



MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI – MPEG
COORDENAÇÃO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E EVOLUÇÃO - PPGBE

KELLY LIANE DA SILVA SAMPAIO

**DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DE FORMIGAS (HYMENOPTERA:
FORMICIDAE) VISITANDO ISCASEM UMA ÁREA DE CERRADO NO SUDESTE
DO BRASIL**

BELÉM-PA

2017



MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI – MPEG
COORDENAÇÃO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E EVOLUÇÃO - PPGBE

KELLY LIANE DA SILVA SAMPAIO

**DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DE FORMIGAS (HYMENOPTERA:
FORMICIDAE) VISITANDO ISCAS EM UMA ÁREA DE CERRADO NO SUDESTE
DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução, Área de Concentração Evolução e Dinâmica da Diversidade Biológica para obtenção do Título de Mestre.

Orientador:

Rogério Rosa da Silva

BELÉM-PA

2017

Sampaio, Kelly Liane da Silva

Diversidade morfológica de formigas (Hymenoptera: Formicidae) visitando Iscas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. / Kelly Liane da Silva Sampaio; Orientação de Rogério Rosa da Silva – Belém, 2017.

46 f. : il.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Evolução, na área de concentração em Dinâmica da Diversidade Biológica do Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

1. Formigas. 2. Hymenoptera. 3. Diversidade funcional. I. Silva, Rogério Rosa, Orient. II. Museu Paraense Emílio Goeldi. III. Título.

CDD 595.79609814



Museu Paraense Emílio Goeldi



MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI – MPEG
COORDENAÇÃO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E EVOLUÇÃO - PPGBE

KELLY LIANE DA SILVA SAMPAIO

**DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DE FORMIGAS (HYMENOPTERA:
FORMICIDAE) VISITANDO ISCAS EM UMA ÁREA DE CERRADO NO SUDESTE
DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Evolução

Aprovada em/...../.....

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Rosa da Silva – Orientador
Museu Paraense Emílio Goeldi

Prof. Dr. Rogerio Silvestre – 1º Examinador
Universidade Federal de Grande Dourados

Profa. Dra. Maria Santina de Castro Morini– 2º Examinador
Universidade de Mogi das Cruzes

Prof. Dr. Yves Patric Quinet – 3º Examinador
Universidade Estadual do Ceará

Dr. Ricardo Eduardo Vicente – 4º Examinador
Museu Paraense Emílio Goeldi

Prof. Dr. Fernando da Silva Carvalho Filho – 5º Examinador
Museu Paraense Emílio Goeldi

Prof. Dra. MarluCIA Bonifácio Martins – 6º Examinador
Museu Paraense Emílio Goeldi

Dedico essa conquista aos meus pais, Lúcia Sampaio e Neyre Sampaio, palavras não são suficientes para demonstrar a minha gratidão por vocês.

“Observe a formiga, preguiçoso, reflita nos caminhos dela e seja sábio!”

Provérbios 6:6

Agradecimentos

Agradeço a Deus, meu criador, quem reconstruiu minha história, e me permitiu viver um renovo. O mestrado só me levou para mais perto de Ti.

Ao Prof. Dr. Rogério Rosa da Silva, pela orientação, grande dedicação e paciência, grata por ter aceitado esse desafio em um curto período de tempo, pela ajuda e por seus ensinamentos, tens sido um pai, o admiro muito.

Ao Prof. Dr. Rogério Silvestre pela disponibilização do banco de dados e por se dispor a ajudar sempre que necessário.

Também agradeço aos meus familiares, em especial à minha mãe Lúcia Sampaio por se envolver e me acompanhar nas estradas que escolho trilhar, ao meu pai Neyre Sampaio que apesar da distância por ser um bom pai, a minha irmã quase gêmea Danielle que além de ser palmeirense fica alegre com as minhas conquistas, e ao meu sobrinho Everton pelos conselhos, ajuda, pela disposição em me escutar e bom humor, te considero um irmão caçula.

À família AntMor, um laboratório repleto de profissionais altamente competentes e qualificados, grata pelo carinho com que me receberam no laboratório. Aos dois rapazes mais prestativos que conheci nesse período Rony e Joudellys por todo o suporte e pela contribuição em minha formação, e a Emília e Emely pela disposição em me ajudar e considerações, sempre muito úteis.

E também ao passarinho fora do ninho do AntMor, Vic (Victoria de Nazaré), que além do apoio e ajuda, me presenteou com a sua amizade, fizeste dos meus dias mais leves e alegres.

Melhor que uma turma grande, é uma turma unida. Sinto que todas ouviram em algum momento da vida: “Menina, você pode ser o que você quiser!” e cremos nisso, e a primeira turma do PPGBE é composta unicamente por mulheres, fico feliz de fazer parte disso. Eu guardo carinho por cada uma, especialmente pela Camila uma irmã que ganhei no mestrado, agradeço pelas ótimas e valiosas conversas e risadas.

Ao Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Evolução – PPGBE pela oportunidade de crescimento profissional.

E à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa - Fapespa pela bolsa concedida.

Sumário

| | |
|---|----|
| Lista de Tabelas | 9 |
| Resumo | 12 |
| Abstract | 13 |
| Introdução | 14 |
| Descrição do Cerrado Brasileiro..... | 16 |
| Objetivo | 18 |
| Geral..... | 18 |
| Específicos..... | 18 |
| Material e Métodos | 18 |
| Área de estudo..... | 18 |
| Métodos de coleta..... | 19 |
| Medidas Morfológicas..... | 20 |
| Matriz Morfológica..... | 21 |
| Análise de Dados..... | 21 |
| Análise de Componentes Principais..... | 21 |
| Análises de Redundância Funcional..... | 22 |
| Modelos Estatísticos e testes de Hipóteses..... | 23 |
| Resultados | 23 |
| Organização Morfológica..... | 24 |
| Comparação da Área Morfológica entre Segmentos de Fauna..... | 28 |
| Testes de Hipóteses..... | 29 |
| Hipótese 1 (Diversidade morfológica entre solo e vegetação)..... | 29 |
| Hipótese 2 (Redundância morfológica entre faunas de períodos diferentes)..... | 31 |
| Discussão | 33 |
| Organização Morfológica..... | 34 |
| Características Morfológicas da Fauna de Formigas em uma Área de Cerrado..... | 35 |
| Diferenças Morfológicas entre Solo e Vegetação..... | 36 |
| Conclusão | 38 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Caracteres morfológicos, siglas e hipóteses funcionais associadas a cada característica funcional..... | 20 |
| Tabela 2. Riqueza de espécies de formigas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil, visitando iscas em solo e vegetação, nos períodos diurno e noturno..... | 48 |
| Tabela 3. Análise de Componentes Principais para a fauna de formigas que visita iscas em solo e vegetação, de dia e de noite, em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil..... | 24 |
| Tabela 4. Resultados das comparações de modelos lineares mistos para testar a Hipótese 1 (diferenças funcionais entre a fauna de solo e vegetação em uma área de Cerrado). O modelo 2 foi selecionado como melhor modelo para testar a Hipótese 1. gl: graus de liberdade; AIC: Critério de Informação de Akaike. LRT = Teste de Razão de Verossimilhança..... | 29 |
| Tabela 5. Modelo linear misto para testar a Hipótese 2. O modelo descreve diversidade funcional como uma função de riqueza de espécies observada e período do dia (Dia ou Noite) para a fauna de formigas em solo ou vegetação em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. O termo aleatório incluiu um intercepto (evento de coleta), considerando medidas repetidas ao longo do tempo. A linha “Noite” na Tabela indica diferença nos valores de Redundância Funcional entre Dia e Noite. Sobs = riqueza de espécies observada; gl = graus de liberdade; Valor-t = valor da estatística T; P = valor de probabilidade..... | 30 |
| Tabela 6. Distribuição da fauna de formigas visitando iscas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil, em solo e vegetação, de dia e de noite..... | 32 |
| Tabela 7. Espécies de formigas de uma área de Cerrado do Brasil visitando iscas de solo e vegetação, nos períodos diurno e noturno..... | 46 |

Lista de Figuras

- Figura 1. Tipos de fisionomias de savana proposta por Veloso *et al.* 1991. 1. Savana florestada; 2. Savana Arborizada; 3. Savana Parque e 4. Savana Gramíneo-Lenhosa [Imagem extraída de Veloso *et al.*, 1991].....17
- Figura 2. Localização da Fazenda Santa Carlota, Cajuru- SP. [Imagem extraída de ROSSI *et al.*, 2014].....18
- Figura 3. Análise de Componentes Principais (PCA) descrevendo a estrutura morfológica da fauna de formigas visitando iscas em solo e vegetação, de dia e de noite, em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. A matriz morfológica foi descrita por 14 variáveis. Espécies estão representadas por números (N=79) para melhor leitura do gráfico (ver Tabela 04 com os códigos das espécies). “cos2” representa a qualidade da representação das espécies no espaço descrito pelos componentes principais (maiores valores de “cos2” indicam maior importância das espécies para interpretar os componentes principais). O tamanho dos pontos (espécies) é proporcional a sua importância no primeiro e segundo componente principal.....25
- Figura 4. Associação das variáveis morfológicas nos dois primeiros eixos de uma PCA descrevendo a estrutura morfológica da fauna de formigas visitando iscas em solo e vegetação, de dia e de noite, em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. Os pontos indicam posição das espécies (N= 79). O círculo representa correlação (r=0.69). Ver Tabela 04 para códigos das variáveis.....26
- Figura 5. Espaço morfológico da fauna de formigas visitando iscas em uma área de Cerrado, em solo e vegetação, descrito pelo Componente Principal 1 e Componente Principal 2. A matriz morfológica foi descrita por 14 variáveis morfológicas e 83 espécies. Os três polígonos representam a área calculada pelo Convexo Hull para a fauna exclusivamente em solo (S), exclusivamente de vegetação (V) e a fauna visitando iscas em solo e vegetação (SV). S= 26 espécies; V = 6 espécies e SV = 44 espécies.....27
- Figura 6. Espaço morfológico da fauna de formigas visitando iscas em uma área de Cerrado, em dia e noite, descrito pelo Componente Principal 1 e Componente Principal 2. A matriz morfológica foi descrita por 14 variáveis morfológicas e 83 espécies. Os três polígonos representam a área calculada pelo Convexo Hull para a fauna coletada exclusivamente de dia (D), exclusivamente de noite (N) ou a fauna visitando iscas de dia e de noite (DN). D= 30 espécies; N = 15 espécies e DN = 31 espécies.....28
- Figura 7. Valores de diversidade funcional como função da riqueza de espécies observada para fauna de solo e vegetação de formigas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. O conjunto de dados inclui a fauna de solo e vegetação, representando 12 pontos ou observações de coleta. As retas representam um modelo linear simples e a área sombreada em cada reta, intervalo de confiança a 95% do modelo de regressão.....31

- Figura 8. Valores de redundância funcional como função da riqueza de espécies observada para fauna diurna e noturna de formigas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. O conjunto de dados inclui a fauna de solo e vegetação, representando 12 pontos ou observações de coleta. As retas representam um modelo linear simples e a área sombreada em cada reta, intervalo de confiança a 95% do modelo de regressão.....33
- Figura 9. Comparação de valores de Redundância Funcional entre a fauna de formigas que visita iscas em solo e vegetação, de dia e de noite, em uma área de Cerrado do Sudeste do Brasil. Quadrados representam o valor médio e as barras o erro padrão.....34
- Figura 10. Distribuição dos pontos de coleta na grade de coleta em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil (município de Cajuru, São Paulo). Em cinza, pontos sorteados (25) para coleta de formigas com iscas atrativas em solo e vegetação, de dia e de noite, em junho de 2000.....45

Resumo

A abordagem funcional é apontada como uma poderosa abordagem para testar estruturação de comunidades, com grande potencial para construir modelos mais preditivos em ecologia. Caracteres morfológicos podem ser usados para avaliar a relação entre fenótipo de indivíduos e características do ambiente. No presente trabalho, utilizamos uma base de dados de formigas que visitam iscas no solo e vegetação, nos períodos diurno e noturno em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil, para testar as seguintes hipóteses: (1) Existem diferenças funcionais entre a fauna de solo e vegetação porque esses dois ambientes têm guildas distintas; (2) Existe redundância morfológica entre fauna de solo diurna e noturna (em solo ou vegetação) devido a substituição de espécies que acontece dentro dos gêneros, sem modificação de caracteres funcionais. Estudamos a fauna de formigas em uma parcela de 1 ha durante um ano de amostragem (seis coleções foram realizadas em meses alternados, começando em junho de 1992 e terminando em abril de 1993). Em cada coleta, 25 pontos foram sorteados aleatoriamente, e duas iscas (mel e sardinha) foram distribuídas em solo e vegetação nos períodos, diurno e noturno (no total, 100 iscas pela manhã e 100 iscas à noite). A diversidade funcional foi determinada a partir de uma árvore funcional e redundância funcional foi estimada como a diferença entre o índice Rao Q e a diversidade de Shannon (usando amostras temporais como unidade de replicação). Correlação espacial e temporal foi modelada por efeitos aleatórios em modelos lineares mistos. O número de espécies exclusivas em solo e vegetação foi 26 e 6 espécies, respectivamente. O número de espécies compartilhadas de dia e de noite, em solo e vegetação foi 44 e 31 espécies, respectivamente. Solo e vegetação apresentaram diferenças de diversidade funcional, suportando a Hipótese 1 (diferenças de estrutura morfológica entre solo e vegetação); em comparação à fauna de solo, vegetação apresentou maiores valores de diversidade funcional dada a riqueza de espécies observada. Hipótese 2 não foi suportada pelos modelos testados, sugerindo diferenças funcionais entre dia e noite (assincronia funcional). Comparado com a fauna diurna, a fauna noturna apresentou maiores valores de redundância funcional. Em conjunto, nossos resultados demonstram diferenças funcionais entre solo e vegetação, dia e noite, para a fauna local visitando iscas em uma ilha de Cerrado no Sudeste do Brasil. Estudos locais sobre diversidade funcional de formigas no Cerrado devem considerar solo e vegetação, dia e noite para uma melhor compreensão dos componentes da diversidade biológica.

Abstract

The functional approach is pointed out as a powerful approach to test community structuring, with great potential to construct more predictive models in ecology. Morphological characters can be used to evaluate the relationship between phenotype of individuals and characteristics of the environment. In the present work, we used a database of ants that visit baits in the soil and vegetation during the day and night periods in a Cerrado area in Southeastern Brazil to test the following hypotheses: (1) There are functional differences between the fauna of soil and vegetation because these two environments have different guilds; (2) There is morphological redundancy between day and night soil fauna (in soil or vegetation) due to the substitution of species occurring within genera, without modification of functional characters. We studied the ant fauna in a 1 hectare plot during one year of sampling (six collections were carried out in alternate months, beginning in June 1992 and ending in April 1993). In each collection, 25 points were randomly selected, and two baits (honey and sardines) were distributed in soil and vegetation during the day and night periods (100 baits in the morning and 100 baits at night). Functional diversity was determined from a functional tree and functional redundancy was estimated as the difference between the Rao Q index and the Shannon diversity (using time samples as the replication unit). Spatial and temporal correlation was modeled by random effects in mixed linear models. The number of exclusive species in vegetation and soil was 26 and 6 species, respectively. The number of species shared by day and night, in soil and vegetation was 44 and 31 species, respectively. Soil and vegetation showed differences of functional diversity, supporting Hypothesis 1 (differences of morphological structure between soil and vegetation); in comparison to the soil fauna, vegetation showed higher values of functional diversity related to the observed species richness. Hypothesis 2 was not supported by the models tested, suggesting functional differences between day and night (functional asynchrony). Compared with the daytime fauna, the nocturnal fauna showed higher values of functional redundancy. Together, our results demonstrate functional differences between soil and vegetation, day and night, for the local fauna visiting baits on a Cerrado island in Southeastern Brazil. Local studies on ant functional diversity in the Cerrado should consider soil and vegetation, day and night, for a better understanding of the components of biological diversity.

Introdução

Em ecologia, comunidades são tradicionalmente definidas como conjuntos de espécies locais que potencialmente podem interagir (SOBRAL & CIANCIARUSO, 2012). Interações em comunidades de formigas são frequentemente observadas e são uma das principais características ecológicas desse grupo de insetos terrestres (HÖLLDOBLER & WILSON, 1990); interações entre formigas têm sido usadas para explicar padrões de estruturação de assembleias (ANDERSEN, 1997). Além disso, características do hábitat, somado a heterogeneidade ambiental (fundamental para a partição de recursos e coexistência de espécies), determinam um padrão de variação faunística ao longo dos períodos diurno e noturno, resultando em composição marcadamente diferente entre dia e noite, tanto em solo quanto em vegetação (TAVARES *et al.*, 2008; SILVESTRE & BRANDÃO, 2000).

A similaridade de funções ecológicas desempenhadas por espécies pode compensar extinções locais de espécies por processos naturais ou declínios de espécies nas comunidades, o que tem sido considerado importante na Biologia da Conservação (ROSENFELD 2002 a, b). O ciclo foi selecionando ao longo do tempo evolutivo de substituição de espécies ao longo das 24 horas de um dia pode ser fundamental na manutenção dos ecossistemas, pois aumenta a resiliência de sistemas ecológicos alterados (BLUTHGEN *et al.*, 2016; HOUADRIA *et al.*, 2016) se as espécies têm alta redundância funcional. Por outro lado, se espécies com atividade diurna e noturna têm funções diferentes, reconhecer essa assincronia funcional tem importantes implicações na descrição dos processos nos ecossistemas.

Há mais de uma década, ecólogos têm discutido a necessidade de métricas complementares de biodiversidade (VILLEGER, MASON & MOUILLOT, 2008) o uso de métricas é usado para o entendimento funcional e um conhecimento mais completo da realidade do ecossistema (DE BELLO *et al.*, 2011). Espera-se então, que as métricas funcionais possam ser usadas para compreender o papel das espécies no funcionamento dos ecossistemas e como assembleias são estruturadas (PODGAISKI *et al.*, 2011b).

Diversidade funcional pode ser definida como o valor e a variação de características funcionais das espécies, as quais podem influenciar diretamente o funcionamento dos ecossistemas (TILMAN, 2001). Análises de diversidade funcional tornaram-se frequentes nos últimos anos e agora são reconhecidas como uma importante abordagem para testar organização de assembleias, com potencial para o desenvolvimento de modelos mais preditivos sobre a organização de assembleias (PETCHEY & GASTON, 2002, 2006; MOUILLOT *et al.*, 2005; MCGILL *et al.*, 2006).

Em invertebrados, caracteres funcionais são, por exemplo, características relacionadas à morfologia/fisiologia (tamanho do corpo e dos apêndices, tipo e tamanho de asas e aparelho bucal, ciclo de vida, reprodução e respiração), comportamento alimentar (hábitos, tipo de recurso utilizado, estratégia de captura do recurso, generalista ou especialista), uso e especialização do hábitat, estratégias de fuga de predadores e de condições ambientais severas, entre outros (MORETTI *et al.*, 2009; PODGAISKI *et al.*, 2011b).

Análises de diversidade funcional têm sido empregadas em vários grupos animais (SACCO *et al.*, 2015; BLUTHGEN *et al.*, 2016) e mais tradicionalmente em plantas (PILLAR *et al.*, 2013; CUADRA & CAMBI, 2014; JETZ *et al.*, 2016). Considerando a diversidade de estudos sob uma perspectiva funcional, novos métodos recentemente propostos e resultados sugerem que é possível testar interações competitivas entre espécies, a organização de assembleias e o papel de diferentes características funcionais no funcionamento dos ecossistemas (LAURETO, CIANCIARUSO & SAMIA, 2015).

Formigas têm sido consideradas um grupo modelo para análises de diversidade funcional, devido à alta diversidade taxonômica e a existência de banco globais sobre morfologia e abundância de comunidades (SILVA & BRANDÃO, 2014; GIBB & PARR *et al.*, 2016). Além disso, são um dos mais importantes grupos de invertebrados em termos de dominância numérica nos ecossistemas (AGOSTI *et al.*, 2000), e também são usadas em estudos macroecológicos sobre a relação entre clima e diversidade de espécies (BLUGHTEN *et al.*, 2016). As formigas também interagem diretamente com plantas e outros animais (HOLLDOBLE & WILSON, 1990). Por exemplo, formigas que forrageiam na vegetação desempenham importante papel na predação de insetos herbívoros (WIRTH & LEAL, 2001). Em adição, participam do processo de decomposição de matéria orgânica na superfície ou dentro do solo (LOBRY DE BRUYN, 1999). Formigas também têm importante participação nos ciclos biogeoquímicos, como, fluxo de energia e matéria nos ecossistemas. Junto com cupins e minhocas modificam toneladas de terra diariamente, arejando o solo e modificando a quantidade e disponibilidade de nutrientes no solo (FROUZ & JIKOVÁ, 2009; MELO, 2014).

A morfologia dos indivíduos também pode determinar funções nos ecossistemas. O tamanho do corpo das formigas pode alterar a compactação do solo alterando a estrutura física e auxiliando a formação dos poros do solo, o que influencia diretamente na retenção de água, além do acréscimo de nutrientes do solo devido ao aumento da biomassa microbiana facilitando a sucessão das plantas (DEL-TORO *et al.*, 2012).

Estudos sobre ciclos circadianos em formigas foram realizados para compreender a influência do período do dia na atividade de algumas populações de formigas, isso é,

comparações dia e noite (HOUADRIA *et al.*, 2016; SANTANA *et al.*, 2016; ZMIHORSKI & SLIPINSKI, 2016). No âmbito da diversidade taxonômica, a mesma questão tem sido avaliada na escala de assembleias de formigas em turnos distintos, buscando também determinar diferenças de composição relacionadas com flutuações ambientais, sazonais e diárias (HOLDOBLER & WILSON, 1990; SILVESTRE, 1995; MENEZES, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 1999; SILVA & BRANDÃO, 2010).

Similaridade de caracteres funcionais entre a fauna de diferentes períodos de atividade (noite x dia) é denominado sincronia funcional. Esse conceito tem como base a ideia de que, embora as espécies apresentem período de atividade diferente, os caracteres funcionais seriam os mesmos, de modo que estas espécies desempenham a mesma função ecológica (BLUGHTEN *et al.*, 2016). Nessa situação, a dinâmica dia-noite das espécies nas assembleias também levaria a uma situação de equilíbrio do ecossistema, já que a função desenvolvida não é exclusiva de uma ou poucas espécies (HOUADRIA *et al.*, 2016).

Estudos sobre diferenças funcionais de faunas diurnas e noturnas são ainda inexistentes ou pouco explorados e suas consequências em ecologia de comunidades de formigas, desconhecidas. No entanto, se existe uma assincronia funcional entre períodos do dia, nossa compreensão sobre a relação entre funcionamento de ecossistemas e formigas deve ser reformulada (BLUTHGEN *et al.*, 2016; HOUADRIA *et al.*, 2016; SANTANA *et al.*, 2016).

Neste estudo, avaliamos se existem diferenças nas características funcionais de formigas em solo e vegetação, de dia e de noite em uma assembleia de formigas, usando uma base de dados sobre similaridade faunística de formigas visitando iscas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil (SILVESTRE, 1995).

Descrição do Cerrado Brasileiro

O Bioma Cerrado é a maior região de savana tropical da América do Sul, incluindo grande parte do Brasil Central e parte do Nordeste do Paraguai e leste da Bolívia. Ocupa cerca de 24% do território brasileiro, ou seja 2.036.448 km². Sua área nuclear (área core) abrange o Distrito Federal e dez estados: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Maranhão, Bahia, Piauí, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, somando aproximadamente 1.500 municípios (ROSSI *et al.*, 2014). Em termos de vegetação, o Cerrado apresenta elevada riqueza de espécies, com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas e cipós, atualmente existem 13.140 espécies de angiospermas nativas (FERNANDES *et al.*, 2016).

As savanas brasileiras podem ser divididas em quatro fisionomias principais (Figura 1) (VELOSO *et al.*, 1991):

- 1- Savana Florestada (Cerradão): conjunto de plantas lenhosas, com estrutura tortuosa e de ramificação irregular, com órgão reserva subterrâneo e altura de 6 a 8 metros.
- 2- Savana Arborizada (Cerrado sentido restrito): é composto por características de duas fisionomias distintas, o arbustivo-arbóreo superior e gramíneo-lenhoso inferior.
- 3- Savana Parque (Campo de Murunduns): formação vegetal constituída por estrato graminóide, encontrada em áreas com depressões inundáveis pelo país, existindo tipologias para as espécies.
- 4- Savana Gramíneo lenhosa (Campo): composição florística composta por árvores lenhosas e raquíticas.

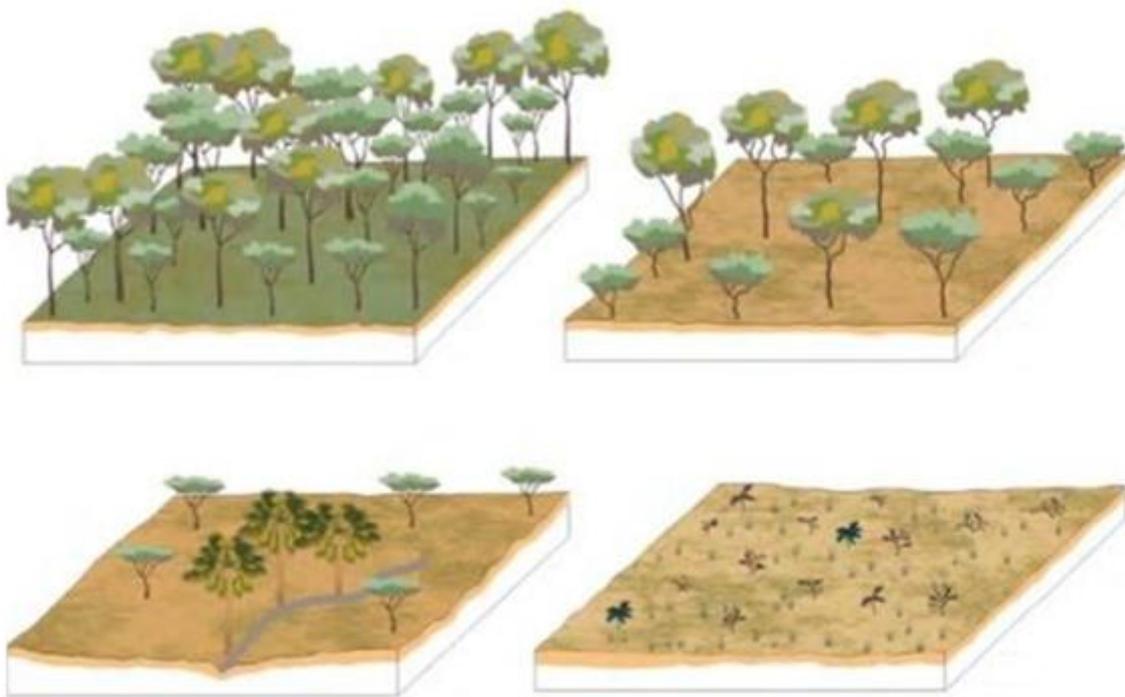


Figura 1. Tipos de fisionomias de savana. 1. Savana florestada; 2. Savana Arborizada; 3. Savana Parque e 4. Savana Gramíneo-Lenhosa [Imagem extraída de VELOSO *et al.*, 1991].

Objetivo

Geral

Avaliar a influência de componentes espaciais (solo e vegetação) e temporais (período diurno e noturno) na estruturação morfológica da fauna de formigas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil.

Específicos

Considerando que a composição taxonômica da fauna de formigas do Cerrado em solo e vegetação, de dia e de noite são diferentes (SILVESTRE, 2000), duas hipóteses foram testadas:

- (a) Hipótese 1 (Diversidade Funcional): Existem diferenças funcionais entre a fauna de solo e vegetação porque esses dois ambientes têm guildas tróficas distintas (isso é, a morfologia das espécies de solo é marcadamente diferente das espécies da vegetação, o modelo inclui dia e noite);
- (b) Hipótese 2 (Redundância Funcional): Existe redundância morfológica entre fauna de solo diurna e noturna (em solo ou vegetação) devido a substituição de espécies que acontece dentro dos gêneros, sem modificação de caracteres funcionais (isso é, hipótese de sincronia funcional para a fauna que visita iscas na área de Cerrado analisada);

Material e Métodos

Área de estudo

A coleta de dados foi conduzida na fazenda Santa Carlota (21° 19' 45" S, 47° 13' 45" W), localizada ao Sul do município de Cajuru, São Paulo, Brasil. A propriedade está situada em área de ocorrência de Cerrado, apresentando glebas de vegetação nativa ainda em bom estado de conservação. Está inserida em domínio de relevo de colinas e, portanto, de fácil ocupação. O local exato das observações para a coleta de dados comportamentais dista 400 ha ao Sul da fazenda, aproximadamente a 200m do Rio Pardo, dentre os córregos Pedras e Barra Branca (ROSSI *et al.*, 2014).

O município possui clima temperado úmido, apresentando inverno seco e verão quente, com temperatura média mínima de 17,9 °C e máxima de 23,7 °C. Em relação às formações vegetais presentes na Fazenda Santa Carlota, foram identificados cerradão, cerrado sentido restrito e savana gramíneo-lenhosa (ROSSI *et al.*, 2014).

A Fazenda Santa Carlota tem diferentes níveis de degradação, pois foi alvo de elevado grau de intervenção humana, incluindo áreas de transição de Cerrado e áreas de floresta. Parte da flora local foi classificada como vegetação secundária pela Secretaria do Estado do Meio Ambiente de São Paulo (SEMA, 2014).

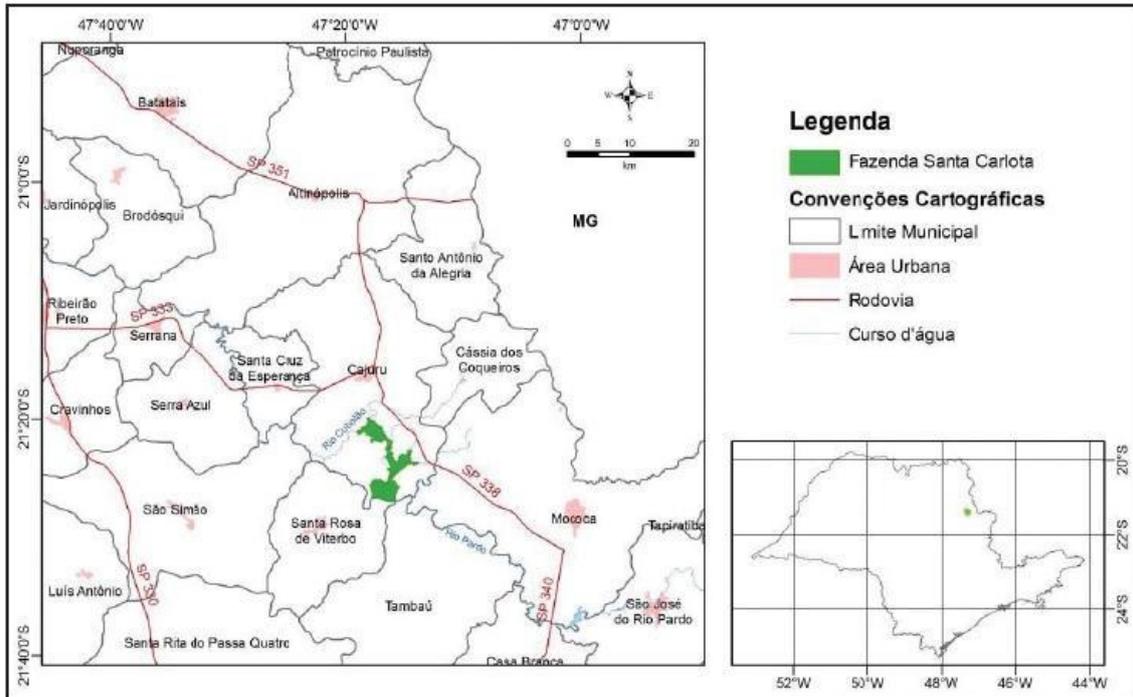


Figura 2. Localização da Fazenda Santa Carlota, Cajuru- SP. [Imagem extraída de ROSSI *et al.*, 2014].

Métodos de coleta

A coletas foram realizadas de agosto de 1992 a abril de 1993 em uma parcela de 1 hectare de cerrado *sensu stricto*. A área foi montada com uma grade de 100 x 100 metros, com transectos paralelos distantes 10 metros entre si. A grade continha 100 pontos amostrais, também espaçados 10 metros entre pontos adjacentes. No total, foram realizados seis eventos de coleta ao longo de um ano. As coletas foram realizadas nos meses de junho/1992, agosto/1992, outubro/1992, dezembro/1992, fevereiro/1993, e abril/1993.

Em cada evento foram dispostas 200 iscas, 100 a cada turno (diurno e noturno), perfazendo 1.200 iscas em seis eventos de coleta. O critério utilizado para distribuição das iscas em cada evento de coleta foi “amostragem ao caso simples”. Dentro de coordenadas definidas pelos transectos x e y, em cada coleta, vinte e cinco pontos foram escolhidos através de sorteio (de um total de 100). Os pontos sorteados foram utilizados durante o dia e durante a noite.

Foram utilizadas iscas de sardinha em óleo comestível e mel diluído em água. Dois pares de iscas foram distribuídos em pedaços de papel higiênico (20 x 10 cm), sendo uma isca de mel e uma isca de sardinha no solo e também na vegetação, de dia e de noite. O primeiro par de iscas foi colocado à 2m à direita do ponto sorteado e o segundo par a 2m à esquerda do ponto sorteado, as iscas colocadas na vegetação a 2m de altura na forquilha da árvore. Ambos os tipos de iscas permaneceram expostos 90 minutos antes do início do procedimento de coleta. As iscas foram coletadas em sacos plásticos individualizados, devidamente rotulados. No alojamento, o material coletado em cada isca foi transferido para vidros contendo álcool a 70%, para posterior identificação no laboratório (procedimento realizado pelo Dr. Rogério Silvestre e colaboradores).

Medidas Morfológicas

Para análises de diversidade funcional, foram selecionados 14 caracteres morfológicos que refletem aspectos importantes da biologia e ecologia de formigas (Tabela 1).

Tabela 1. Caracteres morfológicos, siglas e hipóteses funcionais associadas a cada característica funcional. Fonte: adaptado de SILVA & BRANDÃO (2010).

| Número de variáveis e estruturas morfológicas | Significado funcional |
|--|---|
| 1 Comprimento de Weber (WL) | Usado para descrever tamanho de corpo, o qual está relacionado a diversos aspectos da biologia das espécies, incluindo fisiologia e reprodução dos indivíduos (ARNAN <i>et al.</i> , 2014) |
| 2 Comprimento do pronoto (PW) | |
| 3 Largura da mandíbula (MW) | Determinam o tamanho do recurso alimentar coletado (FOWLER <i>et al.</i> , 1991; CAMARGO <i>et al.</i> , 2016) |
| 4 Comprimento da mandíbula (ML) | |
| 5 Largura da cabeça (HW) | Usados como índices de dimensão da cabeça; cabeças maiores podem acomodar músculos de mandíbulas maiores e mais fortes (FOWLER <i>et al.</i> , 1991; SARTY <i>et al.</i> , 2006) |
| 6 Comprimento da cabeça (HL) | |
| 7 Largura do pecíolo (PeH) | Quando grandes e bem articulados, possibilitam maior flexibilidade do corpo, influenciando o comportamento e o desempenho de espécies predadoras (SILVA & BRANDÃO, 2010) |
| 8 Comprimento do pecíolo (PeL) | |
| 9 Comprimento do fêmur (FL) | Pernas longas estão relacionadas com agilidade e locomoção durante forrageamento; por outro lado, pernas compridas dificultam a entrada em fendas nos habitats. Pernas longas facilitam a localização de alimentos (GIBB & PARR, 2013), mas pernas curtas são vantajosas em ambientes complexos (FARJI-BRENER <i>et al.</i> , 2004) |

| | | |
|----|---|--|
| 10 | Comprimento do escapo (SL) | Tem função comportamental; especialmente nas operárias cegas, as antenas são usadas para seguir trilhas de feromônios (YATES <i>et al.</i> , 2014) |
| 11 | Comprimento do Clípeo (CL) | Importante para caracterizar posição trófica de formigas; clípeo maior pode estar associado à dieta alimentar baseado em alimentos líquidos (EISNER, 1957) |
| 12 | Tamanho de olho (EL) | Pode ser importante na localização do recurso alimentar, bem como na orientação (YATES <i>et al.</i> , 2014) |
| 13 | Distância entre olhos (ID) | A posição do olho pode influenciar o desempenho de espécies que são primariamente predadoras visuais (GIBB & PARR, 2013) |
| 14 | Distância dos olhos e inserção mandibular | |

Matriz Morfológica

Selecionamos 14 medidas para descrever a estrutura morfológica das assembleias de formigas. Sempre que disponível, foram medidos seis exemplares de cada espécie, o que tem sido usado como a média de replicação em estudos sobre diversidade funcional de formigas (PARR *et al.*, 2016). No total, foram medidos 392 indivíduos. Para as análises morfológicas, utilizamos o valor médio de cada variável morfológica para cada espécie (isso é, empregamos a média global para as análises morfológicas; CARMONA *et al.*, 2015).

Certas medidas em formigas apresentam alta correlação. Para evitar colinearidade, o que afetaria índices de diversidade funcional (SILVA *et al.*, 2016), as medidas foram padronizadas em relação a uma medida de tamanho de corpo (comprimento de Weber: ARNAN *et al.*, 2014). Distância entre os olhos foi caracterizada como $(HW - ID)/WL$, refletindo a posição dos olhos na cabeça. Distância do olho à inserção da mandíbula foi descrito como uma medida de altura relativa $[(HL - DEM)/WL]$. Portanto, empregamos nas análises uma matriz morfológica formada por medidas relativas (não correlacionadas) e uma medida de tamanho de corpo em formigas (representada por WL).

Análise de Dados

Análise de Componentes Principais

Primeiro, investigamos a estrutura morfológica da fauna de formigas atraída por iscas de sardinha e mel, em dois períodos do dia e em solo e vegetação, usando uma Análise de Componentes Principais (PCA). A PCA foi usada para descrever a posição das espécies no

espaço morfológico. As variáveis foram transformadas antes das análises, usando logaritmo na base 10 para reduzir variação dos caracteres e para obter distribuição normal. A PCA foi calculada usando uma matriz de correlação entre variáveis para padronizar os dados. Utilizamos os dois primeiros eixos da PCA para descrever graficamente a estrutura do espaço morfológico ocupado pela fauna de formigas visitando iscas no solo e na vegetação, de dia e de noite. A área do espaço morfológico em duas dimensões (PC1 e PC2) ocupada por cada segmento de fauna foi descrito pelo Convexo Hull (CORNWELL *et al.*, 2006).

Adicionalmente, calculamos o índice de diversidade funcional (FD) de (PETCHEY & GASTON, 2001) para comparar diversidade funcional entre solo e vegetação. Os valores de FD foram calculados a partir de um único dendrograma funcional de todas as espécies conhecidas para a grade de coleta. A matriz de distância foi Euclidiana e o método de ligação para o agrupamento foi UPGMA (Unweighted Pair Group Average Method; LEGENDRE & LEGENDRE, 2000).

Análises de Redundância Funcional

Redundância funcional pode ser definida como a área do espaço funcional com a presença de espécies com características funcionais similares (PETCHEY & GASTON, 2006; BELLO *et al.*, 2007). Estimamos redundância funcional como a diferença entre um índice de diversidade de espécies (Shannon “H”) e um índice de diversidade funcional (Rao) (BELLO *et al.*, 2007). O índice de Shannon combina riqueza de espécies e equitabilidade de indivíduos para quantificar a diversidade biológica em uma comunidade (MELO *et al.*, 2008). A Entropia Quadrática de Rao (RAO, 1982) é calculada através de uma matriz de distância Euclidiana entre espécies, ponderada pela abundância das espécies (RAO, 1982). O índice tem sido também empregado com frequência nos estudos de comunidades (BOTTA-DUKÁT, 2005; GERISCH *et al.*, 2011; KANG *et al.*, 2015). O índice de Rao foi utilizado para quantificar diferenças entre os valores das características funcionais, ponderado pela abundância das espécies (MASON *et al.*, 2005; LEPS *et al.*, 2006). Considerando que a diversidade de espécies deve ser independente da variação dos valores da diversidade funcional, o índice de Rao é considerado relativamente independente da riqueza de espécies em uma comunidade (DE BELLO *et al.*, 2008).

Modelos Estatísticos e testes de Hipóteses

Para testar as duas hipóteses, modelos lineares mistos foram usados, assumindo uma distribuição dos erros de uma distribuição Normal. O objetivo foi incluir dependência temporal dos dados nas análises, bem como controlar o efeito de riqueza de espécies nos resultados de diversidade funcional usados para testar a Hipótese 1 (diferença de diversidade funcional entre solo e vegetação).

Para testar a Hipótese 1 (diversidade funcional: entre fauna de solo e vegetação) três modelos foram avaliados: A) Modelo 1: Diversidade funcional como função de riqueza observada de espécies; B) Modelo 2: adicionamos local de coleta (solo ou vegetação) como termo fixo do modelo; C) Modelo 3: adicionamos período de coleta (dia ou noite) como termo fixo do modelo. Selecionamos o melhor modelo usando o Critério de Informação de Akaike (GOTELLI & ELLISON, 2011). O termo aleatório incluiu um intercepto (campanha e período) e um coeficiente de variação (riqueza de espécies) para controlar o efeito da riqueza nos valores de diversidade funcional.

Para testar a Hipótese 2 (redundância funcional entre a fauna diurna e noturna) dois modelos gerais foram construídos (um para solo e outro para vegetação). Nesse caso, o termo fixo do modelo foi período (dia ou noite). Ainda, incluímos no modelo riqueza observada para avaliar a relação entre redundância funcional e riqueza de espécies. O termo aleatório do modelo (intercepto) foi evento de coleta, considerando, portanto as medidas repetidas ao longo do tempo.

Todos os códigos de análises foram escritos no Programa R (R CORE TEAM, 2017). Utilizamos a função *prcomp* do pacote básico stats para a análise de PCA. Os valores de FD foram calculados com a função *treedive* do pacote vegan (OKSANEN *et al.*, 2017). Os valores de diversidade de espécies foram calculados usando a função *diversity* do pacote vegan (OKSANEN *et al.*, 2017) e Rao foi calculado com a função *rao.diversity* do pacote ade4 (CHESSEL *et al.*, 2017). Testes de hipóteses foram realizadas com modelos lineares mistos usando a função *lme* do pacote nlme (PINHEIRO *et al.*, 2017).

Resultados

Nosso banco de dados inclui a presença de 79 espécies de formigas coexistindo em 1 hectare de Cerrado, em seis eventos de coleta (Tabela 7). As subfamílias mais representativas foram Myrmicinae com 40 espécies, seguido de Formicinae com 20 espécies.

Em termos de composição foram registradas 79 espécies. Deste total, 44 espécies (62%) têm atividade de forrageamento nos dois estratos, em solo e vegetação (Tabela 2).

Tabela 2. Riqueza de espécies de formigas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil, visitando iscas em solo e vegetação, nos períodos diurno e noturno.

| LOCAL DE COLETA | | |
|--------------------------|------------------|-----------|
| Solo | Solo e Vegetação | Vegetação |
| 26 | 44 | 6 |
| PERÍODO DE COLETA | | |
| Dia | Dia e Noite | Noite |
| 30 | 31 | 15 |

Organização Morfológica

A organização morfológica da fauna (espécies) foi descrita por uma Análise de Componentes Principais. Os dois primeiros eixos explicaram 48% da variância dos dados; PC1 com 30% da variância dos dados representa essencialmente variação de tamanho. No eixo descrito pelo PC1, os caracteres mais fortemente associados foram comprimento de cabeça (HL= 0,397), largura da cabeça (HW= 0,391), largura da mandíbula (MW= 0,388), comprimento da mandíbula (ML= 0,341), comprimento do clipeo (CL= 0,314) e comprimento de Weber (WL= -0,343) (Tabela 3).

O primeiro eixo da PCA (PC1) é localizado no quadrante superior direito aonde as encontramos espécies como *Atta sexdens*, *Chyphomyrmex rimosus*, *Acromyrmex lantoldi*, e são caracterizadas por apresentar escapo e clipeo relativamente longos, enquanto olhos e pecíolos relativamente pequenos (Tabela 3; Figura 3). Além da formação de um agrupamento de espécies de tamanho de corpo pequeno, como por exemplo, espécies do gênero *Pheidole* (*P. gertrudae*, *P. oxyops*, *P. sp.1*, *P. sp.4*, *P. sp.6*, *P. sp.14* e *P. sp.22*) além *Brachymyrmex sp.1*. Em relação ao tamanho de corpo, esse conjunto de espécies tem olhos afastados da mandíbula, mandíbulas e clipeo grandes.

Ainda nesse quadrante encontramos um aglomerado de patrulheiras oportunistas de médio a grande tamanho visitante de solo e vegetação (SILVESTRE & SILVA, 2000) do gênero *Pseudomyrmex* (*P. elongatus*, *P. urbanus*, *P. flavidulus*, *P. gracilis*, *P. tenuis*, *P. kuenckelie* e *P. urbanus*) representando as espécies de tamanho de corpo grande comparado às

estruturas pecíolo (pequeno e estreito) além de olhos bem próximos com pequena distância, com cabeça e mandíbula grande, ainda, também possuem escapo e clipeo longos comparado ao tamanho do corpo (Figura 3; Figura 4).

Tabela 3. Análise de Componentes Principais para a fauna de formigas que visita iscas em solo e vegetação, de dia e de noite, em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil.

| | PC1 | PC2 | PC3 |
|-------------------------|------------|------------|------------|
| Autovalores | 2.063 | 1.591 | 1.415 |
| Variância (%) | 0.30 | 0.18 | 0.14 |
| Variância acumulada (%) | 0.30 | 0.48 | 0.62 |
| Autovetores | | | |
| WL | -0.34 | 0.17 | -0.15 |
| MW | 0.39 | 0.06 | 0.07 |
| SL | 0.14 | 0.53 | 0.01 |
| ID | -0.12 | 0.07 | -0.28 |
| HW | 0.39 | -0.13 | -0.28 |
| ML | 0.34 | 0.13 | 0.34 |
| HL | 0.40 | -0.13 | -0.22 |
| CL | 0.31 | 0.27 | -0.15 |
| EL | -0.01 | -0.26 | -0.28 |
| DEM | 0.26 | -0.09 | 0.38 |
| PeL | 0.13 | -0.36 | 0.41 |
| PeH | -0.01 | -0.26 | -0.07 |

| | | | |
|----|------|-------|-------|
| FL | 0.08 | 0.52 | -0.02 |
| PW | 0.28 | -0.13 | -0.48 |

O segundo componente principal (PC2) explicou 18% da variação dos dados. PC2 foi mais fortemente associado com comprimento do escapo (SL= 0,526), comprimento do fêmur (FL= 0,517) e comprimento do pecíolo (PeL = -0,362).

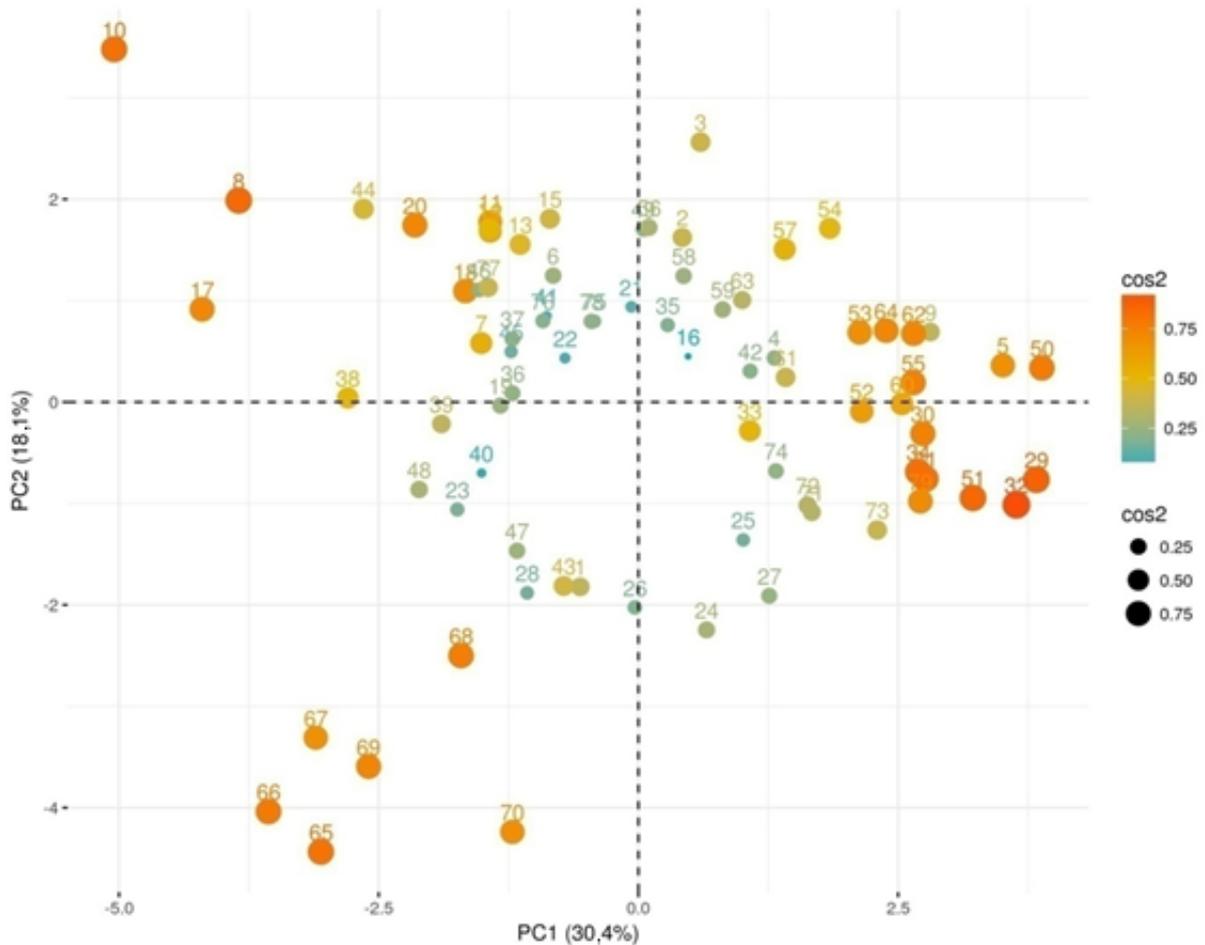


Figura 3. Análise de Componentes Principais (PCA) descrevendo a estrutura morfológica da fauna de formigas visitando iscas em solo e vegetação, de dia e de noite, em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. A matriz morfológica foi descrita por 14 variáveis. Espécies estão representadas por números (N=79) para melhor leitura do gráfico (ver Tabela 5 com os códigos das espécies). “cos2” representa a qualidade da representação das espécies no espaço descrito pelos componentes principais (maiores valores de “cos2” indicam maior importância das espécies para interpretar os componentes principais). O tamanho dos pontos (espécies) é proporcional a sua importância no primeiro e segundo componente principal.

Comparação da Área Morfológica entre Segmentos de Fauna

A delimitação multidimensional da área do espaço morfológico (PC1 e PC2) para espécies demonstrou alta sobreposição do espaço morfológico entre a fauna de solo e vegetação (Figura 5). Para cada ambiente um baixo número de espécies exclusivas foi registrado, sendo 26 e seis espécies em solo e vegetação, respectivamente. No total, 44 espécies têm atividade de forrageamento em ambos os estratos (Tabela 2).

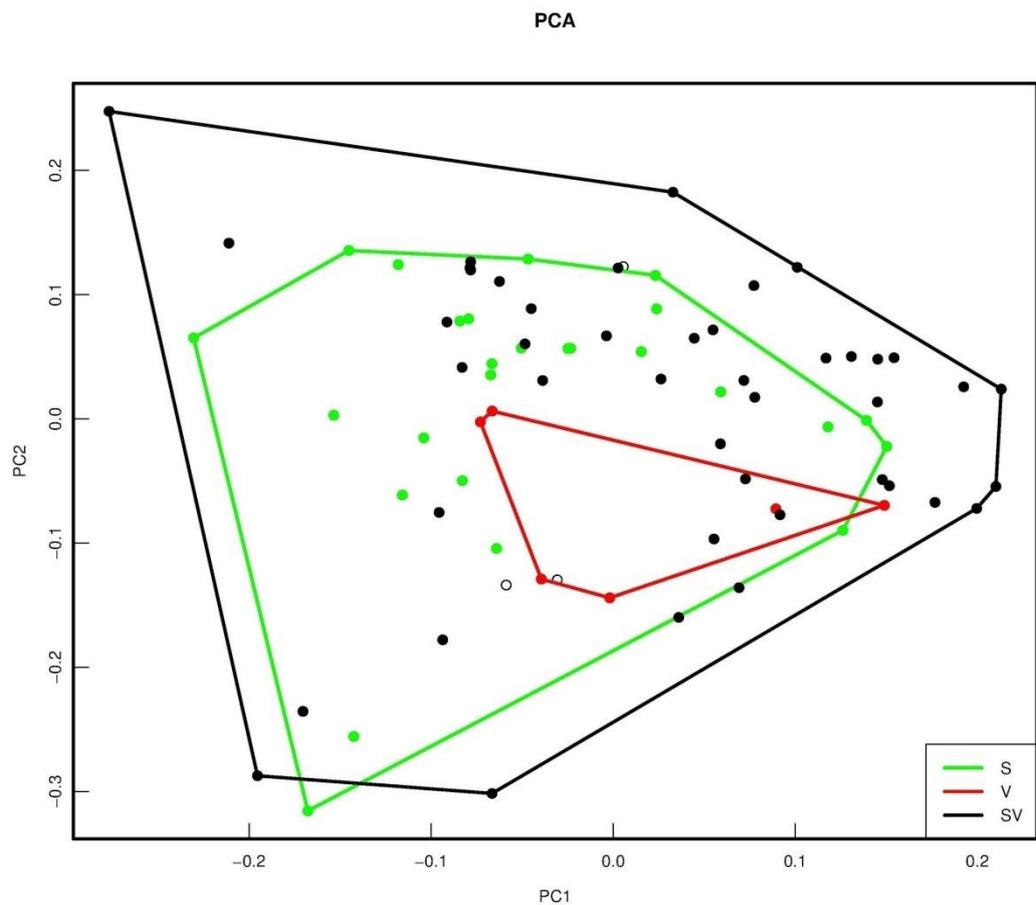


Figura 5. Espaço morfológico da fauna de formigas visitando iscas em uma área de Cerrado, em solo e vegetação, descrito pelo Componente Principal 1 e Componente Principal 2. A matriz morfológica foi descrita por 14 variáveis morfológicas e 76 espécies. Os três polígonos representam a área calculada pelo Convexo Hull para a fauna exclusivamente em solo (S), exclusivamente de vegetação (V) e fauna visitando iscas em solo e vegetação (SV). S= 26 espécies; V = 6 espécies e SV = 44 espécies.

O espaço morfológico descrito pela fauna de formigas visitando iscas de dia e de noite sugere que a fauna de dia ocupa uma região relativamente maior do espaço temporal (isso é, dia x noite) (Figura 6). O número de espécies registradas unicamente em iscas diurnas foi de 30 espécies e 15 espécies foram registradas unicamente de noite. O número de espécies visitando iscas tanto no período diurno quanto no período noturno foi igual a 31 espécies, equivalente a 42% do total da fauna.

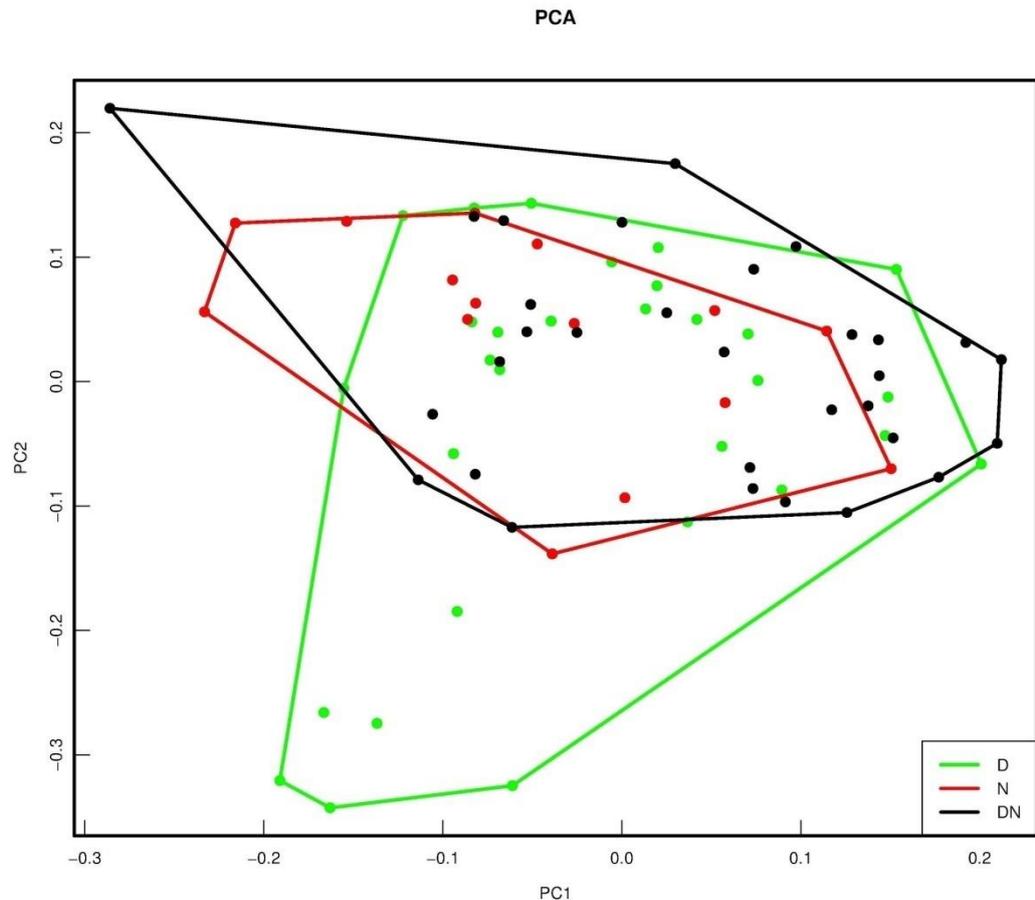


Figura 6. Espaço morfológico da fauna de formigas visitando iscas em uma área de Cerrado, de dia e noite, descrito pelo Componente Principal 1 e Componente Principal 2. A matriz morfológica foi descrita por 14 variáveis morfológicas e 76 espécies. Os três polígonos representam a área calculada pelo Convexo Hull para a fauna coletada exclusivamente de dia (D), exclusivamente de noite (N) ou a fauna visitando iscas de dia e noite (DN). D= 30 espécies; N = 15 espécies e DN = 31 espécies.

Testes de Hipóteses

Hipótese 1 (Diversidade morfológica entre solo e vegetação)

Foram elaborados três modelos estatísticos para testar diferenças do espaço morfológico entre a fauna que visita iscas no solo e na vegetação. Nos modelos, o termo aleatório foi mantido constante e o termo fixo dos modelos mudou, tornando possível controlar riqueza de espécies e, ao mesmo tempo, comparar o efeito de diferentes co-variáveis nos valores de diversidade funcional. No primeiro modelo, diversidade morfológica foi uma função da riqueza de espécies. No segundo modelo, diversidade morfológica foi uma função do local de coleta (solo ou vegetação). Finalmente, no terceiro modelo, diversidade

morfológica foi uma função do local de coleta (solo ou vegetação) e período do dia (dia ou noite) (Tabela 4).

O segundo modelo foi selecionado em comparações por testes do tipo anova (Tabela 2). Os valores de diversidade funcional foram positivamente associados com os valores de riqueza de espécies (diversidade funcional, FD, calculada como o índice de Petchey & Gaston (2002). Considerando a riqueza observada, fauna de vegetação apresentou maiores valores de diversidade funcional do que a fauna de solo (Tabela 5; Figura 7). Ainda, fauna diurna e noturna não apresentaram diferenças de diversidade morfológica (Tabela 4; Figura 8).

Tabela 4. Resultados das comparações de modelos lineares mistos para testar a Hipótese 1 (diferenças funcionais entre a fauna de solo e vegetação em uma área de Cerrado). O modelo 2 foi selecionado como melhor modelo para testar Hipótese 1. gl: grau de liberdade; AIC: Critério de Informação de Akaike. LRT = Teste de Razão de Verossimilhança; FD: Diversidade Funcional; Sobs: Riqueza observada de espécies; Teste 1vs 2: modelo 1 versus modelo 2; Test 2 vs 3: modelo 2 versus modelo 3.

| Modelo | gl | AIC | Test | LRT | P |
|------------------------------------|----|--------|-------|-------|--------|
| FD~Sobs | 9 | 96,204 | | | |
| FD ~ Sobs + Local | 10 | 92,657 | 1vs 2 | 5,546 | 0,0204 |
| FD ~ Sobs + Local + Período | 11 | 92,668 | 2vs 3 | 1,988 | 0,1589 |

Tabela 5. Modelo linear misto para testar a Hipótese 1 (melhor modelo selecionado). O modelo descreve diversidade funcional como uma função de riqueza de espécies de formigas observada e local de forrageamento (Solo ou Vegetação), em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. O termo aleatório incluiu um intercepto (campanha e período) e um coeficiente de variação (riqueza de espécies) para controlar o efeito da riqueza quando comparando os valores de diversidade funcional. A linha “Vegetação” na tabela indica diferença nos valores de FD entre Solo e Vegetação. FD: diversidade funcional; Sobs: riqueza de espécies observada; gl: graus de liberdade; Estatística T: valor da estatística T; P: valor de probabilidade.

| FD ~ Sobs + Local | | | | | |
|--------------------------|-------|-------------|----|---------------|-------|
| | Valor | Erro Padrão | gl | Estatística T | P |
| (Intercepto) | 0,743 | 2,035 | 10 | 0,365 | 0,722 |
| Sobs | 0,660 | 0,088 | 10 | 7,517 | 0,000 |
| Vegetação | 1,812 | 0,670 | 10 | 2,702 | 0,022 |

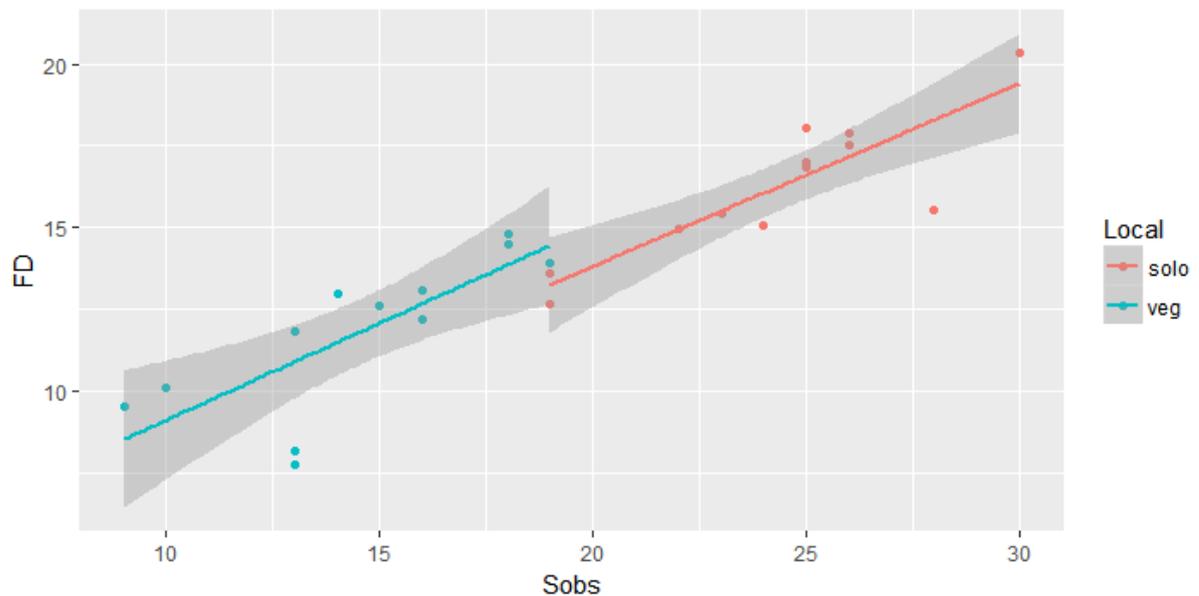


Figura 7. Valores de diversidade funcional como função da riqueza observada de espécies para fauna de solo e vegetação de formigas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. O conjunto de dados inclui a fauna de solo e vegetação, representando 12 pontos ou observações de coleta. As retas representam um modelo linear simples e a área sombreada em cada reta, intervalo de confiança a 95% do modelo de regressão.

Hipótese 2 (Redundância morfológica entre faunas de períodos diferentes)

Valores de redundância funcional foram positivamente associados com os valores de riqueza de espécies (isso é, redundância funcional aumentou com aumento de riqueza de espécies). Em comparação à fauna diurna, fauna noturna apresentou maiores valores de redundância funcional (independentemente do local de forrageamento, isso é, solo ou vegetação), a fauna noturna não difere morfológicamente da fauna diurna. Solo e vegetação apresentaram diferenças de redundância funcional de dia e de noite, porém a fauna noturna apresentou maiores valores de redundância funcional (Tabela 6; Figura 8; Figura 9).

Tabela 6. Modelo linear misto para testar a Hipótese 2. O modelo descreve diversidade funcional como uma função de riqueza de espécies observada e período do dia (Dia ou Noite) para a fauna de formigas em solo ou vegetação em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. O termo aleatório incluiu um intercepto (evento de coleta), considerando medidas repetidas ao longo do tempo. A linha “Noite” na Tabela indica diferença nos valores de Redundância Funcional entre Dia e Noite. FRe: redundância funcional; Sobs: riqueza de espécies observada; gl: graus de liberdade; Valor-t: valor da estatística T; P: valor da probabilidade.

Solo: FRe ~ Sobs + Local

| | Valor | Erro Padrão | gl | Valor-t | P |
|--------------|-------|-------------|----|---------|-------|
| (Intercepto) | 1,018 | 0,186 | 5 | 5,478 | 0,003 |
| Sobs | 0,051 | 0,007 | 4 | 6,989 | 0,002 |
| Noite | 0,200 | 0,045 | 4 | 4,433 | 0,011 |

Vegetação: FRe ~ Sobs + Local

| | Valor | Erro Padrão | gl | Valor-t | P |
|--------------|-------|-------------|----|---------|-------|
| (Intercepto) | 0,779 | 0,184 | 5 | 4,237 | 0,008 |
| Sobs | 0,066 | 0,011 | 4 | 5,829 | 0,004 |
| Noite | 0,230 | 0,050 | 4 | 4,621 | 0,010 |

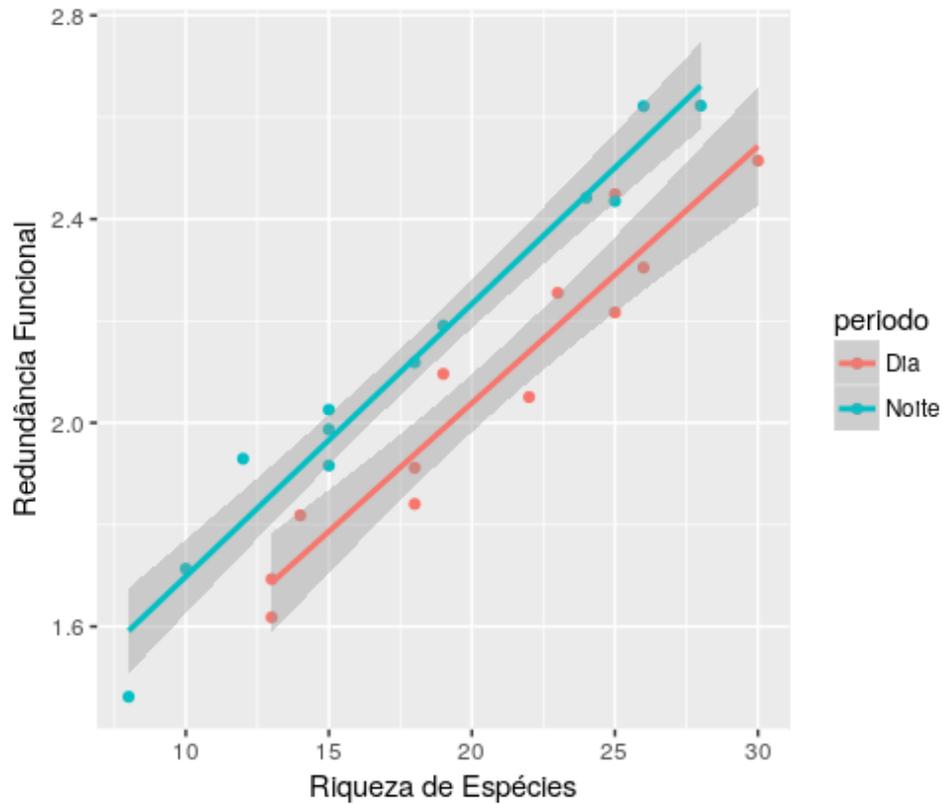


Figura 8. Valores de redundância funcional como função da riqueza de espécies observada para fauna diurna e noturna de formigas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil. O conjunto de dados inclui a fauna de solo e vegetação, representando 12 pontos ou observações de coleta. As retas representam um modelo linear simples e a área sombreada em cada reta, intervalo de confiança a 95% do modelo de regressão.

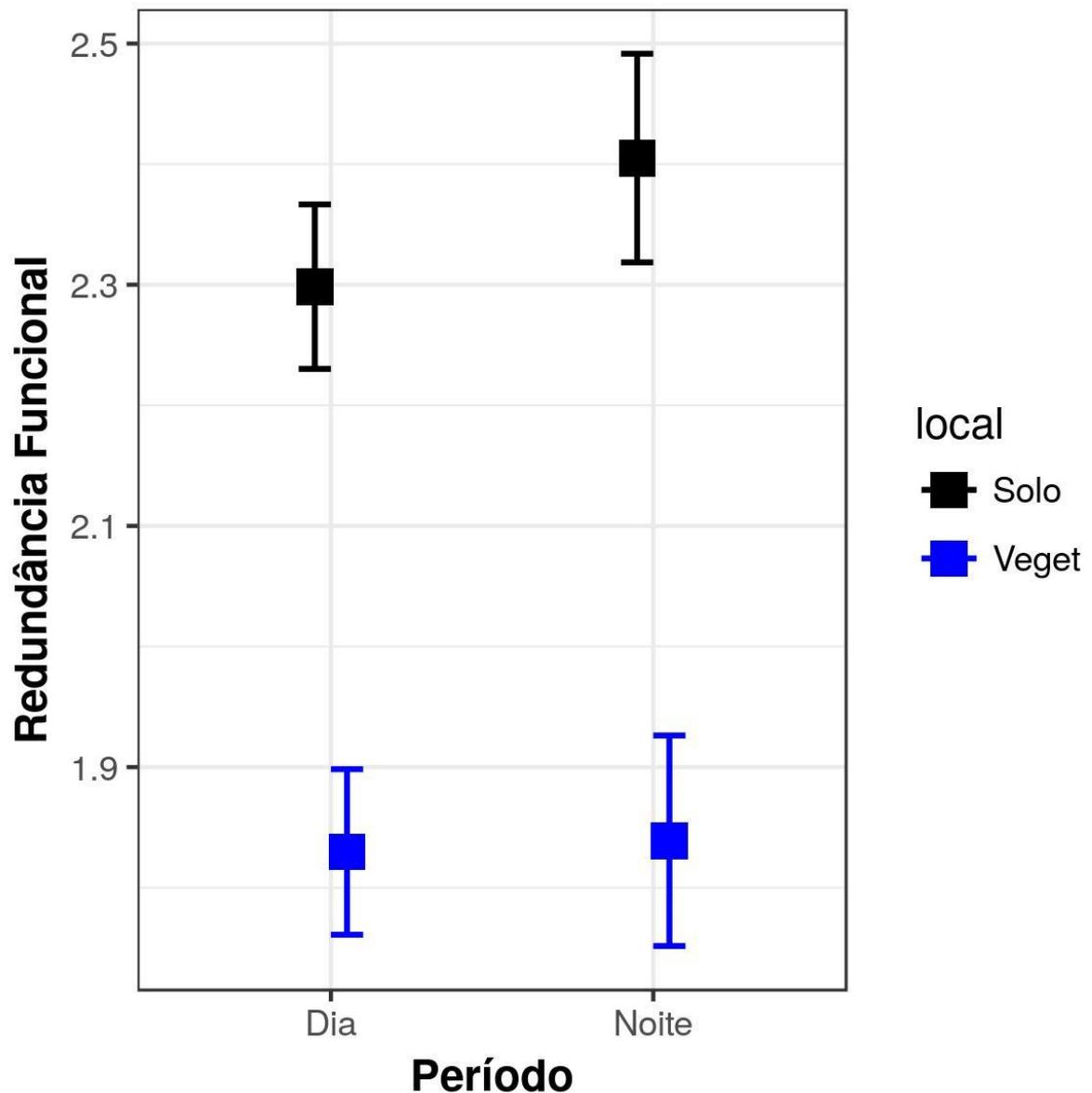


Figura 9. Comparação de valores de redundância funcional entre a fauna de formigas que visita iscas em solo e vegetação, de dia e de noite, em uma área de Cerrado do Sudeste do Brasil. Quadrados representam o valor médio e as barras o erro padrão.

Discussão

Neste estudo, utilizando uma base de dados detalhada sobre composição taxonômica local de formigas visitando iscas de dia e de noite, em solo e vegetação em uma área de Cerrado, testamos duas hipóteses sobre organização morfológica da fauna de formigas. Primeiramente, considerando a distinção taxonômica entre a fauna de solo e vegetação no Cerrado (SILVESTRE & BRANDÃO, 2000; SILVESTRE *et al.*, 2003), testamos a hipótese de que existe diferenciação morfológica entre solo e vegetação. Em seguida, considerando a substituição de espécies que acontece entre o período diurno e noturno nos Cerrados

(SILVESTRE & BRANDÃO, 2000), testamos a hipótese de redundância funcional entre períodos do dia para a fauna de solo e de vegetação. A hipótese 1 foi suportada, sugerindo que a fauna de vegetação apresenta maiores valores de diversidade morfológica, dado a riqueza observada em iscas. A hipótese 2 foi avaliada dentro de dois modelos de análise (um para solo e outro para vegetação). A predição sobre substituição (taxonômica) de espécies e redundância funcional não foi suportada pelo modelo testado. Dada a riqueza observada em iscas, a fauna noturna apresentou valores maiores de redundância funcional, independente do local de forrageamento (solo ou vegetação). Por outro lado, solo e vegetação não apresentaram diferenças de redundância funcional. Tanto diversidade morfológica quanto redundância funcional foram fortemente e positivamente associada com riqueza de espécies.

Organização Morfológica

A seguir, apresento uma caracterização da importância biológica dos caracteres morfológicos selecionados para o presente estudo.

Os caracteres morfológicos das formigas como o tamanho do corpo estão sujeitos a alterações que são fortemente associados às características dos habitats. Em geral, existe uma forte relação entre os fatores abióticos ou bióticos e caracteres funcionais (GIBB & PARR, 2013; ARNAN *et al.*, 2014).

A organização morfológica descrita pela PCA sugere a existência de grupos distintos. Por exemplo, no PC1, um grupo de espécies oportunistas pequenas dos gêneros *Pheidole* e *Brachymyrmex* (SILVESTRE & SILVA, 2000) foi identificado, caracterizado por olhos grandes e distantes da mandíbula. O tamanho e a localização dos olhos é determinante dos hábitos alimentares de muitas espécies de formigas, pois facilitam a localização do recurso (YATES *et al.*, 2014). Ainda, indicam o comportamento em relação ao estrato de forrageamento; por exemplo, olhos maiores são características de formigas predadoras epigeicas quando comparadas às predadoras hipogeicas (SILVA *et al.*, 2016). Esse grupo também apresenta cabeça relativamente grande em relação ao tamanho do corpo.

O primeiro componente principal inclui um grupo de espécies formado por patrulheiras solitárias de médio a grande tamanho do gênero *Pseudomyrmex* (SILVESTRE & SILVA, 2000). Formigas do gênero *Pseudomyrmex* forrageiam em solo e vegetação e apresentaram corpo grande comparado a estrutura do pecíolo (baixo). A altura, comprimento e largura dessa estrutura influenciam no comportamento da espécie (SILVA & BRANDÃO, 2010). Além disso, o tamanho e a localização dos olhos (YATES *et al.*, 2014) difere do outro grupo, pois possuem olhos próximos entre si e da mandíbula. Do mesmo modo, olhos

posicionados dorsalmente foram vistos também nas espécies de ambiente simples (GIBB & PARR, 2013).

O segundo eixo da Análise de Componentes Principais (PC2) caracterizou formigas de tamanho médio a grande. O grupo inclui formigas patrulheiras de recrutamento massivo, que forrageiam em solo e vegetação do gênero *Camponotus* (SILVESTRE & SILVA, 2000). Essas espécies têm também perna e escapo longos, exibindo alta velocidade para localizar e capturar o alimento. A presença de pernas longas nas comunidades tem sido apontado como uma característica de ambientes estruturalmente mais simples (GIBB & PARR, 2013), assim como em solo caracterizado estruturalmente como um ambiente aberto e simples. A presença de um escapo alongado tem função sensorial para localização de alimentos, orientação e em interações intra e interespecíficas (YATES *et al.*, 2014). Em associação ao tamanho do corpo a mandíbula também é larga, provavelmente refletindo o uso de recursos de forma generalista (SILVA *et al.*, 2016). Apresentou também o pronoto estreito, facilitando a passagem em cavidades de variados tamanhos (SARTY *et al.*, 2006).

Características Morfológicas da Fauna de Formigas em uma Área de Cerrado

Atuando diretamente na estruturação das comunidades, filtros ambientais, selecionam indivíduos com características funcionais semelhantes (PODGAISKI *et al.*, 2011). Logo, o ambiente pode ser fundamental na determinação da fauna, porém a escassez de recurso pode alterar a riqueza de espécies local (PEREIRA *et al.*, 2017). Além disso, mudanças nas condições ambientais também podem selecionar características funcionais diferenciadas (MENDONÇA-JUNIOR & PILLAR, 2011).

Os resultados mostraram que as espécies exibem padrão nas características morfológicas. Áreas abertas, em geral, têm espécies em uma escala de tamanho corporal maior que na vegetação aonde devido à maior complexidade da estrutura devido às rugosidades é verificado espécies de menor tamanho (KASPARI & WEISNER, 1999). No entanto, verificamos que há um grande compartilhamento de espécies dentre os estratos, a exemplo disso, encontramos espécies do gênero *Camponotus* que forrageiam preferencialmente em troncos em decomposição, solo, e também na vegetação (SILVESTRE & SILVA, 2000; MARQUES & DEL-CLARO, 2006).

Considerando que solo e vegetação possuem condições ambientais diferentes, a morfologia das espécies de solo de uma área do Cerrado do Sudeste do Brasil contrasta com a morfologia das espécies arborícolas. Os resultados mostram que as espécies que compõem a fauna de solo têm tamanho de corpo grande, existindo similaridades na morfologia com

espécies que forrageiam no solo de áreas abertas, encontradas em ambientes mais planos (KASPARI & WEISER, 1999).

Em oposição às características das espécies de solo, temos a morfologia marcadamente distinta das espécies arborícolas. Com predominância nas espécies de vegetação temos os gêneros de *Pheidole*, *Brachymyrmex* e *Pseudomyrmex* com morfologia caracterizada por olhos posicionados mais ventralmente (menor distância entre os olhos), pernas curtas (KASPARI & WEISER, 1999). Igualmente, essas características também são observadas em espécies de serapilheira onde o substrato é extremamente acidentado em pequena escala (“rugoso”) formado pelo acúmulo de folhas, detritos vegetais, com numerosos obstáculos sendo favorável às formigas pequenas (DELABIE *et al.*, 2015). Além disso, também possuem pecíolo e corpo estreito, com menor tamanho.

Além disso, nossos resultados coincidem com estudos comparativos entre dois biomas contrastantes (floresta tropical x deserto) que detectaram resultados semelhantes na diversidade morfológica, sendo a floresta tropical associada com espécies caracteristicamente menores, bem como outros caracteres como olhos pequenos e posicionados mais lateralmente, e a fauna do deserto foi caracterizada por espécies com maior tamanho de corpo (SCHOFIELD *et al.*, 2016).

Assim, a fauna de formigas compartilha características morfológicas semelhantes decorrente de ambientes similares, mesmo que, em diferentes regiões geográficas (BISHOP *et al.*, 2016); quando os ambientes diferem as características morfológicas tendem a divergir (SCHOFIELD *et al.*, 2016). Presumivelmente, os nossos dados corroboram na existência de um padrão morfológico de formigas relacionado ao ambiente (plano ou com rugosidades), observado através na variabilidade das características morfológicas que são similares ao longo dos continentes (KASPARI & WEISER, 1999; BISHOP *et al.*, 2016).

Diferenças Morfológicas entre Solo e Vegetação

Diferenças em termos de composição de espécies da fauna de formigas visitantes de solo e vegetação foram encontradas no Cerrado brasileiro (SILVESTRE & BRANDÃO, 2000). Após o teste da hipótese 1, concluímos que além de diferença em termos de composição também existe diferenças em termos funcionais entre solo e vegetação. Ainda verificamos que na área de Cerrado estudada, existe associação entre diversidade funcional e número de espécies. Finalmente, o modelo testado indicou maior diversidade funcional na vegetação, dado o número de espécies registradas na vegetação.

Embora a vegetação tenha apresentado um baixo número de espécies exclusivas, a fauna que visita iscas na vegetação parece ser morfologicamente mais diversa que a fauna visitando iscas no solo, como quantificado por uma medida de diversidade funcional derivada de dendrograma (FD de PATCHEY & GASTON, 2002). A morfologia das espécies no solo em ambientes estruturalmente mais simples é prevista pela hipótese “do tamanho do grão”, a qual prevê vantagens de pernas longas em relação à área seccional do tronco em formigas, em termos de eficiência e velocidade de locomoção. Existindo um limiar referente ao tamanho de pernas, de modo que, há diminuição dos benefícios em formigas de pernas grandes à medida que o ambiente se torna mais complexo. Pernas grandes, por exemplo, são ineficientes em formigas menores, enquanto que em ambientes de fácil acesso fornece maior velocidade (KASPARI & WEISER, 1999). Sendo assim, espécies de solo foram em geral maiores em tamanho de corpo, com olhos posicionados mais dorsalmente, além de pernas longas.

Já as características na morfologia das espécies da vegetação são contrárias à morfologia da fauna de solo. As espécies arbóreas se assemelham com a morfologia da fauna de floresta tropical (ambiente estruturalmente mais complexo) dado pela diminuição do tamanho de corpo, além de outras medidas correlacionadas, tais como, olhos e pernas menores (GIBB & PARR, 2013).

Diferentemente do esperado (hipótese 2), análises sobre redundância funcional detectaram diferenças entre dia e noite (em solo ou vegetação), sugerindo assincronia funcional entre a fauna diurna e noturna visitando iscas. A importância do período (dia e noite) para formigas tem sido demonstrado em estudos sobre dispersão de sementes (SANTANA *et al.*, 2016), e atividade de vôos nupciais em comunidades (FEITOSA, SILVA & AGUIAR, 2016). Além disso, espécies de alguns gêneros apresentam diferenças no período de forrageamento ao longo do dia; por exemplo, no gênero *Ectatomma* o forrageamento é mais ativo no período noturno (SANTANA *et al.*, 2013) embora registrado em período diurno em florestas tropicais (SANTANA *et al.*, 2016), igualmente verificado em nossos dados.

A fauna noturna apresentou maiores valores de redundância funcional, ou seja, nesse período temos maior similaridade morfológica entre as espécies. Resultados diferentes foram verificados em florestas tropicais, com maior redundância funcional no período diurno. Por outro lado, estudos em florestas tropicais sugerem que redundância funcional não difere entre dia e noite. Ainda a alteração da redundância funcional nos diferentes biomas pode estar sendo influenciado pela especialização do forrageamento das espécies em escalas temporais (HOUADRIA *et al.*, 2016).

Possivelmente, a variação nos valores de redundância funcional e os efeitos da assincronia funcional nos ecossistemas são maiores quando os estudos consideram uma escala temporal longa (ISBEL & LOREAU, 2013). Estudo realizado em curtos períodos de tempo pode limitar os efeitos de redundância funcional nos ecossistemas (HOUADRIA *et al.*, 2016). Assim, a assincronia pode ser um importante promotor da variação da estabilidade em comunidades de plantas e animais, mas o impacto é notado a partir de estudos em escalas interanuais (BLUTHGEN *et al.*, 2016).

Conclusão

No presente trabalho, encontramos diferenças funcionais na fauna de formigas que visitam iscas em solo e vegetação em uma área de Cerrado do Sudeste do Brasil. A diversidade funcional foi correlacionada com riqueza de espécies. Apesar da fauna de solo apresentar maior riqueza de espécies, notamos que o aumento de diversidade funcional é maior na vegetação quando espécies são adicionadas, quando comparadas com o solo. Em relação à redundância funcional, este estudo fornece evidências que solo e vegetação apresentam diferenças de redundância funcional no período diurno e noturno. Redundância funcional foi também correlacionada com riqueza de espécies. Finalmente, maior redundância funcional foi encontrada no período noturno, tanto para a fauna de solo quanto para a fauna de vegetação.

| |
|--------------------------------|
| BIBLIOGRAFIA CONSULTADA |
|--------------------------------|

ANDERSEN, A.N. Functional groups and patterns of organization in North American ant communities: a comparison with Australia. **Journal of Biogeography**, 24, 433-460. 1997.

ARNAN, X.; CERDA, X. & RETANA, J. Distinctive life traits and distribution along environmental gradients of dominant and subordinate Mediterranean ant species. **Oecologia**, 170, 489-500. 2012.

ADES, C. Cucos, formigas, abelhas e a evolução dos instintos. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, 7, 179-194. 2012.

AGOSTI, D. & NASCIMENTO, I.C. Litter ant communities of the Brazilian Atlantic rain forest region. Sampling ground-dwelling ants: case studies from the world's rain forests. Curtin University School of Environmental Biology, Perth, Australia, **Bulletin**, 18, 1-18. 2000.

BLUGHGEN, N.; SIMONS, N.K.; JUNG, K.; PRATI, D.; RENNER, S.C.; BOCH, S.; FISCHER, M.; HOLZEL, N.; KLAUS, V.H.; KLEINEBECKER, T.; TSCHAPKA, M.; WEISSER, W.W. & GOSSNER, M.M. Land use imperils plant and animal community stability through changes in asynchrony rather than diversity. **Nature Communications**, 7, 1-7. 2016.

CAMARGO, R.S.; HASTENREITER, I.N.; FORTI, L.C.; & LOPES, J.F.S. Relationship between mandible morphology and leaf preference in leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae). **Revista Colombiana de Entomología**, 41, 241-244. 2016.

CIANCIARUSO, M.V.; SILVA, I.A. & BATALHA, M.B. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biotaneotropica**, 9, 93-103. 2009.

COGNI, R. & FREITAS, A.V.L. The ant assemblage visiting extrafloral nectaries of *Hibiscus pernambucensis* (Malvaceae) in a mangrove forest in Southeast Brazil (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, 40, 373-383. 2002.

CUADRA, V.P. & CAMBI, V. Morpho anatomical functional traits in xerophytic species of a saline environment. **International Journal of Experimental Botany**. 83, 389-396. 2014.

DELABIE, J.H.C., FEITOSA, R.M., SERRÃO, J.E., MARIANO, C.S.F & MAJER, J.D. **As formigas poneromorfas do Brasil**. Ed. Editus, Universidade Federal de Santa Cruz. 2015.

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**, 17, 133-146. 2012.

DEL TORO, I.; SILVA, R.R. & ELLISON, A.M. Predicted impacts of climatic change on ant functional diversity and distributions in eastern North American forests. **Diversity and Distributions**, 21, 781-791. 2015.

FEITOSA, R.M., SILVA, R.R. & AGUIAR, A.P. Diurnal flight periodicity of a Neotropical ant assemblage (Hymenoptera, Formicidae) in the Atlantic Forest. **Revista Brasileira de Entomologia**. 60, 241-247, 2016.

FERNANDES, G.W.; COELHO, M.S.; MACHADO, R.B.; FERREIRA, M.E.; AGUIAR, L.M.S.; DIRZO, R.; SCARIOT, A.; LOPES, C.R. Afforestation of savannas: an impending ecological disaster. *Natureza e Conservação*. **Brazilian Journal of Nature Conservation**, 70, 1-6. 2016.

FOWLER, H.G.; FORTI, L.C.; BRANDÃO C.R.F.; DELABIE, J.H.C. & VASCONCELOS, H.L. Ecologia nutricional de insetos e suas aplicações no manejo de pragas. Manole, São Paulo, Brasil. **Ecologia nutricional de formigas**, 1991.

GIBB, H. & PARR, C.L. 2010. How does habitat complexity affect ant foraging success? A test using functional measures on three continents. **Oecologia**, 164:1061–1073.

GIBB, H., PARR, C.L. 2013. Does structural complexity determine the morphology of assemblages? An experimental test on three continents. **Plos One**, 8, 1-7.

GOTELLI, N.J. & ELISSON, A.M. **Princípios de estatística em ecologia**. Editora Artmed. 2011.

HOLDOBLER, B. & WILSON, E.O. **The ants**. 1 Ed. Press of Harvard University, Cambridge. 1990.

HOUADRIA, M.; BLUTHGEN, N.; SALAS-LOPEZ, A.; SCHMITT, M-I.; ARNDT, J.; SCHNEIDER, J.; ORIVEL, J. & MENZEL, J. The relation between circadian asynchrony, functional redundancy, and trophic performance in tropical ant communities. **Ecology**, 97, 225-235. 2016.

IMENES, S.D.L. & IDE, S. Principais grupos de insetos pragas em plantas de interesse econômico. **Biológico**, 64, 235-238. 2002.

IVANAUSKAS, N.M.; BERTANI, D.F.; MATTOS, I.F.A.; KANASHIRO, M. M.; FRANCO, G.A.D.C.; CORDEIRO, I.; BERNACCI, L.C.; & MEIRA-NETO, J.A.A. SECRETARIA DE ESTADO E MEIO AMBIENTE. **Remanescentes naturais da Fazenda Santa Carlota, Cajuru-SP: fitofisionomias, riqueza de espécies e importância para a conservação da biodiversidade paulista**. São Paulo, 2014.

JETZ, W.; CAVENDER-BARES, J.; PAVLICK, R.; SCHIMEL, D.; DAVIS, F.W.; ASNER, G.P.; GURALNICK, R.; KATTGE, J.; LATIMER, A.M.; MOORCROFT, P.; SCHAEPMAN, M.E.; SCHILDHAUER, M.P.; SCHNEIDER, F.D.; SCHRODT, F.; STAHL, D. & USTIN, U.S.L. Monitoring plant functional diversity from space. **Nature Plants**, 16024, 1-5. 2016.

KASPARI, M. & WEISER, M.D. The size–grain hypothesis and interspecific scaling in ants. **Functional Ecology**, 13, 530-538. 1999.

LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. Editora Elsevier, 319-321p. 2000.

LAURETO, L.M.O.; CIANCIARUSO, M.V.; & SAMIA, D.S.M. Functional diversity: an overview of its history and applicability. **Brazilian Journal of Nature Conservation**. *Natureza e Conservação*, 13, 112-116. 2015.

- LEAL, I. & LOPES, B.C. Estrutura das Comunidades de Formigas (Hymenoptera: Formicidae) de solo e vegetação no morro da lagoa da conceição, Ilha de Santa Catarina, SC. **Biotemas**, 5, 107-122. 1992.
- LOBRY DE BRUYN, L.A. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 74, 425-441.1999.
- MENDONÇA-JUNIOR, M.S. & PILLAR, V.P. O uso de atributos funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: o que, como e porque?. **Oecologia Australis**. 4, 835-853, 2011.
- MENDONÇA, R.C.; FELFI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA, M.C.J; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T.S. & NOGUEIRA, P.E. EMBRAPA. **Flora Vascular do Bioma Cerrado**. Bases de Dados da Pesquisa Agropecuária, 2, 423-442. 2008.
- MORETTI, M., BELLO, F. ROBERTS, S.P.M., POTTS, S.G. Taxonomical vs. functional responses of bee communities to fire in two contrasting climatic regions. **Journal of Animal Ecology**, 78 , 98–108, 2009.
- MOUILLOT, D.; STUBBS , W.; FAURE , M.; DUMAY , O.; TOMASINI, J. A.; WILSON, J.B.; & CHI, T.D. Niche overlap estimates based on quantitative functional traits: a new family of nonparametric indices. **Oecologia**, 145, 345-353. 2005.
- MCGILL, B.J.; ENQUIST, B.J.; WEIHER, E. & WESTOBY, M. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**, 21, 178-185. 2006.
- NADKARNI, N.M. & LONGINO, J.T. Invertebrates in canopy and ground organic matter in a Neotropical montane forest, Costa Rica. **Biotropica**, 22, 286-289.1990.
- OLIVEIRA, P.S.; RICO-GRAY, V.; DIAZ-CASTELAZO, C. & CASTILLO-GUEVARA. Interaction between ants, extrafloral nectaries and insect herbivores in Neotropical coastal sand dunes: Herbivores deterrence by visiting ants increases fruit set in *Opuntia stricta* (Cactacea), **Functional Ecology**, 13, 623-631. 1999.
- PILLAR, V.D.; DUARTE, L.S.; SOSINSKI, E.E. & JONER, F. Sorting out trait-convergence and trait-divergence assembly patterns in ecological community gradients. **Journal of Vegetation Science**, 20, 334-348. 2009.
- PILLAR, V.D.; BLANCO, C.C.; MULLER, S.C.; SONSINSKI, E.E.; JONER, F.; DUARTE, L.D.S. Functional redundancy and stability in plant communities. Special Feature: Functional Diversity. **Journal of Vegetation Science**, 24, 963-974.2013.
- PETCHEY, O.L., & GASTON, K.J. 2002. Extinction and the loss of functional diversity. **Proceedings of the Royal Society B**, 269, 1721-1727.
- PETCHEY, O.L., & GASTON, K.J. 2002. Functional diversity (FD), species richness, and community composition. **Ecology Letters**, 5, 402-411.
- PETCHEY, O.L. & GASTON, K.J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, 9, 741-758. 2006.

- PODGAISKI, L.R.; MENDONÇA, M.S.; & PILLAR, V.D. O uso de Atributos funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: o que, como e por quê? **Oecologia Australis**, 15, 835-853. 2011.
- ROSENFELD, J.S. Logical fallacies in the assessment of functional redundancy. **Conservation Biology**. 16, 837–839. 2002a.
- ROSENFELD, J.S. Functional redundancy in ecology and conservation. **Oikos** 98, 156-162.2002b.
- ROSSI, M.; MATTOS, I.F.A.; KANASHIRO, M.M.; SANTOS, L.G. & VELLARDI, J.W.V. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Diagnóstico do meio físico da Fazenda Santa Carlota: solos. Rio de Janeiro, 2012.
- SACCO, A.G.; RUI, A.M.; BERGMANN, F.B.; MULLER, S.C. & HARTZ, S.M. Perda de diversidade taxonômica e funcional de aves em área urbana no sul do Brasil. **Iheringia**, 105, 276-287. 2015.
- SILVA, R.R. & BRANDÃO, C.R.F. Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. **Ecological Monographs**, 80, 107-124. 2010.
- SILVA R.R. & BRANDÃO, C.R.F. Ecosystem-wide morphological structure of leaf-litter ant communities along a tropical latitudinal gradient. **PloSone**, 9, 1- 11. 2014.
- SILVESTRE, R. Estrutura de comunidades de formigas do Cerrado. **Tese de doutorado**. 2000.
- SILVESTRE, R. & BRANDÃO, C.R.F. Formigas (Hymenoptera: Formicidae) atraídas a iscas em uma “ilha” de Cerrado no município de Cajuru, estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, 44, 71-77. 2000.
- SILVESTRE, R. & SILVA, R.R. Guildas de formigas da Estação Ecológica de Jataí, Luís Antônio – SP – sugestões para aplicação do modelo de guildas como bio-indicadores ambientais. **Biotemas**, 14, 37-69. 2000.
- SOBRAL, F.L. & CIANCIARUSO, M.V. Estrutura filogenética e funcional de assembléias: (re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais. **Bioscience Journal**, 28, 617-631. 2012.
- SANTANA, F.D.; BACCARO, F.B. & COSTA, F.R.C. Busy nights: High seed dispersal by crickets in a Neotropical Forest. **The American Naturalist**, 5-188. 2016.
- SARTY, M.; ABBOTT, K.L. & LESTER, P.J. Habitat complexity facilitates coexistence in a tropical ant community. **Oecologia**, 149, 465-473.
- SCHOFIELD, S. F.; BISHOP, T. R. & PARR, C. L. 2016. Morphological characteristics of ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) differ among contrasting biomes. **Myrmecological News**, 23, 129-137.2006.

- TAVARES, A.A.; BISPO, P.C. & ZANZINI, A.C.S. Comunidades de formigas epigéicas (Hymenoptera: Formicidae) em áreas de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. e de vegetação nativa numa região de Cerrado. **Revista Brasileira de Entomologia**, 45, 251-256. 2001.
- TAVARES, A.A.; BISPO, P.C. & ZANZINI, A.C. Efeito do Turno de Coleta Sobre Comunidades de Formigas Epigéicas (Hymenoptera: Formicidae) em Áreas de *Eucalyptus cloeziana* e de Cerrado. **Neotropical Entomology**, 37, 126-130. 2008.
- TILMAN, D. Functional diversity. **Encyclopedia of Biodiversity**, 294, 843-845. 2001.
- VELOSO, H.P. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012.
- VILLEGER, S.; MASON, N.W.H. & MOUILLOT, D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. **Ecology**, 89, 2290-2301. 2008.
- VIEIRA, N.K.M.; POFF, N.L.; CARLISLE, D.M.; MOULTON, S.R.; KOSKI, M.L. & KONDRATIEFF, B.C.A Database of Lotic Invertebrate Traits for North America. **US Geological Survey Data Series**, 187, 1-15. 2006.
- WEISER, M.D. & KASPARI, M. Ecological morphospace of New World ants. **Ecological Entomology**, 31, 131-142. 2006.
- WIRTH, R. & LEAL, I.L. Does rainfall affect temporal variability of ant protection in *Passifloracoccinea*? **ÉCOSCIENCE**, 8, 450-453. 2001.
- YATES, M.L.; ANDREW, N.R.; BINNS, M. & GIBB, H. Morphological traits: predictable responses to macrohabitats across a 300 km scale. **PeerJ**, 2, 1- 20. 2014.
- ZMIHORSKI, M. & SLIPINSKI, P. The importance of diurnal and nocturnal activity and interspecific interactions for space use by ants in clear-cuts. **Ecological Entomology**, 41, 276-283. 2016.

ANEXO

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |
| 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |
| 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 |
| 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |

Figura 10. Distribuição dos pontos de coleta na grade de coleta em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil (município de Cajuru, São Paulo). Em cinza, pontos sorteados (25) para coleta de formigas com iscas atrativas em solo e vegetação, de dia e de noite, em junho de 1995.

Tabela 7. Distribuição da fauna de formigas visitando iscas em uma área de Cerrado no Sudeste do Brasil, em solo e vegetação, de dia e de noite.

| CÓD | ESPÉCIES | ESTRATOS | | PERÍODO | |
|-----|--|----------|-----------|---------|-------|
| | | SOLO | VEGETAÇÃO | DIA | NOITE |
| 2 | <i>Acromyrmex landolti balzani</i> (Emery, 1980) | X | | X | |
| 15 | <i>Camponotus</i> sp.18 | X | | X | |
| 17 | <i>Camponotus</i> sp.15 | X | | | X |
| 20 | <i>Camponotus</i> sp.16 | X | | X | |
| 30 | <i>Crematogaster</i> sp.10 | X | | X | |
| 35 | <i>Cyphomyrmex rimosus</i> (Spinola, 1851) | X | | X | |
| 37 | <i>Ectatoma edentatum</i> (Roger, 1983) | X | | X | |
| 38 | <i>Ectatoma permagnum</i> (Forel, 1908) | X | | X | |
| 39 | <i>Gnamptogenys pleurodon</i> (Emery, 1896) | X | | X | X |
| 40 | <i>Hypoponera</i> sp.1 | X | | X | X |
| 42 | <i>Mycocepurus goeldii</i> (Forel, 1893) | X | | X | |
| 44 | <i>Neivamyrmex pseudops</i> (Forel, 1909) | X | | | X |
| 45 | <i>Odontomachus bauri</i> (Emery, 1892) | X | | | X |
| 46 | <i>Odontomachus chelifer</i> (Latreille, 1802) | X | | | X |
| 47 | <i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804) | X | | X | X |
| 48 | <i>Pachycondyla striata</i> (Smith, 1858) | X | | X | X |
| 52 | <i>Pheidole</i> sp.20 | X | | X | X |
| 56 | <i>Pheidole</i> sp.12 | X | | X | |
| 58 | <i>Pheidole</i> sp.14 | X | | X | |
| 60 | <i>Pheidole</i> sp.18 | X | | X | X |
| 65 | <i>Pseudomyrmex elongatus</i> (Mayr, 1870) | X | | X | |
| 69 | <i>Pseudomyrmex tenuis</i> (Fabricius, 1804) | X | | X | |
| 75 | <i>Trachymyrmex fuscus</i> (Emery, 1894) | X | | X | X |
| 76 | <i>Trachymyrmex</i> sp. | X | | X | X |
| 77 | <i>Trachymyrmex oetkeri</i> (Forel, 1908) | X | | | X |
| 78 | <i>Trachymyrmex ruthae</i> (Weber, 1837) | X | | | X |
| 73 | <i>Solenopsis</i> sp.15 | X | | X | X |
| 19 | <i>Camponotus</i> sp.10 | | X | X | |
| 26 | <i>Cephalotes pallens</i> (Klug, 1824) | | X | | X |
| 36 | <i>Dolichoderus</i> sp.1 | | X | X | |
| 43 | <i>Myrmelachista</i> sp. | | X | | X |
| 72 | <i>Solenopsis</i> sp.14 | | X | X | |
| 79 | <i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863) | | X | | X |
| 1 | <i>Acanthoponera mucronata</i> (Roger, 1860) | X | X | X | X |
| 3 | <i>Atta sexdens rubropilosa</i> Forel, 1908 | X | X | X | X |
| 4 | <i>Azteca alfari</i> Emery, 1893 | X | X | X | |
| 5 | <i>Brachymyrmex</i> sp.1 | X | X | X | X |

| | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|
| 6 | <i>Camponotus atriceps</i> (Smith, 1858) | X | X | | X |
| 7 | <i>Camponotus blandus</i> (Smith, 1858) | X | X | X | |
| 8 | <i>Camponotus cingulatus</i> (Mayr, 1862) | X | X | | X |
| 9 | <i>Camponotus crassus</i> (Mayr, 1862) | X | X | X | |
| 10 | <i>Camponotus lespesii</i> Forel, 1886 | X | X | X | X |
| 11 | <i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894 | X | X | X | X |
| 12 | <i>Camponotus renggeri</i> Emery, 1894 | X | X | | X |
| 13 | <i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775) | X | X | X | X |
| 14 | <i>Camponotus sericeiventris</i> (Guérin-Méneville, 1838) | X | X | X | |
| 16 | <i>Camponotus</i> sp.19 | X | X | X | X |
| 18 | <i>Camponotus</i> sp.16 | X | X | | X |
| 21 | <i>Camponotus</i> sp.4 | X | X | X | |
| 22 | <i>Camponotus</i> sp.7 | X | X | X | |
| 23 | <i>Cephalotes atratus</i> (Linnaeus, 1758) | X | X | X | |
| 24 | <i>Cephalotes depressus</i> (Klug, 1824) | X | X | X | |
| 25 | <i>Cephalotes minutus</i> (Fabricius, 1804) | X | X | X | |
| 27 | <i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824) | X | X | X | |
| 29 | <i>Crematogaster</i> sp.1 | X | X | X | X |
| 31 | <i>Crematogaster</i> sp.3 | X | X | X | X |
| 32 | <i>Crematogaster</i> sp.5 | X | X | X | |
| 33 | <i>Crematogaster</i> sp.7 | X | X | | X |
| 34 | <i>Crematogaster</i> sp.9 | X | X | X | |
| 41 | <i>Linepithema</i> sp.2 | X | X | X | X |
| 49 | <i>Paratrechina</i> sp. | X | X | X | X |
| 50 | <i>Pheidole gertrudae</i> Forel, 1888 | X | X | X | X |
| 51 | <i>Pheidole</i> sp.2 | X | X | X | X |
| 53 | <i>Pheidole</i> sp.6 | X | X | | X |
| 54 | <i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908 | X | X | X | X |
| 55 | <i>Pheidole</i> sp.1 | X | X | X | X |
| 57 | <i>Pheidole</i> sp.13 | X | X | X | X |
| 59 | <i>Pheidole</i> sp.16 | X | X | X | |
| 61 | <i>Pheidole</i> sp.21 | X | X | X | |
| 62 | <i>Pheidole</i> sp.22 | X | X | X | X |
| 63 | <i>Pheidole</i> sp.25 | X | X | | X |
| 64 | <i>Pheidole</i> sp.4 | X | X | X | X |
| 66 | <i>Pseudomyrmex flavidulus</i> (Smith, 1958) | X | X | X | |
| 67 | <i>Pseudomyrmex gracilis</i> (Fabricius, 1904) | X | X | X | |
| 68 | <i>Pseudomyrmex kuenckeli</i> (Emery, 1958) | X | X | X | |
| 70 | <i>Pseudomyrmex urbanus</i> (Smith, 1877) | X | X | X | |
| 71 | <i>Solenopsis</i> sp.13 | X | X | X | X |
| 74 | <i>Solenopsis</i> sp.3 | X | X | X | X |