



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Departamento de Ciências Ambientais
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL
Rod. Washington Luís, Km. 235 – Cx. Postal. 676
CEP: 13565-905 – São Carlos – SP – Fone: (016) 3351-9776



PROJETO DE PESQUISA - MONOGRAFIA II

EFEITOS DA SAZONALIDADE NA COMPOSIÇÃO FUNCIONAL DE FORMIGAS EM ÁREAS DE REMANESCENTE FLORESTAL, RESTAURADAS E ANTROPIZADAS

Aluna: Bruna Busatto Scopin

Orientador: Prof. Dr. Marcel Okamoto Tanaka

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Santina de Castro Morini

**SÃO CARLOS - SP
2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL**

**EFEITOS DA SAZONALIDADE NA COMPOSIÇÃO FUNCIONAL DE FORMIGAS
EM ÁREAS DE REMANESCENTE FLORESTAL, RESTAURADAS E
ANTROPIZADAS**

Nome do Aluno: Bruna Busatto Scopin

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

Orientador: Marcel Okamoto Tanaka

**SÃO CARLOS-SP
2025**

**EFEITOS DA SAZONALIDADE NA COMPOSIÇÃO FUNCIONAL DE FORMIGAS
EM ÁREAS DE REMANESCENTE FLORESTAL, RESTAURADAS E
ANTROPIZADAS**

BRUNA BUSATTO SCOPIN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 11 de dezembro de 2025 ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

.....
Marcel Okamoto Tanaka

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe e aos meus avós, por terem possibilitado minha entrada e continuidade na graduação. Ao meu gato, por ser meu maior suporte emocional e o motivo por eu ter chegado até aqui.

Ao meu professor orientador, por ter me acompanhado e auxiliado em minha iniciação na pesquisa científica, e por ter me passado tantos ensinamentos nesse processo. Agradeço também à minha coorientadora e suas orientandas do Laboratório de Mirmecologia do Alto Tietê, por terem verificado e auxiliado na identificação das formigas coletadas.

Aos meus amigos e colegas do laboratório Riparia, que me proporcionaram aprendizado e acolhimento. Especialmente à Sabrina e Heloisa, que me ajudaram a separar e identificar cada uma das muitas formigas.

Às minhas amigas, da graduação e da vida, por estarem do meu lado nos melhores e piores momentos vividos nesses anos.

Cause I love this moment, this moment right now

Let my words fade, I'll dance through the night

Lights fading softly, time seems to move fast

Let me just fade away

- Yves

RESUMO:

A dinâmica dos ecossistemas é profundamente afetada pela degradação ambiental, tornando essencial a restauração de áreas impactadas para recuperar a biodiversidade e os processos ecológicos. Como a diversidade taxonômica nem sempre reflete plenamente a resposta dos organismos e a retomada das funções ecossistêmicas, a inclusão da diversidade funcional no monitoramento de projetos de restauração torna-se fundamental. As formigas, por sua vez, destacam-se na macrofauna recolonizadora e são amplamente utilizadas como bioindicadores devido à sua alta diversidade taxonômica e funcional. Neste estudo, avaliou-se a composição funcional de comunidades de formigas em uma área restaurada há dez anos, em comparação com um remanescente florestal ripário e com uma área de pastagem. As coletas foram realizadas nas estações seca e chuvosa para capturar possíveis variações relacionadas à disponibilidade de recursos ao longo do ano. Macroinvertebrados foram amostrados por meio de pitfalls instalados em seis parcelas por tipo de uso do solo, e as formigas identificadas até morfoespécie e categorizadas em grupos funcionais. Os resultados indicam que, embora a riqueza de grupos funcionais tenha se mantido estável e a pastagem tenha apresentado maior abundância total de formigas em ambas as estações, essa mesma área exibiu maior dominância e menor diversidade quando comparada ao restauro e ao remanescente florestal. A diversidade funcional variou sazonalmente e entre os tipos de uso do solo, sendo mais elevada no remanescente florestal e na área restaurada, respectivamente, especialmente durante a estação chuvosa. A composição funcional diferiu entre os três usos do solo, sem influência significativa da estação. De modo geral, a área restaurada caracteriza-se como um sistema em transição, no qual processos sucessionais continuam em desenvolvimento. Essa condição favorece o aumento da heterogeneidade e a formação de combinações funcionais próprias, que divergem do estado de referência ao mesmo tempo em que preservam sua estrutura funcional.

Palavras-chave: grupos funcionais, restauração ecológica, ecossistemas ripários, monitoramento ambiental, macroinvertebrados.

EFFECTS OF SEASONALITY ON THE FUNCTIONAL COMPOSITION OF ANTS IN AREAS OF REMAINING FOREST, RESTORED FOREST, AND ANTHROPIZED FOREST

ABSTRACT:

The dynamics of ecosystems are strongly affected by environmental degradation, making the restoration of impacted areas essential for the recovery of biodiversity and ecological processes. Since taxonomic diversity does not always fully reflect the response of organisms or the reestablishment of ecosystem functions, incorporating functional diversity into restoration monitoring is crucial. Ants stand out within the recolonizing macrofauna and are widely used as bioindicators due to their high taxonomic and functional diversity. This study evaluated the functional composition of ant communities in an area restored ten years ago, comparing it with a riparian forest remnant and a pasture area. Sampling was conducted during the dry and rainy seasons to capture potential variations related to seasonal resource availability. Macroinvertebrates were collected using pitfall traps installed in six plots for each land-use type, and ants were identified to morphospecies and categorized into established functional groups. The results indicate that although the richness of functional groups remained stable and pasture showed the highest total ant abundance in both seasons, this land-use type also exhibited greater dominance and lower diversity compared with the restored area and the forest remnant. Functional diversity varied both seasonally and among land-use types, reaching higher values in the forest remnant and the restored area, particularly during the rainy season. Functional composition differed among the three communities according to land-use type, with no significant effect of seasonality. Overall, the restored area reflects a transitional system, where successional processes are still unfolding. This condition supports increasing heterogeneity and the development of distinct functional combinations that diverge from the reference state while maintaining essential functional structure.

Keywords: functional groups, ecological restoration, riparian ecosystems, environmental monitoring, macroinvertebrates.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	07
2. OBJETIVOS	09
3. METODOLOGIA	09
3.1. ÁREA DE ESTUDO	
3.2. ANÁLISE DOS DADOS	
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÕES	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

Florestas tropicais têm sido intensamente desmatadas e degradadas, sendo urgente sua recuperação para a restauração da biodiversidade e funções ecossistêmicas (Weisse; Goldman 2021). Diversos esforços vêm sendo realizados para a restauração de florestas, sendo necessário o adequado monitoramento para avaliar se os objetivos da restauração estão sendo cumpridos (Hale et al. 2018).

A restauração de ecossistemas degradados envolve não apenas a recuperação da vegetação nos ambientes degradados, mas também outros aspectos da biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas. De modo geral, a recuperação da estrutura e diversidade da vegetação em projetos de restauração de florestas tropicais ocorre em escalas de tempo de 10 a 20 anos (Teixeira et al. 2020; Suganuma; Durigan, 2015). Entretanto, a recuperação das comunidades animais associadas foi bem menos estudada, especialmente em relação aos invertebrados (McAlpine et al. 2016).

Por exemplo, macroinvertebrados de solo têm grande importância na ciclagem do carbono e nutrientes e na degradação de poluentes (Tuma et al. 2022; Auclerc et al. 2022), na decomposição da matéria orgânica (Heděnc et al. 2022), na produção primária (Coleman et al. 2018) e nas cadeias alimentares acima e abaixo do solo (Potapov et al. 2023). Além disso, a atividade destes organismos contribui para a melhoria da estrutura do solo, influenciando o desenvolvimento das comunidades microbianas e a interação entre plantas e solo (Auclerc et al. 2022).

Em áreas degradadas, a recuperação destas comunidades pode depender tanto da recuperação da vegetação quanto do solo, dependendo dos recursos utilizados pela fauna (Parkhurst et al. 2022). Alguns estudos indicam recuperação da diversidade taxonômica da fauna, mas não da diversidade funcional em projetos de até dez anos (Parreira et al. 2022). Desta forma, a recuperação da biodiversidade taxonômica pode não ser suficiente para a restauração do funcionamento apropriado dos ecossistemas, sendo necessário avaliar os aspectos funcionais da fauna recolonizadora (Brussaard, 1998; Heděnc et al. 2022).

As formigas constituem grande parte da macrofauna de solo e influenciam fortemente o funcionamento dos ecossistemas (Folgarait 1998; Del Toro et al. 2012). Devido à sua grande capacidade de recolonização e alta biodiversidade, este grupo tem sido utilizado no monitoramento ambiental, sendo fortemente sugerida sua análise em áreas restauradas (Tiede et al. 2017; de Almeida et al. 2024; Andersen; Majer 2004). Os estudos mostram, entretanto,

que diferentes espécies de formigas podem apresentar respostas distintas à restauração florestal, de forma que não necessariamente ocorre um aumento da biodiversidade taxonômica com a recuperação florestal (Gollan et al. 2011; Parkhurst et al. 2022).

Por outro lado, as análises de grupos funcionais têm se mostrado promissoras na análise da recuperação dos ecossistemas (De Almeida et al. 2024). Diferentes grupos funcionais estão relacionados a diferentes funções dos ecossistemas, facilitando um melhor entendimento e previsão das respostas dos organismos à recuperação ambiental (Brussaard 1998; McAlpine et al. 2016). No caso das formigas, elas podem ser categorizadas em relação à alimentação, localização do ninho, substrato e tipo de forrageamento, forma de recrutamento, tamanho e presença de polimorfismos (Silva et al. 2015; Brandão; Silva; Delabie. 2012; Sosiak; Barden 2021).

A partir da meta-análise de Casimiro, Sansevero e Queiroz (2019), observou-se que, no monitoramento de áreas em restauração com base em grupos funcionais, esses tendem a se recuperar mais rapidamente do que a riqueza de espécies. Esse fenômeno ocorre por conta da redundância funcional, em que espécies com funções ecológicas similares podem substituir umas às outras entre fragmentos distintos, fazendo com que a funcionalidade se restabeleça (Ortega; Guerrero, 2023).

Além disso, tanto a riqueza de espécies quanto a de grupos funcionais em áreas em restauração nos trópicos não diferiram significativamente da observada nos ecossistemas de referência, indicando que eventualmente ambos tentem se recuperar. Por outro lado, as tendências de composição de espécies e de grupos funcionais mostraram-se menos previsíveis quando comparadas à trajetória da riqueza desses mesmos atributos (Casimiro; Sansevero; Queiroz, 2019). Apesar da imprevisibilidade, analisar a composição dos grupos funcionais é importante no monitoramento, visto que a redundância funcional pode manter os processos ecossistêmicos mesmo com mudanças taxonômicas (Ortega; Guerrero, 2023).

Entretanto, devido a diferenças nas condições ambientais e na disponibilidade de recursos, a composição funcional de comunidades de formigas pode variar em diferentes épocas do ano, como em regiões caracterizadas por estações seca e chuvosa (Dantas et al. 2024; de Arruda et al. 2021; Queiroz et al. 2023). Assim, os efeitos das formigas no funcionamento dos ecossistemas podem ser variáveis dependendo da estação do ano, sendo necessária melhor compreensão de como as formigas variam temporalmente (Kass et al. 2023).

2. OBJETIVOS

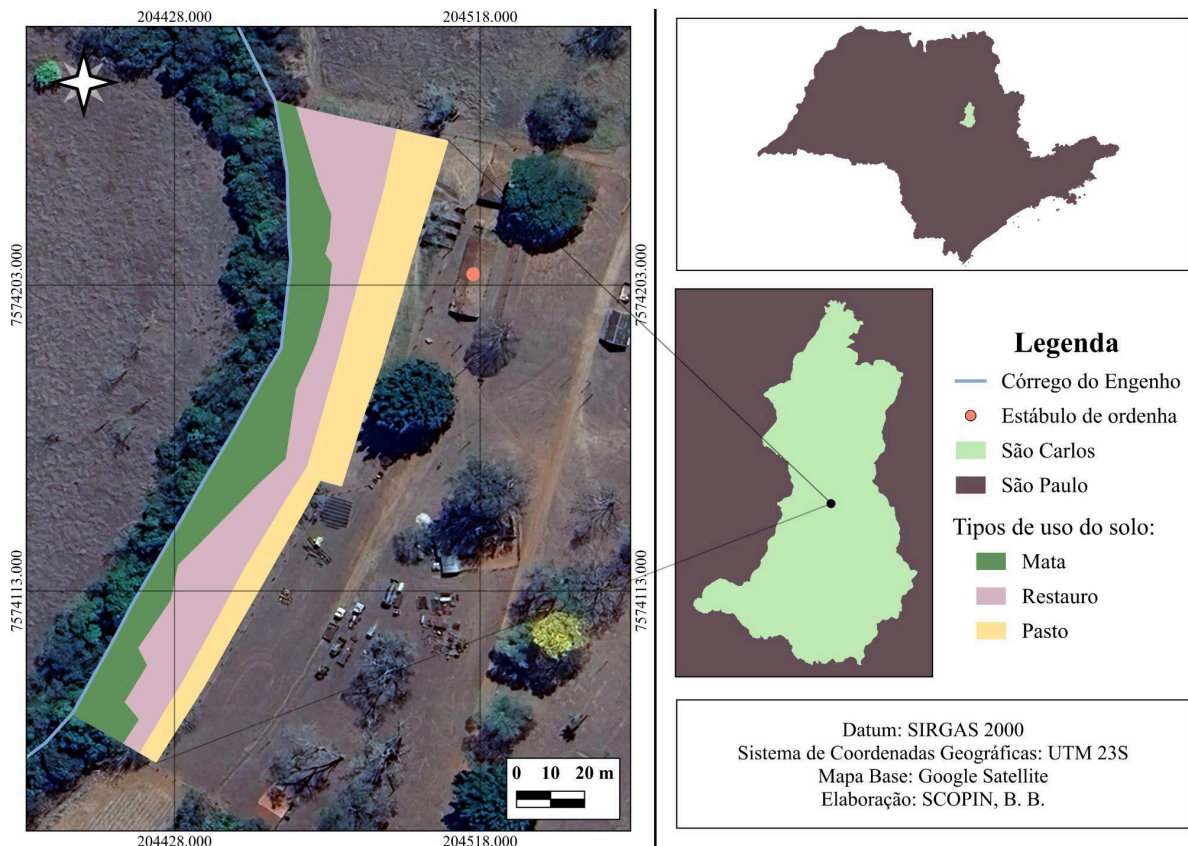
O presente estudo visou avaliar as comunidades de formigas em uma área de floresta ripária restaurada há dez anos, em comparação com uma área de pastagem e de um remanescente florestal adjacentes, amostradas nas estações seca e chuvosa. As seguintes hipóteses foram testadas: 1) a composição de grupos funcionais de formigas difere entre tipos de uso do solo (mata, restauro e pasto); 2) a composição de grupos funcionais de formigas entre os tipos de uso do solo difere entre as estações seca e chuvosa. Nós esperamos encontrar maior diversidade de grupos funcionais na estação chuvosa e no remanescente florestal devido à maior disponibilidade de recursos (Queiroz et al. 2023) e de habitats (Santos et al. 2022). Os resultados obtidos devem contribuir para melhor entendimento das respostas deste importante grupo de organismos ao desenvolvimento de florestas em restauração, contribuindo também para o aprimoramento do monitoramento de ecossistemas em desenvolvimento.

3. METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma Área de Proteção Permanente - APP margeando o Córrego do Engenho no município de São Carlos - SP, de coordenadas 21°54'43.0"S 47°51'38.4"W (Figura 1). Esta região é qualificada como Aw na classificação de Köppen, sendo um clima tropical com inverno seco e verão úmido, apresentando distinção entre as épocas do ano (Rolim et al., 2007). De acordo com dados do INMET (2025) coletados entre 1991 e 2020, a precipitação anual média é de 1492.3 mm, variando entre 22.5 mm e 297.2 mm, com temperatura média entre 23.1 e 17.2°C. O substrato geológico do município é constituído predominantemente por rochas sedimentares das formações Botucatu e Pirambóia, e por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral; predominam na área os solos do tipo Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Nitossolo (Calderano Filho et al., 1998).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com os tipos de uso do solo.



A área restaurada era anteriormente pastagem, sendo executado um projeto de restauração através de um experimento efetuado em fevereiro de 2013, envolvendo o plantio de 577 mudas e 1154 sementes com 381 germinações efetivas, ao longo de 200 m de extensão. O local foi cercado para limitar o acesso do gado e as gramíneas foram removidas utilizando glifosato. Para compor o restauro foram selecionadas 10 espécies nativas: *Cedrela fissilis* Vell. *Pterogyne nitens* Tul. *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, *Copaifera langsdorffii* Desf. *Platypodium elegans* Vogel, *Enterolobium timbouva* Mart. *Schizolobium paraiba* (Vell.) Blake, *Hymenaea courbaril* Le. *Centrolobium tomentosum* Guillemim ex Benth. Na fase de plantio as mudas e sementes foram dispostas em grade de 2x2 com distribuição aleatória por toda a área definida para a restauração.

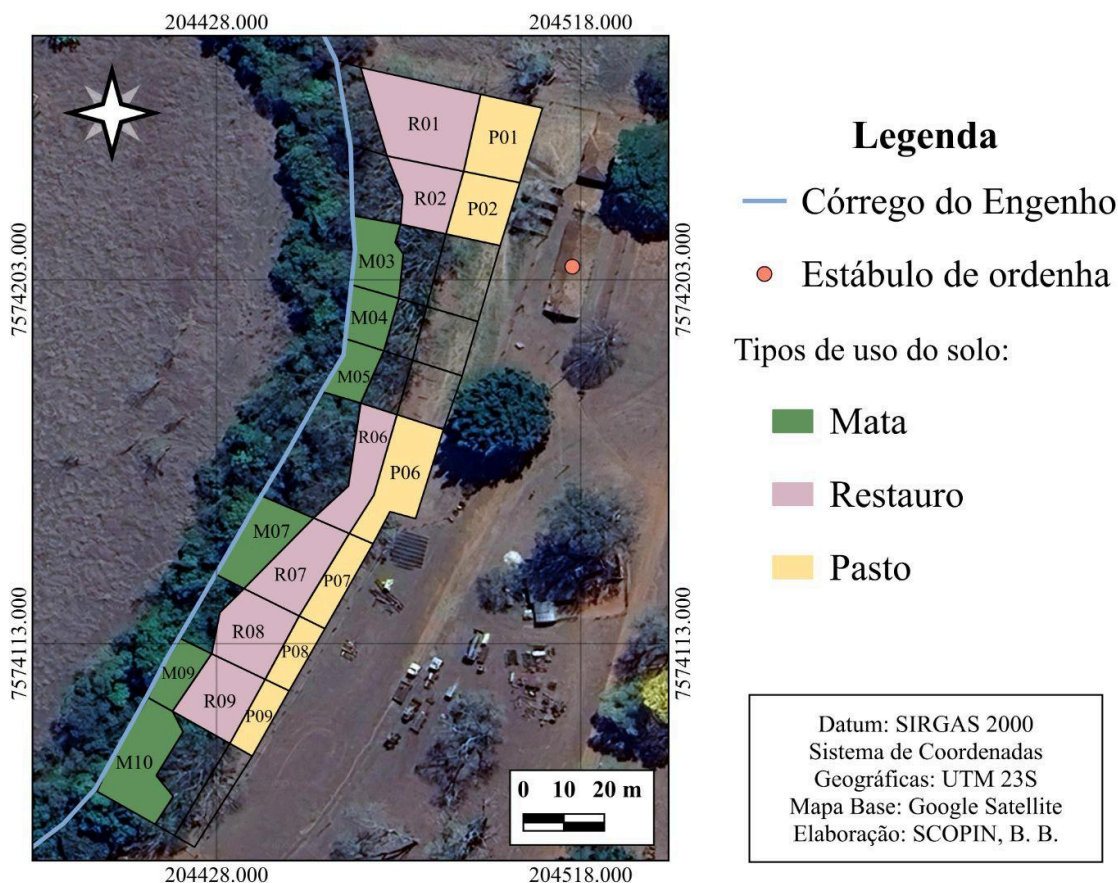
Um aspecto importante da área é o desenvolvimento de um gradiente de fertilidade do solo devido à presença de um estábulo de ordenha próximo às primeiras parcelas e o aporte de nutrientes nesses locais. Esse gradiente foi verificado a partir de análises de fertilidade do solo conduzidas a partir de amostras coletadas em 2014, 21

meses após o plantio (Pestana et al. 2020). O resultado dessas análises indicou a existência de um gradiente de fertilidade do solo tanto nos sítios restaurados quanto nos de pastagem. De acordo com medições feitas em 2015, esse gradiente influenciou o desenvolvimento das árvores entre as parcelas nos sítios restaurados, com a vegetação das parcelas iniciais (1–3) apresentando, em 2015, altura 57% superior e diâmetro 53% maior em relação às parcelas finais (6–10) (Pestana et al. 2020).

3.2 COLETA DE DADOS

Inicialmente, a área de estudo foi dividida em três sítios de acordo com os tipos de uso do solo (pasto, restauro e mata remanescente), com cada um deles separados em 10 parcelas ao longo da extensão da APP, totalizando 30 parcelas (Figura 2).

Figura 2 - Mapa das parcelas da área de estudo de acordo com o tipo de uso do solo



O monitoramento das formigas começou em 2018, com o objetivo de avaliar seu estado após cinco anos da realização da restauração do local. Assim, o estudo atual referente às comunidades depois de 10 anos segue procedimentos de coleta dos espécimes similares aos realizados anteriormente. Entre as parcelas (réplicas), foram selecionadas seis delas em cada tipo de uso do solo usado para a realização do

experimento, sendo elas: parcelas 1, 2, 6, 7, 8 e 9 do restauro e da pastagem; 3, 4, 5, 7, 9 e 10 da mata remanescente (Figura 2). A seleção foi feita para desconsiderar parcelas mais estreitas muito influenciadas por efeitos de borda e para serem representativas em relação ao gradiente de fertilidade e estrutura da vegetação.

Foram realizadas duas coletas, sendo a primeira durante a estação chuvosa, no dia 15 de dezembro de 2023, e a segunda no período seco, em 29 de maio de 2024. O processo consistiu na instalação de pitfalls, ou armadilhas de queda, com base em Brown e Matthews (2016), contendo cinco réplicas em cada parcela escolhida, com distribuição aleatória e distanciamento de 2 m das faixas marginais, reduzindo os efeitos de borda. Cada pitfall consistia em um pote transparente de 10 cm de altura e 9 cm de diâmetro enterrados no solo, juntamente com cobertura plástica sustentada por hastes de madeira, acima de cerca de 10 cm de altura do pote, com intuito de prevenir acúmulo de água, galhos e folhas. Desta forma, havia 3 tipos de uso do solo \times 6 parcelas \times 2 estações do ano \times 5 pitfalls, totalizando 160 armadilhas.

Após a montagem, foi adicionada uma solução de 100 ml de formol a 4% para conservar os macroinvertebrados capturados, além de uma pequena quantidade de detergente para quebrar a tensão superficial e evitar fugas. Depois de sete dias, os potes foram recolhidos e transportados até o laboratório, onde ocorreu a separação dos macroinvertebrados e pequenos vertebrados, utilizando uma peneira de malha de 2 mm, sendo posteriormente preservados em potes contendo álcool 70%.

As formigas foram primeiramente identificadas ao nível de gênero através das chaves de Baccaro et al. (2015) e Feitosa e Dias (2024). Em seguida, foram identificadas até espécie ou morfoespécie utilizando também a chave de França (2022), o inventário de Suguituru et al. (2015) e o banco de dados online AntWeb, além do apoio de especialistas do Laboratório de Mirmecologia do Alto Tietê - LAMAT da UMC. As formigas aladas não foram consideradas para realização das análises.

As morfoespécies identificadas foram agrupadas em diferentes grupos funcionais conforme Groc et al. (2014); para aquelas não contempladas foram utilizados os materiais adicionais de Ronque, Feitosa e Oliveira (2019) para o gênero *Mycetophylax*, Scarpellini, Nakano e Moreira (1986) para a espécie *Camponotus brasiliensis*, AntWeb para *Camponotus rectangularis*, Chagas (2018) para *Gnamptogenys regularis* e Delabie et al. (2015) para *Acanthoponera*.

Os seguintes grupos funcionais foram encontrados: Onívoros Arbóreos, formigas que nidificam e forrageiam em árvores, consomem recursos vegetais e animais, protegem plantas e participam em mutualismos, como por exemplo com afídeos para obter néctar (*honeydew*); Onívoros Generalistas, que exploram diferentes estratos de habitat, apresentando dieta diversificada e comportamento oportunista, também são necrófagos, fundamentais para ciclagem de nutrientes e dispersão de sementes; Predadores Arbóreos, que exercem controle biológico de artrópodes e podem melhorar a aptidão das plantas; Predadores Generalistas de Solo, que forrageiam no solo ou na serapilheira e apresentam dieta predatória variada, também regulando a população de artrópodes, além de agir na decomposição e ciclagem de nutrientes; Predadores Especialistas de Solo, formigas que capturam presas específicas, como colêmbolos ou diplópodes; Attines Criptobióticas, espécies de pequeno porte que vivem no subsolo ou na serapilheira, cultivam fungos e raramente são observadas na superfície, agem na decomposição, ciclagem e melhoram a estrutura do solo; e Cortadeiras, formigas de maior porte que cortam e transportam folhas para o cultivo de fungos, consideradas engenheiras dos ecossistemas por alterar a sucessão vegetal e criar pontos de concentração de nutrientes por bioturbação (Camargo-Venegas et al. 2024; Leponce et al. 2021; Brandão; Silva; Delabie. 2012; Andersen, 1995).

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Para avaliar se havia diferenças de diversidade funcional entre as parcelas de pasto, restauro e remanescente florestal sob condições climáticas distintas (estações chuvosa e seca), foi utilizada Análise de Variância de Medidas Repetidas – ANOVA-MR, considerando dois fatores fixos: 1) tipo do uso do solo; 2) estação do ano (Underwood, 1997). A variável resposta foi a diversidade funcional calculada de acordo com a riqueza de grupos funcionais, o índice de diversidade de Shannon-Weaver e o índice de dominância de Simpson, além da abundância total (Magurran 2004). As diferenças entre os tipos de vegetação foram determinadas com o teste HSD de comparações múltiplas de Tukey. Para seguir as premissas de normalidade e homogeneidade de variâncias, os dados foram previamente transformados para logaritmo.

A partir do agrupamento das morfoespécies de formigas em grupos funcionais, avaliamos se a composição desses grupos diferia também em relação ao uso do solo e às épocas do ano, através da Análise de Variância Permutacional Multivariada – PERMANOVA (Anderson, 2001) com dois fatores: 1) tipo do uso do solo; 2)) estação do

ano, com 9999 permutações. A similaridade entre as amostras foi calculada utilizando-se o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, obtendo assim a matriz de similaridade das comunidades. Para visualização dos padrões, foi usada a técnica de Escalonamento Multidimensional - MDS (Clarke, 1993). As análises foram realizadas com os softwares Systat 12.0, PAST 5 e Primer/Permanova 6.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total foram identificadas 7309 formigas, sendo que 3035 foram coletadas na estação chuvosa e 4274 durante a estação seca. Foram obtidas 46 morfoespécies distribuídas em sete grupos funcionais, sendo eles: Onívoros Arbóreos com seis morfoespécies; Onívoros Generalistas com 18; Predadores Arbóreos contendo cinco; Predadores Generalistas de Solo com seis; Predadores Especialistas de Solo com uma morfoespécie; Attines Criptobióticas com sete; e Cortadeiras com três (Tabela 1).

Além de conter o maior número de morfoespécies, o grupo funcional Onívoros Generalistas também apresentou a maior abundância (74.63%), seguido das Cortadeiras (15.85%) e Predadores Generalistas de Solo (5.32%). Isso porque englobam algumas das espécies mais comuns e que são responsáveis por grande parte dessa abundância, como as que ultrapassam 1000 em número de indivíduos coletados (*Atta sexdens* e *P. oxyops*) ou 150 indivíduos (*Dorymyrmex brunneus*, *Holcoponera striatula*, *P. flavens*, *P. subarmata*, *P. gertrudae* e *P. triconstricta*). A abundância dos outros grupos funcionais foi, em ordem decrescente: Attines Criptobióticos (2.67%), Predadores Arbóreos (1.15%), Onívoros Arbóreos (0.3%) e por fim Predadores Especialistas de Solo (0.1%).

Tabela 1 - Abundância de morfoespécies e grupos funcionais de formigas para diferentes usos do solo nas estações seca e chuvosa

Grupo Funcional	Mata Chuvosa	Mata Seca	Restauração Chuvosa	Restauração Seca	Pasto Chuvosa	Pasto Seca
Onívoros Arbóreos (AO)						
<i>Camponotus atriceps</i> Smith, 1858	1	1	-	1	-	-
<i>Camponotus rectangularis</i> Emery, 1890	-	-	2	-	-	-
<i>Cephalotes inaequalis</i> Mann, 1916	1	6	-	2	1	2
<i>Cephalotes angustus</i> Mayr, 1862	-	-	-	-	-	1
<i>Linepithema humile</i> Mayr, 1868	2	1	-	-	-	-

<i>Myrmelachista</i> sp. Roger, 1863	1	-	-	-	-	-
Total	5	8	2	3	1	3
Onívoros Generalistas (GO)						
<i>Brachymyrmex admotus</i> Mayr, 1887	8	3	24	12	52	49
<i>Camponotus brasiliensis</i> Mayr, 1862	1	2	2	4	1	2
<i>Camponotus cingulatus</i> Mayr, 1862	28	17	31	32	19	18
<i>Camponotus lespesii</i> Forel, 1886	3	1	2	8	-	2
<i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894	1	-	-	1	11	-
<i>Camponotus sericeiventris</i> Guérin-Méneville, 1838	-	1	-	1	-	1
<i>Cardiocondyla wroughtonii</i> Forel, 1890	-	-	-	5	13	63
<i>Crematogaster pr. victima</i> Smith, 1858	2	1	1	1	3	-
<i>Dorymyrmex brunneus</i> Forel, 1908	-	-	-	3	198	85
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	-	-	-	-	4	1
<i>Pheidole flavens</i> Roger, 1863	24	35	39	6	23	40
<i>Pheidole gertrudae</i> Forel, 1886	6	8	6	2	75	59
<i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908	127	157	262	321	583	1912
<i>Pheidole subarmata</i> Mayr, 1884	63	52	22	12	84	130
<i>Pheidole triconstricta</i> Forel, 1886	42	15	34	53	130	287
<i>Solenopsis gr. brevicornis</i> Emery, 1888	19	2	25	1	10	33
<i>Solenopsis</i> sp. Westwood, 1840	-	-	1	-	1	3
<i>Wasmannia auropunctata</i> Roger, 1863	2	-	6	-	9	16
Total	326	294	455	462	1216	2701
Predadores Arbóreos (AP)						
<i>Acanthoponera mucronata</i> Roger, 1860	-	1	-	-	-	-
<i>Odontomachus affinis</i> Guérin-Méneville, 1844	9	4	10	1	14	21
<i>Pseudomyrmex gracilis</i> Fabricius, 1804	2	1	3	3	2	1
<i>Pseudomyrmex schuppi</i> Forel, 1901	-	2	-	1	-	1
<i>Pseudomyrmex</i> sp. Lund, 1831	-	1	1	4	1	1
Total	11	9	14	9	17	24
Predadores Generalistas de Solo (GDGP)						
<i>Anochetus inermis</i> André, 1889	1	-	5	-	9	5

<i>Gnamptogenys regularis</i> Mayr, 1870	4	1	8	-	10	3
<i>Holcaponera striatula</i> Mayr, 1884	82	27	26	7	18	18
<i>Hypoconera foreli</i> Mayr, 1887	10	7	4	2	2	28
<i>Hypoconera trigona</i> Mayr, 1887	2	4	4	1	5	25
<i>Pachycondyla striata</i> Smith, 1858	17	8	8	3	19	16
Total	116	47	55	13	63	95
Predadores Especialistas de Solo (GDSP)						
<i>Strumigenys denticulata</i> Mayr, 1887	-	-	3	-	-	4
Total	0	0	3	0	0	4
Attines Criptobióticas (CA)						
<i>Apterostigma</i> sp. Mayr, 1865	-	-	1	-	-	-
<i>Cyphomyrmex minutus</i> Mayr, 1862	13	1	8	1	9	49
<i>Mycetarotes parallelus</i> Emery, 1906	-	-	-	-	-	3
<i>Mycetomoellerius cirratus</i> Mayhé-Nunes & Brandão, 2005	5	-	12	5	6	7
<i>Mycetophylax lectus</i> Forel, 1911	-	-	1	-	3	-
<i>Mycocepurus goeldii</i> Forel, 1893	10	18	6	13	9	8
<i>Myrmicocrypta</i> sp. Smith, 1860	-	-	-	-	-	7
Total	28	19	28	19	27	74
Cortadeiras (LC)						
<i>Acromyrmex crassispinus</i> Forel, 1909	5	8	1	1	1	2
<i>Acromyrmex rugosus</i> Smith, 1858	1	-	-	3	3	7
<i>Atta sexdens</i> Linnaeus, 1758	67	101	453	281	137	87
Total	73	109	454	285	141	96
Total Geral	559	486	1011	791	1465	2997
Abundância Total						7309

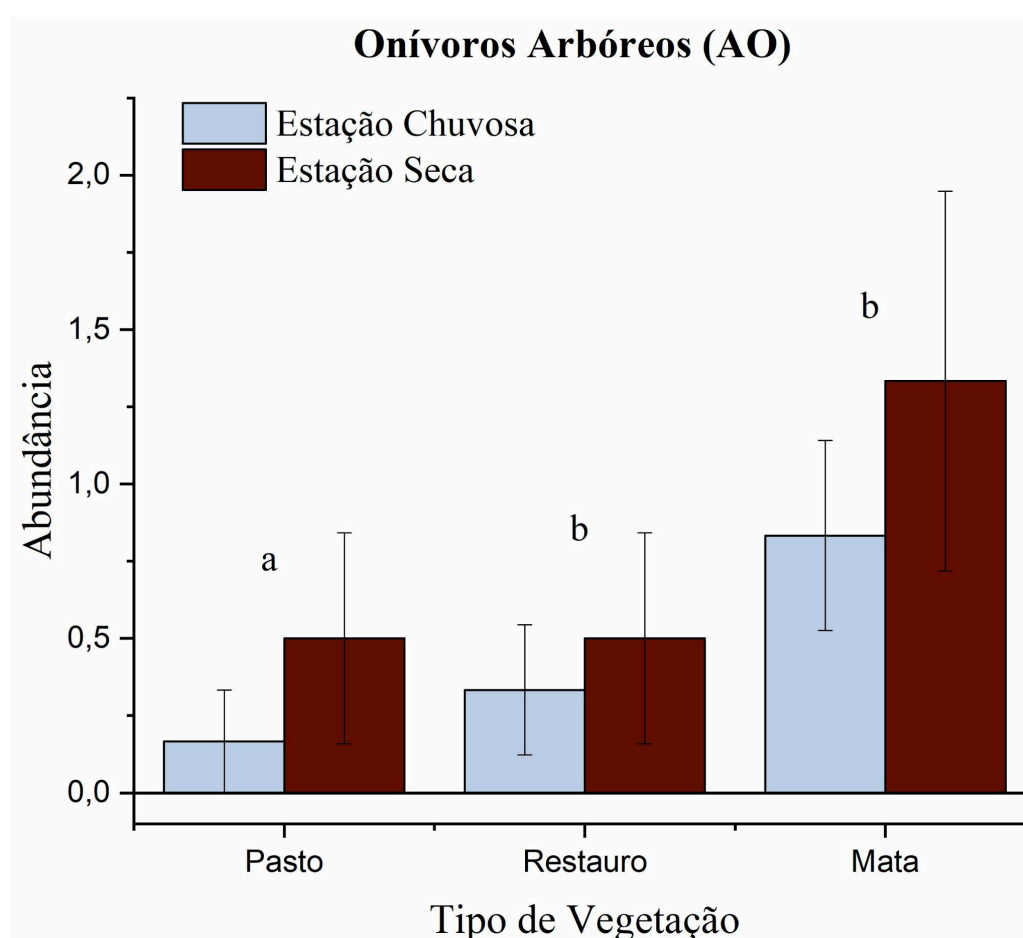
Grupos funcionais

A abundância média de onívoros arbóreos apresentou diferença apenas em relação ao tipo de vegetação (Tabela 2). A partir do teste de Tukey foi constatado que os tipos restauração e mata apresentaram abundâncias similares, enquanto na pastagem a abundância foi significativamente menor (Figura 3). O resultado obtido condiz com o fato de que esse grupo necessita de árvores para se estabelecer, mas pode ser encontrado também no pasto por conta de seu forrageamento (Klimes et al. 2025).

Tabela 2 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Abundância de onívoros arbóreos

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	0.504	4.969	0.022
Erro 1	15	0.101		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	0.134	0.377	0.549
Estação x Tipo	2	0.010	0.028	0.972
Erro 2	15	0.356		

Figura 3 - Abundância de onívoros arbóreos (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca. Letras distintas representam diferenças significativas nas médias conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$)



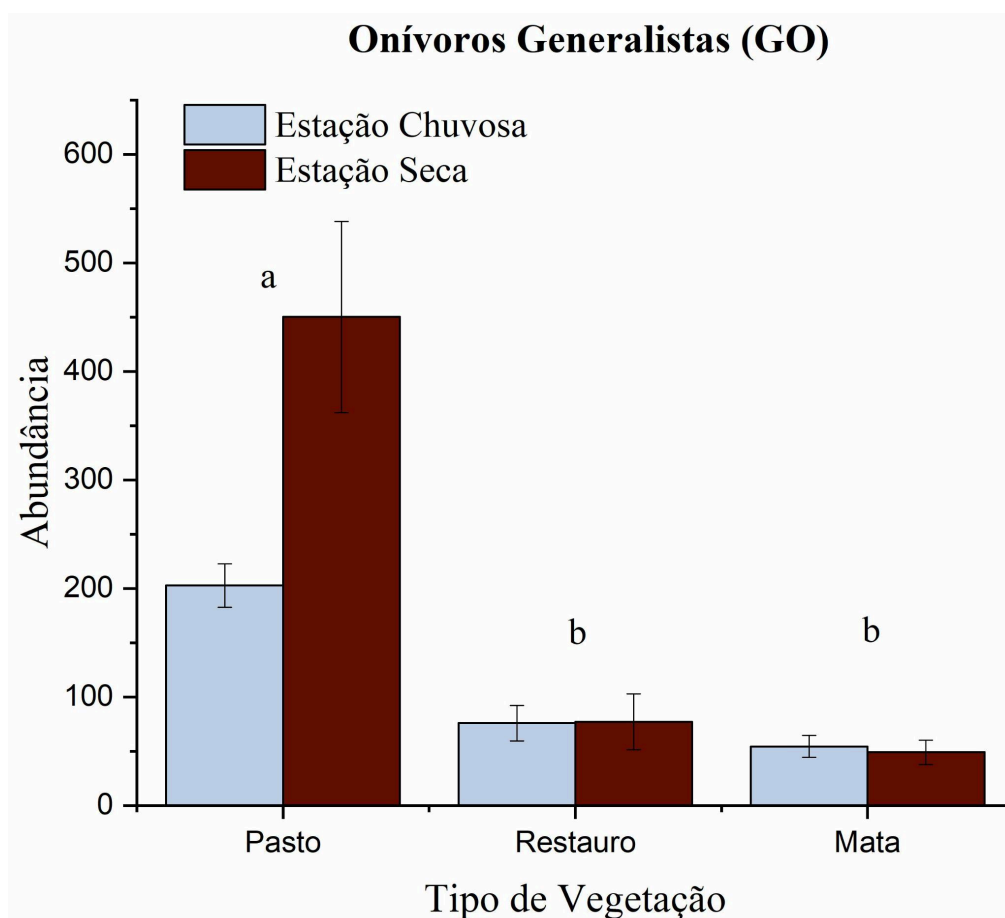
Os onívoros generalistas também apresentaram diferença em relação a sua abundância de acordo com os tipos do uso do solo, mas não foram influenciados pela época do ano, apesar de mostrar uma tendência incomum de aumento de abundância na estação seca (Tabela 3; Figura 4). Além disso, o pasto apresentou abundância média muito superior ao restauro e a mata, sendo portanto muito influenciado pela dominância desse grupo funcional (Figura 4). As formigas generalistas costumam dominar as pastagens e podem apresentar

menos flutuações sazonais em comparação com as especialistas em florestas; no entanto, a propensão ainda deveria ser de redução na abundância e riqueza total na estação seca (de Souza Dutra et al. 2024). Contudo, uma possível explicação pode ser em decorrência da temperatura, considerando que baixas temperaturas são um fator estressante, mas esse efeito é menor em ambientes abertos como pastos e maior em ambientes sombreados (Andersen, 1995).

Tabela 3 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Abundância de onívoros generalistas

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	10.605	23.260	< 0.001
Erro 1	15	0.456		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	0.203	1.008	0.331
Estação x Tipo	2	0.562	2.792	0.093
Erro 2	15	0.201		

Figura 4 - Abundância de onívoros generalistas (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca



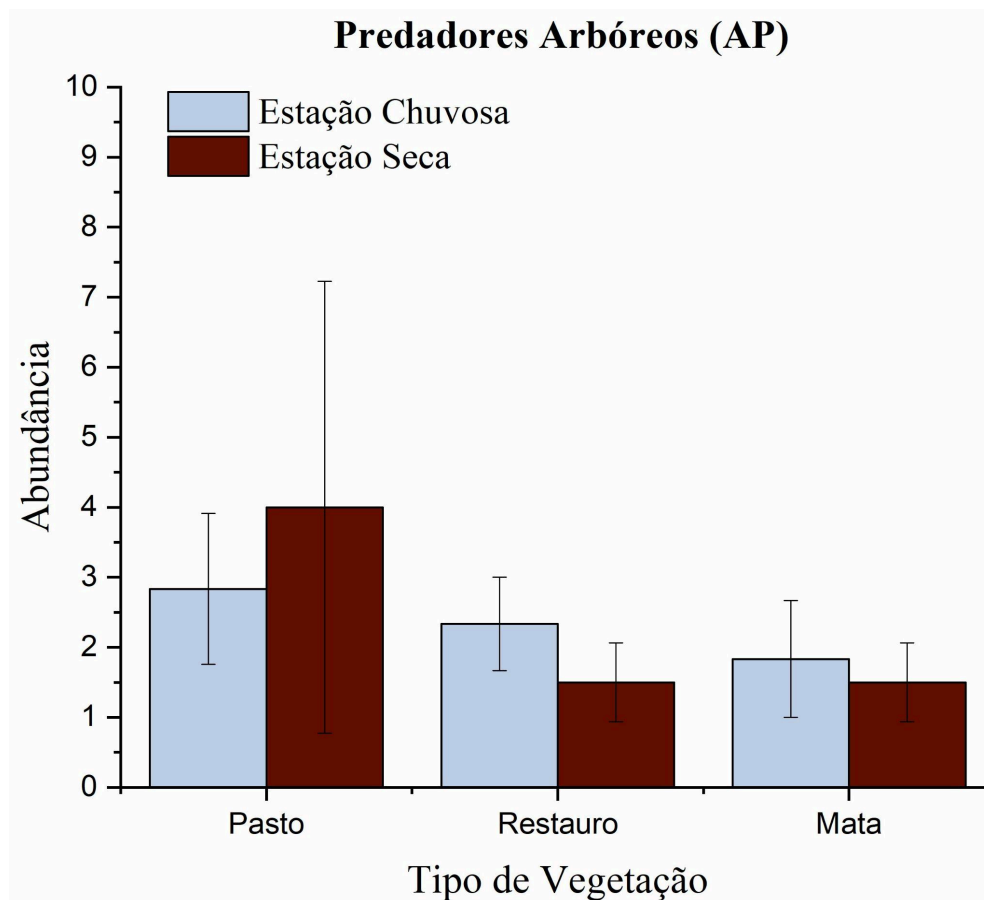
Sobre os predadores arbóreos, não foi identificado nenhum efeito significativo a partir da ANOVA-MR (Tabela 4). Assim, a abundância dos predadores arbóreos não foi afetada pelos diferentes tipos de vegetação, estações do ano ou pela interação entre esses fatores (Figura 5).

Muitas formigas arbóreas, especialmente as predadoras, são altamente ativas e podem forragear em várias árvores e tipos de habitat. As formigas que procuram alimento geralmente vêm de ninhos em árvores próximas, o que lhes permite explorar recursos tanto em áreas remanescentes quanto em áreas perturbadas. Essa mobilidade permite que os predadores arbóreos mantenham sua abundância mesmo quando a vegetação circundante muda (Klimes et al. 2025).

Tabela 4 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Abundância de predadores arbóreos

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	0.067	0.134	0.876
Erro 1	15	0.500		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	0.379	0.561	0.465
Estação x Tipo	2	0.012	0.017	0.983
Erro 2	15	0.675		

Figura 5 - Abundância de predadores arbóreos (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca



Foi observada a ocorrência de interação significativa entre os fatores no caso dos predadores generalistas de solo (Tabela 5). Na estação seca, a abundância diferiu entre os tipos de uso do solo, sendo o remanescente florestal mais similar ao pasto, enquanto a área restaurada teve menor abundância que os outros dois tipos (Figura 6). Já na estação chuvosa, não houve diferença entre os tipos.

Durante o período chuvoso há uma maior disponibilidade de presas em todos os tipos de uso do solo, mantendo uma abundância de predadores generalistas similar independente da vegetação, apesar de haver uma tendência a aumentar na mata, visto sua maior complexidade de micro-habitats e variedade de recursos (Leal et al. 2012).

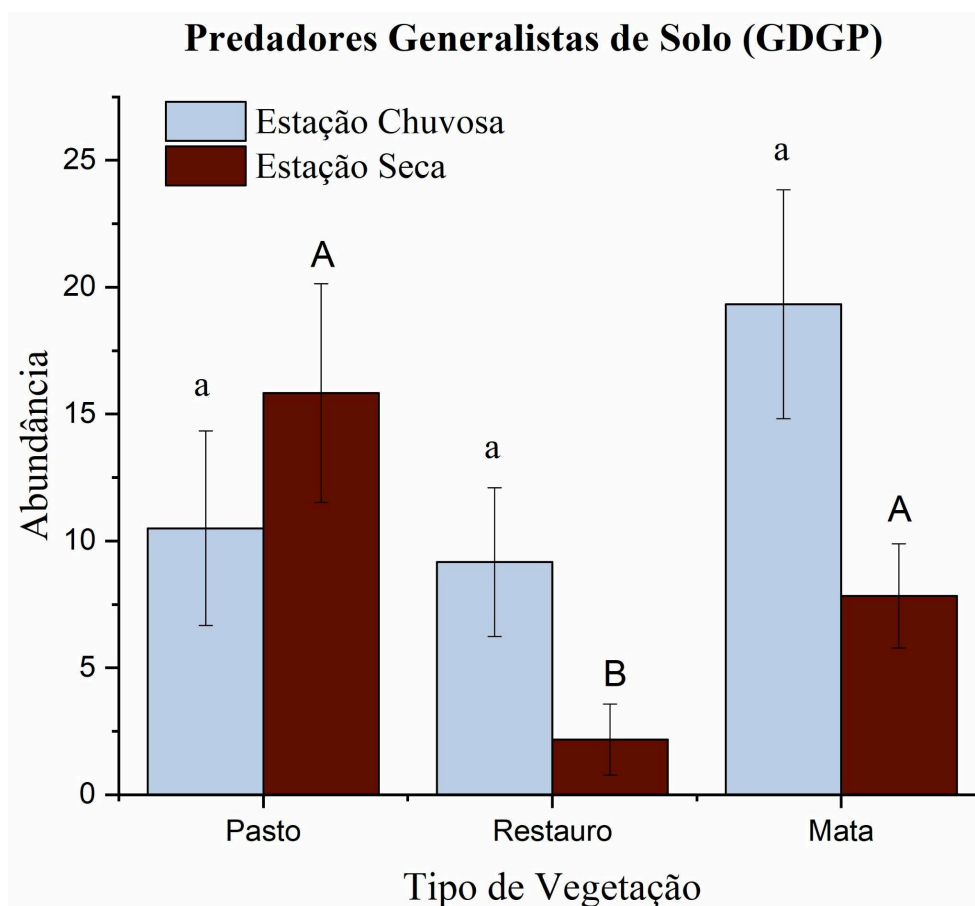
A maior abundância durante o período seco nas áreas de pastagem pode ser explicada pela combinação de fatores ecológicos que favorecem espécies generalistas em ambientes mais abertos e perturbados. Durante a estação seca pode ocorrer uma redução da diversidade de espécies, diminuindo a competição e tornando sua dominância mais evidente (Queiroz et al. 2023). Além disso, as temperaturas mais baixas podem reduzir o forrageamento das formigas (Andersen, 1995; Coelho, 2011 apud Hölldobler; Wilson, 1990), mas as condições

abertas, perturbadas e mais quentes nas pastagens durante a estação seca criam um ambiente onde predadores generalistas que vivem no solo podem prosperar, enquanto áreas restauradas e de mata sustentam populações generalistas mais diversificadas, mas menos abundantes, devido a condições mais frias e úmidas (Wilker et al. 2023; Hethcoat et al. 2019).

Tabela 5 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Abundância de predadores generalistas de solo

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	4.009	6.754	0.008
Erro 1	15	0.594		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	2.723	5.908	0.028
Estação x Tipo	2	2.495	5.413	0.017
Erro 2	15	0.461		

Figura 6 - Abundância de predadores generalistas de solo (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca. Letras distintas representam diferenças significativas nas médias conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$). Minúsculas representam a estação chuvosa e maiúsculas a seca



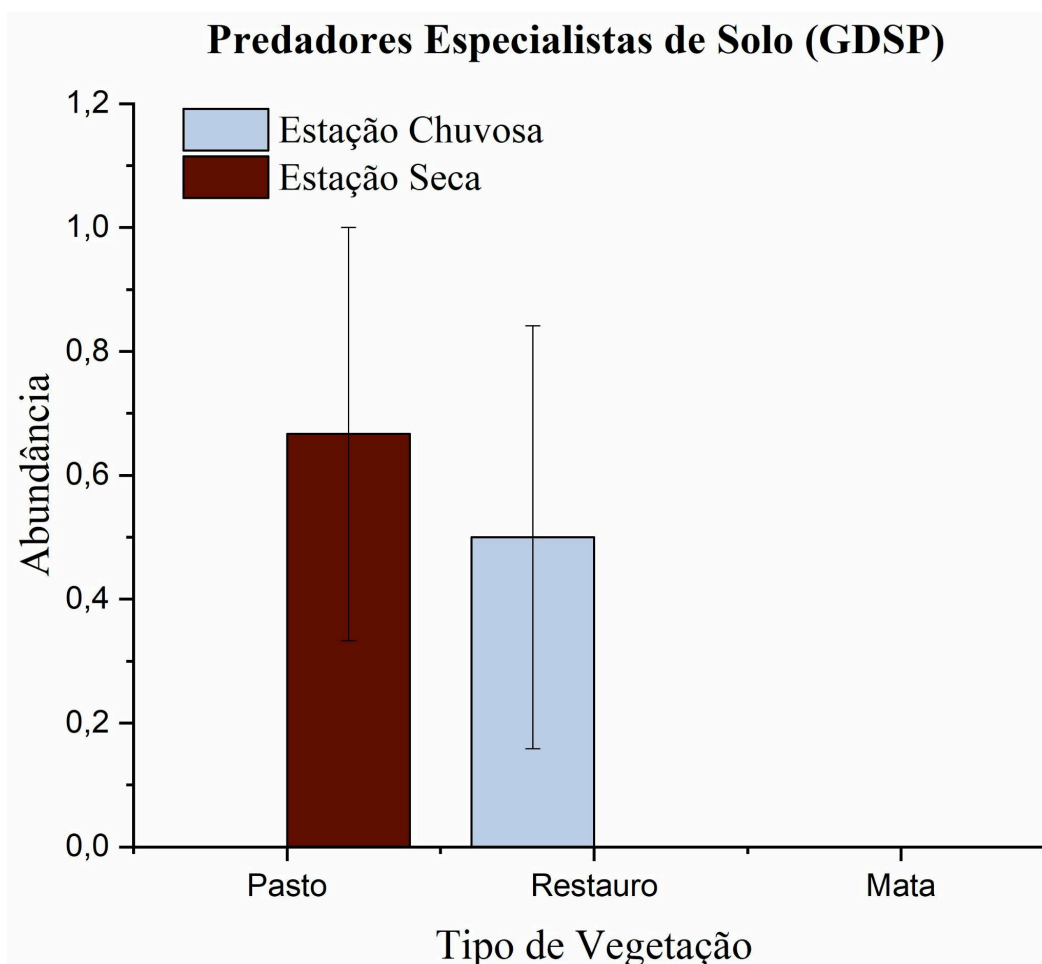
Também há interação entre os fatores para a abundância dos predadores especialistas de solo (Tabela 6). Nos testes post-hoc foi visto que houve diferença na estação seca, em que o pasto diferiu do restauro e da mata, onde não foram encontrados indivíduos deste grupo funcional nesse período. Na estação chuvosa não foi identificada diferença na abundância entre os tipos de solo (Figura 7).

Porém, esses resultados podem não ser representativos da realidade do habitat e comportamento desse grupo funcional, pois apenas uma espécie (*Strumigenys denticulata*) foi coletada, tendo uma ocorrência baixa de apenas sete indivíduos, sendo três no restauro durante a estação chuvosa e quatro no pasto na estação seca. É possível que a ocorrência de *S. denticulata* não seja frequente na área de estudo, por ter sido pouco encontrada mesmo sendo considerada a espécie mais comum de formigas de serapilheira no Brasil (Suguituru et al. 2015).

Tabela 6 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Abundância de predadores especialistas de solo

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	0.137	1.794	0.200
Erro 1	15	0.076		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	0.013	0.175	0.682
Estação x Tipo	2	0.384	5.033	0.021
Erro 2	15	0.076		

Figura 7 - Abundância de predadores especialistas de solo (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca

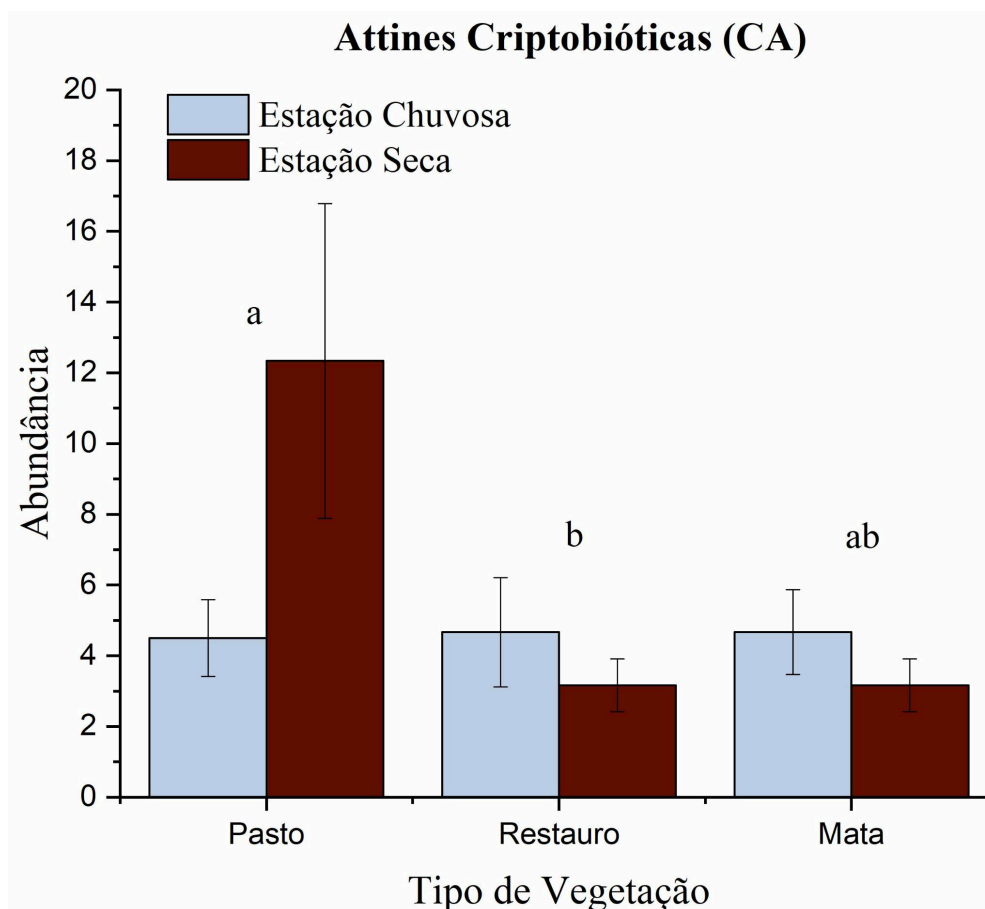


Quanto à abundância das attines criptobióticas, a análise demonstrou que houve diferenças apenas em relação ao tipo de uso do solo, sem efeitos da estação e da interação dos fatores (Tabela 7). O teste de Tukey indicou menor abundância no restauro em relação à pastagem, enquanto a mata foi similar a ambos os tipos ; apesar de não aparecer nos testes, na pastagem a estação do ano aparenta exercer influência sobre a abundância, que foi maior na seca (Figura 8).

Tabela 7 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Abundância de attines criptobióticas

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	1.271	4.304	0.033
Erro 1	15	0.295		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	0.081	0.153	0.701
Estação x Tipo	2	0.969	1.839	0.193
Erro 2	15	0.527		

Figura 8 - Abundância de attines criptobióticas (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca. Letras distintas representam diferenças significativas nas médias conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$)



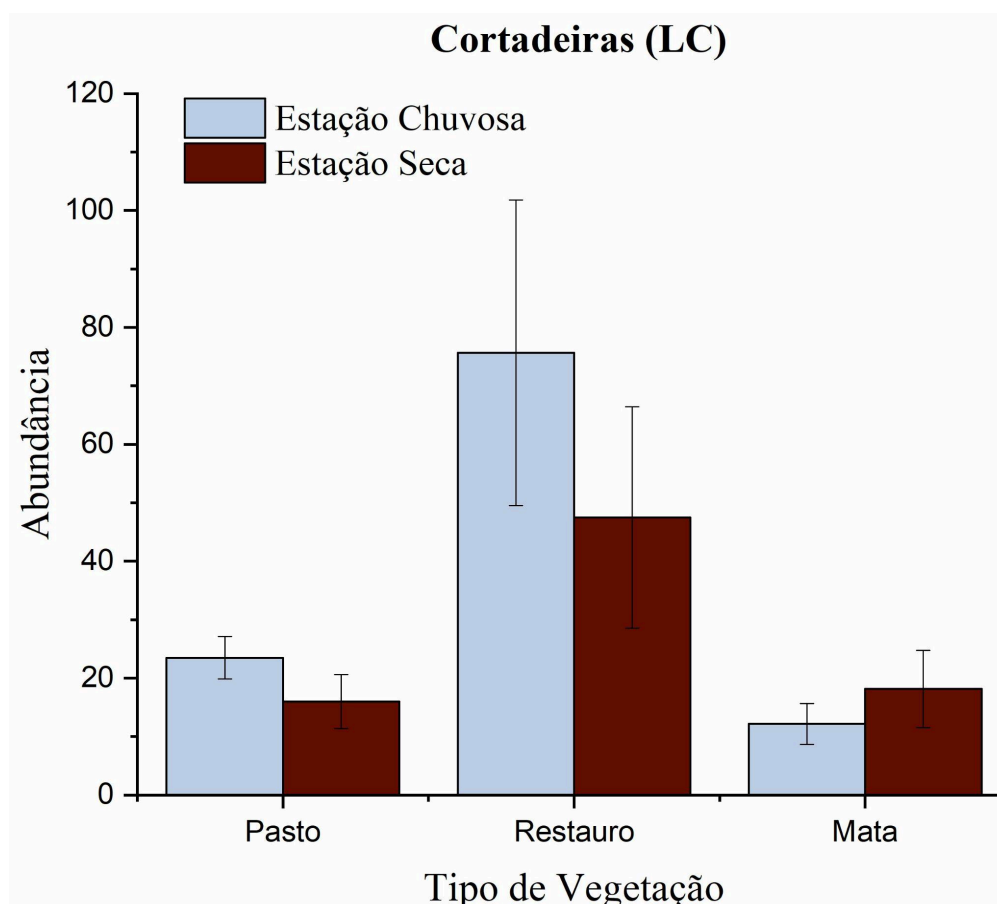
As formigas cortadeiras não apresentaram diferenças significativas em relação a nenhum dos fatores, também não ocorrendo interação entre eles (Tabela 8). Desse modo, as abundâncias são similares independente do tipo de vegetação e estação do ano, apesar de haver uma tendência à maior abundância no restauro (Figura 9).

A resiliência e hábitos generalistas das formigas cortadeiras, combinadas com sua capacidade de substituir espécies menos tolerantes, contribuem para sua abundância semelhante em todos os tipos de uso do solo (Barrera; Buffa; Valadares, 2015). Porém, áreas restauradas podem sustentar uma maior atividade das colônias e, potencialmente, uma maior abundância em comparação com florestas primárias e pastagens, por conterem mais espécies de plantas pioneiras; as cortadeiras tem uma preferência em relação às pioneiras devido à sua palatabilidade e menor defesa química, atraindo essas formigas (Farji-Brener, 2001).

Tabela 8 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Abundância de cortadeiras

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	5.030	3.308	0.065
Erro 1	15	1.521		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	1.574	2.216	0.157
Estação x Tipo	2	0.436	0.614	0.554
Erro 2	15	0.710		

Figura 9 - Abundância de cortadeiras (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca



Os resultados obtidos nos testes realizados separadamente para cada grupo funcional mostraram que o tipo de uso do solo, sozinho, foi o principal fator a alterar a abundância, tendo um efeito significativo para os onívoros arbóreos, onívoros generalistas e attines criptobióticas. Para esse primeiro grupo, a abundância foi menor nas parcelas de pastagem, devido à ausência de árvores; no segundo, a maior abundância foi observada no pasto, contendo 71.86% dos indivíduos coletados, o que evidencia a dominância de grupo nesse tipo de uso; em relação ao terceiro, o restauro se diferencia do pasto e a mata representa um intermediário entre ambos, sendo a maior abundância também encontrada no pasto.

A interação entre os dois fatores foi verificada em dois grupos: predadores generalistas de solo e predadores especialistas de solo, apesar do último não apresentar resultados representativos por conta da baixa representatividade. Apenas durante a estação seca os predadores generalistas expressaram diferenças entre tipo de uso, com o restauro possuindo a menor abundância. Os predadores arbóreos e as formigas cortadeiras não exibiram diferenças significativas em relação a nenhum dos fatores.

Estrutura das comunidades

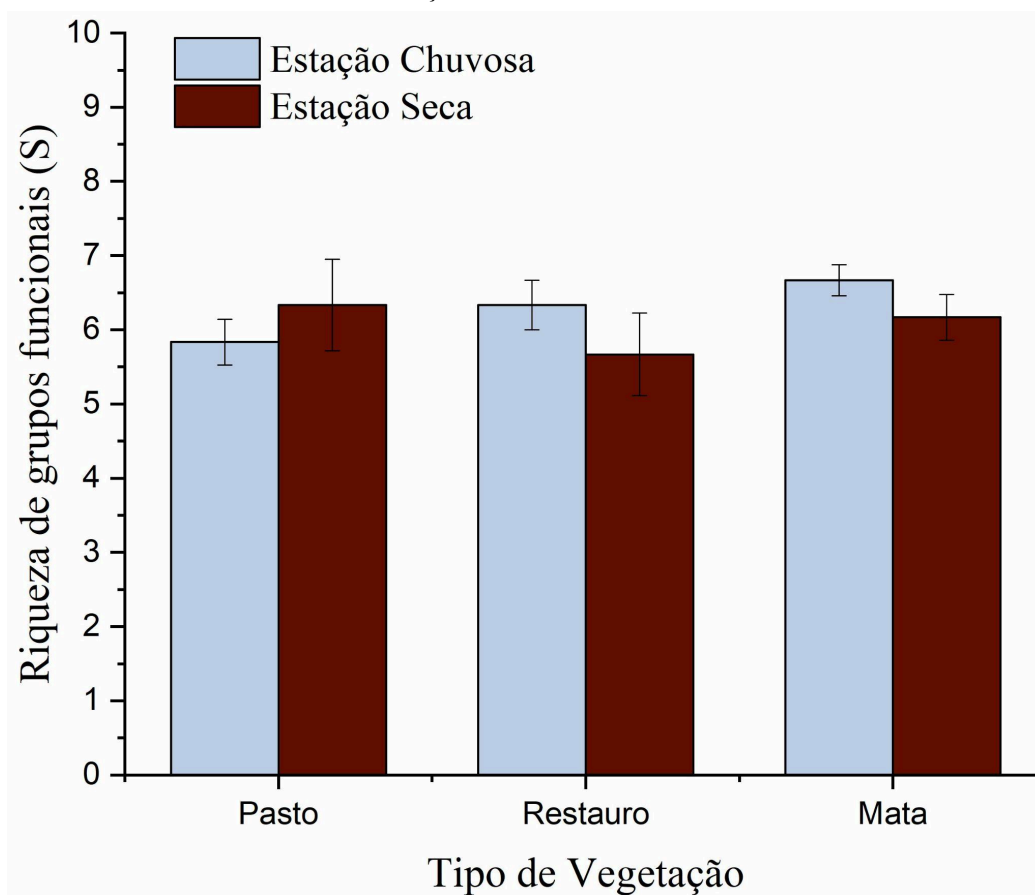
Em relação à riqueza de grupos funcionais, não foi encontrada diferença significativa entre os tipos de uso do solo e das estações do ano, além de não ocorrer interação entre esses dois fatores (Tabela 9). Desconsiderando o grupo Predadores Especialistas de Solo, que possui apenas uma morfoespécie representante e uma baixa ocorrência, todos os outros grupos funcionais foram encontrados em todos os tipos de uso e nas duas estações (Figura 10).

Em geral, espécies de grupos funcionais especializados são mais frequentes em floresta primária, enquanto aquelas pertencentes a grupos generalistas e oportunistas são mais encontradas em pastagens, porém esse fenômeno não reflete obrigatoriamente na riqueza dos grupos (Costa; Knoechelmann; da Silva Siqueira, 2023; García-Martínez, 2015). Ao contrário da riqueza taxonômica que tende a diminuir em ambientes antropizados, a riqueza de grupos funcionais tende a sofrer efeitos distintos, ou mesmo não sofrer efeitos expressivos com a mudança de tipos de uso do solo e sazonalidade (Leal et al. 2012; Rabello et al. 2021). Como diversas espécies apresentam uma funcionalidade similar, mesmo que estas não ocupem todos os tipos de uso e épocas, é possível ocorrerem substituições dentro dos grupos funcionais, deixando esse aspecto da biodiversidade menos sensível às mudanças (Rabello et al. 2021). Entretanto, mesmo que haja ocorrência de todos os grupos, a abundância dos mesmos pode afetar a eficiência da função ecológica exercida.

Tabela 9 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Riqueza de grupos funcionais

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	0.583	0.739	0.494
Erro 1	15	0.789		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	0.444	0.348	0.564
Estação x Tipo	2	1.194	0.935	0.414
Erro 2	15	1.278		

Figura 10 - Riqueza de grupos funcionais (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca



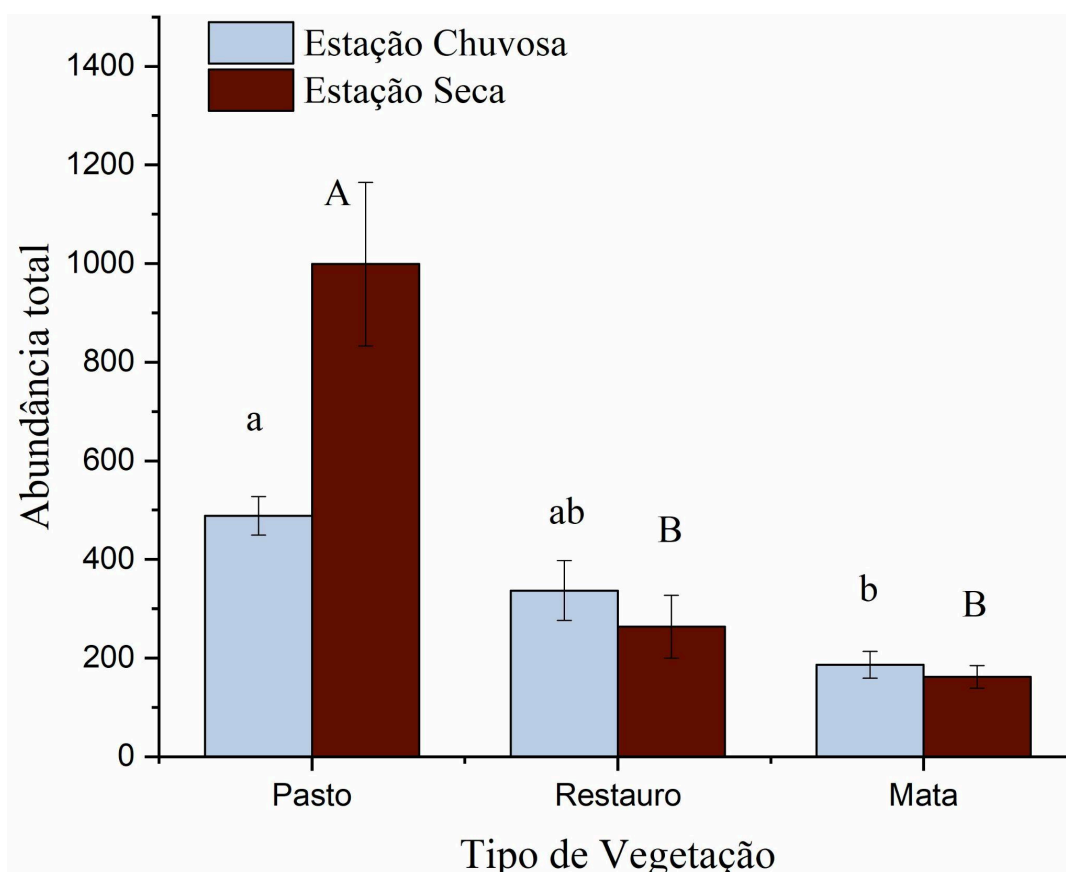
Ao analisar a abundância total, verificou-se a ocorrência de interação entre os dois fatores, ou seja, as diferenças entre usos do solo dependem da estação do ano (Tabela 10). Na estação chuvosa a abundância no pasto é maior que a da mata, enquanto o restauro é intermediário entre ambos; na estação seca, a abundância no pasto foi maior que no restauro e na mata, que por sua vez não diferiram entre si. Além disso, as maiores diferenças entre as estações do ano foram observadas no pasto, enquanto na mata e no restauro as diferenças foram menores (Figura 11).

A maior abundância total observada na pastagem condiz com o grande número de indivíduos do grupo Onívoros Generalistas, em que 71,9% foi coletado nas parcelas de pasto, refletindo a variação deste grupo. Como indicado acima, os resultados nesse tipo de uso do solo demonstram um padrão atípico, tendo um aumento de abundância no período seco. A atividade das formigas pode se alterar de diferentes maneiras durante o ano, por conta da interferência de fatores abióticos e bióticos, mas há uma forte tendência na diminuição da abundância e riqueza de espécies durante a estação seca, devido ao estresse ambiental pela redução de umidade e da disponibilidade de recurso (Kass et al. 2023; Queiroz et al. 2023).

Tabela 10 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para Abundância total de formigas

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	1073585.444	23.223	< 0.001
Erro 1	15	46229.533		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	170569.000	5.751	0.030
Estação x Tipo	2	314841.000	10.615	0.001
Erro 2	15	29659.933		

Figura 11 - Abundância total de formigas (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca. Letras distintas representam diferenças significativas nas médias conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$). Minúsculas representam a estação chuvosa e maiúsculas a seca



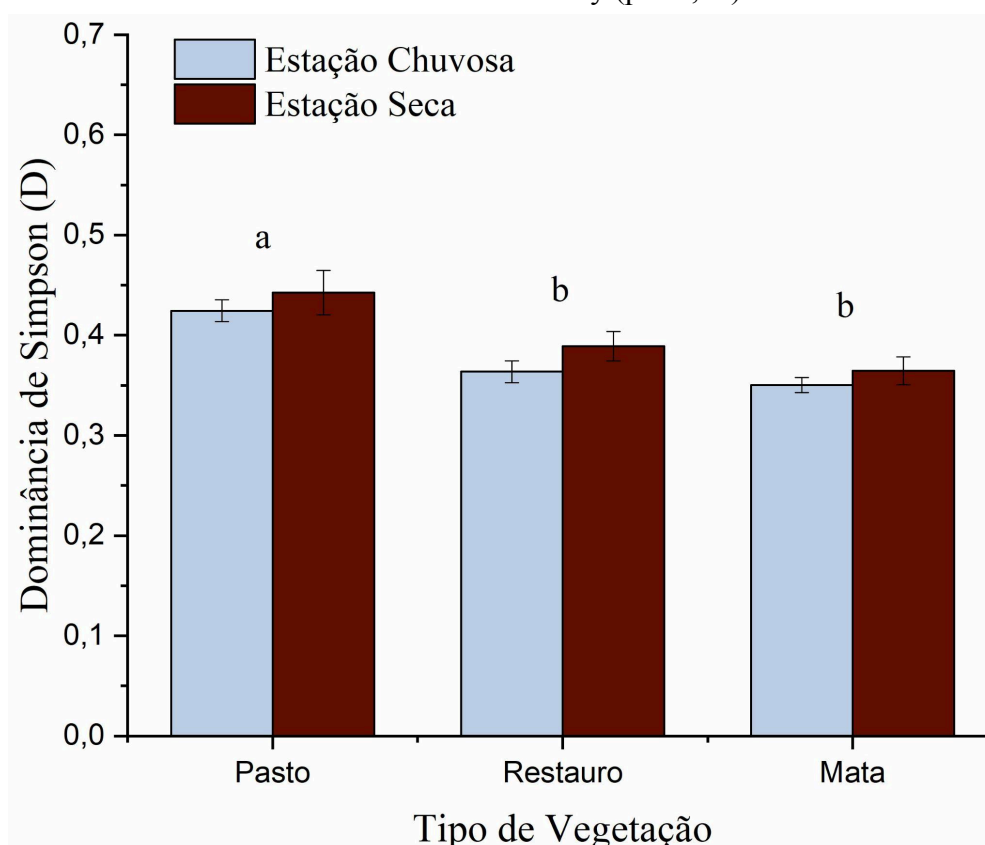
No caso do Índice de Dominância de Simpson, não há interação entre os fatores, mas há diferenças entre os tipos de uso e uma tendência à diferenças entre as estações (Tabela 11). A partir do teste de Tukey, foi verificada maior dominância no pasto que na mata e restauro, que não diferiram entre si (Figura 12). Por conta da homogeneidade do pasto e, conseqüentemente, sua menor oferta de recursos e habitats variados, esse tipo de uso do solo favorece as formigas oportunistas e generalistas, como as do gênero *Pheidole* que foram

coletadas em grande número nas parcelas de pastagem, ocasionado em uma forte dominância dessas espécies e de seus grupos funcionais (de Souza Dutra et al. 2024).

Tabela 11 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para o Índice de Dominância de Simpson

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	0.019	12.175	0.001
Erro 1	15	0.002		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	0.003	4.006	0.064
Estação x Tipo	2	0.000	0.119	0.888
Erro 2	15	0.001		

Figura 12 - Índice de Dominância de Simpson (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca. Letras distintas representam diferenças significativas nas médias conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$)



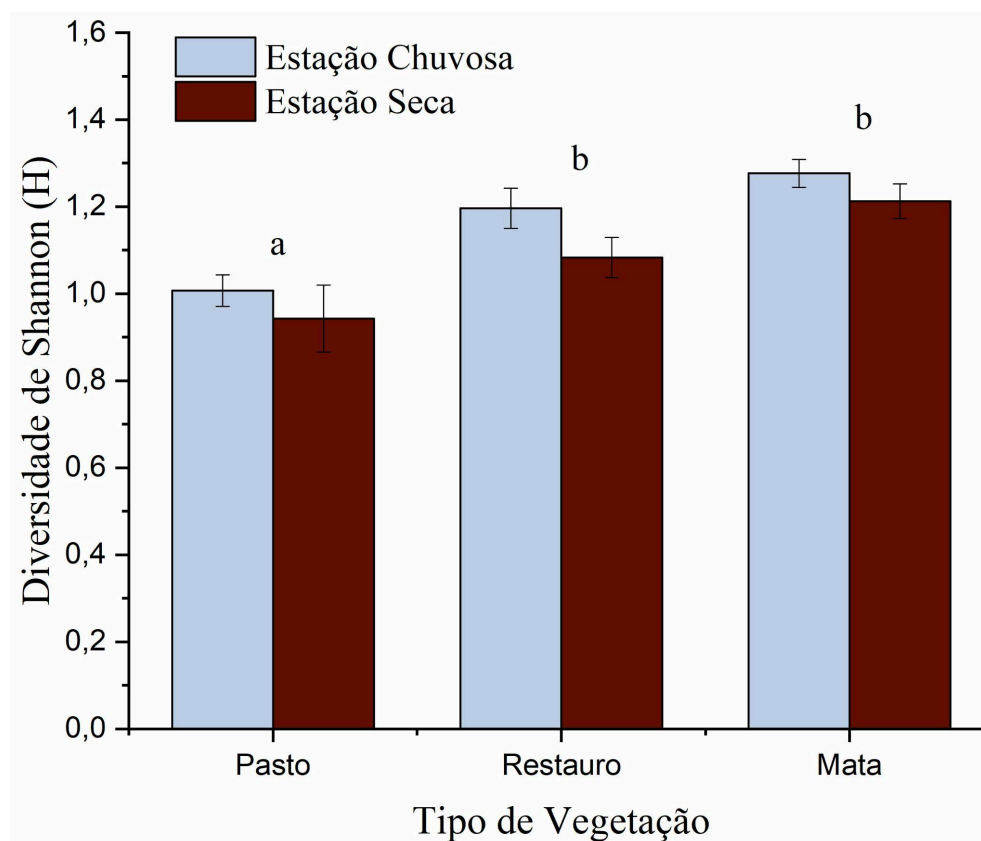
O Índice de Diversidade de Shannon também não apresentou interação entre fatores, porém o efeito do tipo de uso do solo e da estação do ano sobre a diversidade foi significativo (Tabela 12). Foi encontrada uma maior diversidade durante a estação chuvosa para os três tipos de uso, possivelmente devido a condições mais favoráveis e maior disponibilidade de recursos variados (Queiroz et al. 2023).

Além disso, a análise post-hoc evidenciou o padrão inverso da dominância, com menor diversidade no que o pasto que na mata e no restauro, que não diferiram (Figura 13). A heterogeneidade e complexidade estrutural presente no remanescente e na área restaurada permite que mais formigas de diferentes grupos funcionais possam habitar e forragear nesses locais, obtendo assim uma diversidade funcional superior, apesar da abundância total ser maior na pastagem (Nooten et al. 2019; Groc et al. 2014).

Tabela 12 - Análise de Variância de Medidas Repetidas para o Índice de Diversidade de Shannon-Weaver

Fonte	gl	QM	F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	0.222	14.014	< 0.001
Erro 1	15	0.016		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	0.058	4.691	0.047
Estação x Tipo	2	0.002	0.194	0.826
Erro 2	15	0.012		

Figura 13 - Índice de Diversidade de Shannon-Weaver (+erro padrão) para os tipos de uso do solo nas estações chuvosa e seca. Letras distintas representam diferenças significativas nas médias conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$)



Apesar da ausência de diferenças significativas na riqueza de grupos funcionais, a maior diversidade encontrada na estação chuvosa e na mata e no restauro corrobora os resultados esperados pela hipótese 1 e evidencia a distinção na estrutura dessas comunidades. Além disso, reforça que a utilização da riqueza como métrica é insuficiente, em razão de ser pouco sensível às mudanças na estruturação, considerando as substituições dentro de grupos. Em relação à abundância total, mesmo que tenha sido maior na pastagem isso resulta principalmente das grandes populações de espécies generalistas e dominantes, coincidindo com a alta dominância observada no pasto. Tal padrão de dominância reduz a diversidade funcional, pois poucos grupos passam a representar a maior parte dos indivíduos coletados; no caso, os Onívoros Generalistas. Em contraste, a mata e a área restaurada apresentaram maior diversidade e menor dominância, sugerindo comunidades mais equilibradas e ambientes mais complexos e heterogêneos que reduzem a pressão competitiva.

A proximidade entre os valores de diversidade e dominância encontrados no remanescente florestal e na área restaurada sugere que, após dez anos, o processo de restauração já recuperou atributos ecológicos fundamentais ligados à complexidade ecológica, heterogeneidade estrutural e ao funcionamento da comunidade.

Composição funcional das comunidades

Com base no índice de similaridade de Bray-Curtis, a PERMANOVA indicou que há diferença na composição funcional entre as comunidades em relação ao tipo de uso do solo. Também indicou a ausência de interação entre os fatores e do efeito da estação do ano (Tabela 13). O teste de comparações múltiplas mostrou que cada tipo de vegetação diferiu significativamente entre si: mata e pasto ($p = 0.0021$); mata e restauro ($p = 0.0087$); e pasto e restauro ($p = 0.0014$).

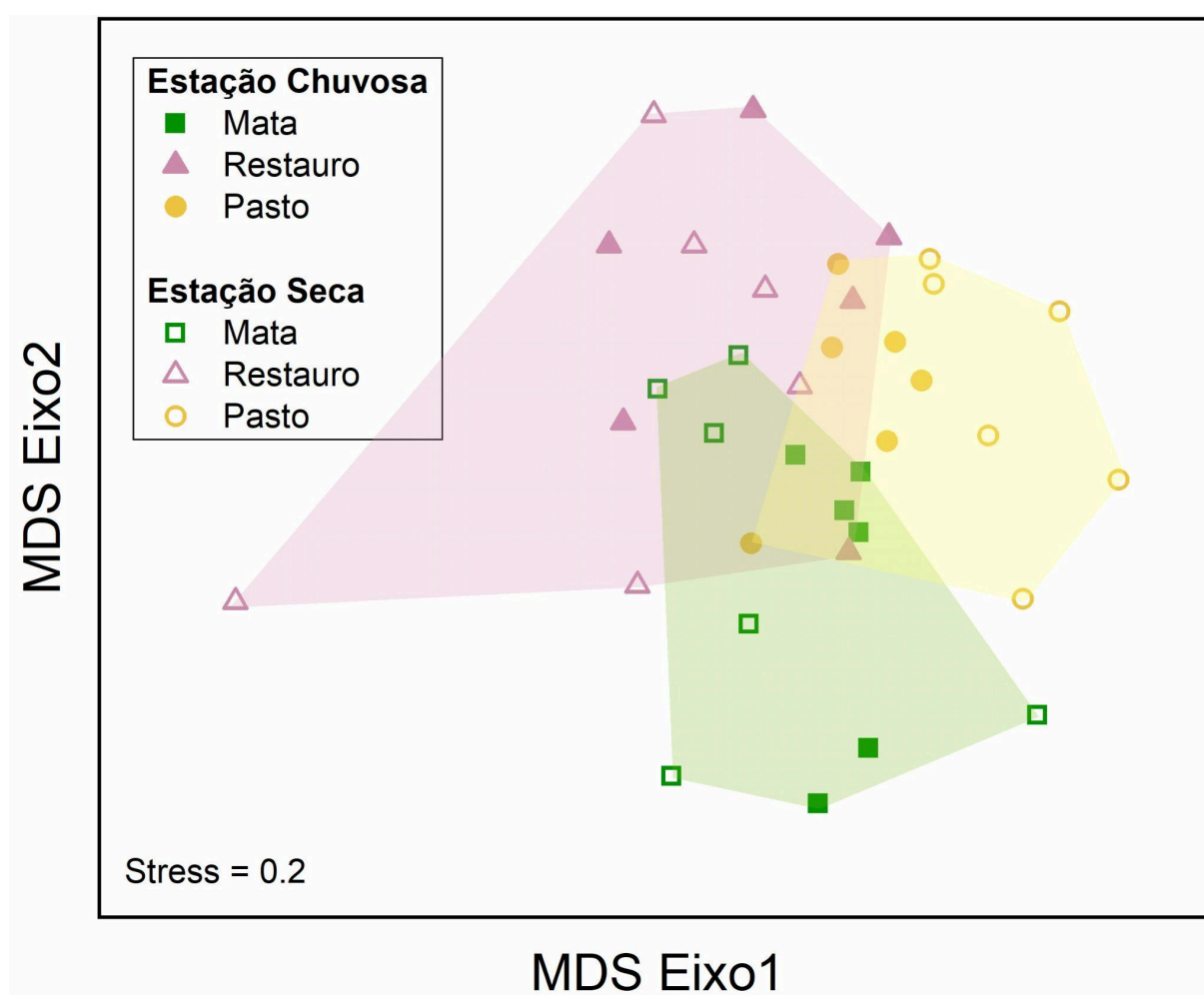
O MDS mostra que as comunidades têm uma certa sobreposição, mas que ao invés da área restaurada formar um gradiente de transição entre o remanescente de floresta e a pastagem, adquiriu suas próprias características ao longo de sua evolução, contendo uma composição funcional de formigas diferente dos outros tipos (Figura 14). Áreas em restauração geralmente apresentam condições distintas tanto de pastagens quanto de remanescentes florestais, o que gera variações ambientais que podem selecionar um conjunto específico de características funcionais das formigas, resultando em um estado alternativo; a forma com que a fauna pode reagir a restauração é complexa, nem sempre convergindo com a da floresta primária (Lawes et al. 2017). Embora intervenções de restauração possam promover melhorias significativas em ambientes degradados, elas ainda apresentam

limitações para restabelecer ecossistemas em suas condições históricas (Dalle Laste; Durigan; Andersen, 2019).

Tabela 13 - PERMANOVA considerando-se o Índice de Similaridade de Bray-Curtis

Fonte	gl	QM	Pseudo-F	p
<i>Entre objetos</i>				
Tipo	2	1417.5	5.9898	0.0001
Erro 1	15	236.65		
<i>Dentro de objetos</i>				
Estação	1	154.46	0.68852	0.547
Estação x Tipo	2	487.65	2.1737	0.0729
Erro 2	15	224.34		

Figura 14 - Ordenação das parcelas por MDS em diferentes tipos de uso do solo em ambas estações do ano considerando o índice de similaridade de Bray-Curtis



Estudos sobre comunidades de formigas apresentam respostas díspares em projetos de restauração. Alguns indicam uma grande convergência entre o restauro e a floresta madura, como o analisado por Lawes et al. (2017), enquanto outros mostram que florestas restauradas ou secundárias podem abrigar comunidades de formigas com alta diversidade funcional, mas

com combinações de características distintas em comparação com locais degradados e de referência, como de Dalle Laste, Durigan e Andersen (2019) e Jiménez-Carmona et al. (2020).

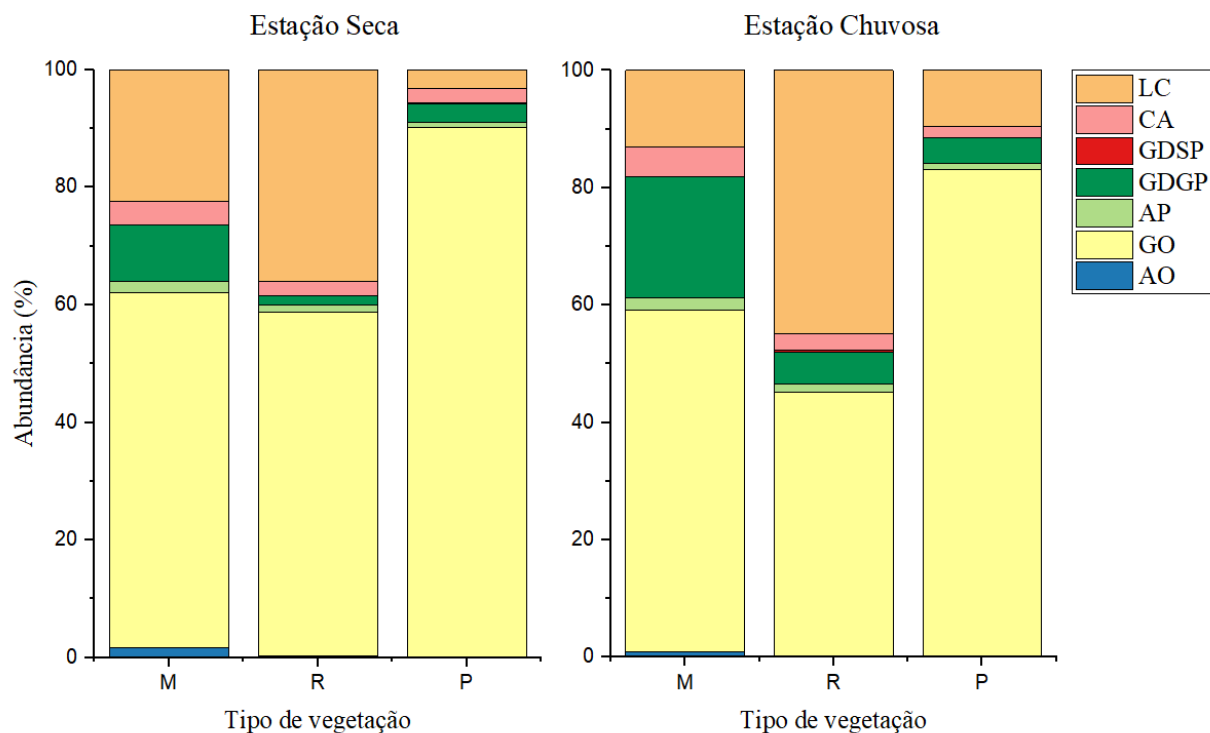
No estudo de Lawes et al. (2017), a maior similaridade entre comunidades do restauro com a mata de referência ocorreu nas áreas em que havia um dossel fechado bem desenvolvido, reforçando a perspectiva de que colonização de formigas da floresta adjacente depende do sombreamento, além de diminuir a ocorrência de formigas típicas de pastagens; porém, mesmo após 24 anos de restauração, as comunidades do restauro não atingiram o estado da floresta primária, por conta de filtros ambientais e de dispersão. O processo de restauração demora a reproduzir a complexidade das florestas de referência, especialmente características do solo e sub-bosque, consequentemente tendo uma composição de formigas distinta, porém com evoluções em relação à pastagens.

Variáveis como efeito de borda, fatores abióticos, perturbação antrópica, estressores e o efeito de legado podem impedir que a composição funcional assemelhe-se com a mata de referência. Por conta da área restaurada ter sido utilizada anteriormente para pastagem de gado, podem ter sido gerados impactos persistentes como compactação e alteração das características do solo, assim como de sua comunidade microbiana, o que pode afetar a resposta do local ao processo de restauração ecológica (Dalle Laste; Durigan; Andersen, 2019; Jiménez-Carmona et al. 2020; Suganuma; Durigan, 2015; Turley et al. 2020).

Avaliando a similaridade média entre grupos, as comunidades mais parecidas foram a mata e o pasto (76.31%), seguida por mata e restauro (75.46%) e, por fim, pasto e restauro (74.53%). Em relação à similaridade média dentro de grupos, o pasto apresentou a maior similaridade entre parcelas (82.19%), devido ao seu aspecto homogêneo e com dominância de certas espécies, principalmente de onívoros generalistas (Figuras 14 e 15). A mata também possuiu alta similaridade (80.18%), visto que a floresta já está bem estabelecida e estruturada, tendo a menor dominância e a maior abundância de predadores generalistas de solo e onívoros arbóreos entre os tipos de uso do solo, mostrando a maior variedade de habitats distintos ao longo da APP que reflete em uma comunidade mais equilibrada (Figuras 14 e 15). A menor similaridade foi encontrada no restauro (75.75%), que apresentou uma maior variação entre as parcelas, característica gerada pelo processo de sucessão ecológica e pelo gradiente de fertilidade do solo. Na área restaurada houve uma maior ocorrência de formigas cortadeiras (Figuras 14 e 15), que foram coletadas principalmente nas parcelas 1 e 2, com crescimento vegetal beneficiado pelo aporte de nutrientes proveniente do estábulo; consequentemente, há maior dominância de cortadeiras nessas parcelas, fazendo com que a composição seja

influenciada pelo gradiente. Também foi observada uma diminuição das formigas generalistas onívoras e predadoras no restauro em relação ao pasto, que indica um aumento da heterogeneidade em decorrência da sucessão. Nesse quesito, o restauro tende a se distinguir da pastagem e abrigar formigas com hábitos mais especializados.

Figura 15 - Distribuição proporcional da abundância de formigas por grupo funcional na mata (M), restauro (R) e pasto (P) nas duas estações do ano



Assim, os resultados sugerem que embora todos os tipos de uso do solo compartilhem os mesmos grupos funcionais, cada ambiente molda de maneira distinta a organização e estrutura desses grupos, resultando em composições características. O restauro apresenta maior similaridade com o remanescente florestal e menor similaridade entre parcelas, refletindo um sistema em transição, no qual processos sucessionais ainda estão em curso, gerando maior heterogeneidade e permitindo o estabelecimento de combinações funcionais próprias (Jiménez-Carmona et al. 2020).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo evidenciou que a composição funcional das comunidades de formigas é influenciada principalmente pelo tipo de uso do solo, enquanto a sazonalidade exerce efeitos mais sutis e, em muitos casos, dependentes do grupo funcional analisado. De modo geral, a pastagem apresentou maior abundância total e maior dominância, resultado da forte presença de espécies generalistas. Em contraste, o remanescente florestal e a área restaurada apresentaram maior diversidade funcional e menor dominância, refletindo ambientes mais heterogêneos, com maior oferta de micro-habitats e recursos distribuídos de forma mais equilibrada. A ausência de diferenças significativas na riqueza de grupos funcionais entre os tipos de uso do solo e entre as estações confirma que esse atributo é pouco sensível às mudanças ambientais, possivelmente devido à redundância funcional. Entretanto, a diversidade funcional, medida pelo índice de Shannon, mostrou-se mais eficiente em detectar variações estruturais, sendo superior no remanescente e no restauro, e consistentemente maior na estação chuvosa.

A PERMANOVA indicou diferenças na composição funcional entre os três tipos de uso do solo, mostrando que embora o restauro compartilhe grupos funcionais com os demais ambientes, ele vem desenvolvendo uma composição própria. Esse padrão reforça que projetos de restauração podem não necessariamente convergir para o estado de referência, mas ainda assim desempenham um papel importante na reestruturação funcional das comunidades, nos quais processos sucessionais, gradientes ambientais e efeitos de legado moldam novas combinações funcionais.

Assim, após dez anos de implementação, a área restaurada apresenta avanços importantes, aproximando-se do remanescente florestal em termos de diversidade e estrutura, mas desenvolvendo particularidades. Os resultados reforçam a relevância das métricas funcionais no monitoramento de projetos de restauração ecológica, demonstrando que elas podem ser mais sensíveis e informativas do que métricas apenas taxonômicas. Além disso, evidenciam que a sazonalidade modula a atividade e abundância de grupos específicos, mas não altera significativamente a composição funcional como um todo.

Por fim, o estudo contribui para o entendimento da resposta das formigas, um grupo-chave para o funcionamento dos ecossistemas em contextos de restauração florestal, destacando a importância de analisar a funcionalidade durante o monitoramento de projetos de restauração ecológica para avaliar seu sucesso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSEN, Alan N. A classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. **Journal of Biogeography**, p. 15–29, 1995.
- ANDERSEN, A. N.; MAJER, J. D. Ants Show the Way Down Under: Invertebrates as Bioindicators in Land Management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, p. 291, 2004.
- ANDERSON, M. J. A new method for non parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, p. 32–46, 2001. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x/full>.
- ANTWEB. Version 8.114. California Academy of Science. Disponível em: <https://www.antweb.org>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- AUCLERC, A.; BEAUMELLE, L.; BARANTAL, S.; CHAUVAT, M.; CORTET, J.; DE ALMEIDA, T.; DULAURENT, A.-M.; DUTOIT, T.; JOIMEL, S.; SÉRÉ, G.; BLIGHT, O. Fostering the use of soil invertebrate traits to restore ecosystem functioning. **Geoderma**, v. 424, p. 116019, 2022.
- BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNÁNDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. L. P.; SOLAR, R. R. C. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Manaus: **INPA**, 2015. 386 p.
- BARRERA, Corina A.; BUFFA, Liliana M.; VALLADARES, Graciela. Do leaf-cutting ants benefit from forest fragmentation? Insights from community and species-specific responses in a fragmented dry forest. **Insect Conservation and Diversity**, v. 8, n. 5, p. 456–463, 2015.
- BRANDÃO, Carlos R. F.; SILVA, Rogério R.; DELABIE, Jacques H. C. Neotropical ants (Hymenoptera) functional groups: nutritional and applied implications. In: PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. (Ed.). *Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management*. Boca Raton: **CRC Press**, 2012. p. 213–236.
- BRUSSAARD, L. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. **Applied Soil Ecology**, v. 9, p. 123–135, 1998.
- BROWN, G. R.; MATTHEWS, I. M. A review of extensive variation in the design of pitfall traps and a proposal for a standard pitfall trap design for monitoring ground-active arthropod biodiversity. **Ecology and Evolution**, v. 6, p. 3953–3964, 2016.
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. D.; FONSECA, O. D.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. Os solos da fazenda Canchim. Rio de Janeiro: **Embrapa-CNPS**, 1998.
- CAMARGO-VANEGAS, Jose; MIRANDA, Luz Adriana; PÉREZ-COLETI, Andrea; CAMARGO, Carlos; DOBLES-MAYORGA, Efen; ARMBRECHT, Inge. The Taxonomic and Functional Diversity of Leaf-Litter Dwelling Ants in the Tropical Dry Forest of the Colombian Caribbean. **Diversity**, v. 16, n. 11, p. 687, 2024.
- CASIMIRO, Mariana S.; SANSEVERO, Jerônimo B. B.; QUEIROZ, Jarbas M. What can ants tell us about ecological restoration? A global meta-analysis. **Ecological Indicators**, v. 102, p. 593–598, 2019.

- CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology**, v. 18, p. 117–143, 1993.
- COELHO, Renata Cristina de Souza; SILVA, Natália Rodrigues; ALMEIDA, Waleska Pimenta de; RIBEIRO, Leandro Freitas; MAIA, Leandro Souto; DO NASCIMENTO, Carlos Eduardo. Comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) do estrato arbustivo-arbóreo em fragmentos florestais de Mata Atlântica no Rio de Janeiro. 2011.
- COLEMAN, D.; CALLAHAM JR., M.; CROSSLEY JR., D. *Fundamentals of Soil Ecology*. 2. ed. London: **Academic Press**, 2018.
- COSTA, Isabella Máxia Coelho; KNOECHELMANN, Clarissa Mendes; DA SILVA SIQUEIRA, Felipe Fernando. Effect of habitat quality on the biodiversity of ant genera and functional groups in a riparian forest area of the Tauarizinho River in Eastern Amazonia. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, p. e19712340636, 2023.
- DALLE LASTE, Keila Caroline; DURIGAN, Giselda; ANDERSEN, Alan N. Biodiversity responses to land-use and restoration in a global biodiversity hotspot: Ant communities in Brazilian Cerrado. **Austral Ecology**, v. 44, n. 2, p. 313–326, 2019.
- DANTAS, A.; MENEZES, R. F.; RIBEIRO-NETO, J. D.; ALENCAR, J. B. R.; BRITO, C. H. de. Rainy season decreases ground-dwelling ant richness, but increases the difference in species composition in a tropical relictual mountain forest. **Tropical Ecology**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42965-024-00344-x>.
- DE ALMEIDA, T.; ARNAN, X.; CAPOWIEZ, Y.; HEDDE, M.; MESLÉARD, F.; DUTOIT, T.; BLIGHT, O. Ants in restoration ecology: Why, what's and the way forward. **Land Degradation and Development**, v. 35, p. 1284–1295, 2024.
- DE ARRUDA, F. V.; CAMAROTA, F.; RAMALHO, W. P.; IZZO, T. J.; SANTOS ALMEIDA, R. P. Seasonal variation of ground and arboreal ants in forest fragments in the highly-threatened Cerrado–Amazon transition. **Journal of Insect Conservation**, v. 25, p. 897–904, 2021.
- DE SOUZA DUTRA, Dhâmyla Bruna; OLIVEIRA, Milton Luiz; GONÇALVES, Débora de Andrade; FREITAS, Ana Vanessa Leal de; SILVA, Rodrigo Feitosa da; SANTOS, Ives; CARVALHO, Kátia Sampaio. Ant habitat-use guilds response to forest-pasture shifting in the southwestern Amazon. **Journal of Insect Conservation**, v. 28, n. 2, p. 305–313, 2024.
- DEL TORO, I.; RIBBONS, R. R.; PELINI, S. L. The little things that run the world revisited: A review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 17, p. 133–146, 2012.
- FARJI-BRENER, Alejandro G. Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forests than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis. **Oikos**, v. 92, n. 1, p. 169–177, 2001.
- FOLGARÁIT, Patricia J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: A review. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, p. 1221–1244, 1998.
- FRANÇA, E. C. B.; LATTKE, J. E.; FERNANDES, I. O. Revisão taxonômica do gênero *Odontomachus* Latreille, 1804 (Hymenoptera: Formicidae) no Brasil. 2021.

GARCÍA-MARTÍNEZ, Miguel Á.; ANAYA-ROSAS, Roberto; IVANOVA-BONCHEVA, Silvia; CANO-SANTANA, Zenón; MARTÍNEZ-FALCÓN, Ana P. Taxonomic, species and functional group diversity of ants in a tropical anthropogenic landscape. **Tropical Conservation Science**, v. 8, n. 4, p. 1017–1032, 2015.

GOLLAN, John R.; DE BRUYN, Louise L.; REID, Nick; SMITH, Dianne; WILKIE, Leslie. Can ants be used as ecological indicators of restoration progress in dynamic environments? A case study in a revegetated riparian zone. **Ecological Indicators**, v. 11, p. 1517–1525, 2011.

GROC, Sylvain; DELABIE, Jacques H. C.; FERNÁNDEZ, Fernando; LEPONCE, Maurice; ORIVEL, Jérôme; SILVESTRE, Roger; DEJEAN, Alain. Leaf-litter ant communities (Hymenoptera: Formicidae) in a pristine Guianese rainforest: stable functional structure versus high species turnover. **Myrmecological News**, v. 19, p. 43–51, 2014.

HALE, R.; REICH, P.; DANIEL, T.; LAKE, P. S.; CAVAGNARO, T. R. Assessing changes in structural vegetation and soil properties following riparian restoration. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 252, p. 22–29, 2018.

HEDĚNEC, P.; JIMÉNEZ, J. J.; MORADI, J.; DOMENE, X.; HACKENBERGER, D.; BAROT, S.; FROSSARD, A.; OKTABÁ, L.; FILSER, J.; KINDLMANN, P.; FROUZ, J. Global distribution of soil fauna functional groups and their estimated litter consumption across biomes. **Scientific Reports**, v. 12, p. 17362, 2022.

HETHCOAT, Matthew G.; TURVEY, R.; LEWIS, O. T.; WILLS, M. A. The impact of secondary forest regeneration on ground-dwelling ant communities in the Tropical Andes. **Oecologia**, v. 191, n. 2, p. 475–482, 2019.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Gráficos climatológicos: precipitação acumulada e temperatura média (1991–2020). Estação São Carlos – 83726, São Paulo. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

JIMÉNEZ-CARMONA, Elisabeth; BLONDET, C.; LEMOS, C. J.; VÁSQUEZ, M.; GUTIÉRREZ, C.; RIVERA, J.; FERNÁNDEZ, F. A. S. Restoration of riparian forest corridors: eight years monitoring the diversity of soil ants in an Andean rural landscape. **Insect Conservation and Diversity**, v. 13, n. 4, p. 384–392, 2020.

KLIMES, Petr; IDIGORAS, A.; RÒZSA, L.; ANDERSON, C.; JESOVNIK, A.; PARMAKELIS, A.; SEIFERT, B.; JEŠOVNÍK, A.; WARD, P. Disentangling the diversity of arboreal ant communities in tropical forest trees. **PLOS ONE**, v. 10, n. 2, p. e0117853, 2015.

KASS, J. M.; YOSHIMURA, M.; OGASAWARA, M.; SUWABE, M.; HITA GARCIA, F.; FISCHER, G.; DUDLEY, K. L.; DONOHUE, I.; ECONOMO, E. P. Breakdown in seasonal dynamics of subtropical ant communities with land-cover change. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 290, p. 20231185, 2023.

LAWES, Michael J.; ANDERSEN, Alan N.; CAMERON, M.; PANNELL, A. Ants as ecological indicators of rainforest restoration: Community convergence and the development of an Ant Forest Indicator Index in the Australian wet tropics. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 20, p. 8442–8455, 2017.

LEAL, Inara R.; OLIVEIRA, M. A.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M. Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 7, p. 1687–1701, 2012.

LEPONCE, Maurice; MAJER, Jonathan D.; GROUT, B. W. W.; DELABIE, Jacques H. C.; ARMBRECHT, I.; PAOLETTI, M. G. Spatial and functional structure of an entire ant assemblage in a lowland Panamanian rainforest. **Basic and Applied Ecology**, v. 56, p. 32–44, 2021.

MAGURRAN, Anne E. Measuring Biological Diversity. Oxford: **Blackwell Publishing**, 2004.

McALPINE, Clive; CATTERALL, Carla P.; MAC NALLY, Ralph; LINDENMAYER, David; REID, James L.; HOLL, Karen D.; BENNETT, Andrew F.; RUNTING, Rhys K.; WILSON, Kerrie; HOBBS, Richard J.; SEABROOK, Leonie; CUNNINGHAM, Saul; MOILANEN, Atte; MARON, Martine; SHOO, Luke; LUNT, Ian; VESK, Peter; RUMPF, Lucia; MARTIN, Tara G.; THOMSON, James; POSSINGHAM, Hugh. Integrating plant- and animal-based perspectives for more effective restoration of biodiversity. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 14, p. 37–45, 2016.

NOOTEN, Sabine; SCHULTZ, Bonnie; DRAPEAU, Patrick; MAJER, Jonathan; ARNAN, Xavier. Habitat complexity affects functional traits and diversity of ant assemblages in urban green spaces (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 29, p. 111–123, 2019.

ORTEGA, Lina María Ramos; GUERRERO, Roberto J. Spatial turnover and functional redundancy in the ants of urban fragments of tropical dry forest. **Diversity**, v. 15, n. 7, p. 880, 2023.

PARKHURST, Tessa; PROBER, Suzanne M.; HOBBS, Richard J.; STANDISH, Rachel J. Global meta-analysis reveals incomplete recovery of soil conditions and invertebrate assemblages after ecological restoration in agricultural landscapes. **Journal of Applied Ecology**, v. 59, p. 358–372, 2022.

PARREIRA, Brunna de Vasconcelos; BEIRÃO, Mariana; ANTONINI, Yasmine; LEITE, Maria Gabriela P. Effects of topsoil transposition on the taxonomic and functional diversity of macrofauna of highly degraded soil. **Austral Ecology**, v. 47, p. 867–879, 2022.

PESTANA, Luís Fernando de Abreu; SANTOS, José Carlos; QUEIROZ, Antônio Carlos Monteiro; RIBAS, Cristiano Rodrigues; FERNANDES, Itanna Oliveira; MAIA, Vítor; MOTTA, Célio; SCHMIDT, Fernando Alves. Interactive effects between vegetation structure and soil fertility on tropical ground-dwelling arthropod assemblages. **Applied Soil Ecology**, v. 155, p. 103624, 2020.

POTAPOV, Anton; LINDO, Zachary; BUCHKOWSKI, Richard; GEISEN, Stefan. Multiple dimensions of soil food-web research: History and prospects. **European Journal of Soil Biology**, v. 117, p. 103494, 2023.

QUEIROZ, Antônio C. Monteiro; MARQUES, Tiago G.; RIBAS, Cristiano R.; CORNELISSEN, Tatiana G.; NOGUEIRA, André; SCHMIDT, Fernando A.; FEITOSA, Rodrigo M.; SOBRINHO, Thiago G.; QUINET, Yannick; BACCARO, Fernando B.; ULYSSÉA, Marcelo A.; VARGAS, Anderson B.; MORINI, Maria S. C.; SOUZA, José L. P.; PAOLUCCI, Lucas N.; DÁTTILO, Wesley; DEL-CLARO, Kleber; LANGE, Danilo; SANTOS, Jean C.; SILVA, Rogério R.; CAMPOS, Rafaella B. F.; ALBUQUERQUE, Eduardo Z.; IZZO, Thiago; RABELLO, Ananza M.; SOLAR, Ricardo R. C.; SOARES, Samuel A.; CARVALHO, Katia S.; MORAES, André B.; TOREZAN-SILINGARDI, Helena M.; NAHAS, Leticia; DOS SANTOS, Isadora A.; COSTA-MILANEZ, Caio B.; ESTEVES, Fernanda; FRIZZO, Thiago; HARADA, Alexandre Y.; DAROCHA, Weber; DIEHL-FLEIG, Edson.

- Ant diversity decreases during the dry season: A meta-analysis of the effects of seasonality on ant richness and abundance. **Biotropica**, v. 55, n. 1, p. 29–39, 2023.
- RABELLO, Ananza M.; SOARES, Samuel A.; CAMPOS, Rafaella B. F.; SANTOS, Jean C.; SANTOS, João dos; CARVALHO, Katia S.; LOPES, Leonardo E.; FRIZZO, Thiago; IZZO, Thiago; RIBAS, Cristiano R. Taxonomic and functional approaches reveal different responses of ant assemblages to land-use changes. **Basic and Applied Ecology**, v. 54, p. 39–49, 2021.
- ROLIM, Gilberto de Souza; CAMARGO, Marcos B. P.; LANIA, Daniel G.; MORAES, João F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, p. 711–720, 2007.
- SANTOS, J. T.; BRITO, E. L. S.; SANTOS, G. M. M. The role of vegetation structure and abiotic factors affecting the temporal dynamics of ant foraging. **Sociobiology**, v. 69, e7422, 2022.
- SILVA, R. R.; SILVESTRE, R.; BRANDÃO, C. R. F.; MORINI, M. S. C.; DELABIE, J. H. C. Grupos tróficos e guildas em formigas poneromorfas. In: **As formigas poneromorfas do Brasil**, p. 163–179, 2015.
- SOSIAC, C. E.; BARDEN, P. Multidimensional trait morphology predicts ecology across ant lineages. **Functional Ecology**, v. 35, p. 139–152, 2021.
- SUGANUMA, M. S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. **Restoration Ecology**, v. 23, p. 238–251, 2015.
- SUGUITURU, S. S.; MORINI, M. S. de C.; FEITOSA, R. M.; SILVA, R. R. (Eds.). Formigas do Alto Tietê. Bauru, SP: **Canal 6**, 2015. 456 p.
- TEIXEIRA, H. M.; CARDOSO, I. M.; BIANCHI, F. J. J. A.; DA CRUZ SILVA, A.; JAMME, D.; PEÑA-CLAROS, M. Linking vegetation and soil functions during secondary forest succession in the Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, v. 457, p. 117696, 2020.
- TIEDE, Y.; SCHLAUTMANN, J.; DONOSO, D. A.; WALLIS, C. I. B.; BENDIX, J.; BRANDL, R.; FARWIG, N. Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. **Ecological Indicators**, v. 83, p. 527–537, 2017.
- TUMA, J.; FROUZ, J.; VESELÁ, H.; KŘIVOHAVLÁVÝ, F.; FAYLE, T. M. The impacts of tropical mound-building social insects on soil properties vary between taxa and with anthropogenic habitat change. **Applied Soil Ecology**, v. 179, p. 104576, 2022.
- TURLEY, N. E.; TRESEDER, K. K.; ALLAN, E.; ALLAN, B. F.; KONSTANTINIDIS, K. T.; MORRIS, A.; LEFF, J.; LAUBER, C.; FIERER, N. Agricultural land-use history and restoration impact soil microbial biodiversity. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 5, p. 852–863, 2020.
- UNDERWOOD, A. Experiments in Ecology: Their Logical Design and Interpretation Using Analysis of Variance. Cambridge: **Cambridge University Press**, 1997.
- WILKER, I.; DELABIE, J. H. C.; SANTOS, J. C.; LACAU, S.; SOUZA, J. L. P.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; QUEIROZ, A. C. M. Land-use change in the Amazon decreases ant diversity but increases ant-mediated predation. **Insect Conservation and Diversity**, v. 16, n. 3, p. 379–392, 2023.
- WEISSE, M.; GOLDMAN, E. How much forest was lost in 2020? **World Resources Institute**, 2021.