

O método de busca ativa tem sido amplamente empregado em estudos sobre interações entre formiga e plantas envolvendo nectários extraflorais (Rico-Gray et al., 2012; Díaz-Castelazo et al., 2013; Nogueira et al., 2020; Miranda et al., 2019; Juárez-Juárez et al., 2023). As parcelas de 250 m do sistema RAPELD acopladas à distribuição dos módulos PPBio, abrangem praticamente todas as configurações espaciais da maioria dos estudos sobre interação formiga-planta da Amazônia. Inclusive, já foram utilizadas em trabalhos sobre o tema desenvolvidos na Amazônia brasileira, seguindo protocolo semelhante ao aqui descrito (Dáttilo et al., 2014; Falcão et al., 2015).

As informações obtidas com este protocolo podem ser analisadas através de uma abordagem de redes complexas, nas quais diferentes espécies são retratadas como nós e suas interações como ligações (Jordano et al., 2009). Nessas redes, os padrões organizacionais das interações são avaliados com base em diferentes índices, que abrangem uma ampla gama de estruturas com significados biológicos complementares

(Del-Claro et al., 2016), tais como conectância, especialização de rede (Blüthgen et al., 2006), diversidade de interações (Bersier et al., 2002), aninhamento (Almeida-Neto et al., 2008; Almeida-Neto & Ulrich, 2011) e modularidade (Guimerà et al., 2004). Para o cálculo desses índices, as informações devem ser primeiramente sistematizadas em matrizes ponderadas (plantas × formigas), cujos elementos representam a frequência (número de vezes) de associação de uma espécie de planta com uma espécie de formiga (Miranda et al., 2019). Mais recentemente, tem crescido o número de trabalhos que buscam avaliar estas interações através de uma adaptação do índice de diversidade beta (β) (Dáttilo & Vasconcelos, 2019; Luna et al., 2020), isso por que, além de existir uma tendência na substituição das espécies através de gradientes espaço-temporais, também existe a tendência dessas espécies interagirem de maneira distinta (isto é, com diferentes parceiros) ao longo destes gradientes (Poisot et al., 2012).

Esperamos que os protocolos de coleta aqui descritos possam contribuir com o desenvolvimento de pesquisas com formigas utilizando o sistema RAPELD na Amazônia, e também em outros biomas. Possibilitando assim, a integração das informações e a ampliação do conhecimento sobre a distribuição desses organismos em escalas mais amplas.

4 MATERIAL SUPLEMENTAR

S1. Modelo de ficha de campo para coleta de formigas do solo e formigas arborícolas em sítios RAPELD;

S2. Modelo de ficha de campo para amostragem de interações entre formigas e plantas envolvendo nectários extraflorais em sítios RAPELD;

S3. Modelo de planilha para sistematização dos dados (identificação) das formigas de solo e formigas arborícolas coletadas em sítios RAPELD;

S4. Modelo de planilha para sistematização dos dados (identificação) das formigas e plantas em interação envolvendo nectários extraflorais amostradas em sítios RAPELD.

Material disponível em: https://github.com/ProtocolosRAPELD/EducAmazonia_VolumeXVIII_N.ESPECIAL_2025/tree/main/MS_Protocolo_Formigas

5 AGRADECIMENTOS

Esse trabalho só foi possível graças ao apoio contínuo do PPBio Amazônia Ocidental, e ao financiamento da CHAMADA PÚBLICA N° 021/2020–PELD/CNPq/FAPEAM. Este artigo integra uma edição especial financiada pelos projetos PPBio Amazônia Ocidental (CNPq, processos nº 441260/2023-3 e 441228/2023-2), INCT-CENBAM (CNPq, processo nº 406474/2022-2) e CAPACREAM (CNPq, processo nº 444350/2024-1).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agosti, D., & Alonso, L. E. (2000). The ALL protocol: A standard protocol for the collection of ground-dwelling ants. In D. Agosti, J. D. Majer, L. E. Alonso, & T. Schultz (Orgs.), *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity* (pp. 204-206). Smithsonian Institution Press.

Almeida-Neto, M., Guimarães, P., Guimarães Jr, P. R., Loyola, R. D., & Ulrich, W. (2008). A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. *Oikos*, *117*(8), 1227-1239. https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2008.16644.x

Almeida-Neto, M., & Ulrich, W. (2011). A straight forward computational approach for measuring nestedness using quantitative matrices. *Environmental Modelling & Software*, *26*(2), 173–178. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.08.003

Andrade-Silva, J., Baccaro, F. B., Prado, L. P., Guénard, B., Warren, D. L., Kass, J. M., Economo, E. P., & Silva, R. R. A. (2022). Large-scale assessment of ant diversity across the Brazilian Amazon Basin: integrating geographic, ecological and morphological drivers of sampling bias. *Ecography*, *2022*(9), e06295. https://doi.org/10.1111/ecog.06295

Antoniazzi, R., Viana-Junior, A. B., Pelayo-Martínez, J., Ortiz-Lozada, L., Neves, F. S., Leponce, M., & Dáttilo, W. (2020). Distance–decay patterns differ between canopy and ground ant assemblages in a tropical rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, *36*(5), 234-242. https://doi.org/10.1017/S0266467420000188

Araújo, J. S., & Souza, J. L. P. (2022). Sampling techniques and environmental variables influence the distribution of pseudoscorpions in urban forest fragments in the central Amazon. *Acta Amazonica*. *52*(3), 199-207. https://doi.org/10.1590/1809-4392202200441

Baccaro, F. B., Ketelhut, S. M., & Morais, J. W. (2011). Efeitos da distância entre iscas nas estimativas de abundância e riqueza de formigas em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, *41*(1), 115–122. https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000100013

Baccaro, F. B., Souza, J. L. P., Franklin, E., Landeiro, V. L., & Magnusson, W. E. (2012). Limited effects of dominant ants on assemblage species richness in three Amazon

forests. *Ecological Entomology*, *37*(1), 1-12. https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2011.01326.x

Baccaro, F. B., & Ferraz, G. (2013). Estimating density of ant nests using distance sampling. *Insectes Sociaux*, *60*, 103–110. http://dx.doi.org/10.1007/s00040-012-0274-2

Baccaro, F. B., Rocha, I. F., Aguila, B. E. G., Schietti, J., Emilio, T., Pinto, J. L. P. V., Lima, A. P., & Magnusson, W. E. (2013). Changes in ground-dwelling ant functional diversity are correlated with water-table level in an Amazonian terra firme forest. *Biotropica*, *45*(6), 755-763. https://doi.org/10.1111/btp.12055

Bersier, L. F., Banasek-Richter, C., & Cattin, M. F. (2002). Quantitative descriptors of food-web matrices. *Ecology*, *83*(9), 2394-2407. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2394:QDOFWM]2.0.CO;2

Bestelmeyer, B. T., Agosti, D., Leeanne, F., Alonso, T., Brandão, C. R. F., Brown, W. L., Delabie, J. H. C., & Silvestre, R. (2000). Field techniques for the study of ground-living ants: An Overview, description, and evaluation, In D. Agosti, J. Majer, L. E. Alonso, & T. R. Schultz (Orgs.), *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity* (pp. 122-144). Smithsonian Institution Press.

Blüthgen, N., Verhaagh, M., Goitía, W., Jaffé, K., Morawetz, W., & Barthlott, W. (2000). How plants shape the ant community in the Amazonian rainforest canopy: the key role of extrafloral nectaries and homopteran honeydew. *Oecologia*, *125*, 229-240. https://doi.org/10.1007/s004420000449

Blüthgen, N., Menzel, F., & Blüthgen, N. (2006). Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology*, 6, 1-12. https://doi.org/10.1186/1472-6785-6-9

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*(3), 450-476. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4747.3.2

Camacho, G. P., Franco, W., Branstetter, M. G., Pie, M. R., Longino, J. T., Schultz, T. R., & Feitosa, R. M. (2022). UCE phylogenomics resolves major relationships among ectaheteromorph ants (Formicidae: Ectatomminae, Heteroponerinae): A new classification for the subfamilies and the description of a new genus. *Insect Systematics and Diversity*, *6*(1), 1-20. https://doi.org/10.1093/isd/ixab026

Carvalho, R. L., Resende, A. F., Barlow, J., França, F. M., Moura, M. R., Maciel, R., Alves-Martins, F., Shutt, J., Nunes, C. A., Elias, F., Silveira, J. M., Stegmann, L., Baccaro, F. B., Juen, L., Schietti, J., Aragão, L., Berenguee, E., Castello, L., Costa, F. R. C., ... Ferreira, J. (2023). Pervasive gaps in Amazonian ecological research. *Current Biology*, *33*(16), 3495-3504. https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.077

Chaul, J. C. M. (2020). A new species of *Discothyrea* Roger (Hymenoptera: Formicidae) from the Brazilian Atlantic Rainforest. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais*, *15*(1), 199-217. https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v15i1.266

Costa, F. R. C., & Magnusson, W. E. (2010). The need for large-scale, integrated studies of biodiversity-the experience of the Program for Biodiversity Research in Brazilian Amazonia. *Natureza & Conservação*, *8*(1), 3-12. http://dx.doi.org/10.4322/natcon.00801001

Costa, F. R. C., Zuanon, J., Baccaro, F. B., de Almeida, J. S., Menger, J. D. S., Souza, J. L. P., Borba, G. C., Esteban, E. J. L., Bertin, V. M., Gerolamo, C. S., Nogueira, A., & Castilho, C. V. (2020). Effects of climate change on central Amazonian forests: a two decades synthesis of monitoring tropical biodiversity. *Oecologia Australis*, *24*(2), 317-335. https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2402.07

Costa, M. M. C., & 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

Dáttilo, W., Guimarães, P. R., & Izzo, T. J. (2013). Spatial structure of ant–plant mutualistic networks. *Oikos*, *122*(11), 1643-1648. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00562.x

Dáttilo, W., & Dyer, L. (2014). Canopy openness enhances diversity of ant–plant interactions in the Brazilian Amazon rainforest. *Biotropica*, *46*(6), 71-719. https://doi.org/10.1111/btp.12157

Dáttilo, W., Marquitti, F. M. D., Guimarães Jr, P. R., & Izzo, T. J. (2014). The structure of ant-plant ecological networks: is abundance enough? *Ecology*, *95*(2), 475–485. https://doi.org/10.1890/12-1647.1

Dáttilo, W., & Vasconcelos, H. L. (2019). Macroecological patterns and correlates of ant–tree interaction networks in Neotropical savannas. *Global Ecology and Biogeography*, *28*(9), 1283-1294. https://doi.org/10.1111/geb.12932

Delabie, J. H. C., Fisher, B. L., Majer, J. D., & Wright, I. W. (2000). Sampling effort and choice of methods. In D. Agosti, J. D. Majer, L. E. Alonso, & T. R. Schultz (Orgs.), *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity* (p. 145-154). Smithsonian Institution Press.

Del-Claro, K., Rico-Gray, V., Torezan-Silingardi, H. M., Alves-Silva, E., Fagundes, R., Lange, D., Dáttilo, W., Vilela, A. A., Aguirre, A., & Rodríguez-Morales, D. (2016). Loss and gains in ant-plant interactions mediated by extrafloral nectar: fidelity, cheats, and lies. *Insectes Sociaux*, *63*, 207-221. https://doi.org/10.1007/s00040-016-0466-2

Del-Claro, K., Rodriguez-Morales, D., Calixto, E. S., Martins, A. S., & Torezan-Silingardi, H. M. (2019). Ant pollination of *Paepalanthus lundii* (Eriocaulaceae) in Brazilian savanna. *Annals of Botany*, *123*(7), 1159-1165. https://doi.org/10.1093/aob/mcz021

Delnevo, N., van Etten, E., Clemente, N., Fogu, L., Paravani, E., Byrne, M., & Stock, W. D. (2020). Pollen adaptation to ant pollination: a case study from the Proteaceae. *Annals of Botany*, *126*(3), 377–386. https://doi.org/10.1093/aob/mcaa058

Dias, A. M., & Lattke, J. E. (2019). A new species and new records of *minuta*-group *Gnamptogenys* from Brazil (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, *63*(1), 30-34. https://doi.org/10.1016/j.rbe.2018.10.002

Dias, A. M., & Lattke, J. E. (2021). Large ants are not easy – the taxonomy of *Dinoponera* Roger (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae). *European Journal of Taxonomy*, *784*(1), 1-66. https://doi.org/10.5852/ejt.2021.784.1603

Díaz-Castelazo, C., Sánchez-Galva, I. R., Guimarães Jr, P. R., Raimundo, R. L. G., & Rico-Gray, V. (2013). Long-term temporal variation in the organization of an ant–plant network. *Annals of Botany*, *111*(6), 1285-1293. https://doi.org/10.1093/aob/mct071

Ellwood, M. D., & Foster, W. A. (2004). Doubling the estimate of invertebrate biomass in a rainforest canopy. *Nature*, *429*(6991), 549-51. https://doi.org/10.1038/nature02560

Falcão, J. C. F., Dáttilo, W., & Izzo, T. J. (2015). Efficiency of different planted forests in recovering biodiversity and ecological interactions in Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, *339*, 105-111. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.12.007

Farji-Brener, A. G., & Illes, A. E. (2000). Do leaf-cutting ant nests make "bottom-up" gaps in neotropical rain forests?: a critical review of the evidence. *Ecology Letters*, *3*(3), 219-227. https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00134.x

Feitosa, R. M., Silva, T. S., Camacho, G. P., Ulysséa, M. A., Ladino, N., Oliveira, A. M., Albuquerque, E. Z., Ribas, C. R., Schmidt, F. A., Morini, M. S., da Silva, R. R., Dáttilo, W., de Queiroz, A. C. M., Baccaro, F. B., Santos, J. C., Sobrinho, T. G., Quinet, Y. P., Moraes, A. B., ... Nogueira, A. (2023). From species descriptions to diversity patterns: the validation of taxonomic data as a keystone for ant diversity studies reproducibility and accuracy. *Royal Society Open Science*, *10*(2), 221170. https://doi.org/10.1098/rsos.221170

Feitosa, R. M., & Dias, A. M. (2024). An illustrated guide for the identification of ant subfamilies and genera in Brazil. *Insect Systematics & Evolution*, *55*(5), 451-471. http://dx.doi.org/10.1163/1876312X-bja10062

Fernandes, I. O., Oliveira, M. L., & Delabie, J. H. C. (2014). Description of two new species in the Neotropical *Pachycondyla foetida* complex (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae) and taxonomic notes on the genus. *Myrmecological News*, *19*, 133-163. https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/17683

Fernandes, I. O., & Delabie, J. H. C. (2019). A New Species of *Cryptopone* Emery (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae) from Brazil with Observations of the Genus and a Key for New Word Species. *Sociobiology*, *66*(3), 408-413. https://doi.org/10.13102/sociobiology.v66i3.4354

Fernandes, I. O., Delabie, J. H. C., & Fernández, F. (2019). Contribution to the knowledge of the genus *Proceratium* Roger (Hymenoptera: Formicidae: Proceratiinae) in the New World. *Sociobiology*, *66*(4), 551-559. https://doi.org/10.13102/sociobiology.v66i4.4484

França, E. C. B., Fernandes, I. O., & Bravo, J. E. L. (2024). Looking at upside-down ants: Taxonomic revision of the Neotropical species of *Odontomachus* Latreille, 1804 (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae). *Zootaxa*, *5502*(1), 1-166. http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.5502.1.1

Gibb, H., Dunn, R. R., Sanders, N. J., Grossman, B. F., Photakis, M., Abril, S., Agosti, D., Andersen, A. N., Angulo, E., Armbrecht, I., Arnan, X., Baccaro, F. B., Bishop, T. R., Boulay, R., Brühl, C., Castracani, C., Cerda, X., Del Toro, I., Delsinne, T., … Parr, C. L. (2017). A global database of ant species abundances. *Ecology*, *98*(3), 883-884. https://doi.org/10.1002/ecy.1682

Gotelli, N. J., Ellison, A. M., Dunn, R. R., & Sanders, N. J. (2011). Counting ants (Hymenoptera: Formicidae): biodiversity sampling and statistical analysis for myrmecologists. *Myrmecological News*, *15*, 13-19. http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:4645910

Guilherme, D. R., Souza, J. L. P., Franklin, E., Pequeno, P. A. C. L., das Chagas, A. C., & Baccaro, F. B. (2019). Can environmental complexity predict functional trait composition of ground-dwelling ant assemblages? A test across the Amazon Basin. *Acta Oecologica*, *99*, 103434. https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.05.004

Guilherme, D. R., Pequeno, P. A. C. L., Baccaro, F. B., Franklin, E., Neto, C. R. S., & Souza, J. L. P. (2022). Direct and indirect effects of geographic and environmental factors on ant beta diversity across Amazon basin. *Oecologia*, *198*, 193-203. https://doi.org/10.1007/s00442-021-05083-7

Guimarães, A. F., Querido, L. C. A., Rocha, T., Rodrigues, D. J., Viana, P. L., Bergallo, H. G., Fernandes, G., W., Toma, T. S. P., Streit, H., Overbeck, G. E., Souza, A. Q. S., Lima, A. P., Rosa, C. A., Grelle, C. E. V., Lopes, A. M., Curcino, A., Paula, A. S., Andriolo, A., Dias, A. S., ... Magnusson, W. E. (2024). Disentangling the veil line for Brazilian biodiversity: An overview from two long-term research programs reveals huge gaps in ecological data reporting. *Science of The Total Environment*, *950*, 174880. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174880

Guimerà, R., Sales-Pardo, M., & Amaral, L. A. N. (2004). Modularity from fluctuations in random graphs and complex networks. *Physical Review E*, *70*(2), 025101. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.70.025101

Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). *The ants*. Harvard University Press.

Ješovnik, A., & Schultz, T. R. (2017). Revision of the fungus-farming ant genus *Sericomyrmex* Mayr (Hymenoptera, Formicidae, Myrmicinae). *ZooKeys*, *670*, 1-109. https://doi.org/10.3897/zookeys.670.11839

Jordano, P., Vázquez, D., & Bascompte, J. (2009). Redes complejas de interacciones mutualistas planta–animal. In R. Medel, M. Aizen, & R. Zamora. (Orgs.), *Ecología y evolución de interacciones planta–animal* (pp. 17-41). Editorial Universitaria.

Juárez-Juárez B., Dáttilo, W., & Moreno, C. E. (2023). Synthesis and perspectives on the study of ant-plant interaction networks: A global overview. *Ecological Entomology*, *48*(3), 269-283. https://doi.org/10.1111/een.13227

Ladino, N., & Feitosa, R. M. (2020). Taxonomic revision of the genus *Prionopelta* Mayr, 1866 (Formicidae: Amblyoponinae) for the Neotropical region. *Zootaxa*, *4821*(2), 201-249. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4821.2.1

Lasmar, C. J., Bishop, T. R., Parr, C. L., Queiroz, A. C. M., Schmidt, F. A., & Ribas, C. R. (2021). Geographical variation in ant foraging activity and resource use is driven by climate and net primary productivity. *Journal of Biogeography*, *48*(6), 1448-1459. https://doi.org/10.1111/jbi.14089

Lasmar, C. J., Bishop, T. R., Parr, C. L., Queiroz, A. C., Wilker, I., Feitosa, R. M., Schmidt, F. A., & Ribas, C. R. (2023). Testing the context dependence of ant nutrient preference across habitat strata and trophic levels in Neotropical biomes. *Ecology*, *104*(4), e3975. https://doi.org/10.1002/ecy.3975

Luna, P., Corro, E. J., Antoniazzi, R., & Dáttilo, W. (2020). Measuring and linking the missing part of biodiversity and ecosystem function: The diversity of biotic interactions. *Diversity*, *12*(3), 86. https://doi.org/10.3390/d12030086

Miranda, P. N., Ribeiro, J. E. L. S., Luna, P., Brasil, I., Delabie, J. H. C., & Dáttilo, W. (2019). The dilemma of binary or weighted data in interaction networks. *Ecological Complexity*, *38*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2018.12.006

Miranda, P. N., Ribeiro, J. E. L. S., Brasil, I., Delabie, J. H. C., Lopes, J., & Dáttilo, W. (2025). The rainfall seasonality of Brazilian Amazon tropical rainforests influences on the organization of ant-plant interaction networks. *Tropical Ecology*, *66*(1), 168-179. https://doi.org/10.1007/s42965-025-00371-2

Munguía-Rosas, M. A., & Álvarez-Espino, R. X. (2022). What are elaiosomes for? Effects of elaiosomes on ant attraction, seed removal and germination in wild chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*). *Journal of Arid Environments*, *205*, 104826. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104826

Nogueira, A., Baccaro, F. B., Leal, L. C., Rey, P. J., Lohmann, L. G., & Bronstein, J. L. (2020). Variation in the production of plant tissues bearing extrafloral nectaries explains temporal patterns of ant attendance in Amazonian understorey plants. *Journal of Ecology*, *108*(4), 1578-1591. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13340

Oliveira, A. B. S., & Schmidt, F. A. (2019). Ant assemblages of Brazil nut trees *Bertholletia excelsa* in forest and pasture habitats in the Southwestern Brazilian Amazon. *Biodiversity and Conservation*, *28*(2), 329-344. https://doi.org/10.1007/s10531-018-1657-0

Oliveira, A. B. S., Borges, S., Paes, A. T., Pereira, R. C., Melinski, R. D., Lima, A. P., Magnusson, W. E., & Baccaro, F. B. (2023). Beta diversity and microhabitat use of ant assemblages in a white-sand vegetation gradient in central Amazonia. *Journal of Insect Conservation*, *27*(6), 855–864. https://doi.org/10.1007/s10841-023-00517-4

Oliveira, A. M., & Feitosa, R. M. (2019). Taxonomic revision of the genus *Probolomyrmex* Mayr, 1901 (Hymenoptera: Formicidae: Proceratiinae) for the Neotropical Region. *Zootaxa*, *4614*(1), 61-94. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4614.1.3

Oliveira, A. M., Powell, S., & Feitosa, R. M. (2021). A taxonomic study of the Brazilian turtle ants (Formicidae: Myrmicinae: *Cephalotes*). *Revista Brasileira de Entomologia*, *65*(3), e20210028. https://doi.org/10.1590/1806-9665-RBENT-2021-0028

Oliveira, M. A., Della Lucia, T., Morato, E. F., Amaro, M. A., & Marinho, C. G. S. (2011). Vegetation structure and richness: effects on ant fauna of the Amazon-Acre, Brazil (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, *57*(3), 471-486.

Oliveira, P. S., & Freitas, A. V. L. (2004). Ant–plant–herbivore interactions in the neotropical cerrado savanna. *Naturwissenschaften*, *91*(12), 557-570. https://doi.org/10.1007/s00114-004-0585-x

Oliveira, P. Y., Souza, J. L. P., Baccaro, F. B., & Franklin, E. (2009). Ant species distribution along a topographic gradient in a "terra-firme" forest reserve in Central Amazonia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, *44*(8), 852-860. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000800008

Olson, D. M. (1991). A comparison of the efficacy of litter sifting and pitfall traps for sampling leaf litter ants (Hymenoptera, Formicidae) in a tropical wet forest, Costa Rica. *Biotropica*, *23*(2), 166-172. https://doi.org/10.2307/2388302

Ortiz-Sepúlveda, C. M., Van Bocxlaer, B., Meneses, A. D., & Fernández, F. (2019). Molecular and morphological recognition of species boundaries in the neglected ant genus *Brachymyrmex* (Hymenoptera: Formicidae): Toward a taxonomic revision. *Organisms Diversity & Evolution*, *19*, 447-542. https://doi.org/10.1007/s13127-019-00406-2

Pacheco, P. S. M., Anjos, D. V., & Del-Claro, K. (2022). Natural history and daily rhythm activity of the myrmecophytic ant, *Pseudomyrmex concolor* Smith (Hymenoptera, Formicidae). *Insectes Sociaux*, *69*(1), 81-92. https://doi.org/10.1007/s00040-022-00847-7

Parr, C. L., Dunn, R. R., Sanders, N. J., Weiser, M. D., Photakis, M., Bishop, T. R., Fitzpatrick, M. C., Arnan, X., Baccaro, F. B., Brandão, C. R. F., Chick, L., Donoso, D. A., Fayle, T. M., Gómez, C., Grossman, B., Munyai, T. C., Pacheco, R., Retana, J., Robinson, A., … Gibb, H. (2017). GlobalAnts: a new database on the geography of ant traits (Hymenoptera: Formicidae). *Insect Conservation and Diversity*, *10*(1), 5-20. https://doi.org/10.1111/icad.12211

Poisot, T., Canard, E., Mouillot, D., Mouquet, N., & Gravel, D. (2012). The dissimilarity of species interaction networks. *Ecology Letters*, *15*(12), 1353-1361. https://doi.org/10.1111/ele.12002

Pereira, C. C., Boaventura, M. G., Castro, G. C., & Cornelissen, T. (2020). Are extrafloral nectaries efficient against herbivores? Herbivory and plant defenses in contrasting tropical species. *Journal of Plant Ecology*, *13*(4), 423–430. https://doi.org/10.1093/jpe/rtaa029

Probst, R. S., & Brandão, C. R. F. (2022). A taxonomic revision of the dirt ants, *Basiceros* Schulz, 1906 (Hymenoptera, Formicidae). *Zootaxa*, *5149*(1), 1-75. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5149.1.1

Rabello, A. M, Parr, C. L., Queiroz, A. C. M., Braga, D. L., Santiago, G. S., & Ribas, C. R. (2018). Habitat attribute similarities reduce impacts of land-use conversion on seed removal. *Biotropica*, *50*(1), 39–49. https://doi.org/10.1111/btp.12506

Ribas, C. R., Schmidt, F. A., Solar, R. R. C., Campos, R. B. F., Valentim, C. L., & Schoereder, J. H. (2012). Ants as indicators of the success of rehabilitation efforts in deposits of gold mining tailings. *Restoration Ecology*, *20*(6), 712-720. https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00831.x

Rico-Gray, V., & Oliveira, P. S. (2008). The ecology and evolution of ant-plant interactions. University of Chicago Press.

Rico-Gray, V., Díaz-Castelazo, C., Ramírez-Hernández, A., Guimarães, P. R., & Holland, J. N. (2012). Abiotic factors shape temporal variation in the structure of an ant–plant network. *Arthropod-Plant Interactions*, *6*, 289-295. https://doi.org/10.1007/s11829-011-9170-3

Rodrigues-Filho, C. A., Costa, F. R., Schietti, J., Nogueira, A., Leitão, R. P., Menger, J., Borba, G., Gerolamo, C. S., Avilla, S. S., Emilio, T., Castilho, C. V., Bastos, D. A., Rocha, E. X., Fernandes, I. O., Cornelius, C., Zuanon, J., Souza, J. L. P., Utta, A. C. S., & Baccaro, F. B. (2024). Multi-Taxa Responses to Climate Change in the Amazon Forest. *Global Change Biology*, *30*(11), e17598. https://doi.org/10.1111/gcb.17598

Ryder Wilkie, K. T., Mertl, A. L., & Traniello, J. F. (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

Santos, J. C., Anjos, D. V., Almeida, W. R., Aguiar, J. J. M., & Delabie, J. H. C. (2021). Ground-dwelling ant diversity in Amazonian secondary forests and neighboring pastures. *Tropical Ecology*, *62*(2), 279-287. https://doi.org/10.1007/s42965-021-00146-5

Santos, T. F., Mesquita, V. P., Araújo, J. S., & Baccaro, F. B. (2023). Edge effects on ant diversity and functional composition in a forest fragment in the Central Amazon. *Sociobiology*, *70*(1), e7657. https://doi.org/10.13102/sociobiology.v70i1.7657

Schornobay-Bochenski, W., Milhomem da Silva, P. R., Izzo, T. J., & Vicente, R. E. (2021). Formigas do Parque Estadual do Xingu. cap. 18. In D. J. Rodrigues, T. Souza, & T. J. Izzo (Orgs.), *Parque Estadual do Xingu: Biodiversidade, Importância Ecológica e SocioAmbiental*.

Schmidt, F. A., & Solar, R. R. C. (2010). Hypogaeic pitfall traps: methodological advances and remarks to improve the sampling of a hidden ant fauna. *Insectes Sociaux*, *57*, 261-266. https://doi.org/10.1007/s00040-010-0078-1

Schultheiss, P., Nooten, S. S., Wang, R., Wong, M. K. L., Brassard, F., & Guénard, B. (2022). The abundance, biomass, and distribution of ants on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *119*(40), e2201550119. https://doi.org/10.1073/pnas.2201550119

Sousa-Souto, L., Schoereder, J. H., & Schaefer, C. E. G. R. (2007). Leaf-cutting ants, seasonal burning and nutrient distribution in Cerrado vegetation. *Austral Ecology*, *32*(7), 758-765. https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2007.01756.x

Souza Dutra, D. B. S., Feitosa, R. M., Joory, T. T., Sales, F. M. S., Fontenele, L. K., Costa, M. M. S., & Schmidt, F. A. (2024). Ant habitat-use guilds response to forest-pasture shifting in the southwestern Amazon. *Journal of Insect Conservation*, *28*(2), 305-313. https://doi.org/10.1007/s10841-023-00544-1

Souza Holanda, P. M., Souza, J. L. P., & Baccaro, F. B. (2021). Seasonal fluctuation of groundwater level influences local litter-dwelling ant richness, composition, and colonization in the Amazon rainforest. *Ecological Entomology*, *46*(2), 220-231. https://doi.org/10.1111/een.12954

Souza, J. L. P., Baccaro, F. B., Landeiro, V. L., Franklin, E., & Magnusson, W. E. (2012). Trade-offs between complementarity and redundancy in the use of different sampling techniques for ground-dwelling ant assemblages. *Applied Soil Ecology*, *56*, 63-73. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.01.004

Souza, J. L. P., Baccaro, F. B., Landeiro, V. L., Franklin, E., Magnusson, W. E., Pequeno, P. A. C. L., & Fernandes, I. O. (2016). Taxonomic sufficiency and indicator taxa reduce sampling costs and increase monitoring effectiveness for ants. *Diversity and Distributions*, *22*(1), 111-122. https://doi.org/10.1111/ddi.12371

Souza, J. L. P., Baccaro, F. B., Pequeno, P. A. C. L., Franklin, E., & Magnusson, W. E. (2018). Effectiveness of genera as a higher-taxon substitute for species in ant biodiversity analyses is not affected by sampling technique. *Biodiversity and Conservation*, *27*(13), 3425-3445. https://doi.org/10.1007/s10531-018-1607-x

Souza, J. L. P., & Fernandes, I. O. (2021). Do spatial and temporal scales affect the efficiency of surrogates in ant monitoring on the hydroelectric power-plant area in Brazilian Amazon? *Ecological Indicators*, *121*, 107158. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107158

Souza, J. L. P., Fernandes, I. O., Agosti, D., Johnson, N. F., & Baccaro, F. B. (2022). Assessing the efficacy of higher-taxon approach for ant species surveys to improve biodiversity inventories. *Animal Conservation*, *25*(3), 370-381. https://doi.org/10.1111/acv.12758

Swanson, A. C., Schwendenmann, L., Allen, M. F., Aronson, E. L., Artavia-León, A., Dierick, D., Fernandez-Bou, A. S., Harmon, T. C., Murillo-Cruz, C., Oberbauer, S. F., Pinto-Tomás, A. A., Rundel, P. W., & Zelikova, T. J. (2019). Welcome to the Atta world: A framework for understanding the effects of leaf-cutter ants on ecosystem functions. *Functional Ecology*, *33*(8), 1386-1399. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13319

Torres, M. T., Souza, J. L. P., & Baccaro, F. B. (2020). Distribution of epigeic and hypogeic ants (Hymenoptera: Formicidae) in ombrophilous forests in the Brazilian Amazon. *Sociobiology*, *67*(2), 186-200. http://dx.doi.org/10.13102/sociobiology.v67i2.4851

Troya, A., Marcineiro, F., Lattke, J. E., & Longino, J. T. (2022). *Igaponera curiosa*, a new ponerine genus (Hymenoptera: Formicidae) from the Amazon. *European Journal of Taxonomy*, *823*, 82-101. https://doi.org/10.5852/ejt.2022.823.1817

Ulysséa, M. A., & Brandão, C. R. F. (2021). Taxonomic revision of the Neotropical ant genus *Hylomyrma* Forel, 1912 (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae), with the description of fourteen new species. *Zootaxa*, *5055*(1), 1-137. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5055.1.1

Vasconcelos, H. L. (2006). Patterns of diversity and responses to Forest disturbance by ground dwelling ants in Amazonia. In F. M. S. Moreira, J. O. Siqueira, & L. Brussaard (Orgs.), *Soil biodiversity in Amazonian and other Brasilian ecosystems* (pp. 129-141). CABI Publishing.

Vicente, R. E., Prado, L. P., & Izzo, T. J. (2015). Fauna de formigas (Insecta, Hymenoptera, Formicidae). In D. J. Rodrigues, J. C. Noronha, V. F. Vindica, F. D. Barbosa (Orgs.), *Biodiversidade do Parque Estadual Cristalino* (284p). Áttema Editorial.

Vicente, R. E., Prado, L. P., & Izzo, T. J. (2016). Amazon rainforest Ant-Fauna of Parque Estadual do Cristalino: understory and ground-dwelling Ants. *Sociobiology*, *63*(3), 894-908. https://doi.org/10.13102/sociobiology.v63i3.1043

Vicente, R. E., & Izzo, T. J. (2017). Defining habitat use by the parabiotic Ants *Camponotus femoratus* (Fabricius, 1804) and *Crematogaster levior* Longino, 2003. *Sociobiology*, *64*(4), 373. https://doi.org/10.13102/sociobiology.v64i4.1228

Vicente, R. E., & Izzo, T. J. (2021). Effect of dominant parabiotic Ant-Garden ants on the understory and ground-dwelling ant assemblage in the Amazon rainforest. *Insect Conservation and Diversity*, *14*(1), 95-106. https://doi.org/10.1111/icad.12449

Wills, B. D., Kim, T. N., Fox, A. F., Gratton, C., & Landis, D. A. (2019). Reducing native ant abundance decreases predation rates in midwestern grasslands. *Environmental Entomology*, *48*(6), 1360-1368. https://doi.org/10.1093/ee/nvz127

Submetido em: **30 de outubro de 2024**
Aprovado em: **22 de maio de 2025**
Publicado em: **15 de julho de 2025**

AUTORIA

Autor 1
Nome: Patrícia Nakayama Miranda
Breve currículo: Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Londrina.
Instituição: Instituto Federal do Acre
E-mail: patricia.miranda@ifac.edu.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9765-7751
País: Brasil

Autor 2
Nome: Ricardo Eduardo Vicente
Breve currículo: Doutor em Ecologia e Conservação da Biodiversidade pela Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT.
Instituição: Universidade Federal do Amazonas
E-mail: ricardomyrmex@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-2640-2537
País: Brasil

Autor 3
Nome: Jorge Luiz Pereira Souza
Breve currículo: Doutor em Entomologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA
Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto
E-mail: souza.jorge@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-4574-8111
País: Brasil

Autor 4
Nome: Itanna Oliveira Fernandes
Breve currículo: Doutora em Entomologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA.
Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
E-mail: itanna.fernandes@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-1619-4201
País: Brasil

Autor 5
Nome: Amanda Batista da Silva de Oliveira
Breve currículo: Doutora em Zoologia pela Universidade Federal do Amazonas, UFAM.

E-mail: amandabatista.oliveira@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-8403-2090
País: Brasil

Autor 6
Nome: Wesley Dáttilo
Breve currículo: Doutor em Neuroetología pela Universidad Veracruzana (UV), México.
Instituição: Instituto de Ecología, A.C.
E-mail: wesley.dattilo@inecol.mx
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-4758-4379
País: México

Autor 7
Nome: Fabricio Beggiato Baccaro
Breve currículo: Doutor em Ecologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA
Instituição: Universidade Federal do Amazonas
E-mail: baccaro@ufam.edu.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-4747-1857
País: Brasil