

Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação  
Instituto de Biociências  
Universidade Federal de Mato Grosso Do Sul

**Diversidade taxonômica e funcional de formigas da  
diagonal seca da América do Sul**

Mariáh Leite Tibcherani



Campo Grande  
**Mai 2022**

# **Diversidade taxonômica e funcional de formigas da diagonal seca da América do Sul**

Mariáh Leite Tibcherani

Tese apresentada como requisito para a obtenção do título de **Doutora em Ecologia**, pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Orientador: Gustavo Gracioli

Co-orientador: Rodrigo Aranda

## **Banca avaliadora**

Dr. Fabício Beggato  
Baccaro  
Instituto Nacional de  
Pesquisas da Amazônia.

Dr. José Henrique Schoereder  
Universidade de Viçosa

Dr. Jarbas Marçal de  
Queiroz  
Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro

Dr. Fabio de Oliveira Roque  
Universidade Federal de  
Mato Grosso do Sul.

Dr. Josué Raizer  
Universidade Federal da  
Grande Dourados.

**À família e aos amigos!**

## **Agradecimentos**

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador Gustavo Graciolli por acreditar na minha capacidade e permitir que eu desenvolvesse meu projeto com autonomia e independência. Muito obrigada pelo suporte nos momentos mais difíceis destes quatro anos. Agradeço ao meu coorientador Rodrigo Aranda pela paciência, pelas horas de orientação e parceria na pesquisa. Sou infinitamente grata por esses nove anos de amizade, por todo conhecimento e por não me deixar desistir em nenhum momento.

Aos meus pais, Claudia e Emiliano, por todo apoio, suporte e amor que me deram e me dão a cada dia. Obrigada por compreenderem as minhas ausências, pelo valor dado ao meu projeto e pelo reconhecimento como professora, bióloga e pesquisadora. De todo o meu processo de formação, estes últimos quatro anos foram os mais difíceis. Não teria conseguido sem vocês!

Aos que alegram os meus dias com carinho e lambidas. Brigitte, Frederico e Tequila, estes quatro anos teriam sido muito difíceis sem a alegria que vocês me proporcionaram. Agradeço especialmente a Tequila pelos anos de carinho e dengo, por me receber todos os dias com amor e por estar sempre pronta para me acolher. Você partiu cedo, meu amor.

Agradeço ao meu namorado Fernando que, com certeza, é a minha maior sorte! Obrigada, meu amor, por ter aparecido na minha vida e ser a melhor parte deste quatro anos. Sou grata por me fazer entender que nada deveria ser como sempre foi, por estender a mão e caminhar ao meu lado. Muito obrigada pelo apoio, por não me deixar desistir, por acreditar tanto em mim e me dar forças para chegar até aqui. A vida é muito melhor por ter você comigo! Amo você!

À minha melhor amiga, Bea! Quanta força você me deu nestes quatro anos! Não foi fácil e sabemos muito bem disso! Obrigada pela amizade, pelas horas de conversa e por estar presente mesmo sem nossos encontros diários. Sou grata pelo apoio, por acreditar em mim e por acreditar que daria tudo certo no final. Muito obrigada por me reerguer, sis!

Às amigas que a Universidade me deu! Anne e Nathalia, obrigada pela amizade, por compartilharem os momentos de desespero comigo. Muito obrigada pelas conversas, pelas horas no laboratório e por tornarem os meus dias mais leves.

À amiga que fiz durante o doutorado, Nati! Obrigada pelos campos, pelas horas de conversa que variavam entre uma música e outra entre pontos de coleta. Obrigada pela

amizade e força que foram extremamente importantes nestes últimos anos. Que nossa amizade e parceria em campo só cresça a cada dia!

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (PPGEC) pela oportunidade de realizar o meu projeto de doutorado. Aos professores e pesquisadores do PPGEC pelos conhecimentos compartilhados e a CAPES pela concessão da bolsa.

# Índice

<b>Sumário</b> .....	<b>7</b>
<b>Resumo geral</b> .....	<b>9</b>
<b>General abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>Introdução geral</b> .....	<b>11</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>13</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>13</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>14</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>15</b>
<b>Material e Métodos</b> .....	<b>17</b>
Área de estudo .....	17
Obtenção dos dados.....	19
<b>Análise de dados</b> .....	<b>20</b>
Diversidade $\alpha$ , $\beta$ e $\gamma$ nos domínios e entre domínios .....	20
Composição da comunidade .....	20
<b>Resultados</b> .....	<b>21</b>
<b>Discussão</b> .....	<b>9</b>
<b>Conclusão</b> .....	<b>13</b>
<b>Referências</b> .....	<b>14</b>
<b>Material Suplementar</b> .....	<b>25</b>
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>34</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>34</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>35</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>36</b>
<b>Material e Métodos</b> .....	<b>39</b>
Área de estudo .....	39
Traços funcionais.....	41
Análise de dados .....	44
<b>Resultados</b> .....	<b>45</b>
Métricas funcionais relacionadas a diagonal seca .....	45
Grupos Funcionais de formigas para a diagonal seca .....	51
<b>Discussão</b> .....	<b>57</b>
Métricas funcionais relacionadas a diagonal seca .....	57
Nova abordagem para grupos funcionais de formigas .....	60
<b>Conclusão</b> .....	<b>63</b>
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>65</b>
<b>Material Suplementar</b> .....	<b>72</b>

<b>Conclusão geral .....</b>	<b>75</b>
<b>Referências bibliográficas gerais.....</b>	<b>77</b>



## Resumo geral

A biogeografia busca compreender os padrões de distribuição das espécies e da variação geográfica na composição através de mecanismos e processos bióticos e abióticos que podem estar envolvidos, resultando em informações sobre como as mudanças de fatores ambientais influenciam na distribuição atual das espécies. Assim, considerando a variação dos fatores ambientais na América do Sul, a diagonal seca, formada pela Caatinga, Cerrado e Chaco, é caracterizada por apresentar períodos de seca severa. Desta forma, formigas podem ser utilizadas em estudos biogeográficos uma vez que estão bem distribuídas ao longo do globo, não sendo encontradas apenas nos polos, evidenciando que são adaptadas a grande variação de temperatura e umidade. Assim, o primeiro capítulo tem como objetivo verificar a influência da história evolutiva na riqueza, composição e diversidade taxonômica de formigas da Caatinga, Cerrado e Chaco, comparando a diversidade alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ). Já o segundo capítulo tem como objetivo do estudo é avaliar a funcionalidade da comunidade de formigas em cada um dos domínios da diagonal seca e entre eles, além de verificar a riqueza funcional, dispersão funcional e redundância funcional de cada um dos domínios e, estabelecer os grupos funcionais de formigas da Caatinga, Cerrado e Chaco.

## **General abstract**

Biogeography understands the patterns of species distribution and geographic variation in composition through biotic and abiotic mechanisms and processes that may be involved, resulting in information on how changing environmental factors influence the current distribution of species. Thus, considering the variation of environmental factors in South America, the dry diagonal, formed by the Caatinga, Cerrado and Chaco, is characterized by periods of severe drought. In this way, ants can be used in biogeographic studies since they are well distributed throughout the globe, not being found only at the poles, evidencing that they are adapted to wide variations in temperature and humidity. Thus, the first chapter aims to verify the influence of evolutionary history on the richness, composition, and taxonomic diversity of ants from the Caatinga, Cerrado and Chaco, comparing alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) and gamma ( $\gamma$ ) diversity. The second chapter aims to evaluate the functionality of the ant community in each of the dry diagonal domains and between them, in addition to verifying the functional richness, functional dispersion and functional redundancy of each of the domains and establishing the functional groups of ants from the Caatinga, Cerrado and Chaco.

## **Introdução geral**

A biogeografia busca compreender os padrões de distribuição das espécies e da variação geográfica na composição e estrutura das comunidades por meio do espaço e do tempo, através de mecanismos e processos bióticos e abióticos que podem estar envolvidos (Gaston, 2000; Gillung, 2011; Violle et al., 2014). Assim, é obtida uma resposta das espécies, seja em pequena ou grande escala, em função das mudanças ambientais globais, resultando em informações sobre como as mudanças de fatores ambientais influenciam na distribuição atual das espécies (Violle et al. 2014).

Desta forma, através da biogeografia é possível determinar possíveis estratégias para a conservação da biodiversidade (Whittaker et al., 2005). Por meio de análises e princípios biogeográficos, é possível solucionar problemas relacionados a distribuição de espécies, preservação de áreas e incentivar criação de unidades de conservação em áreas de endemismo (Whittaker et al., 2005; DaSilva, 2011).

Considerando a variação dos fatores ambientais na América do Sul, na qual são encontrados domínios com marcada umidade, assim como por outros caracterizados pelo stress hídrico, a diagonal seca ou também chamada de diagonal de formações abertas é caracterizada por apresentar períodos de seca severa (Myers, 2000; Werneck, 2011). Distribuída do Nordeste do Brasil ao Norte da Argentina, incluindo a Bolívia e o Paraguai e composta pelos domínios Caatinga, Cerrado e Chaco, a diagonal seca é caracterizada por apresentar características de pluviosidade, temperatura e vegetação que variam ao longo de um gradiente latitudinal (2°54'S a 33°46'S) (Werneck, 2011; Zanella, 2011).

Devido a esta marcada variação nos fatores ambientais, principalmente em decorrência dos períodos de seca severa, as espécies encontradas nos domínios da diagonal seca precisam ser adaptadas a seca, de forma fisiológica e/ou comportamental, a fim de conseguirem viver em função das condições e recursos nestes locais, evitando que as altas temperatura e baixa umidade causem danos aos organismos (Santos et al., 2007; Martins & Barbeitos, 2000).

Desta forma, formigas podem ser utilizadas em estudos biogeográficos uma vez que estão bem distribuídas ao longo do globo, não sendo encontradas apenas nos polos, evidenciando que são adaptadas a grande variação de temperatura e umidade (Baccaro et al., 2015). Além disso, são caracterizadas por apresentarem grande abundância, alta

diversidade de espécies e terem um importante papel ecológico, atuando na dispersão de sementes, mantendo relações mutualísticas, controlando a população de invertebrados através da predação e desempenhando funções ecossistêmicas (Ward, 1991; Lee & Foster, 1991; Leal, 2003; Philpott & Armbrrecht, 2006; Baccaro et al., 2015).

Assim, o primeiro capítulo, o qual está nas normas do periódico científico *Science of The Total Environment* (FI= 7,963), tem como objetivo verificar a influência da história evolutiva na riqueza, composição e diversidade taxonômica de formigas da Caatinga, Cerrado e Chaco, comparando a diversidade alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ). Assim, foram testadas as hipóteses de que (i) devido a área e por ser o domínio mais antigo o Cerrado apresentará maior diversidade alfa e substituição de espécies ao longo de sua extensão em comparação com a Caatinga e o Chaco, e (ii) a composição de espécies no Cerrado e Chaco apresentará maior similaridade entre si em comparação com a Caatinga, devido a este apresentar uma história evolutiva mais recente.

Já o segundo capítulo, o qual está nas normas do periódico científico *Functional Ecology* (FI= 5,608), tem como objetivo avaliar a funcionalidade da comunidade de formigas em cada um dos domínios da diagonal seca e entre eles, além de verificar a riqueza funcional, dispersão funcional e redundância funcional de cada um dos domínios e, estabelecer os grupos funcionais de formigas da Caatinga, Cerrado e Chaco. Assim, foram testadas as hipóteses: (i) a riqueza funcional, assim como a dispersão e a redundância funcional será maior no Cerrado, por ter maior área e ser mais heterogêneo, do que na Caatinga e no Chaco; (ii) haverá diferença na formação dos grupos funcionais entre os domínios, devido a heterogeneidade de cada domínio.

## Capítulo 1

### **Diversidade e composição taxonômica de formigas (Hymenoptera: Formicidae) na diagonal seca de formações abertas na América do Sul**

#### **Resumo**

A diagonal seca é caracterizada por uma marcada sazonalidade com períodos de seca severa, biotas próprias e adaptadas as suas sazonalidades. Assim, o objetivo do estudo é verificar a influência da história evolutiva na riqueza, composição e diversidade taxonômica de formigas da diagonal seca, comparando a diversidade alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ). Para isso, foi criado um banco de dados a partir do Ant Bioversity Informatics, sendo analisados apenas os estudos que apresentassem no mínimo 70% de identificações de espécies de formigas. Dessa forma, foi analisada a diversidade  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  para cada estudo e para cada domínio e, para analisar a composição da comunidade foi realizado Escalonamento Multidimensional Não-Paramétrico e ANOSIM, além de Teste de Mantel para verificar a relação entre a distância e a taxa de substituição das espécies. Foram obtidos no total 50 estudos de comunidades de formigas ao longo da diagonal seca, os quais contemplavam 95 áreas de coleta. No entanto, apenas 21 estavam adequados aos critérios estabelecidos e contemplavam 31 coordenadas geográficas no total, sendo obtidas 344 espécies distribuídas na diagonal seca. A maior diversidade  $\alpha$  foi encontrada no Cerrado (251 espécies), assim como a maior diversidade de Shannon (5,52), enquanto que em relação a diversidade  $\beta$ , a maior taxa de substituição de espécies ocorreu entre o Chaco (0,87;  $\pm$  0,09) e a Caatinga (0,68;  $\pm$  0,22). Em relação à diversidade  $\gamma$ , o Cerrado apresentou a maior riqueza esperada (444,8) dentre todos os domínios. Verificamos que a Caatinga e o Chaco apresentam composições de espécies de formigas diferentes, enquanto o Cerrado compartilha espécies com os dois domínios (Stress = 0,1896; ANOSIM: R=0,43, p<0,001). Além disso, o correlograma de Mantel evidenciou que conforme aumenta a distância espacial entre os pontos amostrais, ocorre a mudança da composição da comunidade de formigas em todos os domínios.

**Palavras-chave:** Diversidade alfa, Diversidade beta, Diversidade gama, Formações savânicas

## **Abstract**

The dry diagonal is characterized by a marked seasonality with periods of severe drought, its own biotas and adapted to their seasonality. Thus, the objective of the study is to verify the influence of evolutionary history on the richness, composition and taxonomic diversity of dry diagonal ants, comparing alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) and gamma ( $\gamma$ ) diversity. For this, a database was created using Ant Bioversity Informatics, and only studies that presented a list of ant species with at least 70% of identifications at the species level were analyzed. Thus, the diversity  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  was analyzed for each study and for each domain and, to analyze the composition of the community, Non-Parametric Multidimensional Scaling and Anosin were performed, in addition to the Mantel Test to verify the relationship between the distance and the rate of species replacement. A total of 50 studies of ant communities along the dry diagonal were obtained, covering 95 collection areas. However, only 21 were adequate to the established criteria and contemplated 31 geographic coordinates in total, being obtained 344 species distributed in the dry diagonal. The highest  $\alpha$  diversity was found in the Cerrado (251 species), as well as the highest Shannon diversity (5.52), while in relation to  $\beta$  diversity, the highest species replacement rate occurred in the Chaco (0.87;  $\pm$  0.09) and the Caatinga (0.68;  $\pm$  0.22). Regarding  $\gamma$  diversity, the Cerrado presented the highest expected richness (444.8) among all domains. We found that the Caatinga and the Chaco have different ant species compositions, while the Cerrado shares species with both domains (Stress = 0.1896; ANOSIM:  $R=0.43$ ,  $p<0.001$ ). Furthermore, the Mantel correlogram showed that as the spatial distance between the sample points increases, the composition of the ant community changes in all domains.

**Key words:** Alpha diversity, Beta diversity, Gamma diversity, Savanna formations.

## **Introdução**

A distribuição dos organismos vivos não ocorre de forma aleatória no globo terrestre e a riqueza de espécies é distribuída de maneira heterogênea (Gaston, 2000). Desta forma, os padrões de distribuição de espécies são resultantes da interação de fatores históricos e ecológicos (Brown e Lamolino, 2006), sendo que por mais que alguns padrões já sejam conhecidos (i.e gradiente latitudinal de riqueza), ainda há uma necessidade de explicações de tais padrões e dos processos evolutivos envolvidos nesses fatores (Wallace, 1852; Fischer, 1960; Gaston, 2000). Assim, a biogeografia tenta identificar os padrões de distribuição dos organismos e avaliar os processos que levaram a sua formação (Brown e Lamolino, 2006; Crisci et al., 2006). Além disso, através da biogeografia é possível delimitar estratégias para a conservação, utilizando análises e princípios biogeográficos de distribuição de espécies para solucionar questões ambientais (Whittaker et al., 2005), como por exemplo, verificar áreas de endemismo através de similaridade da distribuição geográfica entre as espécies, resultando em áreas prioritárias para a conservação (DaSilva, 2011).

No continente sul-americano estão as florestas pluviais tropicais mais diversas do mundo (Floresta Amazônica e a Mata Atlântica) e entre elas há um corredor de vegetação mais seca e aberta (Myers, 2000; Hoorn et al., 2010). Também conhecido como diagonal de formações abertas ou simplesmente diagonal seca, este corredor é formado pelos domínios Caatinga, Cerrado e Chaco, em sentido diagonal, de sudoeste a nordeste, indo do norte da Argentina e sul da Bolívia, Paraguai e cruzando o Brasil central até sua porção nordeste (Werneck, 2011). Os três domínios são caracterizados por uma marcada sazonalidade, com períodos de seca severa, biotas próprias e adaptadas as suas sazonalidades. Além disso, a diagonal de formações abertas é importante barreira para a troca da biota entre a Floresta Amazônica e Mata Atlântica (Raven e Axelrod, 1974; Oliveira-Filho e Ratter, 1995) que, ao longo de processos históricos, já houve maior ou menor retração de sua área, havendo conexões entre as florestas úmidas (Sobral-Souza et al., 2015).

A Caatinga ocupa 845.000 km<sup>2</sup> distribuídos em 10 estados do nordeste brasileiro (Ab'Saber, 1974; MMA, 2018b). Possui um clima quente e semiárido o ano todo, com baixa precipitação dentre todos os domínios, secas intensas e baixa sazonalidade térmica (Pennington et al., 2000). O Cerrado, com aproximadamente 2.000.000 de km<sup>2</sup>, equivalente a 22% do território brasileiro, é o segundo maior domínio brasileiro (Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger, 2006), apresenta estações do ano bem definidas,

possui uma alta sazonalidade da precipitação com verão chuvoso e inverno seco (Köppen, 1931; Myers, 2000; Pennington et al., 2000). O Chaco, com aproximadamente 1.300.000 km<sup>2</sup>, distribuído no norte da Argentina, parte ocidental do Paraguai, no sudeste da Bolívia e na porção oeste do estado de Mato Grosso do Sul, apresenta regiões de clima semiárido, secas intensas e alta sazonalidade térmica (Pennington et al., 2000; 2004).

Inicialmente as regiões que compreendem a diagonal seca eram consideradas com fauna similar dentre as diferentes formações vegetais, devido a eventos de dispersão e intercâmbios faunísticos (Schmidt e Inger, 1951; Vanzolini, 1963). Assim, estudos mais antigos indicavam a hipótese de que existia uma história recente compartilhada entre a Caatinga e o Chaco, sendo que o Cerrado seria o domínio mais diferenciado (Vanzolini, 1974; Haffer, 1985). Além disso, existia a hipótese de que o Cerrado estava mais relacionado com as savanas das Guianas do que com outras formações abertas adjacentes (Silva, 1995). No entanto, estudos zoogeográficos recentes apresentam a hipótese de que o Cerrado e o Chaco compartilhavam uma história mais recente quando comparada com a Caatinga (Porzecanski e Cracraft, 2005; Colli, 2005). Considerando que a diagonal seca é caracterizada por apresentar períodos de seca severa, é necessário que as espécies presentes na Caatinga, Cerrado e Chaco sejam adaptadas, fisiológica ou comportamentalmente a seca, uma vez que a alta temperatura e baixa umidade poderiam causar danos a estes organismos (Santos et al., 2007; Martins e Barbeitos, 2000).

Atualmente existem cerca de 18.000 espécies de formigas no mundo, distribuídas em 21 subfamílias e 474 gêneros, sendo que no Brasil há aproximadamente 1.400 espécies distribuídas em 111 gêneros (Baccaro et al., 2015; Bolton, 2021). Por estarem presentes em todas as partes do mundo, exceto nos polos, as formigas apresentam grande abundância, alta diversidade, além de terem um importante papel ecológico (Folgarait, 1998; Baccaro et al., 2015), sendo dispersoras de sementes, predadoras de invertebrados, mantêm relações mutualísticas com plantas e outros artrópodes. Podem também desempenhar funções ecossistêmicas importantes como ciclagem de nutrientes e aeração do solo (Ward, 1991; Lee e Foster, 1991; Leal, 2003; Philpott e Armbrecht, 2006). Considerando as funções que as formigas desempenham e a sua importância no ambiente, é necessário compreender como as espécies estão distribuídas espacialmente, uma vez que a presença de determinadas espécies nas áreas pode explicar padrões ecológicos e ambientais.

Assim, existem diversas formas de analisar as similaridades e as diferenças na composição da fauna de formigas distribuídas em diferentes escalas, sendo uma delas, a



utilização da diversidade alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ). Para Magurran (2004) a diversidade  $\alpha$ , também conhecida como diversidade local, é o número total de espécies de uma área/habitat, enquanto a diversidade  $\beta$  é a mudança de espécies ao longo de um gradiente e a diversidade  $\gamma$  ou diversidade regional é o número total de espécies observado em todos os habitats.

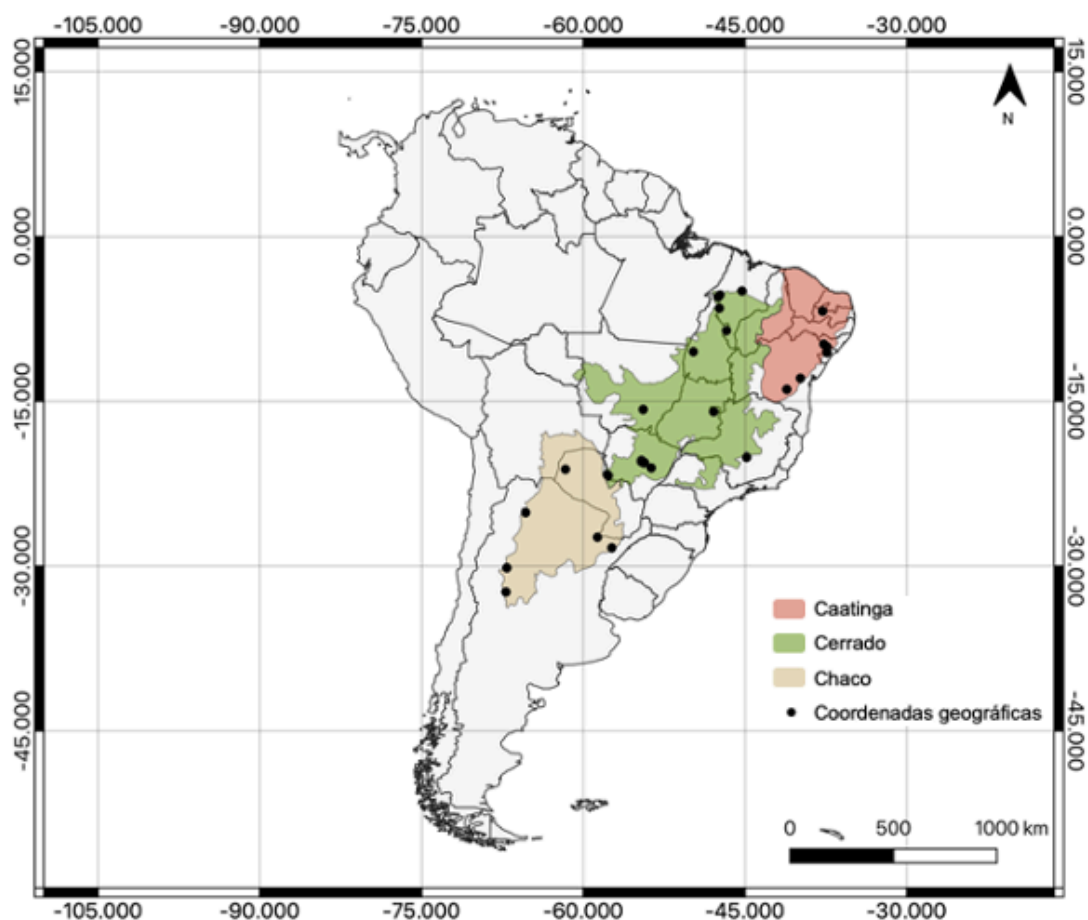
Dessa forma, considerando tais formas de analisar a diversidade  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , Santoandré et al. (2019) revelaram padrões de diversidade  $\beta$  opostos entre os domínios ao longo de uma cronossequência de plantações de pinheiros. Já Lasmar et al. (2020) revelaram que a diversidade  $\alpha$  e  $\beta$  são mais sensíveis às mudanças do habitat em diferentes tipos de vegetação ao longo de um gradiente de elevação.

Considerando a importância da diagonal seca no contexto histórico-evolutivo da diversificação da fauna neotropical de formigas, uma vez que as variações de altitude, temperatura, umidade, precipitação e disponibilidade de água interferem no estabelecimento e adaptação das espécies e, conseqüentemente, em sua diversidade e distribuição, o objetivo do estudo é verificar a influência da história evolutiva na riqueza, composição e diversidade taxonômica de formigas da Caatinga, Cerrado e Chaco, comparando a diversidade  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Assim, testamos as hipóteses de que (i) devido a extensão territorial e por ser o domínio mais antigo o Cerrado apresentará maior diversidade alfa e substituição de espécies ao longo de sua extensão em comparação com a Caatinga e o Chaco, e (ii) a composição de espécies no Cerrado e Chaco apresentará maior similaridade entre si em comparação com a Caatinga, devido a esta apresentar secas mais intensas com baixa sazonalidade térmica.

## **Material e Métodos**

### **Área de estudo**

A diagonal seca ou diagonal de formações abertas abrange os domínios Caatinga, Cerrado e Chaco (Fig. 1) e, apesar de terem em comum uma marcada sazonalidade, com períodos de seca intensa, estas se apresentam com diferentes intensidades e durações devido à variação de temperatura e pluviosidade ao longo do gradiente espacial (Werneck, 2011). Além disso, há uma variedade de formações vegetais, sendo encontrada vegetação aberta, na qual grande parte da luminosidade solar incide diretamente no solo e em vegetação herbácea, contrastando com florestas densas fechadas (Carvalho e Almeida, 2010).



**Fig. 1.** Domínios da diagonal seca Sul-Americana e respectivos pontos amostrais de comunidades de formigas dos artigos científicos disponíveis na base de dados Ant Biodiversity Informatics.

A Caatinga corresponde a quase 11% do território brasileiro e está distribuída nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, parte de Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Fig. 1) (Ab'Saber, 1974, MMA, 2018b). Apresenta secas intensas (próximos 650 mm anuais) com baixa sazonalidade térmica e temperatura média anual variando de 25°C a 30°C (Pennington et al. 2000). Além disso, até o início da década de 90, o domínio era considerado com baixa diversidade e riqueza de espécies e ausência de endemismos (Vanzolini, 1974; 1976; Werneck e Colli, 2006). No entanto, esta era uma visão equivocada devido ao pouco conhecimento histórico necessário para a compreensão da fauna de forma evolutiva (Rodrigues, 2003). Assim, a Caatinga apresenta uma fauna bastante diversificada com

alta biodiversidade, apresentando diversas espécies endêmicas entre os diferentes grupos de animais (Prado e Gibbs, 1993; Leal et al., 2005).

O Cerrado, considerado com o segundo maior domínio brasileiro, está concentrado principalmente no planalto central do Brasil (Fig. 1). Apresenta alta sazonalidade da precipitação, apresentando maiores índices pluviométricos do que a Caatinga e Chaco (aproximadamente 2.000 mm anuais) e temperatura média anual variando de 21°C a 27°C (Pennington et al., 2000; Ratter et al., 2000). Além disso, é considerado um mosaico fitofisionômico e *hotspot* global para a conservação da biodiversidade, apresentando uma elevada riqueza de espécies endêmicas (Myers et al., 2000). No entanto, há uma grande preocupação em preservar o domínio, uma vez que devido a rápida expansão da agricultura e pecuária, o Cerrado vem apresentando uma redução de sua cobertura vegetal (Machado et al., 2004).

O Chaco, concentra-se no sul do Pantanal Brasileiro na porção sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul ocorrendo em cinco das 11 sub-regiões do Pantanal (Paraguai, Abobral, Miranda, Porto Murtinho e Nabileque) (Pennington et al., 2000; 2004; MMA, 2018a), parte ocidental do Paraguai, no sudeste da Bolívia e no norte da Argentina (Fig. 1). Apresenta precipitação média anual de 1200 mm e temperatura média de 20 °C. Uma questão importante que ocorre no Chaco é que muitas espécies ameaçadas em outras regiões, persistem em grandes populações nesta região (MMA, 2018a). Além disso, o domínio também apresenta uma grande riqueza de espécies endêmicas, assim como a Caatinga e o Cerrado (Prado e Gibbs, 1993).

### **Obtenção dos dados**

Os dados de distribuição de espécies de formigas foram obtidos através do Global Ant Bioersivity Informatics (GABI) (Guénard et al., 2017) e de estudos particulares não publicados. No GABI foram coletadas informações referentes à localidade, incluindo País, Estado, cidade e coordenadas geográficas, bem como, uma lista de espécies e referências de onde as informações foram retiradas. A partir dos dados obtidos, foram selecionados os artigos de comunidade de formigas. Dessa forma, os estudos de taxonomia, interação formiga-planta e dispersão de sementes foram excluídos da amostragem. Posteriormente, em cada artigo foi verificada a presença de lista de espécies e analisada a metodologia, sendo utilizados apenas os estudos que apresentassem

metodologias específicas para a coleta de formigas, tais como: iscas atrativas, busca ativa, pitfall e/ou extrator de Winkler.

Com os artigos selecionados para compor o banco de dados foi, primeiramente, verificado se apresentavam mais do que uma área de estudo e, se apresentassem, as áreas de estudo seriam analisadas separadamente. Além disso, foi realizada a conferência das coordenadas de cada trabalho/áreas de estudo a fim de verificar se estavam localizados em um dos domínios da diagonal seca. Dessa forma, para definir os limites entre os domínios foi utilizado o estudo de Löwenberg-Neto (2014). Posteriormente, foi realizada a validação das espécies a partir da revisão taxonômica das formigas de cada estudo utilizando Bolton (2021). A partir da revisão taxonômica, foi obtida a lista final de espécies em cada estudo, sendo definido que entrariam nas análises apenas os artigos que apresentassem no mínimo 70% de formigas identificadas em nível de espécie, o que assegura uma mínima construção de comunidades próximas da real em cada local de estudo. Desta forma, padronizamos a obtenção dos dados, amostragem dos artigos de comunidade com metodologias específicas, obtendo uma lista de espécies de formigas com a maior porcentagem de identificações.

## **Análise de dados**

### **Diversidade $\alpha$ , $\beta$ e $\gamma$ nos domínios e entre domínios**

Para analisar a diversidade  $\alpha$  das amostras dentro de cada domínio e entre domínios foi utilizado o índice de diversidade de Shannon através da riqueza total de cada área de estudo e de cada domínio, respectivamente, sendo analisada a relação entre a riqueza de espécies e a diversidade  $\alpha$  através de regressão linear. Para verificar a substituição das espécies entre os pontos de coleta de cada domínio foi utilizado o índice de diversidade  $\beta$  de Whittaker (2005) pareado entre os pontos, incluindo média e desvio padrão. E por fim, foi utilizado o estimador de riqueza Jackknife 2ª ordem para analisar a diversidade  $\gamma$  entre as amostras e entre os domínios. Para estas análises, foram considerados apenas os dados com identificação no nível de espécie, sendo, portanto, excluídas as morfoespécies listadas nos trabalhos.

### **Composição da comunidade**

Para analisar a composição de espécies de formigas foi realizado Escalonamento Multidimensional Não-Paramétrico (NMDS), utilizando o índice de similaridade de

Jaccard, entre os domínios. Adicionalmente, foi realizado ANOSIM para verificar a similaridade da composição de espécies entre os domínios. Além disso, foi realizado Teste de Mantel com distância euclidiana a qual é utilizada por ser mais robusta para análises de distância e índice de similaridade de Jaccard por considerar dados de presença e ausência, sendo utilizada a matriz de diversidade  $\beta$  e a distância geográfica entre as comunidades, a fim de verificar a relação entre a distância e a taxa de substituição das espécies em cada domínio. E, por fim, foi realizado Correlograma de Mantel utilizando o índice de similaridade de Rho, o qual é complementar a correlação Spearman, para verificar a influência da distância geográfica na composição de espécies de formigas. Todas as análises foram realizadas no software R Core Team (2021), utilizando os pacotes Betapart (Baselga & Orme, 2012), Ggplot2 (Wickham, 2016), Reshape2 (Wickham, 2007), Vegan (Oksanen et al. 2017), Tidyverse (Wickhan et al. 2019) e Wesanderson (Ram e Wickhan, 2018).

## Resultados

Foram obtidos no total 50 estudos de comunidades de formigas ao longo da diagonal seca, os quais contemplavam 95 áreas de coleta. Destes, apenas 21 estudos (42%) estavam aptos a serem utilizados de acordo com os critérios estabelecidos, os quais eram compostos por lista de espécies, metodologias específicas para a coleta de formigas e mínimo de 70% de espécies identificadas. Considerando que os estudos compostos por mais de uma área de coleta seriam analisados separadamente, os 21 estudos apresentaram no total 38 áreas de coleta (40%) (Tabela 1). Dessa forma, 35 estudos (58%) realizados em 50 áreas de coleta (52,63%) não apresentaram lista de espécies, metodologias específicas para a coleta de formigas e/ou o mínimo de 70% de identificações a nível de espécie e, portanto, foram excluídos da análise (Tabela 1).

**Tabela 1.** Lista de estudos de formigas realizados ao longo da diagonal seca obtidos a partir de revisão de literatura com o número de áreas amostradas em cada estudo relacionada a porcentagem de identificações.

Domínios	Referências	Identificações	
		< 70%	> 70%
Caatinga	Arnan et al. (2018)	1	
Caatinga	Carvalho et al. (2016)		1
Caatinga	Carvalho et al. (2012)	2	

Caatinga	De Mendonça Santos et al. (1999)	2	
Caatinga	Dutra de Sousa et al. (2015)	2	1
Caatinga	Freitas et al. (2014)	1	
Caatinga	Leal (2002)	2	
Caatinga	Nunes et al. (2011)	1	
Caatinga	Oliveira et al. (2016)	1	
Caatinga	Silva et al. (2014)	1	
Caatinga	Sousa-Souto et al. (2016)		3
Caatinga	Ulysséa e Brandao (2013)		1
Cerrado	Aranda et al. (2022)		4
Cerrado	Araújo e Fernandes (2003)	1	
Cerrado	Arruda et al. (2016)		1
Cerrado	Borges et al. (não publicado)	3	3
Cerrado	Brandão et al. (2011)	1	1
Cerrado	Camacho e Vasconcelos (2015)	1	
Cerrado	Camarota et al. (2016)	1	
Cerrado	Cividanes et al. (2009)	1	
Cerrado	Costa et al. (2015)	1	
Cerrado	Costa-Milanez et al. (2015)	2	
Cerrado	Da Silva et al. (2004)	2	
Cerrado	Dantas et al. (2011)	1	
Cerrado	Demétrio et al. (2017)	3	
Cerrado	Do Prado et al. (2019)		5
Cerrado	Frizzo et al. (2012)	1	
Cerrado	Lana (2015)	1	
Cerrado	Maravalhas et al. (2012)		1
Cerrado	Marinho et al. (2002)	1	
Cerrado	Marques e Del-Claro (2006)	1	
Cerrado	Rocha et al. (2015)		4
Cerrado	Rocha et al. (2014)		3
Cerrado	Ribas et al. (2003)	2	
Cerrado	Ribeiro et al. (2019)	1	
Cerrado	Santiago et al. (2018)	4	1
Cerrado	Soares et al. (2010)	1	
Cerrado	Souza (2014)	3	2
Cerrado	Tibcherani et al. (2020)		1
Chaco	Badano et al. (2005)		1
Chaco	Bestelmeyer (1996)	1	
Chaco	Calcaterra et al. (2010)		1
Chaco	Calcaterra et al. (2008)		1
Chaco	Delsinne et al. (2007)		1
Chaco	Garcia & Quiran (2002)		1
Chaco	Leponce et al. (2004)	1	

Chaco	Murua et al. (1999)		1
Chaco	Pereyra e Galetto (2019)	1	
Chaco	Souza (2014)	1	
Chaco	Theunis et al. (2005)	1	
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>38</b>

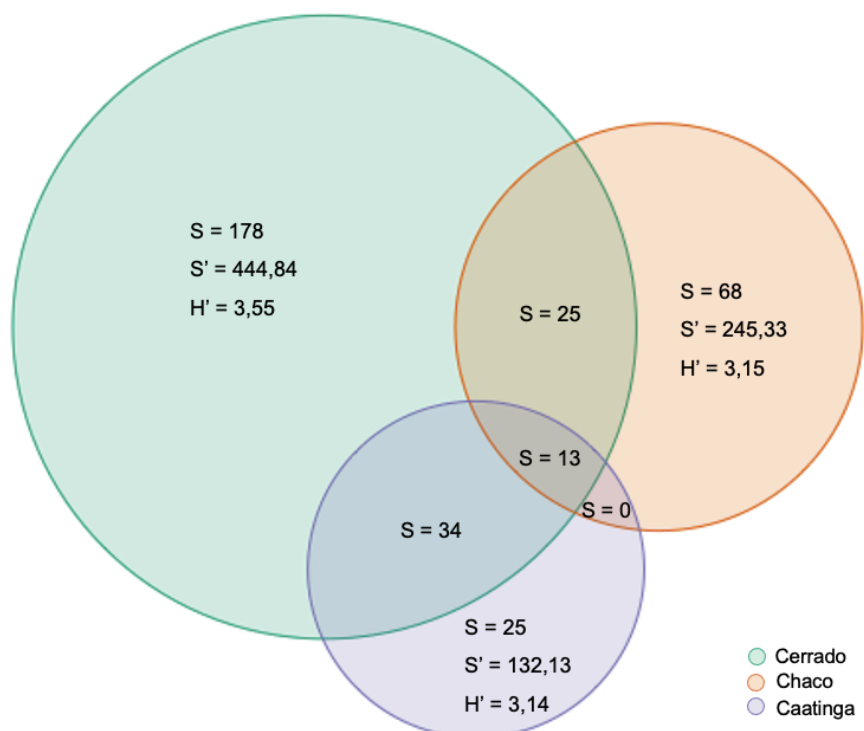
Foram obtidos o total de 27 estudos realizados no Cerrado em 65 locais de coleta. Considerando apenas os estudos que apresentarem o mínimo de 70% identificação de espécies de formigas, 33 locais de coleta foram excluídos das análises, os quais estavam relacionados a 21 estudos. Desta forma, foram considerados nas análises apenas 32 locais relacionados a 11 estudos realizados no Cerrado. Inicialmente, foram encontrados 13 estudos com 19 áreas de coleta realizados na Caatinga. Deste total, 13 áreas relacionadas a dez estudos não foram incluídos nas análises por não apresentarem resolução taxonômica de no mínimo de 70% de identificações a nível de espécie, sendo, portanto, consideradas apenas seis locais de coleta relacionados a quatro estudos realizados na Caatinga. O Chaco apresentou inicialmente 11 estudos com apenas um local de coleta cada. Assim, seis estudos compostos por uma área de estudo cada foram considerados nas análises, os quais estavam de acordo com os critérios estabelecidos de identificação de espécies de formigas.

Assim, nos 21 estudos analisados foram encontradas 31 coordenadas (áreas de estudos) entre Cerrado (n=11), Chaco (n=6) e Caatinga (n= 4) (Fig.1), sendo obtidas 344 espécies ao longo da diagonal seca (Tabela S1), distribuídas em 60 gêneros e 11 subfamílias, sendo elas: Amblyoponinae (1 gênero; 3 espécies), Dolichoderinae (7; 42), Dorylinae (4; 7), Ectatomminae (2; 20), Formicinae (5; 50), Heteroponerinae (1; 1), Myrmicinae (32; 166), Paraponerinae (1; 1), Ponerinae (12; 33), Proceratiinae (1; 1) e Pseudomyrmecinae (1; 19).

Dentre os domínios estudados, o Cerrado apresentou 251 espécies de formigas, distribuídas 63 gêneros e 10 subfamílias (Tabela 2), sendo elas: Amblyoponinae (1 gênero; 1 espécie), Dolichoderinae (7; 27), Dorylinae (4; 6), Ectatomminae (2; 16), Formicinae (5; 34), Myrmicinae (26; 120), Paraponerinae (1; 1), Ponerinae (12; 28), Proceratiinae (1; 1) e Pseudomyrmecinae (1; 17). Além disso, do total de espécies, 178 (70,91%) foram exclusivas para o Cerrado (Fig. 2). Em relação aos gêneros, o que apresentou maior riqueza de espécies foi *Camponotus* (23), seguido por *Pheidole* (18), *Crematogaster* e *Pseudomyrmex* (17 cada). O Chaco apresentou 106 espécies, distribuídas em 28 gêneros e sete subfamílias (Tabela 1), sendo elas: Dolichoderinae (3

gêneros; 20 espécies), Dorylinae (1; 1), Ectatomminae (2; 4), Formicinae (3; 21), Myrmicinae (14; 52), Ponerinae (4; 5) e Pseudomyrmecinae (1; 3). Assim, das espécies encontradas 68 (64,15%) foram exclusivas do Chaco (Fig. 2). Além disso, o gênero que apresentou maior riqueza de espécies foi *Pheidole* (17), *Camponotus* (13) e *Dorymyrmex* (12). A Caatinga apresentou 72 espécies distribuídas em 27 gêneros e nove subfamílias (Tab. 1), sendo elas: Amblyoponinae (1 gênero; 2 espécies), Dolichoderinae (5; 10), Dorylinae (1; 3), Ectatomminae (2; 9), Formicinae (2; 14), Heteroponerinae (1; 1), Myrmicinae (9; 26), Ponerinae (3; 3) e Pseudomyrmecinae (1; 4). Assim, das 72 espécies de formigas, 25 (34,72%) são exclusivas da Caatinga (Fig. 2). Além disso, o gênero que apresentou maior riqueza de espécies foi *Camponotus* (16), seguido por *Crematogaster* e *Gnamptogenys* (seis cada).

Das 344 espécies apenas 13 (3,78%) foram compartilhadas entre os três domínios sendo: *Camponotus blandus*, *C. crassus*, *C. rufipes*, *Dorymyrmex brunneus*, *D. thoracicus*, *Ectatomma edentatum*, *Forelius brasiliensis*, *Labidus coecus*, *Linepithema humile*, *Pheidole radoszkowskii*, *Pseudomyrmex gracilis*, *Solenopsis saevissima* e *Wasmannia auropunctata* (Fig. 2). Já em relação às espécies de formigas compartilhadas exclusivamente entre dois domínios, verificamos que 34 (12,31%) espécies foram encontradas na Caatinga e no Cerrado, 25 (7,83%) no Cerrado e o Chaco e nenhuma espécie foi compartilhada entre a Caatinga e o Chaco (Fig. 2) (Tabela S1).





**Fig. 2.** Diagrama de Venn com a riqueza (S) de espécies de formigas exclusivas e compartilhadas entre os domínios eles, estimativa de riqueza (S') (Jackknife 1ª ordem) e diversidade de Shannon (H') de cada domínio.

Quando analisamos a riqueza de espécies e a diversidade  $\alpha$  em cada domínio separadamente, verificamos que no Cerrado, a riqueza média foi de 35 espécies ( $\pm 16,61$ ) com riqueza máxima de 71 e mínima de 15 espécies. Além disso, a média da diversidade de Shannon foi de 3,55 ( $\pm 0,50$ ) variando entre 2,7 e 4,26 e apresentando uma relação positiva entre a riqueza de espécies e a diversidade  $\alpha$  ( $R = 0,93$ ;  $p > 0,05$ ) (Tabela 2). Na Caatinga a riqueza média de espécies foi de 24 ( $\pm 8,11$ ), apresentando riqueza máxima de 33 e mínima de 16 espécies. A diversidade de Shannon média foi de 3,14 ( $\pm 0,34$ ) variando entre 2,77 e 3,4 e também apresentando uma relação positiva entre a riqueza de espécies e a diversidade  $\alpha$  ( $R = 0,998$ ;  $p > 0,05$ ) (Tabela 2). Já no Chaco, encontramos uma riqueza média de 23 ( $\pm 12,90$ ), variando entre riqueza máxima de 49 e mínima de 15 espécies. Ademais, a média de diversidade de Shannon foi de 3,15 ( $\pm 0,44$ ), variando entre 1,70 e 3,89 (Tabela 2) Iguamente aos resultados encontrados para a Caatinga e para Cerrado, o Chaco também apresentou uma correlação positiva entre a riqueza de espécies e a diversidade  $\alpha$  ( $R = 0,965$ ;  $p > 0,05$ ), uma vez que quanto maior é a riqueza, maior será a diversidade  $\alpha$  encontrada em cada domínio.

**Tabela 2.** Riqueza de espécies de formigas (diversidade  $\alpha$ ) e diversidade de Shannon de cada estudo analisado com as respectivas referências.

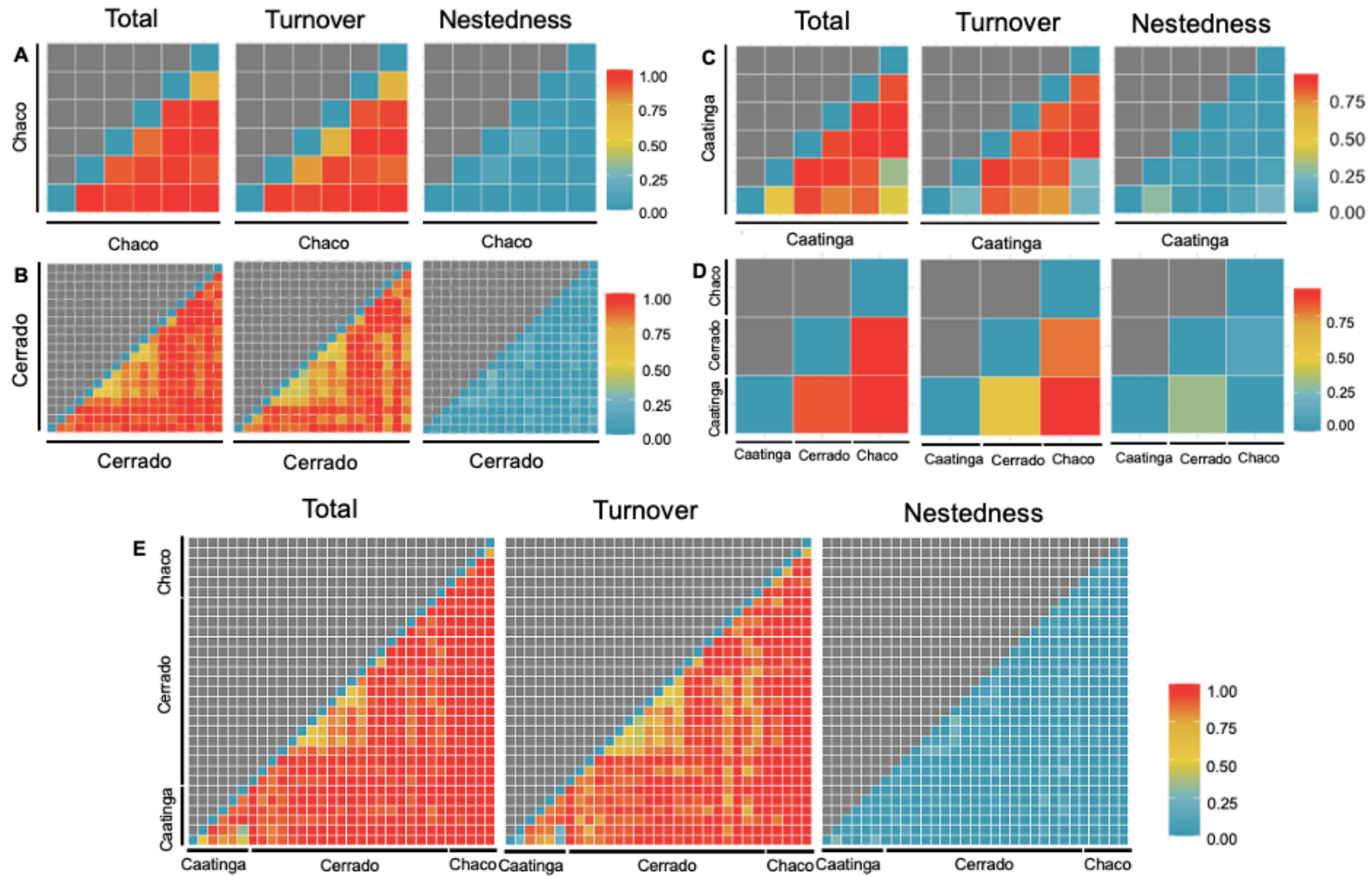
Domínios	Coordenadas	Riqueza	Shannon (H')	Referências
Caatinga	-10.033333 -37.400000	32	3,465735903	Sousa-Souto et al. (2016)
Caatinga	-10,574092 -37,385659	16	2,772588722	Sousa-Souto et al. (2016)
Caatinga	-12,909033 -39,85465	33	3,496507561	Ulysséa e Brandão (2013)
Caatinga	-13,920667 -41,11525	30	3,401197382	Carvalho et al. (2016)
Caatinga	-6,80975 -37,794639	18	2,890371758	Dutra de Souza et al. (2015)
Caatinga	-9,80742 -37,685097	17	2,833213344	Sousa-Souto et al. (2016)
Cerrado	-10,491667 -49,781667	35	3,555348061	Arruda et al. (2015)
Cerrado	-15,747222 -54,435833	15	2,708050201	Rocha et al. (2015)
Cerrado	-15.950000 -47.900000	44	3,784189634	Maravalhas et al. (2012)
Cerrado	-20,110094 -44,833833	14	2,63905733	Santiago et al. (2018)
Cerrado	-20.389824 -54.587982	43	3,761200116	Aranda et al. (2022)
Cerrado	-20.412934 -54.615241	52	3,951243719	Aranda et al. (2022)

Cerrado	-20.450925 -54.551438	58	4,060443011	Aranda et al. (2022)
Cerrado	-20.509031 -54.615407	23	3,135494216	Aranda et al. (2022)
Cerrado	-20,565278 -54,369444	37	3,610917913	Borges et al. (2022)
Cerrado	-20,579653 -54,335664	30	3,401197382	Borges et al. (2022)
Cerrado	-20,610833 -54,360556	24	3,17805383	Borges et al. (2022)
Cerrado	-21.072348 -53.687349	59	4,077537444	Tibcherani et al. (2020)
Cerrado	-21,682778 -57,777722	34	3,526360525	Souza (2014)
Cerrado	-21,779917 -57,663083	31	3,433987204	Souza (2014)
Cerrado	-4,960769 -45,274411	42	3,737669618	Prado et al. (2019)
Cerrado	-5,329528 -47,320278	12	2,48490665	Prado et al. (2019)
Cerrado	-5,510444 -47,479475	53	3,970291914	Prado et al. (2019)
Cerrado	-6,531778 -47,371111	23	3,135494216	Prado et al. (2019)
Cerrado	-8,572111 -46,707833	71	4,262679877	Brandão et al. (2011)
Chaco	-21.200000 -61.650000	24	3,17805383	Delsine et al. (2007)
Chaco	-25,133333 -65,333333	36	3,583518938	Badano et al. (2005)
Chaco	-27,383333 -58,683333	15	2,708050201	Calcaterra et al. (2008)
Chaco	-28,347622 -57,342561	49	3,891820298	Calcaterra et al. (2010)
Chaco	-30,166667 -67,083333	17	2,833213344	Murua et al. (1999)
Chaco	-32,366667 -67,166667	23	3,135494216	Garcia e Quiran (2002)

Ao analisarmos a diversidade entre os domínios, verificamos que em relação à diversidade  $\alpha$ , o Cerrado apresentou a maior riqueza com 251 espécies de formigas e maior diversidade de Shannon (5,52) seguida do Chaco com riqueza de 106 espécies e diversidade de Shannon de 4,66 e a Caatinga, com a menor riqueza de espécies com apenas 72 distribuídas ao longo do domínio e a menor diversidade de Shannon (4,27) (Fig. 2). Em relação à substituição de espécies (diversidade  $\beta$ ) entre as amostras de cada domínio, verificamos que o Chaco apresentou média de diversidade  $\beta$  de 0,87 ( $\pm 0,09$ ) e variação máxima de 0,94 e mínima de 0,57 (Fig. 3A). O Cerrado apresentou a média de 0,82 ( $\pm 0,13$ ), variando entre 0,34 e 1 (Fig. 3B). Já para a Caatinga a média de diversidade  $\beta$  foi de 0,68 ( $\pm 0,22$ ) apresentando o valor máximo de 0,87 e mínimo de 0,35 (Fig. 3C).

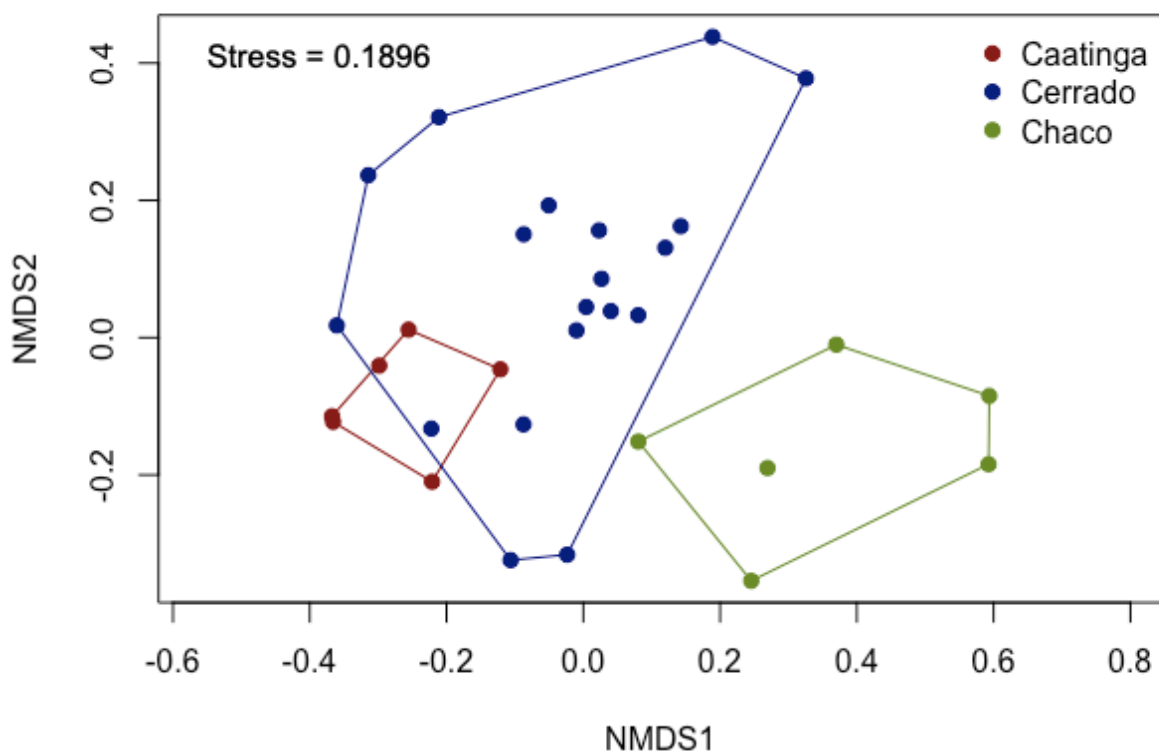
Quando analisamos a substituição das espécies considerando todos os pontos de coleta por domínio, verificamos que a diversidade  $\beta$  de Whittaker foi de 1,407. No entanto, quando analisamos cada um dos estudos entre os domínios da diagonal seca, verificamos que a diversidade  $\beta$  de Whittaker foi de 11,458. O Teste de Mantel indica uma correção positiva, uma vez que quanto maior a distância geográfica, maior a substituição de espécies. Assim, o Chaco apresentou cerca de 79% de diferença significativa ( $R=0,79$ ;  $p=0,002$ ), sendo a distância média entre os pontos de 782,51 km ( $\pm 305,10$  km), com distância máxima de 1361,45 km e mínima de 169,79 km entre os

pontos. A Caatinga apresentou cerca de 70% ( $R=0,707$ ;  $p=0,023$ ) com distância média de 400,15 km ( $\pm 240,66$  km) e distância máxima de 866,1 km e mínima de 38,7 km. Já o Cerrado apresentou aproximadamente 36% de diferença significativa ( $R=0,36$ ;  $p=0,001$ ) com distância média a de 984,95 km ( $\pm 703,46$  km) e distância máxima de 2291,28 km e mínima de 2,44 km.

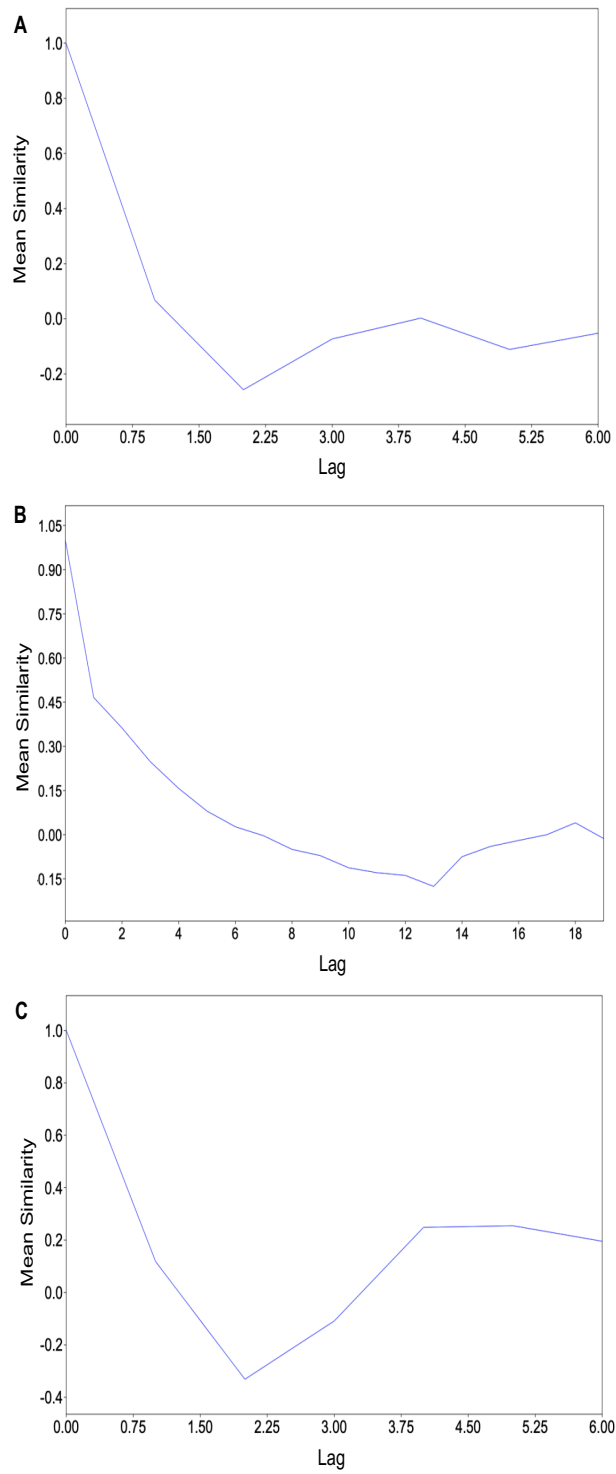


**Fig. 3.** Diversidade  $\beta$  de Whittaker (2005) pareado entre os pontos em função da distância geográfica entre as amostras da (A) Chaco, (B) Cerrado, (C) Caatinga, entre os (D) domínios e entre as (E) amostras de todos os estudos encontrados na diagonal seca. *Nestedness* = aninhamento; *Turnover* = substituição de espécies.

Em relação à diversidade  $\gamma$ , no qual foi utilizado o estimador de riqueza Jackknife 2ª ordem, verificamos que o Cerrado apresentou a maior riqueza esperada (444,8) dentre todos os domínios, seguido do Chaco com 245,3 e a Caatinga apresentou o menor valor (132,1) (Fig. 2). No entanto, os valores de estimativa de riqueza estão diretamente relacionados com a riqueza de espécies observada apenas dos trabalhos selecionados aos critérios utilizados, o que reflete os valores finais para cada um dos domínios estudados. Quando analisamos a composição de espécies de formigas entre os domínios que compõem a diagonal seca, verificamos que a Caatinga e o Chaco apresentam composições diferentes, enquanto o Cerrado compartilha espécies tanto da Caatinga, quanto do Chaco e que a composição das espécies difere entre os domínios significativamente (Stress = 0,1896; ANOSIM:  $R=0,43$ ,  $p<0,001$ ) (Fig. 4). E, por fim, ao analisarmos o correlograma de Mantel realizado para o Chaco, verificamos que conforme aumenta a distância espacial entre os pontos amostrais, ocorre a mudança da composição da comunidade de formigas (Fig. 5A). Assim, o mesmo padrão foi encontrado para o Cerrado (Fig. 5B). No entanto, para a Caatinga, verificamos uma baixa similaridade (20%) mesmo com o aumento da distância entre os pontos amostrais (Fig. 5C).



**Fig. 4.** Escalonamento Multidimensional Não-Paramétrico, utilizando o índice de similaridade de Jaccard, entre a Caatinga, Cerrado e Chaco (Stress = 0,1896; ANOSIM:  $R=0,43$ ,  $p<0,001$ ).



**Fig. 5.** Correlograma de Mantel entre a composição da comunidade de formigas do (A) Chaco, (B) Cerrado e da (C) Caatinga e a distância espacial dos pontos amostrais. Lag= correlação entre os pares de observações espaciais em função do aumento da distância.

## Discussão

Dentre todos os domínios, o Cerrado apresentou maior quantidade de estudos (52,94%), o que pode estar relacionado não apenas a extensão territorial do domínio, mas também com a quantidade de instituições, especialistas, grupos de pesquisa e facilidade de acesso a algumas áreas para a realização de coletas. No entanto, do total de estudos realizados no Cerrado 77,77% de áreas de coleta e 50,76% de estudos foram excluídos das análises por apresentarem menos do que 70% de espécies de formigas identificadas até nível de espécie.

Considerando o total de estudos, a Caatinga apresentou menor quantidade (26%) do que o Cerrado, com 68,42% de áreas de coleta e 76,92% de estudos excluídos das análises por não estarem adequados ao critério mínimo de identificação, podendo estar relacionado ao fato de que é um domínio negligenciado, considerado com baixa riqueza de espécies e, por esse motivo, há o desinteresse na realização de estudos (Leal, 2003). Já o Chaco apresentou menor quantidade de estudos do que o Cerrado e a Caatinga (22%), o qual pode estar relacionado a menor quantidade de especialistas e, conseqüentemente, dificuldade de identificação das espécies de formigas.

Uma vez que a Caatinga e o Cerrado estão entre os domínios que apresentam maior necessidade de criação de áreas prioritárias para conservação, inventários e/ou estudos que apresentem maior porcentagem de identificações auxiliariam na compreensão da preservação da biodiversidade, uma vez que através da presença ou ausência de determinadas espécies é possível verificar a qualidade ambiental de uma área (Divieso et al., 2020; Tibcherani et al. 2020). Além disso, do total de estudos realizados no Chaco, 45,45% de estudos e áreas de coleta foram excluídas das análises por não apresentarem mais do que 70% de espécies identificadas. Assim, a falta de identificações corretas e até o menor nível taxonômico dificulta a compreensão da distribuição das espécies de formigas ao longo da diagonal seca e de padrões biogeográficos.

Do total de estudos obtidos inicialmente, 38,9% foram utilizados nas análises, uma vez que apresentaram o mínimo de 70% de identificações. Assim, verificamos que 61,1% dos estudos realizados na diagonal seca não apresentaram identificações até nível de espécie e sim em morfoespécies, dificultando a compreensão sobre a distribuição das mesmas entre os domínios e evidenciando que existem lacunas de conhecimentos taxonômicos e ecológicos para o estudo de formigas.

Em relação a riqueza encontrada ao longo da diagonal seca as 344 espécies obtidas equivalem a cerca de 34% das espécies válidas de formigas distribuídas nos três domínios.

Assim, a amostragem do Cerrado equivale a cerca de 35%, a Caatinga a 24% e o Chaco a 18%. Esta amostragem está diretamente relacionada a padronização utilizada para criar o banco de dados, estabelecendo apenas o uso de estudos de comunidades com metodologias específicas e porcentagem mínima de identificações. A partir disso, verificamos que existem lacunas de conhecimento taxonômico devido a falta de chaves de identificação atualizadas, compartilhamento de material para a atualização de literatura específica e confirmação da identificação das espécies de formigas por especialistas. Dessa forma, a criação do banco de dados seguindo os critérios estabelecidos nos fornece informações mais precisas sobre as comunidades distribuídas nos domínios, assim como nos possibilita explicar padrões e processos que ocorrem nas áreas de estudo.

Foi encontrada maior diversidade  $\alpha$  no Cerrado quando comparado com a Caatinga e com o Chaco. Assim como o esperado, tal fato pode estar relacionado com a história evolutiva do domínio, tendo em vista que historicamente o Cerrado surgiu no Cretáceo, sendo, portanto, o domínio mais antigo da diagonal seca (Ratter et al. 1997). Além disso, o Cerrado apresenta características de temperatura e pluviosidade com maiores variações do que as encontradas nos demais domínios da diagonal seca, apresentando maior precipitação anual (aproximadamente 2.000 mm) e grande variação de temperatura, sendo que estes fatores estão diretamente relacionados as características vegetais e fitofisionomias encontradas no Cerrado (Pennington et al., 2000; Ratter et al., 2000).

Em decorrência desses fatores bioclimáticos, o Cerrado apresenta diferentes tipos de formações vegetais, sendo caracterizado como um mosaico fitofisionômico, fornecendo assim uma maior diversidade de ambientes, estratos e tipos de vegetações que podem ser ocupados pelas formigas (Myers et al., 2000). Tal fato, propicia relações mutualísticas tanto entre plantas e formigas, ocorrendo a proteção da planta e a possibilidade de nidificação, quanto entre formigas e outros artrópodes, o que garante alimentação fornecida pelos mesmos (i.e. afídeos) e em troca, as formigas fornecem proteção ao artrópode (Rudgers 2004; Chamberlain e Holland 2009; Goitía e Jaffé 2009)

A diversificação de habitat é uma das bases para diferenciação de nicho e promotora de diversificação em comunidades em função do aumento e/ou compartilhamento do nicho realizado das espécies, principalmente em ambientes com sazonalidade marcada, como no caso dos domínios estudados caracterizados por um período úmido e quente e outro seco e quente (Kadmon e Allouche, 2007; Munoz et tal.,



2014; Nakazawa, 2014; Costa-Pereira e Pruitt, 2019; Mellard et al., 2019; Udy et al., 2021).

Além disso, o Cerrado também apresentou a maior proporção de espécies exclusivas, seguido pelo Chaco e Caatinga, o que também pode estar relacionado as características vegetais, de precipitação e temperatura em cada domínio. Já em relação as espécies compartilhadas entre os três domínios (3,77%), todas são caracterizadas como patrulheiras, apresentando hábito alimentar generalista, exceto *Dorymyrmex brunneus* e *Dorymyrmex thoracicus* que são predadoras generalistas de artrópodes e *Pseudomyrmex gracilis* que se alimenta de nectários extraflorais. Ademais, além de apresentarem ocorrência na diagonal seca, tais espécies também se encontram distribuídas na Amazônia, Mata Atlântica e Pampa.

Em relação às espécies de formigas compartilhadas entre dois domínios, a Caatinga e o Cerrado apresentaram maior riqueza quando comparada com o Cerrado e o Chaco. No entanto, considerando que foram utilizados apenas os estudos com o mínimo de 70% de identificações, verificamos que a Caatinga e o Chaco não apresentaram espécies compartilhadas pelos dois domínios nos trabalhos analisados. Tal fato pode estar relacionado à distância geográfica entre eles, além de apresentarem características vegetais muito distintas, associado a lacunas de conhecimento da fauna como um todo.

Considerando o grau de mudança na composição de espécies entre coordenadas em função do gradiente espacial no Cerrado, as áreas de estudo utilizadas por Do Prado et al. (2019) apresentaram maiores valores de substituição de espécies quando comparadas com as áreas de estudo de Souza (2014). Isso está relacionado tanto com as características vegetais de cada uma das áreas de estudo, uma vez que foram realizadas, respectivamente, no Maranhão e no Mato Grosso do Sul, os quais também apresentam diferenças em relação a temperatura e pluviosidade.

Igualmente ao que ocorre no Cerrado, verificamos que o estudo de García e Quirán (2002) apresentou maior substituição de espécies quando comparado ao estudo de Delsinne et al. (2007), ambos realizados no Chaco. Estes estudos apresentam maiores distâncias espaciais e, conseqüentemente, variação na pluviosidade e temperatura, alterando assim as características vegetais. Assim como os outros domínios, a Caatinga apresentou o mesmo padrão em relação ao gradiente espacial, apresentando maior índice de diversidade  $\beta$  entre os estudos de Dutra de Sousa et al. (2015) e Carvalho et al. (2016). Portanto os dados espaciais para a composição da fauna de formigas seguem os padrões

já conhecidos para alteração das espécies ao longo de um gradiente espacial de ocorrência, mesmo para escalas mais locais (Baselga, 2010; Soininen et al., 2018).

Entre domínios, a diversidade  $\alpha$  foi maior no Cerrado, o qual está relacionada à quantidade de estudos obtidos em cada domínio, devido a padronização para o desenvolvimento do banco de dados, assim como às características fitofisionômicas. Além disso, considerando os dados iniciais fornecidos pelo GABI (Guénard et al., 2017), o Cerrado apresenta maior riqueza de espécies distribuídas (734), seguido pelo Chaco (597) e pela Caatinga (305). Já em relação a diversidade  $\beta$ , a maior taxa de substituição de espécies ocorreu entre a Caatinga e o Chaco, devido ao gradiente espacial e as características ambientais e de vegetação.

Dentre os gêneros compartilhados entre os três domínios, *Camponotus*, *Dorymyrmex*, *Ectatomma*, *Forelius*, *Labidus*, *Linepithema*, *Pheidole*, *Pseudomyrmex*, *Solenopsis* e *Wasmannia* estão distribuídos na região Neotropical, o qual está relacionado tanto a características biológicas dos gêneros, como o hábito alimentar, as quais apresentam o hábito generalista, enquanto que *Dorymyrmex* é predadora generalista de artrópodes e *Pseudomyrmex* se alimenta de nectários extraflorais. Além disso, os gêneros apresentam tipos de recrutamentos diferentes, sendo que *Camponotus*, *Labidus*, *Linepithema*, *Pheidole*, *Solenopsis* e *Wasmannia* realizam recrutamento, enquanto que *Dorymyrmex*, *Ectatomma*, *Forelius* e *Pseudomyrmex* recrutam solitariamente. Desta forma, tais características permitem a adaptação em diferentes tipos de habitats (Baccaro et al., 2015).

A Caatinga apresentou menor riqueza de espécies (72) comparada com o Chaco (106) e, apesar de ambos compartilharem espécies de formigas com o Cerrado, a Caatinga apresentou maior compartilhamento de espécies (34). Em relação aos gêneros, *Cephalotes*, *Dolichoderus*, *Gnamptogenys*, *Labidus*, *Nesomyrmex*, *Pogonomyrmex* e *Tapinoma* foram compartilhados apenas entre a Caatinga e o Cerrado, enquanto que *Acromyrmex*, *Anochetus*, *Dorymyrmex*, *Monomorium*, *Nylanderia* e *Pseudomyrmex* foram gêneros compartilhados apenas entre o Chaco e o Cerrado.

Além disso, corroborando com o Teste de Mantel, no qual apresentou uma correlação positiva entre a taxa de substituição de espécies e a distância geográfica, evidenciando que para todos os domínios ocorre o *turnover* com o aumento da distância, a Caatinga e o Chaco não apresentaram compartilhamento de espécies, o qual pode estar relacionado tanto ao gradiente espacial, devido ao Cerrado estar localizado entre os dois domínios, quanto por apresentarem diferenças em relação as características vegetais e da

variação de pluviosidade e de temperatura. No entanto, apresentaram gêneros de formigas comuns aos dois domínios, tais como: *Camponotus*, *Crematogaster*, *Gnamptogenys*, *Pheidole*, *Pseudomyrmex*, *Solenopsis* e *Wasmannia*.

## **Conclusão**

Devido não apenas a extensão geográfica, mas também a história evolutiva do domínio, além da maior quantidade de grupos de pesquisa e realização de estudos, o Cerrado apresentou maior riqueza e diversidade de formigas, assim como substituição de espécies. Já a Caatinga, apresentando a menor extensão geográfica, negligenciada e com história evolutiva mais recente, apresentou menor riqueza e diversidade, enquanto que o Chaco obteve maiores valores de diversidade  $\alpha$  e substituição de espécies.

Apesar dos domínios apresentarem histórias evolutivas diferentes, assim como características vegetais, ocorre o compartilhamento de espécies de formigas, considerando também que a composição da comunidade é alterada com o aumento da distância espacial entre os pontos amostrais nos domínios. Assim, a composição de espécies está diretamente relacionada ao gradiente espacial, apresentando espécies endêmicas de cada um dos domínios da diagonal seca.

Além disso, evidenciamos que existem poucos estudos que apresentam identificações corretas até nível de espécie, o qual dificulta a compreensão da distribuição das mesmas, gerando lacunas de conhecimentos taxonômicos e ecológicos para o estudo de formigas.

## Referências

- Ab'Saber, A.N., 1974. O domínio morfoclimático semi-árido das Caatingas brasileiras. *Geomorfologia*, São Paulo, 43, 1–39.
- Aranda, R., Tibcherani, M., Nacagava, V.A F., Carvalho, S.S., Souza, P.R. 2022. The role of urban savannah fragments and their characteristics for the conservation of ants (Hymenoptera: Formicidae) in central Brazil. *Community Ecology*, 23, 115–127.
- Araújo, L.M., Fernandes, G.W., 2003. Altitudinal patterns in a tropical ant assemblage and variation in species richness between habitats. *Lundiana*, 4(2), 103–109.
- Arnan, X., Arcoverde, G.B., Pie, M.R., Ribeiro-Neto, J.D., Leal, I.R., 2018. Increased anthropogenic disturbance and aridity reduce phylogenetic and functional diversity of ant communities in Caatinga dry forest. *Sci Total Environ*, 631–632, 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.037>
- Arruda, F.V., Pesquero, M.A., Marcelino, D.G., Leite, G.A., Delabie, J.H.C., Fagundes, R., 2016. Size and condition of bamboo as structural factors behind the vertical stratification of the bamboo-nesting ant community. *Insectes Soc*, 63(1), 99–107. <https://doi.org/10.1007/s00040-015-0440-4>
- Baccaro, F.B., Feitosa, R.M., Fernández, F., Fernandes, I.O., Izzo, T.J., Souza, J.L.P., Solar, R.R.C., 2015. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Ed. INPA, Manaus, Brazil. 386 pp.
- Badano, E.I., Regidor, H.A., Núñez, H.A., Acosta, R., Gianoli, E., 2005. Species richness and structure of ant communities in a dynamic archipelago: Effects of island area and age. *J Biogeogr*, 32(2), 221–227. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01174.x>
- Baselga, A. 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecol Biogeogr*, 19 (1): 134–143.
- Baselga, A., Orme, C.D.L., 2012. Betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods Ecol Evol*, 3(5), 808–812.
- Bestelmeyer, B.T., Wiens, J.A., 1996. The effects of land use on the structure of ground-foraging ant communities in the Argentine Chaco. *Ecol Appl*, 6(4), 1225–1240. <https://doi.org/10.2307/2269603>
- Bolton, B., 2021. An online catalog of the ants of the world. Available from <https://antcat.org>. (accessed [August 15, 2021])

- Borges, F.L.G., Tibcherani, M., Majer, J.D., Hobbs, R.J., Garcia, L.C. Recolonizing Edges: Bilateral Arthropod Monitoring in Restoration Ecology. (Não publicado)
- Brandão, C.R.F., Silva, R.R., Feitosa, R.M., 2011. Cerrado ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) as indicators of edge effects. *Zoologia*, 28(3), 379–387. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702011000300012>
- Brown, J.H., Lomolino, M.V., 2006. Biogeografia. 2a edição. Funpec. Ribeirão Preto. 692p.
- Calcaterra, L.A., Livore, J.P., Delgado, A., Briano, J.A., 2008. Ecological dominance of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, in its native range. *Oecologia*, 156(2), 411–421. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-0997-y>.
- Calcaterra, L.A., Cabrera, S.M., Cuezco, F., Perz, I.J., Briano, J.A., 2010. Habitat and grazing influence on terrestrial ants in subtropical grasslands and savannas of Argentina. *Ann Entomol Soc Am*, 103(4), 635–646. <https://doi.org/10.1603/AN09173>
- Camacho, G.P., Vasconcelos, H.L., 2015. Ants of the Panga Ecological Station, a Cerrado reserve in Central Brazil. *Sociobiology*, 62(2), 281–295. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v62i2.281-295>
- Camarota, F., Powell, S., Melo, A., Priest, G., Marquis, R., Vasconcelos, H., 2016. Co-occurrence patterns in a diverse arboreal ant community are explained more by competition than habitat requirements. *Ecol Evol*, 6(24), 8907–8918. <https://doi.org/10.1002/ece3.2606>
- Carvalho, C.J.B. & Almeida, E.A.B., 2010. Biogeografia da América do Sul: Padrões & Processos. São Paulo Ed. Roca, 13, 198-220.
- Carvalho, K.S., Do Nascimento, I.C., Delabie, J.H.C., Zina, J., De Souza, A.L.B., De Azevedo Koch, E.B., Carneiro, M., Santos, A.S., 2012. Litter as an important resource determining the diversity of epigeic ants in the South-Central Part of Bahia State, Brazil. *Sociobiology*, 59(4), 1375–1388.
- Carvalho, K.S., Carneiro, M.A.F., Nascimento, I.C., Saha, A., Bruna E.M., 2016. Lower ant diversity on earth mounds in a Semi-Arid Brazilian Ecosystem: Natural or a sign of degradation? *Sociobiology*, 63(4), 1022-1030.
- Chamberlain, S.A., Holland, J.N. 2009. Quantitative synthesis of context dependence in ant-plant protection mutualisms. *Ecology*, 90, 2384-2392.
- Cividanes, F.J., Barbosa, J.C., Martins, I.C.F., Pattaro, F., Nunes, M.A., Santos, R.S., 2009. Diversidade e distribuição espacial de artrópodes associados ao solo em

- agroecossistemas. *Bragantia*, 68(4), 991–1002. <https://doi.org/10.1590/s0006-87052009000400020>
- Colli, G.R. 2005. As origens e a diversificação da herpetofauna do Cerrado. *Biodiversidade, Ecologia e Conservação do Cerrado* (ed. by A. Scariot, J.C. Souza-Silva, and J.M. Felfili), pp. 247–264. Brasília, Distrito Federal.
- Costa, F.V., Mello, R., Lana, T.C., Neves, F.S., 2015. Ant fauna in megadiverse mountains: A checklist for the rocky grasslands. *Sociobiology*, 62(2), 228–245. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v62i2.228-245>
- Costa-Milanez, C.B., Ribeiro, F.F., Castro, P.T.A., Majer, J.D., Ribeiro, S.P., 2015. Effect of fire on ant assemblages in Brazilian cerrado in areas containing vereda wetlands. *Sociobiology*, 62(4), 494–505. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v62i4.770>
- Costa-Pereira, R., Pruitt, J., 2019. Behaviour, morphology and microhabitat use: what drives individual niche variation. *Biol Letters* 15: 20190266.
- Crisci, J.V., Sala, O.E., Katinas, L., Posadas, P., 2006. Bridging historical and ecological approaches in Biogeography. *Aust Syst Bot*, 19(1), 1-10.
- Da Silva, R.R., Brandão, C.R.F., Silvestre, R., 2004. Similarity between Cerrado localities in central and southeastern Brazil based on the dry season bait visitors ant fauna. *Stud Neotrop Fauna E*, 39(3), 191–199. <https://doi.org/10.1080/01650520412331271783>
- DaSilva, M.B., 2011. Áreas de endemismo: as espécies vivem em qualquer lugar, onde podem ou onde historicamente evoluíram? *Revista da Biologia*, 5508, 12-17.
- Dantas, K.S.Q., Queiroz, A.C.M., Neves, F.S., Reis-Jr., R., Fagundes, M., 2011. Formigas (Hymenoptera: Formicidae) em diferentes estratos numa região de transição entre os biomas do Cerrado e da Caatinga no norte de Minas Gerais, MG. *Biota*, 4(4), 17–31.
- Delsinne, T., Roisin, Y., Leponce, M., 2007. Spatial and temporal foraging overlaps in a Chacoan ground-foraging ant assemblage. *J Arid Environ*, 71(1), 29–44. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.02.007>
- Demétrio, F.D., Silvestre, R., Souza, P.R.S., Aoki, C., 2017. Inventário da fauna de formigas (Hymenoptera, Formicidae) no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, 107 (supl): e2017126. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2017126>

- De Mendonça Santos, G.M., Delabie, J.H.C., Resende, J.J., 1999. Caracterização da mirmecofauna (Hymenoptera-Formicidae) associada à vegetação periférica de inselbergs (Caatinga arbórea estacional semi-decídua) em Itatim, Bahia, Brasil. *Stientibus*, 20, 33–43.
- Divieso, R., Rorato, A., Feitosa, R.M., Meyer, A.L.S., Pie, M.R., 2020. How to prioritize areas for new ant surveys? Integrating historical data on species occurrence records and habitat loss. *J Insect Conserv*, 24, 901-911.
- Do Prado, L.P., Feitosa, R.M., Triana, S.P., Gutiérrez, J.A.M., Rousseau, G.X., Silva, R., Siqueira, G., Dos Santos, C., Silva, F., Da Silva, T., Casadei-Ferreira, A., Da Silva, S., Andrade-Silva, J., 2019. An overview of the ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) of the state of Maranhão, Brazil. *Pape Avulsos Zool*, 59, e20195938. <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2019.59.38>
- Dutra de Sousa, I., Marinho, C.G.S., Lima, A.S., de Melo, B.A., Oliveira, M.A, Delabie, J.H.C, 2015. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) epigéias na mesorregião do sertão paraibano. *Rev Bras Zooc*, 16(1-3), 43–53.
- Fischer, A.G., 1960. Latitudinal variations in organic diversity. *Evolution*, 14(1), 64-81.
- Freitas, J.M.S., Delabie, J.H.C., Lacau, S., 2014. Composition and diversity of ant species into leaf litter of two fragments of a semi-deciduous seasonal forest in the atlantic forest biome in Barra do Choça, Bahia, Brazil. *Sociobiology*, 61(1), 9–20. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i1.9-20>
- Frizzo, T.L.M., Campos, R.I., Vasconcelos, H.L., 2012. Contrasting effects of fire on arboreal and ground-dwelling ant communities of a Neotropical Savanna. *Biotropica*, 44, 254-261. doi: 10.1111/j.1744-7429.2011.00797.x
- Folgarait, P.J., 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiver Conserv*, 7, 1221–1244.
- García, M., Quirán, E., M. 2002. Lista preliminar de formicidos (Insecta: Hymenoptera) del Parque Nacional Sierra de las Quijadas (San Luis, Argentina). *Gayana (Concepción)*, 66(1),83-84. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382002000100013>
- Gaston, K.J., 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405(6783), 220-227.
- Goitía, W., Jaffé, K., 2009. Ant-plant associations in different forests in Venezuela. *Neotrop Entomol*, 38 (1), 7-31.
- Gottsberger, G., Silberbauer-Gottsberger, I., 2006. Life in the cerrado: a South American tropical seasonal vegetation. Vol. 1. Origin, structure, dynamics and plant use. Reta Verlag. 277p.

- Köppen, W., 1931. Grundriss der Klimakunde. Gruyter. 388p.
- Guénard, B., Weiser, M., Gomez, K., Narula, N., Economo E., 2017. The Global Ant Biodiversity Informatics (GABI) database: a synthesis of ant species geographic distributions. *Myrmecol News*, 24, 83–89.
- Haffer J., 1985. Avian zoogeography of the neotropical lowlands. *Ornithol Monogr*, 36, 113–147.
- Hoorn, C., Wesselingh, F.P., ter Steege, H., Bermudez, M.A., Mora, A., Sevink, J., Sanmartin, I., Sanchez-Meseguer, A., Anderson, C.L., Figueiredo, J. P., Jaramillo, C., Riff, D., Negri, F. R., Hooghiemstra, H., Lundberg, J., Stadler, T., Sarkinen, T., Antonelli, A., 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science*, 330, 927-931.
- Kadmon, R., Allouche, O., 2007. Integrating the effects of area, isolation, and habitat heterogeneity on species diversity: a unification of island biogeography and niche theory. *The American naturalist*, 170 (3), 443–54.
- Lasmar, C.J., Ribas, C.R., Louzada, J., Queiroz, A.C.M., Feitosa, R.M., Imata, M.M.G., Alves, G.P., Nascimento, G.B., Neves, F.S., Domingos, D.Q., 2020. Disentangling elevational and vegetational effects on ant diversity patterns, *Acta Oecol*, 102, <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103489>.
- Lana, T.C., 2015. Estrutura da comunidade de formigas em um gradiente altitudinal de campo rupestre na Serra do Cipó, MG. Universidade Federal de Minas Gerais (Tese de Doutorado).
- Leal, I.R. 2003. Dispersão de sementes por formigas na caatinga. pp 593-624. *In: Ecologia e conservação da caatinga*.
- Leal, I.R., Silva, J.M.C., Tabarelli, M., Lacher Jr., T., 2005. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do nordeste do Brasil. *Megadiversidade*, 1, 139– 146.
- Lee, K. E. & Foster, R.C. 1991. Soil fauna and soil structure. *Aust J Soil Res*, 29, 745-775.
- Leponce, M., Theunis, L., Delabie, J.H.C., Roisin, Y., 2004. Scale dependence of diversity measures in a leaf-litter ant assemblage. *Ecography*, 27(2), 253–267. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03715.x>
- Löwenberg-Neto, P., 2014. Neotropical region: a shapefile of Morrone's (2014) biogeographical regionalisation. *Zootaxa*, 3808 (2): 300-300.



- Machado, R.B., Neto, M.G.P., Pereira, P.G.P., Caldas, E.F., Gonçalves, D.A., Santos, N.S., Steininger, M., 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF, 1–23. doi: 10.1590/S0104-42302007000600013
- Magurran, A.F., 2004. Measuring biological diversity. Blackwell, Oxford.
- Maravalhas, J., Delabie, J.H.C., MacEdo, R.G., Morais, H.C., 2012. Tree-dwelling ants: Contrasting two Brazilian Cerrado plant species without extrafloral nectaries. *Psyche* (London), 2012, 172739. <https://doi.org/10.1155/2012/172739>
- Martins, R.P., Barbeitos, M.S., 2000. Adaptações de insetos e mudanças no ambiente: ecologia e evolução da diapausa. Pp. 149-192. In: Martins, R.P. Lewinsohn, T.M., Barbeitos, M.S., (Eds). *Ecologia e comportamento de insetos. Série Oecologia Brasiliensis*, vol VIII. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Mellard, J.P., Audoye, P., Loreau, M., 2019. Seasonal patterns in species diversity across biomes. *Ecology*, 100 (4), 1–15.
- MMA - Ministerio Meio Ambiente. 2018a. Pantanal. <http://www.mma.com.br/domínios/pantanal>. Acessado em 14 de novembro de 2018.
- MMA - Ministerio Meio Ambiente. 2018b. Caatinga. <http://www.mma.com.br/domínios/caatinga>. Acessado em 14 de novembro de 2018.
- Marinho, C.G.S., Zanetti, R., Delabie, J.H.C., Schlindwein, M.N., Ramos, L.D.S., 2002. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serapilheira em eucaliptais (*Myrtaceae*) e área de cerrado de Minas Gerais. *Neotrop Entomol*, 31(2), 187–195. <https://doi.org/10.1590/s1519-566x2002000200004>
- Marques, G.D.V., Del-Claro, K., 2006. The ant fauna in a cerrado area: The influence of vegetation structure and seasonality (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 47(1), 235–252.
- Munoz, F., Ramesh, B.R., Couteron, P., 2014. How do habitat filtering and niche conservatism affect community composition at different taxonomic resolutions? *Ecology*, 95(8), 2179-2191. <http://doi.org/10.1890/13-0064.1>
- Murúa, F., Cuezco, F., Acosta, J., 1999. La fauna de hormigas del Gran Bajo Oriental del departamento Valle Fértil (San Juan, Argentina), 58, 135–138.

- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858. doi: 10.1038/35002501
- Nakazawa, T. 2014. Ontogenetic niche shifts matter in community ecology: a review and future perspectives. *Popul Ecol*, 57(1), 347-354.
- Nunes, F.A., Martins Segundo, G.B., Vasconcelos, Y.B., Azevedo, R., Quinet, Y., 2011. Groud-foraging ants (Hymenoptera: Formicidae) and rainfall effect on pitfall trapping in a deciduous thorn woodland (Caatinga), Northeastern Brazil. *Rev Biol Trop*, 59 (4), 1636-1650.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O’Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Wagner, H., 2017. *Vegan: Community Ecology Package*. R package Version 2.4-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira-Filho, A.T., Ratter, J.A., 1995. A study of the origin of Central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *J Bot* 52, 141-194.
- Oliveira, F.M.P., Ribeiro-Neto, J.D., Andersen, A.N., Leal, I.R., 2017. Chronic anthropogenic disturbance as a secondary driver of ant community structure: Interactions with soil type in Brazilian Caatinga. *Environ Conserv*, 44(2), 115–123. <https://doi.org/10.1017/S0376892916000291>
- Pennington, R.T., Prado, D.E., Pendry, C.A., 2000. Neotropical seasonally dry forest and Quaternary vegetation changes. *J Biogeogr*, 27(3), 261-273.
- Pennington, R.T., Lavin, M., Prado, D.E., Pendry, C.A., Pell, S.K., Butterworth, C.A., 2004. Historical climate change and speciation: neotropical seasonally dry forests plants show patterns of both Tertiary and Quaternary diversification. *Philos Trans R Soc Biol Sci.*, 359, 515-537.
- Pereyra, M., Pol, R.G., Galetto, L., 2019. Ant community patterns in highly fragmented Chaco forests of central Argentina. *Austral Ecol*, 44(4), 668–679. <https://doi.org/10.1111/aec.12712>
- Philpott, S.M., Armbricht, I., 2006. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecol Entomol*, 31, 369-377. doi: 10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x.
- Porzecanski, A.L., Cracraft, J., 2005. Cladistic analysis of distributions and endemism (CADE): using raw distributions of birds to unravel the biogeography of the South American aridlands. *J Biogeogr*, 32, 261–275.

- Prado, D.E., Gibbs, P.E., 1993. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. *Ann Mo Bot Gard*, 80, 902-927.
- R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL. <https://www.R-project.org/>.
- Ram, K., Wickham, H., 2018. Wesanderson: A Wes Anderson palette generator [Manual]. <https://CRAN.R-project.org/package=wesanderson>
- Ratter, J.A., Ribeiro, J.F., Bridgewater, S., 1997. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Ann Botany*, 80, 223–230. doi: 10.1006/anbo.1997.0469
- Ratter, J.A., Bridgewater, S., Ribeiro, J.F., Dias, T.A.B., da Silva, M.R., 2000. Estudo preliminar da distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma Cerrado. *Boletim Herbário Ezechias Paulo Heringer*, 5, 5-43.
- Raven, P.H., Axelrod, D.I., 1974. Angiosperm biogeography and past continental movements. *Ann Mo Bot Gard*, 61, 539-673.
- Ribas, C.R., Schoereder, J.H., Pic, M., Soares, S.M., 2003. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecol*, 28(3), 305–314. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01290.x>
- Ribeiro, L.F., Solar, R.R.C., Sobrinho, T.G., Muscardi, D.C., Schoereder, J.H., Andersen, A.N., 2019. Different trophic groups of arboreal ants show differential responses to resource supplementation in a neotropical savanna. *Oecologia*, 190(2), 433–443. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04414-z>
- Rocha, W.D.O., Dorval, A., Filho, O.P., Vaez, C. D. A., Cunha Castro, C.K. da., 2014. Diversidade da mirmecofauna em uma área degradada pela garimpagem de diamantes no estado de Mato Grosso, Brasil. *Rev Bras Multid* 17(2), 51. <https://doi.org/10.25061/2527-2675/rebram/2014.v17i2.25>
- Rocha, W.O., Dorval, A., Filho, O.P., Dos Anjos Vaez, C., Ribeiro, E.S., 2015. Formigas (Hymenoptera: Formicidae) bioindicadoras de degradação ambiental em Poxoréu, Mato Grosso, Brasil. *Floresta e Ambient*, 22(1), 88–98. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.0049>

- Rodrigues, M.T., 2003. Herpetofauna da Caatinga. Biodiversidade, Ecologia e Conservação da Caatinga. (ed. by M. Tabarelli and J.M.C. Silva), pp. 181–236. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Rudgers, J.A. 2004. Enemies of herbivores can shape plant traits: Selection in a facultative ant-plant mutualism. *Ecology*, 85(1), 192-205.
- Santiago, G.S., Campos, R.B.F., Ribas, C.R., 2018. How does landscape anthropization affect the myrmecofauna of urban forest fragments? *Sociobiology*, 65(3), 441–448. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i3.3042>
- Santoandré, S., Filloy, J., Zurita, G.A., Bollocq, M.I., 2019. Taxonomic and functional  $\beta$ -diversity of ants along tree plantation chronosequences differ between contrasting biomes. *Basic Appl Ecol*, 41, 1-12.
- Santos, S.A., Soriano, B.M.A., Comastri Filho, J.A. Abreu, U.G.P., 2007. Cheia e seca no Pantanal: importância do manejo adaptativo das fazendas. ADM - Artigo de Divulgação na Mídia, Embrapa Pantanal, Corumbá, MS, n.120 p.1-3.
- Schmidt, K.E, Inger, R.F., 1951. Amphibians and reptiles of the Hopkins-Branner expedition to Brazil. *Fieldiana: Zoology*, 31, 439-465.
- Silva J.M.C., 1995. Biogeographic analysis of the South American Cerrado avifauna. *Steenstrupia*, 21, 49–67.
- Silva, E.M., Medina, A.M., Nascimento, I.C., Lopes, P.P., Carvalho, K.S., Santos, G.M.M., 2014. Does ant community richness and composition respond to phytophysiological complexity and seasonality in xeric environments? *Sociobiology*, 61(2), 155–163. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i2.155-163>
- Soares, S. de A., Antonialli-Junior, W.F., Lima-Junior, S.E., 2010. Diversidade de formigas epigéicas (Hymenoptera, Formicidae) em dois ambientes no Centro-Oeste do Brasil. *Rev Bras Entomol*, 54(1),76-81. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262010000100009>.
- Sobral-Souza, T., Lima-Ribeiro, M.S., Solferini, V.N., 2015. Biogeography of Neotropical Rainforests: past connections between Amazon and Atlantic Forest detected by ecological niche modeling. *Evol Ecol*, 29 (5), 643–655.
- Soininen, J., Heino, J., Wang, J., 2018. A meta-analysis of nestedness and turnover components of beta diversity across organisms and ecosystems. *Global Ecol Biogeogr*, 27, 96–109.

- Souza, P.R., 2014. Padrões de distribuição e diversidade de espécies da mirmecofauna (Hymenoptera, Formicidae) de uma savana estépica (Chaco) no município de Porto Murtinho, Mato Grosso do Sul, Brasil. Tese de doutorado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- Sousa-Souto, L., Figueiredo, P.M.G., Ambrogi, B.G., Oliveira, A.C.F., Ribeiro, G.T., Neves, F.S., 2016. Composition and richness of arboreal ants in fragments of Brazilian Caatinga: Effects of secondary succession. *Sociobiology*, 63(2), 762–769. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v63i2.909>
- Theunis, L., Gilbert, M., Roisin, Y., Leponce, M., 2005. Spatial structure of litter-dwelling ant distribution in a subtropical dry forest. *Insect Soc*, 52(4), 366–377. <https://doi.org/10.1007/s00040-005-0822-0>
- Tibcherani, M., Aranda, R., Mello, R.L., 2020. Time to go home: The temporal threshold in the regeneration of the ant community in the Brazilian savanna. *Appl Soil Ecol*, 150, 103451.
- Udy, K., Fritsch, M., Meyer, K.M., Grass, I., Hanss, S., Hartig, F., Kneib, T., Kreft, H., Kukunda, C.B., Pe'er, G., Reininghaus, H., Tietjen, B., Tschirntke, T., Van Waveren, C.S., Wiegand, K. 2021. Environmental heterogeneity predicts global species richness patterns better than area. *Global Ecol Biogeogr*, 30, 842-851.
- Ulysséa, M.A., Brandão, C.R.F., 2013. Ant species (Hymenoptera, Formicidae) from the seasonally dry tropical forest of northeastern Brazil: A compilation from field surveys in Bahia and literature records. *Rev Bras Entomol*, 57(2), 217–224. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262013005000002>
- Vanzolini P.E., 1963. Problemas faunísticos do Cerrado. Simpósio sobre o Cerrado (ed. by M.G. Ferri), Editora da Universidade de São Paulo., São Paulo.
- Vanzolini, P.E., 1974. Ecological and geographical distribution of lizards in Pernambuco, Northeastern Brazil (Sauria). *Pape Avulsos Zool*, 28(4), 61–90.
- Vanzolini, P.E., 1976. On the lizards of a Cerrado-caatinga contact, evolutionary and zoogeographical implications (Sauria). *Pape Avulsos Zool*, 29, 111–119.
- Wallace, A.R., 1852. On the Monkeys of the Amazon. Alfred Russel Wallace Classic Writings. Paper 3.
- Ward, P.S., 1991. Phylogenetic analysis of pseudomyrmecine ants associated with domatia-bearing plants. pp 335-352. *In: Ant–plant interactions*, Oxford: Oxford University Press, 601.

- Werneck, F.P., 2011. The diversification of eastern South American open vegetation biomes: Historical biogeography and perspectives. *Quaternary Sci Rev*, 30, 1630–1648.
- Werneck, F.P., Colli, G.R., 2006. The lizard assemblage from Seasonally Dry Tropical Forest enclaves in the Cerrado biome, Brazil, and its association with the Pleistocene. *Arch. J Biogeogr.* 33, 1983–1992.
- Whittaker, R.J., Araújo, M.B., Jepson, P., Ladle, R.J., Watson, J.E.M., Willis, K.J., 2005. Conservation Biogeography: assessment and prospect. *Divers Distrib*, 11(1), 3–23.
- Wickham, H., 2007. Reshaping data with the reshape package. *J Stat Softw*, 21(12), 1–20. <http://www.jstatsoft.org/v21/i12/>.
- Wickham, H., 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., Takahashi, K., Vaughan, D., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., 2019. Welcome to the tidyverse. *J Open Sour Softw* 4(43), 1686. doi: [10.21105/joss.01686](https://doi.org/10.21105/joss.01686).

## Material Suplementar

**Tab. S1.** Lista de espécies de formigas obtidas a partir dos estudos realizados na Caatinga, Cerrado e Chaco.

Subfamílias	Espécies	Caatinga	Cerrado	Chaco
Amblyoponinae	<i>Fulakora armigera</i> (Mayr, 1887)	x		
	<i>Fulakora degenerata</i> (Borgmeier, 1957)		x	
	<i>Fulakora elongata</i> (Santschi, 1912)	x		
Dolichoderinae	<i>Azteca alfari</i> Emery, 1893		x	
	<i>Azteca brevis</i> Forel, 1899		x	
	<i>Azteca fasciata</i> Emery, 1893		x	
	<i>Azteca instabilis</i> (Smith, 1862)		x	
	<i>Dolichoderus attelaboides</i> (Fabricius, 1775)	x		
	<i>Dolichoderus bispinosus</i> (Olivier, 1792)		x	
	<i>Dolichoderus imitator</i> Emery, 1894		x	
	<i>Dolichoderus lamellosus</i> (Mayr, 1870)		x	
	<i>Dolichoderus lutosus</i> (Smith, 1858)	x	x	
	<i>Dolichoderus quadridenticulatus</i> (Roger, 1862)		x	
	<i>Dolichoderus validus</i> (Kempf, 1959)		x	
	<i>Dolichoderus voraginosus</i> Mackay, 1993	x		
	<i>Dorymyrmex bicolor</i> Wheeler, 1906		x	
	<i>Dorymyrmex breviscapis</i> Forel, 1912			x
	<i>Dorymyrmex bruchi</i> Forel, 1912			x
	<i>Dorymyrmex brunneus</i> Forel, 1908	x	x	x
	<i>Dorymyrmex carettei</i> Forel, 1913			x
	<i>Dorymyrmex exsanguis</i> Forel, 1912			x
	<i>Dorymyrmex goeldii</i> Forel, 1904		x	
	<i>Dorymyrmex jheringi</i> Forel, 1912		x	
	<i>Dorymyrmex minutus</i> Emery, 1895			x
	<i>Dorymyrmex planidens</i> Mayr, 1868			x
	<i>Dorymyrmex pulchellus</i> Santschi, 1922			x
	<i>Dorymyrmex pyramicus</i> (Roger, 1863)		x	x
	<i>Dorymyrmex spurius</i> Santschi, 1929		x	
	<i>Dorymyrmex steigeri</i> Santschi, 1912			x
	<i>Dorymyrmex thoracicus</i> Gallardo, 1916	x	x	x
	<i>Dorymyrmex wolffhuegeli</i> Forel, 1911			x
	<i>Forelius brasiliensis</i> (Forel, 1908)	x	x	x
	<i>Forelius breviscapus</i> Forel, 1914			x
	<i>Forelius chalybaeus</i> Emery, 1906			x
	<i>Forelius heyeri</i> (Forel, 1902)		x	x
<i>Forelius maranhaoensis</i> Cuzzo, 2000	x	x		
<i>Forelius nigriventris</i> Forel, 1912			x	
<i>Forelius rubriceps</i> Gallardo, 1916			x	

	<i>Gracilidris pombero</i> Wild & Cuezco, 2006				x
	<i>Linepithema cerradense</i> Wild, 2007				x
	<i>Linepithema humile</i> (Mayr, 1868)	x		x	x
	<i>Linepithema micans</i> (Forel, 1908)			x	x
	<i>Linepithema neotropicum</i> Wild, 2007	x		x	
	<i>Linepithema pulex</i> Wild, 2007			x	
	<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius, 1793)	x		x	
Dorylinae	<i>Eciton quadriglume</i> (Haliday, 1836)			x	
	<i>Labidus coecus</i> (Latreille, 1802)	x		x	x
	<i>Labidus mars</i> (Forel, 1912)	x			
	<i>Labidus praedator</i> (Smith, 1858)	x		x	
	<i>Neivamyrmex goeldii</i> (Forel, 1901)			x	
	<i>Neivamyrmex planidorsus</i> (Emery, 1906)			x	
	<i>Nomamyrmex esenbeckii</i> (Westwood, 1842)			x	
Ectatomminae	<i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858			x	x
	<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	x		x	x
	<i>Ectatomma muticum</i> Mayr, 1870	x		x	
	<i>Ectatomma opaciventre</i> (Roger, 1861)			x	
	<i>Ectatomma permagnum</i> Forel, 1908			x	x
	<i>Ectatomma planidens</i> Borgmeier, 1939			x	
	<i>Ectatomma suzanae</i> Almeida Filho, 1986	x		x	
	<i>Ectatomma tuberculatum</i> (Olivier, 1792)			x	
	<i>Gnamptogenys acuminata</i> (Emery, 1896)	x		x	
	<i>Gnamptogenys ammophila</i> Lattke, 1990			x	
	<i>Gnamptogenys bruchi</i> (Santschi, 1922)	x			
	<i>Gnamptogenys concinna</i> (Smith, 1858)	x			
	<i>Gnamptogenys haenschi</i> (Emery, 1902)			x	
	<i>Gnamptogenys horni</i> (Santschi, 1929)			x	
	<i>Gnamptogenys minuta</i> (Emery, 1896)			x	
	<i>Gnamptogenys moelleri</i> (Forel, 1912)	x		x	
	<i>Gnamptogenys regularis</i> Mayr, 1870	x			
	<i>Gnamptogenys striatula</i> Mayr, 1884			x	
	<i>Gnamptogenys sulcata</i> (Smith, 1858)	x		x	
	<i>Gnamptogenys triangularis</i> (Mayr, 1887)				x
Formicinae	<i>Brachymyrmex admotus</i> Mayr, 1887			x	
	<i>Brachymyrmex aphidicola</i> Forel, 1909			x	x
	<i>Brachymyrmex australis</i> Forel, 1901			x	
	<i>Brachymyrmex coactus</i> Mayr, 1887			x	
	<i>Brachymyrmex degener</i> Emery, 1906				x
	<i>Brachymyrmex gaucho</i> Santschi, 1917				x
	<i>Brachymyrmex heeri</i> Forel, 1874			x	x
	<i>Brachymyrmex patagonicus</i> Mayr, 1868	x		x	
	<i>Brachymyrmex pilipes</i> Mayr, 1887			x	



	<i>Camponotus aguilerai</i> Kusnezov, 1952				x
	<i>Camponotus arboreus</i> (Smith, 1858)	x	x		
	<i>Camponotus atriceps</i> (Smith, 1858)	x	x		
	<i>Camponotus balzani</i> Emery, 1896		x		
	<i>Camponotus bidens</i> Mayr, 1870		x		
	<i>Camponotus blandus</i> (Smith, 1858)	x	x		x
	<i>Camponotus bonariensis</i> Mayr, 1868				x
	<i>Camponotus borellii</i> Emery, 1894		x		
	<i>Camponotus cameranoi</i> Emery, 1894	x			
	<i>Camponotus cingulatus</i> Mayr, 1862	x			
	<i>Camponotus crassus</i> Mayr, 1862	x	x		x
	<i>Camponotus crispulus</i> Santschi, 1922				x
	<i>Camponotus depressus</i> Mayr, 1866		x		
	<i>Camponotus fastigatus</i> Roger, 1863		x		
	<i>Camponotus genatus</i> Santschi, 1923	x			
	<i>Camponotus guayapa</i> Kusnezov, 1952				x
	<i>Camponotus latangulus</i> Roger, 1863		x		
	<i>Camponotus lespesii</i> Forel, 1886	x	x		
	<i>Camponotus leydigi</i> Forel, 1886		x		x
	<i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894	x	x		
	<i>Camponotus mus</i> Roger, 1863				x
	<i>Camponotus novogranadensis</i> Mayr, 1870	x	x		
	<i>Camponotus personatus</i> Emery, 1894		x		
	<i>Camponotus punctulatus</i> Emery, 1894		x		x
	<i>Camponotus rectangularis</i> Emery, 1890		x		
	<i>Camponotus renggeri</i> Emery, 1894		x		
	<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)	x	x		x
	<i>Camponotus senex</i> (Smith, 1858)	x			
	<i>Camponotus sericeiventris</i> (Guérin-Méneville, 1838)			x	
	<i>Camponotus silvestrii</i> Emery, 1906		x		
	<i>Camponotus substitutus</i> Forel, 1899		x		x
	<i>Camponotus termitarius</i> Emery, 1902				x
	<i>Camponotus vittatus</i> Forel, 1904	x	x		
	<i>Camponotus yala</i> Kusnezov, 1952				x
	<i>Gigantiops destructor</i> (Fabricius, 1804)		x		
	<i>Nylanderia docilis</i> (Forel, 1908)				x
	<i>Nylanderia fulva</i> (Mayr, 1862)		x		x
	<i>Nylanderia guatemalensis</i> (Forel, 1885)		x		
	<i>Nylanderia pubens</i> (Forel, 1893)				x
	<i>Nylanderia silvestrii</i> (Emery, 1906)				x
	<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)		x		
Heteoponerinae	<i>Acanthoponera mucronata</i> (Roger, 1860)	x			
Myrmicinae	<i>Acromyrmex fracticornis</i> (Forel, 1909)				x

<i>Acromyrmex landolti</i> (Forel, 1885)		x	
<i>Acromyrmex lobicornis</i> (Emery, 1888)			x
<i>Acromyrmex lundii</i> (Guérin-Méneville, 1838)			x
<i>Acromyrmex niger</i> (Smith, 1858)		x	
<i>Acromyrmex nigrosetosus</i> (Forel, 1908)		x	
<i>Acromyrmex rugosus</i> (Smith, 1858)		x	x
<i>Acromyrmex subterraneus</i> (Forel, 1893)		x	
<i>Amoimyrmex striatus</i> (Roger, 1863)			x
<i>Apterostigma pilosum</i> Mayr, 1865		x	
<i>Atta cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)		x	
<i>Atta laevigata</i> (Smith, 1858)		x	
<i>Atta opaciceps</i> Borgmeier, 1939		x	
<i>Atta saltensis</i> Forel, 1913		x	x
<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	
<i>Atta vollenweideri</i> Forel, 1893			x
<i>Blepharidatta conops</i> Kempf, 1967		x	
<i>Cardiocondyla emeryi</i> Forel, 1881		x	
<i>Cardiocondyla wroughtonii</i> (Forel, 1890)		x	
<i>Carebara urichi</i> (Wheeler, 1922)		x	
<i>Cephalotes adolphi</i> (Emery, 1906)		x	
<i>Cephalotes angustus</i> (Mayr, 1862)	x		
<i>Cephalotes atratus</i> (Linnaeus, 1758)		x	
<i>Cephalotes betoi</i> De Andrade, 1999		x	
<i>Cephalotes cordatus</i> (Smith, 1853)		x	
<i>Cephalotes depressus</i> (Klug, 1824)		x	
<i>Cephalotes eduarduli</i> (Forel, 1921)		x	
<i>Cephalotes grandinosus</i> (Smith, 1860)		x	
<i>Cephalotes incertus</i> (Emery, 1906)		x	
<i>Cephalotes laminatus</i> (Smith, 1860)		x	
<i>Cephalotes liepini</i> De Andrade, 1999		x	
<i>Cephalotes minutus</i> (Fabricius, 1804)	x	x	
<i>Cephalotes patellaris</i> (Mayr, 1866)		x	
<i>Cephalotes pavonii</i> (Latreille, 1809)		x	
<i>Cephalotes persimilis</i> De Andrade, 1999	x	x	
<i>Cephalotes pinelii</i> (Guérin-Méneville, 1844)		x	
<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	x	x	
<i>Crematogaster abstinens</i> Forel, 1899		x	x
<i>Crematogaster acuta</i> (Fabricius, 1804)		x	
<i>Crematogaster arata</i> Emery, 1906		x	
<i>Crematogaster arcuata</i> Forel, 1899	x		
<i>Crematogaster brasiliensis</i> Mayr, 1878		x	
<i>Crematogaster bruchi</i> Forel, 1912		x	
<i>Crematogaster chodati</i> Forel, 1921	x		

<i>Crematogaster crinosa</i> Mayr, 1862		x	
<i>Crematogaster curvispinosa</i> Mayr, 1862		x	
<i>Crematogaster distans</i> Mayr, 1870	x	x	
<i>Crematogaster erecta</i> Mayr, 1866	x	x	
<i>Crematogaster evallans</i> Forel, 1907		x	
<i>Crematogaster iheringi</i> Forel, 1908			x
<i>Crematogaster limata</i> Smith, 1858		x	
<i>Crematogaster nigropilosa</i> Mayr, 1870		x	
<i>Crematogaster polymnia</i> Santschi, 1922			x
<i>Crematogaster quadriformis</i> Roger, 1863		x	x
<i>Crematogaster stollii</i> Forel, 1885	x	x	
<i>Crematogaster tenuicula</i> Forel, 1904		x	
<i>Crematogaster torosa</i> Mayr, 1870		x	
<i>Crematogaster victima</i> Smith, 1858	x	x	
<i>Cyphomyrmex minutus</i> Mayr, 1862		x	
<i>Cyphomyrmex peltatus</i> Kempf, 1969	x	x	
<i>Cyphomyrmex rimosus</i> (Spinola, 1851)		x	x
<i>Cyphomyrmex transversus</i> Emery, 1894		x	
<i>Eurhopalothrix bruchi</i> (Santschi, 1922)	x		
<i>Hylomyrma balzani</i> (Emery, 1894)		x	
<i>Kalathomyrmex emeryi</i> Mayr, 1887		x	
<i>Megalomyrmex modestus</i> Emery, 1896		x	
<i>Monomorium bidentatum</i> Mayr, 1887			x
<i>Monomorium denticulatum</i> Mayr, 1887			x
<i>Monomorium pharaonis</i> (Linnaeus, 1758)		x	x
<i>Mycetomoellerius farinosus</i> (Emery, 1894)		x	
<i>Mycetomoellerius iheringi</i> (Emery, 1888)		x	
<i>Mycetomoellerius kempfi</i> (Fowler, 1982)		x	
<i>Mycetomoellerius relictus</i> (Borgmeier, 1934)		x	
<i>Mycetomoellerius urichii</i> (Forel, 1893)		x	
<i>Mycetophylax lectus</i> (Forel, 1911)		x	
<i>Mycetophylax olitor</i> (Forel, 1893)			x
<i>Mycocepurus goeldii</i> (Forel, 1893)		x	
<i>Mycocepurus smithii</i> (Forel, 1893)		x	
<i>Nesomyrmex asper</i> (Mayr, 1887)		x	
<i>Nesomyrmex brasiliensis</i> (Kempf, 1958)		x	
<i>Nesomyrmex itinerans</i> (Kempf, 1959)	x		
<i>Nesomyrmex pleuriticus</i> (Kempf, 1959)		x	
<i>Nesomyrmex spininodis</i> (Mayr, 1887)	x	x	
<i>Ochetomyrmex neopolitus</i> Fernández, 2003		x	
<i>Ochetomyrmex semipolitus</i> Mayr, 1881		x	
<i>Octostruma balzani</i> (Emery, 1894)		x	
<i>Octostruma rugifera</i> (Mayr, 1887)	x		

<i>Paramycetophylax bruchi</i> (Santschi, 1916)			X
<i>Paratrachymyrmex bugnioni</i> (Forel, 1912)	X		
<i>Patagonomyrmex odoratus</i> (Kusnezov, 1949)			X
<i>Pheidole aberrans</i> Mayr, 1868			X
<i>Pheidole bergi</i> Mayr, 1887			X
<i>Pheidole bison</i> Wilson, 2003			X
<i>Pheidole capillata</i> Emery, 1906	X		
<i>Pheidole cavifrons</i> Emery, 1906			X
<i>Pheidole diligens</i> (Smith, 1858)	X	X	
<i>Pheidole fallax</i> Mayr, 1870		X	
<i>Pheidole fimbriata</i> Roger, 1863		X	
<i>Pheidole flavens</i> Roger, 1863		X	X
<i>Pheidole gertrudae</i> Forel, 1886		X	
<i>Pheidole jeannei</i> Wilson, 2003	X		
<i>Pheidole jelskii</i> Mayr, 1884			X
<i>Pheidole laevinota</i> Forel, 1908			X
<i>Pheidole microps</i> Wilson, 2003	X		
<i>Pheidole midas</i> Wilson, 2003	X		
<i>Pheidole nitella</i> Wilson, 2003			X
<i>Pheidole obscurithorax</i> Naves, 1985		X	X
<i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908		X	
<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr, 1884	X	X	X
<i>Pheidole risii</i> Forel, 1892			X
<i>Pheidole rosula</i> Wilson, 2003			X
<i>Pheidole rudigenis</i> Emery, 1906			X
<i>Pheidole rufipilis</i> Forel, 1908	X		
<i>Pheidole scolioceps</i> Wilson, 2003		X	
<i>Pheidole sensitiva</i> Borgmeier, 1959		X	
<i>Pheidole spininodis</i> Mayr, 1887		X	X
<i>Pheidole subarmata</i> Mayr, 1884			X
<i>Pheidole susannae</i> Forel, 1886		X	
<i>Pheidole transversostriata</i> Mayr, 1887		X	
<i>Pheidole triconstricta</i> Forel, 1886			X
<i>Pheidole vafra</i> Santschi, 1923		X	X
<i>Pogonomyrmex abdominalis</i> Santschi, 1929			X
<i>Pogonomyrmex breviparbis</i> Emery, 1906			X
<i>Pogonomyrmex coarctatus</i> Mayr, 1868			X
<i>Pogonomyrmex cunicularius</i> Mayr, 1887			X
<i>Pogonomyrmex laticeps</i> Santschi, 1922			X
<i>Pogonomyrmex lobatus</i> Santschi, 1921			X
<i>Pogonomyrmex micans</i> Forel, 1914		X	
<i>Pogonomyrmex naegeli</i> Emery, 1878	X	X	
<i>Pogonomyrmex uruguayensis</i> Mayr, 1887		X	

	<i>Procryptocerus goeldii</i> Forel, 1899				x
	<i>Procryptocerus hylaeus</i> Kempf, 1951				x
	<i>Rogeria ciliosa</i> Kugler, 1994				x
	<i>Rogeria foreli</i> Emery, 1894				x
	<i>Rogeria procera</i> Emery, 1896				x
	<i>Rogeria scobinata</i> Kugler, 1994			x	
	<i>Sericomyrmex maravalhas</i> Ješovnik & Schultz, 2017			x	
	<i>Sericomyrmex mayri</i> Forel, 1912			x	
	<i>Sericomyrmex parvulus</i> Forel, 1912			x	
	<i>Sericomyrmex saussurei</i> Emery, 1894			x	
	<i>Solenopsis andina</i> Santschi, 1923				x
	<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius, 1804)	x		x	
	<i>Solenopsis globularia</i> (Smith, 1858)	x		x	
	<i>Solenopsis interrupta</i> Santschi, 1916				x
	<i>Solenopsis invicta</i> Buren, 1972			x	x
	<i>Solenopsis joergenseni</i> Santschi, 1919			x	
	<i>Solenopsis macdonaghi</i> Santschi, 1916				x
	<i>Solenopsis metanotalis</i> Emery, 1896				x
	<i>Solenopsis nigella</i> Emery, 1888				x
	<i>Solenopsis pollux</i> Forel, 1893			x	
	<i>Solenopsis saevissima</i> (Smith, 1855)	x		x	x
	<i>Solenopsis substituta</i> Santschi, 1925			x	
	<i>Solenopsis tridens</i> Forel, 1911	x			
	<i>Stegomyrmex olindae</i> Feitosa et al., 2008			x	
	<i>Strumigenys crassicornis</i> Mayr, 1887			x	
	<i>Strumigenys denticulata</i> Mayr, 1887			x	
	<i>Strumigenys eggersi</i> Emery, 1890			x	
	<i>Strumigenys elongata</i> Roger, 1863			x	
	<i>Strumigenys grytava</i> (Bolton, 2000)			x	
	<i>Strumigenys hyphata</i> (Brown, 1953)			x	
	<i>Strumigenys schmalzi</i> Emery, 1906			x	
	<i>Strumigenys subdentata</i> Mayr, 1887			x	
	<i>Strumigenys villiersi</i> (Perrault, 1986)			x	
	<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	x		x	x
	<i>Wasmannia lutzi</i> Forel, 1908	x			
	<i>Wasmannia sulcaticeps</i> Emery, 1894				x
Paraponerinae	<i>Paraponera clavata</i> (Fabricius, 1775)			x	
Ponerinae	<i>Anochetus horridus</i> Kempf, 1964			x	
	<i>Anochetus neglectus</i> Emery, 1894			x	x
	<i>Centromyrmex brachycola</i> (Roger, 1861)			x	
	<i>Dinoponera gigantea</i> (Perty, 1833)			x	
	<i>Dinoponera quadriceps</i> Kempf, 1973	x			
	<i>Hypoponera distinguenda</i> (Emery, 1890)			x	

	<i>Hypoponera foreli</i> (Mayr, 1887)		x	
	<i>Hypoponera opaciceps</i> (Mayr, 1887)			x
	<i>Hypoponera parva</i> (Forel, 1909)		x	
	<i>Leptogenys unistimulosa</i> Roger, 1863		x	
	<i>Mayaponera arhuaca</i> (Forel, 1901)		x	
	<i>Mayaponera constricta</i> (Mayr, 1884)		x	
	<i>Neoponera commutata</i> (Roger, 1860)		x	
	<i>Neoponera fauveli</i> (Emery, 1895)			x
	<i>Neoponera inversa</i> (Smith, 1858)		x	
	<i>Neoponera magnifica</i> (Borgmeier, 1929)		x	
	<i>Neoponera marginata</i> (Roger, 1861)			x
	<i>Neoponera rostrata</i> (Emery, 1890)		x	
	<i>Neoponera striatinodis</i> (Emery, 1890)		x	
	<i>Neoponera unidentata</i> (Mayr, 1862)		x	
	<i>Neoponera verenae</i> Forel, 1922		x	
	<i>Neoponera villosa</i> (Fabricius, 1804)		x	
	<i>Odontomachus bauri</i> Emery, 1892	x	x	
	<i>Odontomachus chelifera</i> (Latreille, 1802)		x	x
	<i>Odontomachus haematodus</i> (Linnaeus, 1758)		x	
	<i>Odontomachus meinerti</i> Forel, 1905		x	
	<i>Pachycondyla crassinoda</i> (Latreille, 1802)		x	
	<i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804)		x	
	<i>Pachycondyla striata</i> (Fabricius, 1804)		x	
	<i>Platythyrea angusta</i> Forel, 1901		x	
	<i>Platythyrea pilosula</i> (Smith, 1858)	x		
	<i>Pseudoponera gilberti</i> (Kempf, 1960)		x	
	<i>Rasopone ferruginea</i> (Smith, 1858)		x	
Proceratiinae	<i>Probolomyrmex boliviensis</i> Mann, 1923		x	
Pseudomyrmecinae	<i>Pseudomyrmex acanthobius</i> (Emery, 1896)			x
	<i>Pseudomyrmex curacaensis</i> (Forel, 1912)		x	
	<i>Pseudomyrmex denticollis</i> (Emery, 1890)		x	x
	<i>Pseudomyrmex elongatus</i> (Mayr, 1870)		x	
	<i>Pseudomyrmex flavidulus</i> (Smith, 1858)		x	
	<i>Pseudomyrmex gracilis</i> (Fabricius, 1804)	x	x	x
	<i>Pseudomyrmex holmgreni</i> (Wheeler, 1925)		x	
	<i>Pseudomyrmex kuenckeli</i> (Emery, 1890)		x	
	<i>Pseudomyrmex oculatus</i> (Smith, 1855)		x	
	<i>Pseudomyrmex pupa</i> (Forel, 1911)		x	
	<i>Pseudomyrmex rochai</i> (Forel, 1912)	x		
	<i>Pseudomyrmex rufiventris</i> (Forel, 1911)		x	
	<i>Pseudomyrmex schuppi</i> (Forel, 1901)		x	
	<i>Pseudomyrmex simplex</i> (Smith, 1877)	x	x	
	<i>Pseudomyrmex tenuis</i> (Fabricius, 1804)		x	

	<i>Pseudomyrmex tenuissimus</i> (Emery, 1906)		x	
	<i>Pseudomyrmex termitarius</i> (Emery, 1906)	x	x	
	<i>Pseudomyrmex urbanus</i> (Smith, 1877)		x	
	<i>Pseudomyrmex venustus</i> (Smith, 1858)		x	
<b>Total</b>	344	72	251	106

## Capítulo 2

### **Biogeografia funcional das comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) na diagonal seca Sul-americana**

#### **Resumo**

A biogeografia sintetiza os padrões de resposta das espécies em diferentes escalas em função as mudanças ambientais, podendo ser associada a características funcionais das espécies, obtendo assim uma resposta sobre o funcionamento de um ecossistema. Assim, o objetivo do estudo é avaliar a funcionalidade da comunidade de formigas intra e inter domínios vegetacionais da diagonal seca, além de verificar a riqueza funcional, dispersão funcional e redundância funcional, estabelecendo os grupos funcionais de formigas da Caatinga, Cerrado e Chaco. Foram selecionados artigos de formigas realizados na diagonal seca, realizada a conferência das coordenadas geográficas e validação das espécies. Posteriormente, foram estabelecidos os traços funcionais a nível de gênero que poderiam ser influenciados por características vegetais de cada domínio. Foi analisada a riqueza funcional (FRic), dispersão funcional (FDis) e redundância funcional (FRed), sendo realizada ANOVA para cada métrica para comparar os domínios. Posteriormente, foi realizada uma regressão linear entre FRic e o número de gêneros e, por fim, criados os grupos funcionais de formigas para a diagonal seca a partir de agrupamento UPGMA. Assim, o número de gêneros varia entre os domínios, sendo maior no Cerrado. No entanto, não existe diferença na quantidade de espaço funcional utilizado pelos gêneros de formigas em cada domínio (FRic), além de estarem igualmente distribuídos ao longo da diagonal seca (FDis). Apesar da FRic e FDis não terem sido significativas, a maior redundância funcional foi encontrada no Chaco. Foram estabelecidos 17 grupos funcionais para a diagonal seca, sendo todos os grupos relacionados ao tipo e substrato de forrageamento e nidificação sendo compartilhados entre os domínios, evidenciando que a variação de grupos funcionais encontrada em cada bioma está relacionada ao recurso alimentar. Ademais, apesar da diferença na composição de gêneros, a diversidade funcional varia pouco entre os domínios, evidenciando que diferentes gêneros de formigas desempenham as mesmas funções e ocupam o mesmo espaço funcional.

**Palavras-chave:** Diversidade funcional; Grupos funcionais; FRic; FDis; FRed.



## **Abstract**

Biogeography synthesizes the response patterns of species at different scales depending on environmental changes and can be associated with the functional characteristics of the species, thus obtaining an answer on the functioning of an ecosystem. Thus, the objective of the study is to evaluate the functionality of the ant community in each of the domains of the dry diagonal and between them, in addition to verifying the functional richness, functional dispersion and functional redundancy of each of the domains, establishing the functional groups of ants. of the Caatinga, Cerrado and Chaco. Articles of ants carried out in the dry diagonal were selected, the conference of the geographic coordinates and validation of the species were carried out. Subsequently, functional traits at the gender level that could be influenced by plant characteristics of each domain were established. Functional richness (FRic), functional dispersion (FDis) and functional redundancy (FRed) were analyzed, and ANOVA was performed for each metric to compare the domains. Subsequently, a linear regression was performed between FRic and the number of genera and, finally, the functional groups of ants were created for the dry diagonal from the UPGMA cluster. Thus, the number of genera varies between domains, being higher in the Cerrado. However, there is no difference in the amount of functional space used by ant genera in each domain (FRic), in addition to being equally distributed along the dry diagonal (FDis). Although FRic and FDis were not significant, the greatest functional redundancy was found in Chaco. Seventeen functional groups were established for the dry diagonal, all groups related to the type and substrate of foraging and nesting were shared between the domains, showing that the variation of functional groups found in each biome is related to the food resource. Furthermore, despite the difference in genera composition, functionality varies little between domains, showing that different ant genera perform the same functions and occupy the same functional space.

**Keywords:** Functional diversity; Functional groups; FRic; Fdis; FRed.

## Introdução

A diagonal seca é uma extensa área que se estende do nordeste do Brasil até o norte da Argentina, abrangendo também partes da Bolívia e Paraguai (Prado & Gibbs, 1993; Pennington et al., 2000). Ao longo de sua distribuição encontram-se os domínios Caatinga, Cerrado e Chaco que possuem características próprias, as quais estão relacionadas ao tipo de solo, variação da precipitação, clima, geologia, geomorfologia e vegetação (Pennington et al., 2000; Pennington et al., 2006; Werneck, 2011). No entanto, embora estes domínios possuam suas diferenças, eles compartilham a característica de serem influenciados pelo stress hídrico, com períodos sazonais secos bem demarcados (Pennington et al., 2006; Werneck, 2011).

A Caatinga ocupa cerca de 844.453 km<sup>2</sup>, correspondendo a quase 11% do território brasileiro e está distribuída nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, parte de Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Ab'Saber, 1974; MMA, 2018b). Até os anos 90, devido ao pouco conhecimento histórico a Caatinga era considerada um domínio com baixa diversidade e riqueza de espécies e ausência de endemismos (Vanzolini, 1974; 1976; Rodrigues, 2003; Werneck & Colli, 2006). No entanto, com o avanço dos estudos realizados no domínio, verificou-se que a Caatinga apresenta uma fauna composta por diversas espécies endêmicas entre os diferentes grupos de animais (Leal et al., 2005).

O Cerrado, com aproximadamente dois milhões de km<sup>2</sup>, equivalente a 22% do território nacional, é o segundo maior domínio brasileiro e encontra-se concentrado principalmente no planalto central do Brasil (Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger, 2006). Ademais, é considerado um mosaico fitofisionômico, o qual apresenta grande variação de componentes vegetais ao longo do domínio, além de apresentar alta riqueza de espécies endêmicas, sendo considerado um *hotspot* para a conservação da biodiversidade (Myers et al., 2000). No entanto, devido a rápida expansão da agricultura e pecuária há uma grande preocupação em preservar o domínio, uma vez que o Cerrado vem apresentando uma redução considerável de sua cobertura vegetal, aumentando a fragmentação de habitats e reduzindo significativamente a riqueza de espécies do domínio (Machado et al., 2004).

O Chaco, concentrado no sul do Pantanal Brasileiro na porção sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul ocorrendo em cinco das 11 sub-regiões do Pantanal (Paraguai, Aobral, Miranda, Porto Murtinho e Nabileque) (Pennington et al., 2000; 2004; MMA, 2018a), no norte da Argentina, parte ocidental do Paraguai e no sudeste da Bolívia. Apesar

de poucos estudos realizados no Chaco, sabe-se que muitas espécies que são consideradas ameaçadas em outras regiões, persistem em grandes populações neste domínio (MMA, 2018a). Além disso, assim como a Caatinga e o Cerrado, o Chaco também apresenta uma grande riqueza de espécies endêmicas, sendo de grande importância a preservação do mesmo (Prado & Gibbs, 1993).

Apesar da diagonal seca ter grande extensão territorial, há menos interesse em pesquisas e medidas de conservação do que as florestas úmidas (Miles et al., 2006; Werneck, 2011). Tal fato pode estar relacionado ao pensamento historicamente difundido de que estas áreas possuíam uma baixa riqueza de espécies e menores taxas de endemismos, além de uma fauna homogênea entre biomas (Sick, 1965; Vanzolini, 1974; 1976; Mares et al., 1985). No entanto, essa percepção pode ser influenciada pela carência de estudos e instituições de ensino e de pesquisa nestes locais, tornando grande parte de sua extensão em áreas subamostradas e/ou não amostradas (Tabarelli & Vicente, 2004).

Assim, considerando que a diagonal seca é caracterizada por apresentar períodos sazonais de seca severa, é necessário que as espécies presentes na Caatinga, Cerrado e Chaco sejam adaptadas, fisiológica ou comportamentalmente à seca, uma vez que a alta temperatura e baixa umidade poderiam causar danos a estes organismos (Martins & Barbeitos, 2000; Santos et al., 2007). Devido as mudanças climáticas globais, as características climáticas regionais dessas áreas estão mudando de forma acelerada, se tornando mais quentes e secas, como por exemplo o Cerrado brasileiro (Hofmann et al., 2021), desta forma, se faz necessário compreender aspectos gerais sobre a diversidade em escalas locais e regionais.

Neste contexto, a biogeografia sintetiza os padrões de resposta das espécies em diferentes escalas em função as mudanças ambientais, avaliando a importância da mudança de fatores bióticos e abióticos que fundamentam a distribuição das espécies (Violle et al., 2014). Além disso, a biogeografia pode ser associada a características funcionais das espécies, obtendo assim uma resposta sobre o funcionamento de um ecossistema através dos traços funcionais das espécies presentes (Auffret et al., 2017). Desta forma, a biogeografia funcional é um recurso a ser utilizado para compreender os padrões, causas e consequências da distribuição de geográfica da diversidade de espécies (Violle et al., 2014, Echeverria-Londono et al., 2018).

Diversas métricas de diversidade funcional (DF) são ferramentas úteis para fornecer uma melhor visão sobre a estrutura e os padrões ecológicos das comunidades, além de ser essencial para compreensão dos padrões de biodiversidade e ecologia da

comunidade em diferentes habitats (Corbelli et al., 2015; Gianuca et al., 2016; Lu et al., 2016). Assim, a DF revela a resposta funcional das espécies aos filtros ambientais, bem como o impacto funcional, ou sua capacidade de ocupar espaço de nicho funcional otimizando o funcionamento do ecossistema (Díaz et al. 2007, Cadotte et al. 2009).

Consequentemente, a DF explica a resiliência das comunidades as alterações ambientais, sendo analisada através de traços funcionais, os quais podem ser estabelecidos a partir de características morfológicas, fisiológicas e/ou comportamentais. Deste modo, pode-se classificar as espécies em grupos funcionais, calcular índices de diversidade funcional com base nos valores dos traços funcionais ou comparar os traços funcionais diretamente (Patchey & Gaston, 2002; Mason et al., 2005; Cornwell et al., 2006; Villéger et al., 2008; Barton et al., 2011; Baccaro et al., 2013; Yates et al., 2014; Cosme et al., 2017). Além disso, estudos de DF podem ser realizados em diferentes níveis de organização, de indivíduos a ecossistemas (Silva & Brandão, 2014).

Desta forma, devido a sua ampla distribuição por estarem presentes em diferentes habitats e por terem um importante papel ecológico, atuando como dispersoras de sementes, predadoras de invertebrados, além de manterem relações mutualísticas com plantas e outros artrópodes, formigas (Hymenoptera: Formicidae) podem ser utilizadas como objetos de estudo, uma vez que a presença de determinadas espécies nas áreas pode explicar padrões ecológicos, ambientais e biogeográficos (Folgarait, 1998; Baccaro et al., 2015).

Considerando a importância de estudos biogeográficos que informem a variação não apenas na distribuição das espécies, mas também em relação a variação da funcionalidade em cada domínio, como uma maneira de preservar a biodiversidade, o objetivo do estudo é avaliar a funcionalidade da comunidade de formigas em cada um dos domínios da diagonal seca e entre eles, além de verificar a riqueza funcional, dispersão funcional e redundância funcional de cada um dos domínios, estabelecendo os grupos funcionais de formigas da Caatinga, Cerrado e Chaco. Foram testadas as hipóteses de que: (i) a riqueza funcional, assim como a dispersão e a redundância funcional será maior no Cerrado, por ter maior área e ser mais heterogêneo, do que na Caatinga e no Chaco e (ii) haverá diferença na formação dos grupos funcionais entre os domínios, devido a heterogeneidade de cada domínio.

## **Material e Métodos**

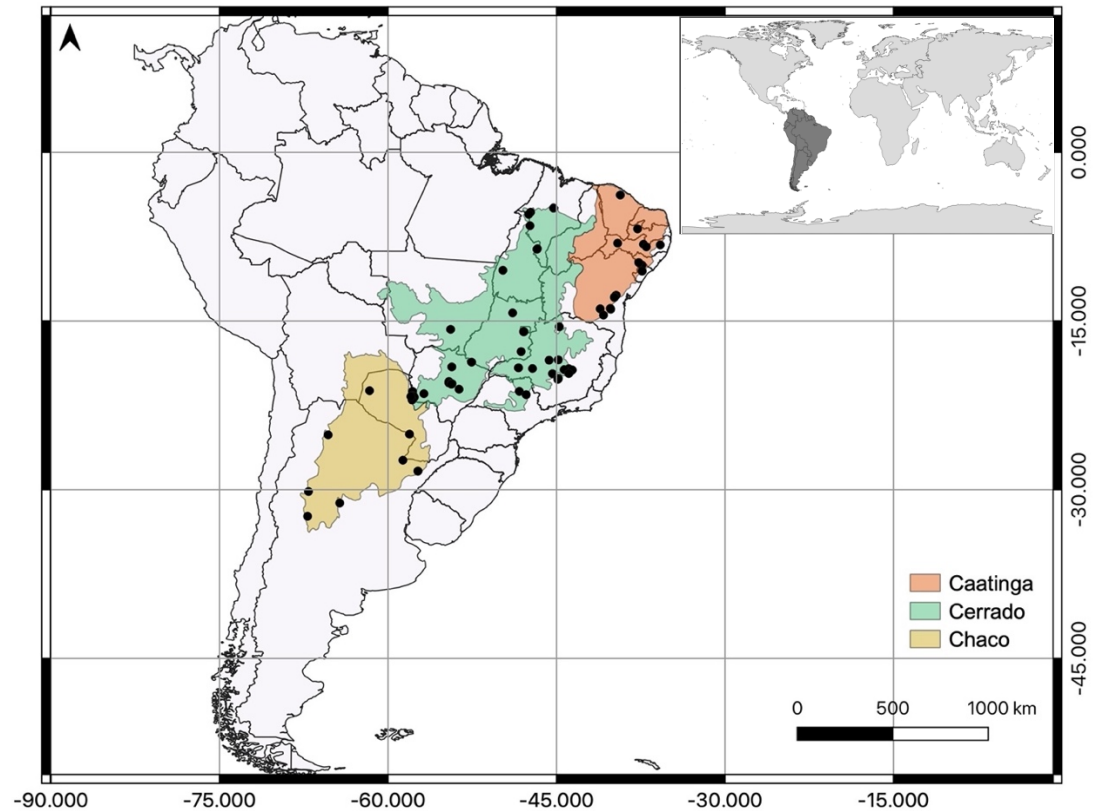
### **Área de estudo**

A diagonal seca, composta pelos domínios Caatinga, Cerrado e Chaco (Fig. 1), apresenta uma marcada sazonalidade com períodos de seca intensa (Werneck, 2011). No entanto, os domínios se diferenciam por apresentarem diferentes intensidades e durações de seca devido a variação de temperatura e pluviosidade em cada domínio ao longo do ano (Werneck, 2011). Além disso, há diferenças entre eles em relação as formações vegetais, sendo encontrada vegetação aberta, na qual grande parte da luminosidade solar incide diretamente no solo e em vegetação herbácea, contrastando com florestas densas fechadas (Carvalho & Almeida, 2010).

A Caatinga é o domínio de clima mais seco do Brasil, sendo caracterizada por apresentar clima semiárido, com baixa precipitação, secas intensas com cerca de 650 mm anuais que podem variar de seis a 11 meses e baixa sazonalidade térmica com temperatura média anual variando de 25°C a 30°C (Fig. 1) (Ribeiro & Walter, 1998; Pennington et al. 2000; Lima et al., 2018). Além disso, é caracterizada por apresentar uma floresta baixa composta de pequenas árvores e arbustos, frequentemente com troncos retorcidos e espinhos, com folhas pequenas e decíduas na estação seca (Lima et al., 2018).

O Cerrado é caracterizado por apresentar alta sazonalidade da precipitação, apresentando índice pluviométrico anual de aproximadamente 2000mm, sendo superior aos valores encontrados para a Caatinga e Chaco (Fig. 1). Com temperatura média anual variando de 21°C a 27°C, o Cerrado é caracterizado por apresentar diferentes fitofisionomias, variando de cerrado, cerradão, campo sujo, campo cerrado, cerrado sensu stricto, entre outros (Ribeiro & Walter, 1998; Pennington et al., 2000; Ratter et al., 2000).

Já o Chaco apresenta grande variação sazonal, com elevadas temperaturas no verão correspondendo ao período chuvoso, o qual é o maior quente do continente, podendo chegar à temperatura máxima 49°C (Carvalho & Almeida, 2011) (Fig.1). No entanto, a temperatura média anual do Chaco é de 20°C e precipitação média anual de 1200 mm. A vegetação do Chaco é xeromórfica, a qual é determinada pelo regime de chuvas regional com aumento da riqueza de espécies em áreas mais úmida (Lima et al., 2018).



**Fig. 1.** Localização geográfica das áreas amostrais dos artigos utilizados para compor o banco de dados para o estudo de diversidade funcional de formigas da diagonal seca.

### **Obtenção dos dados**

Os dados de distribuição de espécies de formigas foram obtidos através do Global Ant Biodiversity Informatics (GABI) (Guénard et al., 2017) e de estudos particulares não publicados. No GABI foram coletadas informações referentes a localidade, incluindo País, Estado, cidade e coordenadas geográficas, assim como, uma lista de espécies e referências de onde as informações foram adquiridas. A partir dos dados obtidos, foram selecionados os artigos de comunidade de formigas. Dessa forma, os estudos de taxonomia, interação formiga-planta e dispersão de sementes foram excluídos da amostragem. Posteriormente, em cada artigo foi verificada a presença de lista de espécies e analisada a metodologia, sendo utilizados apenas os estudos que apresentassem metodologias específicas para a coleta de formigas, tais como: iscas atrativas, busca ativa, pitfall e/ou extrator de winkler.

Com os artigos selecionados para compor o banco de dados foi, primeiramente, verificado se apresentavam mais do que uma área de estudo e, se apresentassem mais de uma localidade, as áreas de estudo foram analisadas separadamente. Além disso, foi

realizada a conferência das coordenadas de cada trabalho/área de estudo a fim de verificar se estavam localizados em um dos domínios da diagonal seca. Dessa forma, para definir os limites entre os domínios foi utilizado o estudo de Löwenberg-Neto (2014). Posteriormente, foi realizada a validação das espécies a partir da revisão taxonômica das formigas de cada estudo utilizando Bolton (2021). A partir da revisão taxonômica, foi obtida a lista final de espécies e morfoespécies em cada estudo.

### **Traços funcionais**

Foram estabelecidos oito traços funcionais para as formigas na diagonal seca, os quais poderiam ser influenciados por características vegetais de cada domínio, assim como pela diferença de intensidade de seca. Assim, foram estabelecidos os seguintes traços funcionais: (i) alimentação, (ii) localização do ninho, (iii) substrato de forrageamento, (iv) tipo de forrageamento, (v) forma de recrutamento, (vi) tamanho das formigas e (vii) polimorfismo (Tabela 1).

Para a obtenção dos traços funcionais foi, primeiramente, verificado quais informações sobre a biologia das espécies estavam disponíveis em literatura específica. Assim, foi verificado que não havia informações dos oito traços funcionais estabelecidos para todas as espécies de formigas distribuídas na diagonal seca. Desta forma, considerando que a partir dos artigos selecionados foi obtida uma lista composta por espécies e morfoespécies. Para a atribuição das características funcionais, foi utilizado o nível de gênero para todas as formigas, as quais foram retiradas de Baccaro et al. (2015) e AntWiki: The Ants (<https://www.antwiki.org>), uma vez que informações extraídas a nível de gêneros são suficientes para agrupar características básicas compartilhadas pelas espécies que os compõem.

**Tabela 1.** Traços funcionais dos gêneros das formigas da diagonal seca que foram analisados com o tipo de dados e características.

Traços funcionais	Características	Justificativas
(i) Alimentação	1. Cultivadora de fungos	Foram considerados os tipos de alimentação baseado em Baccaro et al. (2015) e AntWiki: The Ants ( <a href="https://www.antwiki.org">https://www.antwiki.org</a> ).
	2. Granívora	
	3. Honeydew	
	4. Nectários extraflorais	
	5. Predadora generalista de artrópodes	
	6. Predadora especialista de formigas	
	7. Predadora especialista de cupins	
	8. Predadora especialista de isópodes	
	9. Predadora especialista de ovos de artrópodes	
	10. Predadora especialista de miriápodes	
(ii) Localização do ninho	1. Conchas de gastrópodes	Foram consideradas a localização do ninho baseado em Baccaro et al. (2015) e AntWiki: The Ants ( <a href="https://www.antwiki.org">https://www.antwiki.org</a> ), sendo que alguns gêneros são registrados nidificando em mais de um local.
	2. Ninhos de outros artrópodes	
	3. Nômade	
	4. Serapilheira	
	5. Solo	
	6. Subterrâneo	
	7. Vegetação	
(iii) Substrato de forrageamento	1. Serapilheira	Foram consideradas a localização do substrato de forrageamento baseado em Baccaro et al. (2015) e AntWiki: The Ants ( <a href="https://www.antwiki.org">https://www.antwiki.org</a> ). Alguns gêneros são registrados forrageando em mais de um substrato.
	2. Solo	
	3. Subterrâneo	



	4. Vegetação	
(iv) Tipo de forrageamento	1. Críptico	Gêneros que forrageiam no interior da serapilheira e no interior do solo, nunca explorando a superfície
	2. Focal	Visitam e exploram os mesmos recursos
	3. Nômade	Exploram diferentes áreas a cada dia em curtos intervalos de tempo.
	4. Patrulheiro	Exploram individualmente uma determinada área ao redor do ninho.
(v) Forma de recrutamento	1. Recrutamento	Buscam alimento em pequenos grupos onde há formação de trilhas.
	2. Recrutamento massivo	Busca de alimento por muitos indivíduos com formação de trilhas e monopolização do recurso alimentar
	3. Solitário	Coletam alimento individualmente.
	4. Tandem running	Buscam alimento aos pares.
(vi) Tamanhos das formigas	1. Mínimo (< 0,5 cm)	
	2. Pequeno (0,51 - 1 cm)	
	3. Médio (1,1 – 2 cm)	Foram consideradas informações sobre o tamanho dos gêneros a partir de Baccaro et al (2015) e AntWiki: The Ants ( <a href="https://www.antwiki.org">https://www.antwiki.org</a> ).
	4. Grande (> 2,1 cm)	
(vii) Polimorfismo	1. Monomórfica	Não apresentam diferenciação morfológica em relação as operárias (ex. tamanho)
	2. Dimórfica	Apresentam diferenciação morfológica em relação as operárias (ex. dois tamanhos)
	3. Polimórfica	Apresentam diferenciação morfológica em relação as operárias (ex. mais de dois tamanhos)

## **Análise de dados**

Para a análise de DF foram utilizadas três métricas: (i) riqueza funcional (FRic) entre os domínios, a fim de analisar a quantidade de espaço funcional utilizado pelos gêneros em cada domínio; (ii) dispersão funcional (FDis) entre os domínios que é a distância média de cada gênero em relação ao centroide de todos os gêneros distribuídos em cada domínio e; (iii) redundância funcional (FRed) entre os domínios, a fim de verificar quais domínios apresentaram maior número de gêneros que apresentaram as mesmas funções, criando assim, maior redundância de grupos funcionais (Mason et al., 2005; Villéger et al., 2008; Laliberté & Legendre, 2010; Mouchet et al., 2010).

Além disso, foi realizada Análise de Variância (ANOVA) para comparar a média dos valores de riqueza funcional, dispersão funcional e redundância funcional entre os domínios. E, em seguida, foi realizada uma regressão linear para verificar a relação entre a riqueza funcional e o número de gêneros em cada um dos domínios separadamente.

Para estabelecer os grupos funcionais foi criada a matriz de dissimilaridade utilizando a distância de Gower (1971) (Pavoine et al., 2005), uma vez que considera variáveis categóricas e numéricas. Assim, foi realizada uma matriz de composição de gêneros de formigas em função dos pontos amostrais, seguido por uma matriz de traços funcionais de cada gênero e, por fim, uma matriz de localidade (domínios) em função da composição de gêneros. Em seguida, as matrizes foram convertidas em matriz de distância, utilizando distância euclidiana. Posteriormente, foi realizada a correlação de Pearson entre a matriz cofenética e a matriz de dissimilaridade, sendo utilizado o método de agrupamento *Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages* (UPGMA), o qual utiliza médias aritméticas (não ponderadas) das medidas de dissimilaridade, o que evita caracterizar a dissimilaridade por valores extremos entre os objetos considerados. Assim, a construção do cluster foi estabelecida pelos modelos ajustados de menor dissimilaridade.

Todas as análises foram realizadas através do software RStudio (2019), utilizando os pacotes: Vegan (Oksanen et al, 2017), Cluster (Maechlere, et al., 2021), FD (Laliberté et al., 2014), FuzzySim (Barbosa, 2014), Ade4 (Dray, 2007) e Dummy (Brow, 2015).

## Resultados

### Métricas funcionais relacionadas a diagonal seca

Foram obtidos no total 48 estudos distribuídos na diagonal seca, sendo 25 realizados exclusivamente no Cerrado, 12 exclusivos na Caatinga e 10 no Chaco (Tabela 2). Além disso, destes apenas um estudo foi realizado em dois domínios, sendo realizado no Cerrado e Chaco (Tabela S1). Considerando os estudos obtidos a partir da metodologia estabelecida, foram encontrados 89 gêneros de formigas distribuídos ao longo da diagonal seca, sendo que foram encontrados 82 gêneros no Cerrado, 62 na Caatinga e 55 no Chaco. Além disso, foram verificados 43 gêneros compartilhados entre os três domínios, 10 entre a Caatinga e o Cerrado, quatro entre o Cerrado e o Chaco e dois gêneros compartilhados entre a Caatinga e o Chaco (Tabela 2). No entanto, 20 gêneros foram exclusivos do Cerrado, dois da Caatinga e apenas um do Chaco (Tabela 2).

**Tabela 2.** Gêneros de formigas encontrados em cada um dos domínios da diagonal seca obtidos a partir da elaboração do banco de dados.

Gêneros	Caatinga	Cerrado	Chaco
<i>Acanthognathus</i>	X	X	
<i>Acanthoponera</i>	X	X	X
<i>Acanthostichus</i>	X	X	
<i>Acromyrmex</i>	X	X	X
<i>Acropyga</i>	X		X
<i>Amoimyrmex</i>			X
<i>Anochetus</i>	X	X	X
<i>Apterostigma</i>	X	X	X
<i>Atta</i>	X	X	X
<i>Azteca</i>	X	X	
<i>Basiceros</i>	X	X	
<i>Blepharidatta</i>		X	
<i>Brachymyrmex</i>	X	X	X
<i>Camponotus</i>	X	X	X
<i>Cardiocondyla</i>		X	
<i>Carebara</i>	X	X	
<i>Centromyrmex</i>		X	
<i>Cephalotes</i>	X	X	X
<i>Crematogaster</i>	X	X	X
<i>Cryptomyrmex</i>		X	
<i>Cyatta</i>		X	

<i>Cylindromyrmex</i>		X	
<i>Cyphomyrmex</i>	X	X	X
<i>Daceton</i>		X	
<i>Dinoponera</i>	X	X	
<i>Discothyrea</i>	X		X
<i>Dolichoderus</i>	X	X	
<i>Dorymyrmex</i>	X	X	X
<i>Eciton</i>	X	X	X
<i>Ectatomma</i>	X	X	X
<i>Eurhopalothrix</i>	X		
<i>Forelius</i>	X	X	X
<i>Fulakora</i>	X	X	
<i>Gigantiops</i>		X	
<i>Gnamptogenys</i>	X	X	X
<i>Gracilidris</i>		X	
<i>Heteroponera</i>	X	X	X
<i>Hylomyrma</i>	X	X	X
<i>Hypoponera</i>	X	X	X
<i>Kalathomyrmex</i>	X	X	X
<i>Labidus</i>	X	X	X
<i>Leptogenys</i>	X	X	X
<i>Linepithema</i>	X	X	X
<i>Mayaponera</i>		X	
<i>Megalomyrmex</i>	X	X	X
<i>Monomorium</i>	X	X	X
<i>Mycetagroicus</i>		X	
<i>Mycetarotes</i>		X	
<i>Mycetomoellerius</i>	X	X	X
<i>Mycetophylax</i>	X	X	X
<i>Mycocepurus</i>		X	X
<i>Myrmelachista</i>	X	X	X
<i>Myrmicocrypta</i>	X	X	X
<i>Neivamyrmex</i>	X	X	X
<i>Neocerapachys</i>		X	
<i>Neoponera</i>	X	X	X
<i>Nesomyrmex</i>	X	X	X
<i>Nomamyrmex</i>	X	X	X
<i>Nylanderia</i>	X	X	X
<i>Ochetomyrmex</i>	X	X	
<i>Octostruma</i>	X	X	X
<i>Odontomachus</i>	X	X	X
<i>Oxyepoecus</i>	X	X	X
<i>Pachycondyla</i>	X	X	X

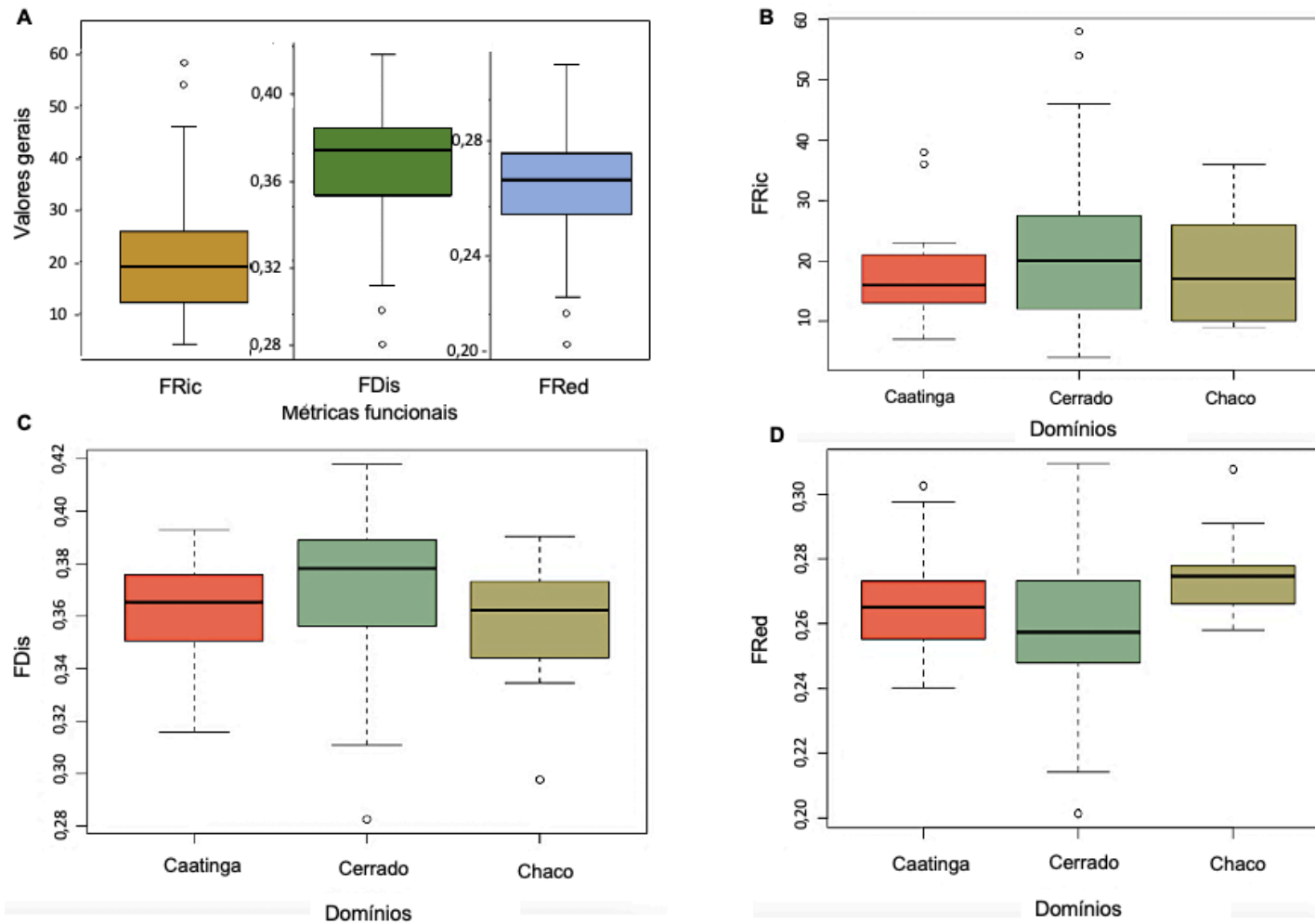
<i>Paramyrcetophylax</i>			X
<i>Paraponera</i>		X	
<i>Paratrachymyrmex</i>		X	
<i>Paratrechina</i>	X	X	X
<i>Patagonomyrmex</i>			X
<i>Pheidole</i>	X	X	X
<i>Platythyrea</i>	X	X	X
<i>Pogonomyrmex</i>	X	X	X
<i>Prionopelta</i>		X	X
<i>Probolomyrmex</i>		X	
<i>Procryptocerus</i>	X	X	
<i>Pseudomyrmex</i>	X	X	X
<i>Pseudoponera</i>		X	
<i>Rasopone</i>		X	X
<i>Rogeria</i>	X	X	X
<i>Sericomyrmex</i>		X	
<i>Solenopsis</i>	X	X	X
<i>Stegomyrmex</i>		X	
<i>Strumigenys</i>	X	X	X
<i>Tapinoma</i>	X	X	
<i>Tetramorium</i>	X		
<i>Thaumatomyrmex</i>	X	X	
<i>Tranopelta</i>		X	
<i>Typhlomyrmex</i>		X	X
<i>Wasmannia</i>	X	X	X
<b>TOTAL</b>	<b>62</b>	<b>82</b>	<b>65</b>

Ao analisarmos as métricas funcionais gerais verificamos que a riqueza funcional ao longo da diagonal seca apresentou média de 20,34 ( $\pm 10,77$ ). Já em relação a dispersão funcional (FDis) a média foi de 0,36 ( $\pm 0,02$ ), enquanto que a redundância funcional (FRed) foi de 0,26 ( $\pm 0,02$ ) (Fig. 2A).

Quando analisamos a FRic em cada um dos domínios verificamos que o Cerrado apresentou maior riqueza funcional (média = 21,31;  $\pm 11,69$ ), seguido pelo Chaco (média = 18,8;  $\pm 9,58$ ) e pela Caatinga (média = 18,35;  $\pm 8,44$ ). No entanto, quando analisamos FRic entre os domínios, verificamos que não houve diferença significativa entre os valores médios entre os domínios ( $F = 0,593$ ;  $p = 0,55$ ), uma vez que possivelmente não exista diferença no número de grupos funcionais entre a Caatinga, Cerrado e Chaco (Fig. 2B). Em relação a FDis, verificamos que o Cerrado apresentou maior dispersão funcional (média = 0,3706;  $\pm 0,0278$ ), seguida pela Caatinga (média = 0,3624;  $\pm 0,0209$ ) e pelo

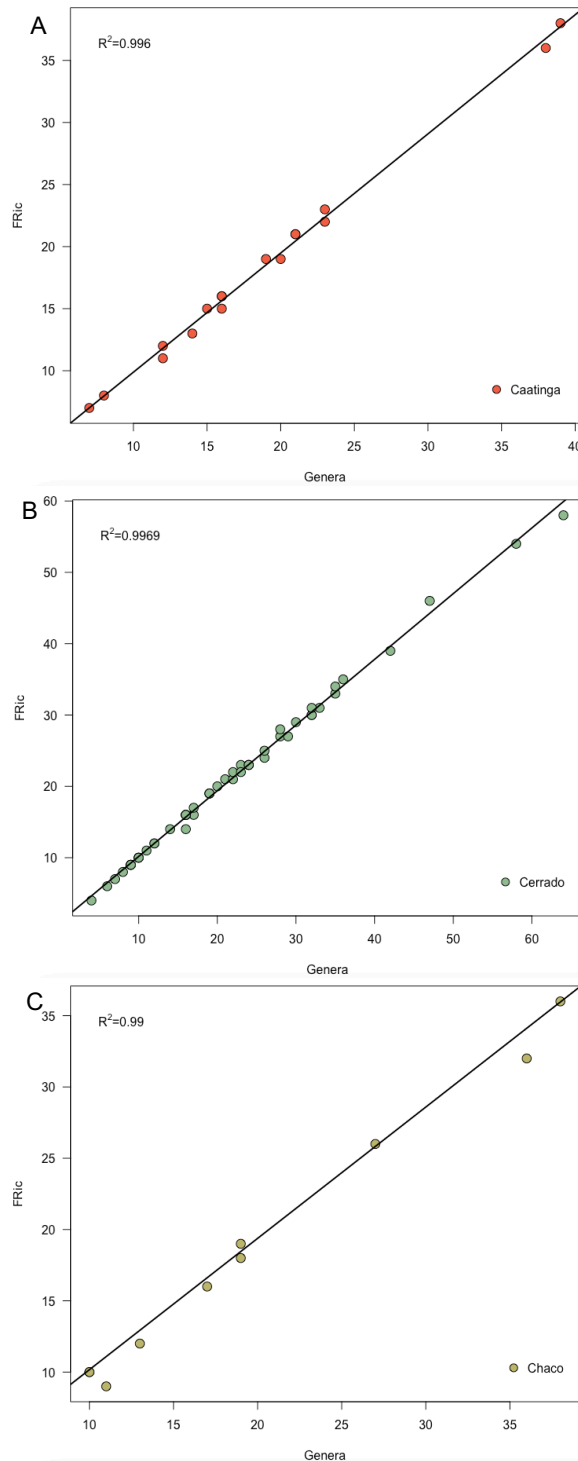
Chaco (média = 0,3572;  $\pm$  0,0275). No entanto, quando analisamos a FDis entre os domínios, verificamos que não houve diferença significativa ( $F = 1,406$ ;  $p = 0,251$ ) (Fig. 2C).

Por fim, quando analisamos a FRed em cada um dos domínios separadamente, verificamos que o Chaco apresentou a maior redundância (média = 0,2762;  $\pm$  0,0144), seguido pela Caatinga (média = 0,2682;  $\pm$  0,0170) e pelo Cerrado (média = 0,2595;  $\pm$  0,0222). No entanto, diferente dos resultados obtidos para FRic e FDis, FRed apresentou diferença significativa entre os domínios ( $F = 3,33$ ;  $p = 0,041$ ), uma vez que o Chaco apresentou maior FRed do que os demais domínios (Fig. 2D).



**Fig. 2.** Valores gerais de FRic, FDis e FRed obtidos na diagonal seca e FRic (B), FDis (C) e FRed (D) entre os domínios que compõem a diagonal seca. Comparações não apresentam diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ).

Considerando o número de gêneros de formigas obtidos em cada domínio e a riqueza funcional encontrada em cada um deles, verificamos que existe uma relação direta entre FRic e o número de gêneros (Fig. 3A-C), sendo que a FRic aumenta diretamente com o aumento do número de gêneros de formigas (Caatinga:  $R^2 = 0,996$ ; Cerrado:  $R^2 = 0,9969$ ; Chaco:  $R^2 = 0,99$ ).



**Fig. 3.** Regressão linear entre o número de gêneros de formigas e a riqueza funcional de formigas da (A) Caatinga, (B) Cerrado e (C) Chaco.



## **Grupos Funcionais de formigas para a diagonal seca**

Ao realizarmos o cluster a partir do método de agrupamento UPGMA utilizando distância euclidiana, verificamos que a correlação de Pearson entre a matriz cofenética e a matriz de dissimilaridade foi de 0,777 (Fig. S1). Assim, a partir dos sete traços funcionais estabelecidos relacionados a alimentação, localização do ninho, tipo e substrato de forrageamento, forma de recrutamento, tamanho das formigas e polimorfismo foram obtidos 17 grupos funcionais para a diagonal seca considerando o nível de corte de aproximadamente 0,5 (Tabela 1 e 4).

Dos 17 grupos funcionais estabelecidos 11 estiveram mais relacionados com alimentação, incluindo os gêneros coletores de exsudatos de artrópodes e néctar, cultivadores de fungos e predadores (generalistas e especialistas). Além disso, cinco grupos funcionais estiveram mais relacionados ao tipo de forrageamento e apenas um a localização do ninho e ao substrato de forrageio (Tabela 4).

Considerando o número de gêneros dentro de cada grupo funcional, verificamos que o grupo “predadoras generalistas de artrópodes” apresentou maior número de gêneros (17), seguido pelas “cultivadoras de fungos” (16), “patrulheiras generalistas” (14), “patrulheiras arborícolas” e “de solo” (oito gêneros cada), assim como “predadoras generalistas mínimas” (sete) e “patrulheiras pequenas” (três). Além disso, os grupos “coletoras de exsudatos de artrópodes”, “crípticas” e “predadoras especialistas de cupins” apresentaram dois gêneros em cada grupo funcional.

Verificamos que dos 17 grupos funcionais, seis apresentaram apenas um gênero cada, sendo eles: “coletora de néctar”, “patrulheira grande”, “predadora especialista de miriápodes”, “predadora especialista nômade”, “predadora generalista críptica” e “predadora generalista nômade”. Desta forma, observamos que a existência de apenas um gênero de formigas em cada grupo funcional evidencia a especificidade de funções realizadas por cada gênero dentro de cada domínio (Tabela 4).

Quando analisamos a formação dos grupos funcionais em cada domínio, verificamos que no Cerrado foram encontrados todos os grupos funcionais estabelecidos para a diagonal seca, enquanto que dos 14 grupos funcionais encontrados na Caatinga, nove estão relacionados a alimentação, cinco a forrageamento e apenas um com localização no ninho e ao substrato de forrageamento. Já o Chaco, o qual apresentou menor número de grupos funcionais (12), sete estavam relacionadas a alimentação, cinco

ao tipo de forrageamento e apenas uma a localização do ninho e ao substrato de forrageamento (Tabela 4).

Dos grupos funcionais compartilhados entre os domínios (12), seis estão relacionados com a alimentação, evidenciando que mesmo existindo diferenças em relação a pluviosidade e temperatura, as quais influenciam diretamente a formação vegetal e fitofisionomias da Caatinga, Cerrado e do Chaco, nos três domínios existem formigas que se alimentam dos mesmos componentes (i.e exsudatos de artrópodes, néctar, fungos e invertebrados). Além disso, todos os grupos funcionais estabelecidos para a diagonal seca relacionados a formigas patrulheiras e crípticas foram compartilhados entre os três domínios, ocorrendo registro de gêneros caracterizados como: (i) patrulheiras arborícolas, (ii) de solo, (iii) generalistas, (iv) grandes, (v) pequenas e (vi) gêneros crípticos (Tabela 4).

Além disso, os grupos funcionais “predadora especialista de cupim”, “predadora especialista de miriápodes” e “predadora especialista nômade” foram compartilhados entre a Caatinga e o Cerrado, não sendo encontrados no Chaco. O grupo funcional “predadora especialista de cupim”, representado pelos gêneros *Acanthostichus* e *Cylindromyrmex*, é caracterizado por agruparem gêneros patrulheiros pequenos que se alimentam exclusivamente de cupins. O grupo funcional “predadora especialista de miriápodes, representado pelo gênero *Thaumatomyrmex*, é caracterizado por reunir formigas patrulheiras, pequenas que nidificam em conchas de gastrópodes e forrageiam solitariamente na serapilheira em busca de miriápodes. E por fim, o grupo funcional “predadora especialista nômade”, representado exclusivamente pelo gênero *Nomamyrmex* é caracterizado por agrupar espécies pequenas e nômades, as quais realizam recrutamento massivo em busca de insetos sociais. Desta forma, todos os grupos funcionais compartilhados entre a Caatinga e o Cerrado apresentam especificidade em relação ao hábito alimentar (Tabela 4).

Em relação aos grupos funcionais exclusivos, apenas no Cerrado foram encontrados os gêneros *Paraponera* e *Tranopelta*, os quais estão classificados nos grupos funcionais coletoras de néctar e predadora generalistas críptica, respectivamente. No caso de coletoras de néctar, *Paraponera* é caracterizada por ser um gênero patrulheiro que nidifica em base de árvores, realiza recrutamento massivo e alimentam-se predominantemente de nectários extraflorais (Tabela 4). Já o grupo funcional predadora generalista críptica, representado por *Tranopelta*, a qual é caracterizada por ser um gênero

composto por espécies monomórficas, crípticas, muito pequenas que realizam forrageamento solitário em busca de artrópodes na serapilheira (Tabela 4).

**Tabela 4.** Grupos funcionais de formigas distribuídas na Caatinga, Cerrado e Chaco estabelecidos a partir do agrupamento UPGMA com distância euclidiana.

Grupos Funcionais	Gêneros	Descrição	Domínios		
			Caatinga	Cerrado	Chaco
Coletoras de exsudatos de artrópodes	<i>Nesomyrmex e Tapinoma</i>	Patrulheiras mínimas, solitárias e monomórficas. Alimentam-se exclusivamente de honeydew.	X	X	X
Coletoras de néctar	<i>Paraponera</i>	Patrulheira monomórfica que realiza recrutamento massivo na vegetação. Nidifica no solo e se alimenta exclusivamente de nectários extraflorais.		X	
Crípticas	<i>Acropyga, Carebara e Centromyrmex</i>	Espécies muito pequenas que apresentam o forrageamento do tipo críptico realizado de forma subterrânea.	X	X	X
Cultivadoras de fungos	<i>Acromyrmex, Amoimyrmex, Apterostigma, Atta, Cyatta, Cyphomyrmex, Kalathomyrmex, Mycetagroicus, Mycetarores, Mycetoellerius, Mycetophylax, Mycocephalus, Myrmicocrypta, Paramycetophylax, Paratrechimyrmex e Sericomyrmex</i>	Cultivadoras de fungos de tamanho pequeno que nidificam no solo e apresentam polimorfismo. Realizam recrutamento massivo do tipo focal no solo, serapilheira e na vegetação.	X	X	X
Patrulheiras arborícolas	<i>Acanthoponera, Cephalotes, Daceton, Myrmelachista, Odontomachus, Platythyrea, Procryptocerus, Pseudomyrmex</i>	Patrulheiras exclusivamente arborícolas que nidificam e forrageiam na vegetação.	X	X	X
Patrulheiras de solo	<i>Dolichoderus, Ectatomma, Forelius, Gracilidris, Neoponera, Patagonomyrmex, Pogonomyrmex e Stegomyrmex</i>	Patrulheiras monomórficas generalistas que podem realizar recrutamento no solo, serapilheira e/ou vegetação.	X	X	X

Patrulheiras generalistas	<i>Azteca, Brachymyrmex, Camponotus, Cardiocondyla, Crematogaster, Labidus, Linepithema, Megalomyrmex, Monomorium, Nylanderia, Pheidole, Solenopsis, Tetramorium e Wasmannia.</i>	Patrulheiras pequenas, caracterizadas por serem generalistas. Realizam recrutamento no solo, serapilheira e/ou vegetação.	X	X	X
Patrulheiras grandes	<i>Pachycondyla</i>	Patrulheira grande, monomórfica e predadora especialista de cupim. Nidifica no solo e realiza recrutamento do tipo tandem running no solo.	X	X	X
Patrulheiras pequenas	<i>Gigantiops, Leptogenys Oxyepoecus, Paratrechina</i>	São patrulheiras monomórficas que nidificam no solo e na serapilheira.	X	X	X
Predadoras especialistas de cupim	<i>Acanthostichus e Cyldromyrmex</i>	Patrulheiras mínimas e monomórficas. São exclusivamente predadoras especialistas de cupim.	X	X	
Predadora especialista de formigas	<i>Neivamyrmex</i>	O gênero apresenta espécies monomórficas, pequenas, patrulheiras e que realizam recrutamento no solo e na serapilheira. São caracterizadas por serem predadoras nômades especialistas em formigas.	X	X	X
Predadoras especialistas de miriápodes	<i>Thaumatomyrmex</i>	Patrulheiras pequenas e monomórficas. Nidificam principalmente em conchas de gastrópodes e forrageiam solitariamente na serapilheira. São caracterizadas por serem predadoras especialistas de miriápodes.	X	X	
Predadoras especialistas nômades	<i>Nomamyrmex</i>	Gênero caracterizado por apresentar espécies monomórficas pequenas e nômades, as quais realizam recrutamento massivo e são predadoras especialistas de insetos sociais.	X	X	

Predadoras generalistas crípticas	<i>Tranopelta</i>	Gênero caracterizado por apresentar espécies crípticas, monomórficas e muito pequenas. Buscam alimento solitariamente na serapilheira, alimentando-se de qualquer artrópode.		X	
Predadoras generalistas de artrópodes	<i>Anochetus, Blepheredatta, Cryptomyrmex, Dinoponera, Dorymyrmex, Eurhopalotrix, Heteroponera, Hylomyrma, Hypoponera, Gnamplogenys, Mayaponera, Neocerapachys, Octostruma, Prionopelta, Pseudoponera, Rasopone e Typhlomyrmex.</i>	Patrulheiras, monomórficas e predadoras generalistas de artrópodes. Podem forragear solitariamente, aos pares ou realizar recrutamento no solo e na serapilheira.	X	X	X
Predadoras generalistas nômades	<i>Eciton</i>	Espécies predadoras generalistas nômades de tamanho médio, dimórficas que realizam recrutamento massivo e focal no solo e na serapilheira.	X	X	X
Predadoras mínimas	Generalistas: <i>Acanthognatus, Basiceros, Fulakora, Ochetomyrmex, Probolomyrmex, Rogeria e Strumigenys.</i>	Patrulheiras, predadoras generalistas mínimas, monomórficas que forrageiam solitariamente.	X	X	X
	Especialistas: <i>Discothyrea</i>	Patrulheiras, predadoras especialistas de ovos de artrópodes, monomórficas que forrageiam solitariamente.	X		X
<b>Total</b>			<b>14</b>	<b>17</b>	<b>12</b>

## Discussão

### Métricas funcionais relacionadas a diagonal seca

Dos 48 estudos obtidos ao longo da diagonal seca mais da metade havia sido realizado no Cerrado (52,08%), podendo estar relacionado ao fato de que existem mais grupos de pesquisa localizados nestas regiões, assim como a necessidade de estudos e monitoramentos devido aos crescentes problemas ambientais relacionados a expansão da agricultura e pecuária (Tibcherani et al., 2018) (Tabela 2). Apesar da Caatinga ser o segundo domínio com o maior número de estudos (25%), há um desinteresse na realização de pesquisas, uma vez que consideram que a Caatinga apresenta baixa riqueza de espécies (Leal, 2003) (Tabela 2). Já no caso do Chaco, a baixa quantidade de estudos (20,84%) pode estar relacionada ao reduzido número de grupos de pesquisa distribuídos no domínio (Tabela 2). Além disso, apenas um estudo amostrou tanto o Cerrado quanto o Chaco (2,08%), evidenciando assim a baixa quantidade de estudos realizados em mais de um domínio. Em relação ao total de gêneros distribuídos ao longo da diagonal seca (89), 92,13% dos gêneros foram encontrados no Cerrado, 73,03% no Chaco e 69,66% na Caatinga.

Assim, outro fator que está relacionado a variação da diversidade de espécies na diagonal seca é que a Caatinga, o Cerrado e o Chaco não apresentam a mesma história evolutiva, surgindo em períodos diferentes e ocorrendo retrações ao longo da evolução, além de evoluírem sob condições climáticas diferentes, levando a diferenciação por meio da adaptação das espécies (Schluter, 2001; Werneck, 2011; Fonseca et al. 2018).

No entanto, a maior porcentagem de gêneros encontrados no Cerrado também pode estar relacionada tanto a extensão territorial, a qual é aproximadamente duas vezes maior do que os outros dois domínios, quanto por apresentar maior heterogeneidade ambiental devido suas fitofisionomias e por apresentar maior proporção de estudos realizados no Cerrado.

Além disso, 48,31% dos gêneros de formigas estão distribuídos ao longo dos três domínios da diagonal seca. Assim, 11,23% dos gêneros são compartilhados apenas entre a Caatinga e o Cerrado, enquanto que 4,49% são compartilhados apenas entre Cerrado e o Chaco. Porém, foi verificado que os gêneros *Acropyga* e *Discothyrea*, os quais correspondem a 2,24% do total de gêneros distribuídos na diagonal seca, foram registrados apenas na Caatinga e no Chaco, não estando presentes no Cerrado. No entanto, considerando a distribuição de ambos os gêneros, verificamos que apesar de não terem

sido registrados nos artigos analisados, *Acropyga* tem registro no Cerrado segundo o GABI (Guénard et al., 2017), enquanto que, provavelmente devido à baixa riqueza de espécies para o gênero, além de seu hábito criptobiótico e registros ocasionais não incluídos em estudos sobre comunidades e de levantamentos, enquanto que *Discothyrea* não apresenta de fato registro no GABI para o Cerrado (Baccaro et al., 2015; Guénard et al., 2017).

No entanto, apesar de *Acropyga* não ter sido encontrado no Cerrado, o grupo funcional “crípticas” no qual o gênero está incluído foi encontrado no domínio, uma vez que os gêneros *Carebara* e *Centromyrmex* apresentam registro para o Cerrado e são caracterizados, assim como *Acropyga* por agruparem espécies muito pequenas que apresentam o forrageamento do tipo críptico realizado de forma subterrânea. Igualmente ocorre para o grupo funcional “predadoras mínimas” o qual está subdividido em generalistas, composto pelos gêneros *Acanthognatus*, *Basiceros*, *Fulakora*, *Ochetomyrmex*, *Probolomyrmex*, *Rogeria* e *Strumigenys* e especialistas pelo gênero *Discothyrea*. Apesar de *Discothyrea* não ter sido registrado, o grupo funcional é encontrado no domínio, uma vez que agrupa gêneros patrulheiros pequenos, monomórficos que forrageiam solitariamente atuando como predadores mínimos. Desta forma, evidenciamos que existem gêneros de formigas diferentes que realizam a mesma função no ambiente.

Considerando os gêneros exclusivos de cada domínio, 22,47% foram registrados apenas no Cerrado, enquanto que 2,24% estiveram distribuídos exclusivamente na Caatinga e 1,12% no Chaco. Assim, tais observações também podem estar relacionadas tanto com a extensão territorial do Cerrado, quanto com a proporção de estudos realizados no mesmo. No entanto, a alta sazonalidade da precipitação com maiores índices pluviométricos do que a Caatinga e Chaco (aproximadamente 2.000 mm anuais) e temperatura média anual variando de 21°C a 27°C (Pennington et al., 2000; Ratter et al., 2000) podem ser outros fatores relacionados a maior proporção de gêneros distribuídos no Cerrado.

No entanto, em relação a funcionalidade, apesar da exclusividade de alguns gêneros para cada domínio, houve o compartilhamento de funções entre eles, sendo que apenas o grupo funcional “predadora especialista críptica” foi encontrado exclusivamente para o Cerrado devido ao gênero *Tranopelta* não ter sido registrado nos outros domínios. Desta forma, evidenciamos que apesar de existir exclusividade de gêneros, não ocorre



igualmente a exclusividade de grupos funcionais, uma vez que gêneros diferentes desempenham funções iguais.

Em relação as métricas funcionais gerais analisadas foram verificadas variações na FRic, FDis e FRed ao longo da diagonal seca. Tal observação pode estar relacionada tanto as características de temperatura e pluviosidade específicas de cada domínio, assim como a variação latitudinal de cada áreas amostrada. Já em relação as métricas funcionais de cada domínio separadamente, mesmo não havendo diferença significativa na FRic entre os domínios, o Cerrado apresentou maior média de riqueza de grupos funcionais (21,31) do que o Chaco e a Caatinga, os quais tiveram valores aproximados (18,8 e 18,35, respectivamente). Dessa forma, apesar de existir diferenças no número de gêneros entre os biomas, sendo maior no Cerrado, não ocorre diferença na quantidade de espaço funcional utilizado pelos gêneros em cada domínio.

Igualmente ocorre com FDis, uma vez que também não foi encontrada diferença significativa entre os domínios. Assim, apesar de existir diferença no número de gêneros encontrados na Caatinga, no Cerrado e no Chaco, as funções dos gêneros estão igualmente distribuídas ao longo da diagonal seca. Tal fato está relacionado a gêneros diferentes apresentarem as mesmas funções, como por exemplo o grupo funcional cultivadoras de fungos. Neste caso, 16 gêneros são incluídos neste grupo funcional, o qual está distribuído na diagonal seca e é caracterizado por agruparem gêneros polimórficos que cultivam fungos, nidificam no solo e realizam recrutamento massivo do tipo focal no solo, serapilheira e na vegetação. No entanto, nem todos os 16 gêneros estão presentes em todos os domínios, mas a função desempenhada por eles é encontrada na Caatinga, Cerrado e Chaco.

Desta forma, as características ambientais de cada domínio são responsáveis por influenciarem na riqueza de uma comunidade, determinando o quão raras ou comuns são os traços funcionais (Bihn et al., 2010). Neste caso, quando as espécies e/ou gêneros coexistem em uma comunidade apresentando as mesmas funções, considera-se que a comunidade apresenta maior redundância funcional, sendo que no caso da perda de uma espécie e/ou gênero com uma função específica, outra poderá continuar exercendo a determinada função (de Bello et al., 2007; Bihn et al. 2010).

Diferentemente de FRic e FDis, a FRed foi significativa, sendo que o Chaco apresentou maior FRed, apresentando assim mais gêneros com as mesmas funções. O menor valor de FRed foi encontrado para o Cerrado, o que pode estar relacionado com a extensão territorial e, conseqüentemente, com a heterogeneidade ambiental encontrada

no domínio, uma vez que o Cerrado apresenta maiores variações em relação a temperatura e pluviosidade, assim como diferentes tipos de fitofisionomias do que a Caatinga e o Chaco (Pennington et al., 2000; Ratter et al., 2000). Desta forma, Vasconcelos et al. (2019) realizaram um estudo com anuros na América do Sul e verificaram que maiores valores de FRic estão relacionados a domínios mais úmidos, os quais abrangem a Amazônia e Mata Atlântica, enquanto que os valores inferiores foram encontrados em locais mais secos, como o deserto do Atacama.

Relacionando o número de gêneros de formigas encontrados em cada domínio da diagonal seca e a FRic de cada um deles, ocorre uma relação positiva e direta em todos os domínios, uma vez que com o aumento do número de gêneros, ocorre um acréscimo do número de grupos funcionais. Igualmente, o estudo de Tiede et al. (2017) realizado em áreas protegidas e pastagens no Equador encontrou o mesmo padrão de relação positiva entre a riqueza de espécies de formigas e FRic. Assim, a quantidade de espaço funcional utilizado pelos gêneros em cada domínio aumenta proporcionalmente com o número de gêneros de formigas.

### **Nova abordagem para grupos funcionais de formigas**

Dos 17 grupos funcionais estabelecidos para a diagonal seca, 64,7% dos grupos funcionais estão relacionados com alimentação, 29,41% com tipo de forrageamento e 5,88% com a localização do ninho e substrato de forrageamento. Desta forma, verificamos que o traço funcional que mais influencia no estabelecimento dos grupos é a alimentação, evidenciando que existe maior variação de recursos alimentares utilizados pelas formigas, os quais diferenciam os grupos. No trabalho base para classificação de grupos funcionais de formigas de Silvestre (2000), realizado somente para o Cerrado, entre os 12 grupos funcionais estabelecidos, sete (58,33%) estão relacionados com a alimentação, quatro com o tipo de forrageamento (33,33%) e apenas uma com localização do ninho e substrato de forrageamento (8,33%). Sendo assim, o presente estudo atualiza os grupos funcionais para o Cerrado, incluindo cinco novos grupos, além de criar grupos funcionais para a Caatinga e para o Chaco.

Foram estabelecidos cinco novos grupos funcionais para o Cerrado, em contraste com o apresentado por Silvestre (2000), além de grupos funcionais inéditos para a Caatinga e Chaco, uma vez que não haviam estudos com o estabelecimento de grupos funcionais para estes domínios. Possivelmente, a diferença na quantidade de grupos

funcionais estabelecidos pode estar relacionada com a metodologia de obtenção dos dados, escolha dos traços funcionais e áreas amostradas, uma vez que através da obtenção dos dados é estabelecida a lista de espécies e/ou gêneros que serão utilizados, assim como os traços funcionais selecionados podem agrupar de formas diferentes as formigas e a área amostrada influencia diretamente nas espécies e/ou gêneros obtidos.

Considerando o número de gêneros de formigas em cada grupo funcional, verificamos que o grupo “predadoras generalistas de artrópodes” agrupou 19,10% (17) do total gêneros encontrados para a diagonal seca, seguido pelas “cultivadoras de fungos” com 17,97% (16). Assim, além de observamos que os grupos que reuniram o maior número de gêneros estão relacionados com a alimentação, verificamos que existem muitos gêneros dentro destes grupos que desempenham as mesmas funções na diagonal seca, utilizando artrópodes como recurso alimentar ou cultivando fungos, evidenciando assim que a substituição dos gêneros nas áreas amostradas, não acarreta perda funcional na diagonal seca.

Porém, outros oito grupos funcionais apresentaram apenas um gênero cada, representando 1,12% dos gêneros obtidos para a diagonal seca. Desta forma, observamos que por serem formados por apenas um gênero de formigas, as quais apresentam traços funcionais diferentes de outros gêneros, isso evidencia o quão específica é a função realizada por cada um deles. Assim, se um destes gêneros não fossem encontrados nas áreas amostradas na diagonal seca, sua função seria perdida, uma vez que apenas aquele gênero apresenta traços funcionais específicos que permite desempenhar tal função. Isto evidencia que estudos realizados considerando a funcionalidade de gêneros e/ou espécies dentro de um hábitat podem auxiliar na compreensão da qualidade ambiental de uma área através de uma perspectiva de preservação, corroborando com o estudo realizado por Rosenfield & Müller (2020) que evidenciou que estudos que mostrem as relações das características de plantas com condições ambientais e processos ambientais podem auxiliar na avaliação do funcionamento de áreas em restauração e da similaridade com áreas de referência.

Do total de grupos funcionais o Cerrado apresenta maior número de grupos os quais podem estar relacionados com a variação de temperatura e pluviosidade que influenciam diretamente nas diferentes fitofisionomias encontradas no domínio. No entanto, em contraste ao resultado encontrado em estudo realizado na Caatinga (Arnan et al. 2018), locais com maior influência de stress hídrico apresentam menor diversidade funcional de formigas, uma vez que provavelmente exista menor riqueza e/ou maior

redundância funcional, diferentemente do que foi encontrado no presente estudo, uma vez que a menor diversidade de grupos funcionais foi encontrada no Chaco e não na Caatinga. Neste caso, apesar da Caatinga apresentar menor número de gêneros, apresenta maior número de grupos funcionais do que o Chaco, evidenciando que os gêneros encontrados no domínio, apresentam diferentes funções, oposto do que é encontrado no Chaco, uma vez que apresenta maior redundância funcional.

Considerando os grupos funcionais compartilhados entre os três domínios (12), 50% estão relacionados a alimentação, evidenciando que apesar das diferenças tanto de temperatura, pluviosidade e, conseqüentemente, nas fitofisionomias encontradas em cada domínio, as formigas compartilham alguns recursos alimentares, tais como: exsudatos de artrópodes, néctar, fungos e invertebrados (Baccaro et al., 2015). Além disso, todos os grupos funcionais estabelecidos para a diagonal seca relacionados a formigas patrulheiras e crípticas, relacionadas ao tipo e substrato de forrageamento, assim como nidificação foram compartilhados entre os três domínios. Tal fato, evidencia que a diferença e/ou variação dos grupos funcionais entre os domínios está relacionado apenas a alimentação, uma vez que há a ocorrência de gêneros exclusivos para cada bioma.

No entanto, ao analisarmos os grupos compartilhados apenas entre dois domínios, verificamos que o grupo “Predadora especialista de cupim”, composto pelos gêneros *Acanthostichus* e *Cylindromyrmex* e caracterizados por terem uma alimentação restrita a predação de cupins, foi compartilhado apenas entre a Caatinga e o Cerrado (Baccaro et al., 2015). Em relação aos grupos funcionais exclusivos de cada domínio, não houve exclusividade para a Caatinga e para o Chaco. No entanto, o Cerrado apresentou dois grupos funcionais exclusivos: “Coletores de néctar” e “Predadora generalista críptica”. No caso do Cerrado, diversos estudos evidenciam a recorrência de formigas que realizam relações mutualísticas com plantas, uma vez que estas apresentam estruturas especializadas relacionadas com a alimentação através de nectários extraflorais, e até mesmo servindo de abrigo para as formigas e, em contrapartida, as formigas promovem a proteção da planta contra herbívoros (Del-Claro, 1998; Santos & Del-Claro, 2001; Dáttilo et al., 2009).

O grupo funcional “Coletores de néctar” é composto apenas pelo gênero *Paraponera*, o qual é representado pela espécie *Paraponera clavata*. Assim, o grupo funcional é caracterizado principalmente por abranger uma espécie que tem o hábito de nidificar no solo e se alimentar exclusivamente de nectários extraflorais. Além disso, é patrulheira e realiza recrutamento massivo na vegetação. No entanto, existem outros

gêneros que apresentam o mesmo hábito alimentar que *Paraponera*, mas que também se alimentam de outros itens e não compartilham os mesmos traços, sendo agrupados em outros grupos funcionais. Segundo o GABI, apesar do gênero *Paraponera* ter sido encontrado apenas no Cerrado a partir dos dados obtidos, o mesmo também encontra-se distribuído na Caatinga e no Chaco, sugerindo que o grupo funcional provavelmente está presente nestes últimos domínios, não sendo estabelecido no presente estudo devido a metodologia de seleção dos artigos (Guénard et al., 2017).

No caso do segundo grupo funcional exclusivo para Cerrado, o gênero *Tranopelta* é o único representante do grupo “Predadora generalista críptica”. Sendo um gênero caracterizado por apresentar espécies muito pequenas e crípticas, as quais nidificam no solo ou sob cascas de troncos em decomposição, seus representantes forrageiam solitariamente em busca de pequenos artrópodes (Baccaro et al., 2015). Neste caso, a exclusividade do grupo funcional e, conseqüentemente, do gênero *Tranopelta* ter sido encontrado apenas no Cerrado, pode estar relacionado ao fato de que a formação da serapilheira na Caatinga e Chaco sejam menos expressivas, com menor quantidade ou até mesmo menos diversa, no que diz respeito as folhas das espécies vegetais que a compõem.

## **Conclusão**

Os domínios que compõem a diagonal seca apresentam características próprias relacionadas a temperatura e pluviosidade, influenciando conseqüentemente nas características vegetais presentes em cada um deles. Assim, o número de gêneros varia entre os domínios, sendo maior no Cerrado. No entanto, apesar de ser encontrada a variação no número de gêneros, não existe diferença na quantidade de espaço funcional utilizado pelos gêneros de formigas em cada domínio (FRic), além de estarem igualmente distribuídos ao longo da diagonal seca (FDis).

Apesar da FRic e FDis não terem sido significativas, a maior redundância funcional foi encontrada no Chaco, o qual apresenta mais gêneros caracterizados com as mesmas funções. Já a menor FRed foi encontrada para o Cerrado, o qual pode estar relacionado tanto com a extensão territorial, quanto com a heterogeneidade ambiental encontrada no domínio, uma vez que o Cerrado apresenta maiores variações em relação a temperatura e pluviosidade, assim como diferentes tipos de fitofisionomias do que a Caatinga e o Chaco.

No total foram estabelecidos 17 grupos funcionais para a diagonal seca, sendo que 17 foram encontrados no Cerrado, 14 na Caatinga e 12 no Chaco, sendo 12 compartilhados entre os três domínios, apenas três compartilhados entre o Cerrado e a Caatinga e dois exclusivos do Cerrado. Assim, os grupos funcionais Coletores de Néctar e Predadora Generalista Críptica foram exclusivos para o Cerrado, enquanto que o grupo funcional Predadora Especialista de Cupim foi compartilhado entre a Caatinga e o Cerrado. No entanto, o Chaco não apresentou compartilhamento e/ou exclusividade de grupos funcionais.

Considerando os grupos funcionais de formigas para cada domínio da diagonal seca, ocorreu o compartilhamento de todos os grupos relacionados ao tipo e substrato de forrageamento, assim como nidificação (i.e patrulheiras e crípticas), evidenciando que a variação de grupos funcionais encontrada em cada bioma está relacionada ao recurso alimentar utilizado pelos gêneros de formigas. Sendo assim, a variação de grupos funcionais encontrados nos domínios está diretamente relacionada a formigas especialistas, uma vez que utilizam um recurso alimentar específico.

Desta forma, existe diferença no número de gêneros de formigas entre os domínios, assim como em relação a composição de gêneros. No entanto, apesar da diferença na composição, a funcionalidade varia pouco entre os domínios, evidenciando que diferentes gêneros de formigas desempenham as mesmas funções e ocupam o mesmo espaço funcional.

## Referências Bibliográficas

- Ab'Saber, A. N. (1974). O domínio morfoclimático semi-árido das Caatingas brasileiras. *Geomorfologia*, 43: 1–39.
- Anan, X., Arcoverde, G. B., Pie, M. R., Ribeiro-Neto, J. D. & Leal, I. R. (2018). Increased anthropogenic disturbance and aridity reduce phylogenetic and functional diversity of ant communities in Caatinga dry forest. *Science of the Total Environment*, 631 – 632, 429-438.
- Auffret, A. G., Aggemyr, E., Plue, J., & Cousins, S. A. (2017). Spatial scale and specialization affect how biogeography and functional traits predict long-term patterns of community turnover. *Functional Ecology*, 31(2), 436-443.
- Baccaro, F. B., Rocha, I. R., Aguila, B. E. G., Schiatti, J., Emilio, T., Pinto, J. L. P. V., Lima, A. P. & Magnusson, W. E. (2013). Changes in ground-dwelling ant functional diversity are correlated with water-table level in an Amazonian terra firme forest. *Biotropica*, 45(6): 755-763.
- Baccaro, F. B., Feitosa, R. M., Fernández, F., Fernandes, I. O., Izzo, T. J., Souza, J. L. P., & Solar, R. R. C. (2015). Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Ed. INPA, Manaus, Brazil. 386 pp.
- Barbosa, M. A. (2014). FuzzySim: an R package for analysing fuzzy similarity in species occurrence patterns. R package version 3.7.
- Barton, P. S., Gibb, H., Manning, A. D., Lindenmayer, D. B. & Cunningham, S. A. (2011). Morphological traits as predictors of diet and microhabitat use in a diverse beetle assemblage. *Biological Journal of the Linnean Society*, 102(1): 301-310.
- Bihn, J. H., Gebauer, G. & Brandl, R. (2010). Loss of functional diversity of ant assemblages in secondary tropical forests. *Ecology*, 91(3), 782-792.
- Bolton, B. (2021). An online catalog of the ants of the world. Available from <https://antcat.org>. (accessed [August 15, 2021])
- Brow, C. (2015). Create dummy/indicator variables flexibly and efficiently. <http://www.decisionpatterns.com>
- Cadotte, M. W. et al. (2009). Using phylogenetic, functional and trait diversity to understand patterns of plant community productivity. *PLoSOne*, 4: e5695.

- Carvalho, C.J.B. & Almeida, E.A.B. (2010). Biogeografia da América do Sul: Padrões & Processos. São Paulo Ed. Roca,13, 198-220.
- Corbelli, J. M., Zurita, G. A., Filloy, J., Galvis, J. P., Vespa, N. I. & Bellocq, I. (2015). Integrating taxonomic, functional and phylogenetic beta diversities: Interactive effects with the biome and land use across taxa. *PLosOne*, 15, e0126854. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126854>
- Cornwell, W. K., Schwilk, D. W. & Ackerly, D. D. (2006). A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume. *Ecology*, 87(6): 1465-1471.
- Cosme, L. H. M., Schiatti, J., Costa, F. R. C. & Oliveira, R. S. (2017). The importance of hydraulic architecture to the distribution patterns of trees in a central Amazonian forest. *New Phytologist*, 1-13.
- Dáttilo, W., Marques, E. da C., Falcão, J.C. de F. and Moreira, D.D. de O. (2009). Interações mutualísticas entre formigas e plantas. *EntomoBrasilis*, 2, 2, 32-36. doi: <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v2i2.44>.
- de Bello, F., Leps, J., Lavorel, S. & Moretti, M. 2007. Importance of species abundance for assessment of trait composition: an example based on pollinator communities. *Community Ecology*, 8(2): 163-170.
- Del-Claro, K. (1998). A importância do comportamento de formigas e interações: formigas e tripes em *Peixotoa tomentosa* (Malpighiaceae) no Cerrado. *Revista de Etologia*, 3-10.
- Díaz, S. et al. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (52) 20684-20689. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704716104>
- Dray S, Dufour A (2007). The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22(4), 1–20. doi: 10.18637/jss.
- Echeverria-Londono, S., Enquist, B. J., Neves, D. M., Violle, C., Boyle, B., Kraft, N. J., Maitner, B. S., McGill, B., Peet, R. K., Sandel, B., Smith, S. A., Svenning, J. C., Wiser, S. K. & Kerkhoff, A. J. (2018). Plant functional diversity and the biogeography of biomes in North and South America. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 219.
- Folgarait, P. J. (1998). Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity & Conservation*, 7:1221–1244.
- Fonseca, E. M., Gehara, M., Werneck, F. P., Lanna, F. M., Colli, G. R., Sites Jr, J. W., Rodrigues, M. T. & Garda, A. A. (2018). Diversification with gene flow and niche



- divergence in a lizard species along the South American “diagonal of open formations”. *Journal of Biogeography*, 45(7), 1688-1700.
- Gianuca, A., Engelen J., Brans, K. I., Hanashiro, F. T. T., Vanhamel, M., van der Berg, E. M., Souffreau, C. & De Meester, L. (2018). Taxonomic, functional and phylogenetic metacommunity ecology of cladoceran zooplankton along urbanization gradients. *Ecography*, 41, 183-194.
- Guénard, B., Weiser, M., Gomez, K., Narula, N., Economo E. (2017) The Global Ant Biodiversity Informatics (GABI) database: a synthesis of ant species geographic distributions. *Myrmecological News*, 24:83–89.
- Gottsberger, G. & Silberbauer-Gottsberger, I. (2006). Life in the cerrado: a south American tropical seasonal vegetation. Vol. 1. origin, structure, dynamics and plant use. Reta Verlag. 277p.
- Gower, J. C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 77, 623-637.
- Hofmann, G. S., Cardoso, M. F., Alves, R. J., Weber, E. J., Barbosa, A. A., de Toledo, P. M., Pontual, F. B., Salles, L. O., Hasenack, H., Cordeiro, J. L. P., Aquino, F. E. & de Oliveira, L. F. (2021). The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. *Global Change Biology*, 27(17), 4060-4073.
- Laliberté, E., Legendre, P., and B. Shipley. (2014). FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology. R package version 1.0-12.
- Leal, I. R., Silva, J. M. C., Tabarelli, M. & Lacher Jr., T. (2005). Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do nordeste do Brasil. *Megadiversidade* 1, 139– 146.
- Leal, I. R. (2003). Dispersão de sementes por formigas na caatinga. pp 593-624. In: *Ecologia e conservação da caatinga*.
- Lima, N. E., Carvalho, A. A., Lima-Ribeiro, M. S. & Manfrin, M. H. (2018). Caracterização e história biogeográfica dos ecossistemas secos neotropicais. *Rodriguésia*, 69(4): 2209-2222.
- Löwenberg-Neto, P. (2014). Neotropical region: a shapefile of Morrone’s (2014) biogeographical regionalisation. *Zootaxa*, 3808 (2): 300-300.
- Lu, Z., Hoffman, B. J. & Chen, Y. (2016). Can reforested and plantation habitats effectively conserve SW Chinas and biodiversity? *Biodiversity and Conservation*, 25, 753-770.

- Machado, R. B., Neto, M. G. P., Pereira, P. G. P., Caldas, E. F., Gonçalves, D. A., Santos, N. S., Steininger, M. (2004). Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF, 1–23. doi: 10.1590/S0104-42302007000600013
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M. & Hornik, K. (2021). Cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.1.2 — For new features, see the 'Changelog' file (in the package source), <https://CRAN.R-project.org/package=cluster>.
- Mares, M. A., Willig, M. R., Lacher Jr, T. E. (1985). The Brazilian Caatinga in South American Zoogeography: tropical mammals in a dry region. *Journal of Biogeography*, 12, 57-69.
- Martins, R. P. & Barbeitos, M. S. (2000). Adaptações de insetos e mudanças no ambiente: ecologia e evolução da diapausa. Pp. 149-192. In: Martins, R. P. Lewinsohn, T. M. & Barbeitos, M. S. (Eds). Ecologia e comportamento de insetos. Sério Oecologia Brasiliensis, vol VIII. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Mason, N. W. H., Mouillot, D., Lee, W. G., Wilson, J. B. & Setälä, H. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: The primary components of functional diversity. *Oikos*, 111(1): 112-118.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V. & Gordon, J. E. (2006). A global overview oh the conservation status oh tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33, 491-505.
- MMA - Ministerio Meio Ambiente. (2018a). Pantanal. <http://www.mma.com.br/domínios/pantanal>. Acessado em 14 de novembro de 2018.
- MMA - Ministerio Meio Ambiente. (2018b). Caatinga. <http://www.mma.com.br/domínios/caatinga>. Acessado em 14 de novembro de 2018.
- Mouchet, M. A., Villéger, S., Mason, N. W. H, Mouillot, D. (2010). Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology*, 24, 867-879. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01695.x>
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A.B. & Kent, J., (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858. doi: 10.1038/35002501

- Oksanen, F.J., et al. (2017) Vegan: Community Ecology Package. R package Version 2.4-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Pavoine, S., Ollier, S. & Dufour, A. B. (2005). Ideas and is the originality of a species measurable? *Ecology Letters*, 8, 579-586.
- Pennington, R. T., Prado, D. E. & Pendry, C. A. (2000). Neotropical seasonally dry forest and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*. 27(3), 261-273.
- Pennington, R. T., Lewis, G. P. & Ratter, J. A. (2006). An overview of the plant diversity, biogeography and conservation of neotropical savannas and seasonally dry forests. Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation, *CRC Press*, Florida, 1-26.
- Petchey, O. L. & Gaston, K. J. (2002). Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters*, 5(1): 402-411.
- Prado, D. E. & Gibbs, P.E. (1993). Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 80, 902-927.
- Rosenfield, M. F. & Müller, S. C. (2020). Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar a restauração ecológica de ecossistemas. *Oecologia Australis*, 24(3): 550-565.
- RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. URL. <http://www.rstudio.com/>.
- Ratter, J. A., Bridgewater, S., Ribeiro, J. F., Dias, T. A. B., da Silva, Miriam Rodrigues. (2000). Estudo preliminar da distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma Cerrado. *Boletim Herbário Ezechias Paulo Heringer*, 5, 5-43.
- Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado. Embrapa.
- Rodrigues, M. T. (2003). Herpetofauna da Caatinga. Biodiversidade, Ecologia e Conservação da Caatinga. (ed. by M. Tabarelli and J.M.C. Silva), pp. 181–236. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Santos, J. C. & Del-Claro, K. (2001). Interação entre formigas, herbívoros e nectários extraflorais em *Tocoyena formosa* (Cham. & Schlechtd.) K. Schum. (Rubiaceae) na vegetação do Cerrado. *Revista Brasileira de Zoociências*, 3(1): 77-92.
- Santos, S. A., Soriano, B. M. A., Comastri Filho, J. A. & Abreu, U. G. P. (2007). Cheia e seca no Pantanal: importância do manejo adaptativo das fazendas. ADM - Artigo de Divulgação na Mídia, Embrapa Pantanal, Corumbá, MS, n.120 p.1-3.

- Schluter, D. (2001). Ecological and the origin of species. *Trends in Ecology and Evolution*, 16, 372–380. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02198-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02198-X)
- Sick, H. (1965). A fauna do Cerrado. *Arquivos de Zoologia*, 12, 71-93.
- Silvestre, R. (2000). Estrutura de comunidades de formigas do Cerrado. Universidade de São Paulo (Tese de doutorado). <http://doi.org/10.11606/T.59.2000.tde-23012002-104948>
- Silva, R. R. & Brandão, C. R. F. (2014). Ecosystem-wide morphological structure of leaf-litter ant communities along a tropical latitudinal gradient. *PlosOne*, 9(3): 1-11.
- Tabarelli, M. & Vicente, A. (2004). Conhecimento sobre plantas lenhosas da Caatinga: Lacunas Geográficas e Ecológicas; Biodiversidade da Caatinga: Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação (ed. Silva, J. M. C., Tabarelli, M., Fonseca, M. T. & Lins, V. T.), 101-111, Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- Tibcherani, M., Nacagava, V. A. F., Aranda, R., & Mello, R. L. (2018). Review of Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators in the Brazilian Savanna. *Sociobiology*, 65(2), 112–129. Doi: 10.13102/sociobiology.v65i2.2048
- Tiede, Y., Schlautmann, J., Donoso, D. A., Wallis, C. I. B., Bendix, J., Brandl, R. & Farwig, N. (2017). Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. *Ecological Indicators*, 83(1):527-537.
- Vanzolini, P. E. (1974). Ecological and geographical distribution of lizards in Pernambuco, northeastern Brazil (Sauria). *Papéis Avulsos de Zoologia*, 18, 61-90.
- Vanzonili, P. (1976). On the lizards of a Cerrado-Caatinga contacts: evolutionary and zoogeographical implications (Sauria). *Papéis Avulsos de Zoologia*, 29, 111-119.
- Vasconcelos, T. S., da Silva, F. R., dos Santos, T. G., Prado, V. H., & Provete, D. B. (2019). Geographical patterns of functional diversity of South American Anurans. In *Biogeographic Patterns of South American Anurans*, Springer, 107-123.
- Villéger, S., Mason, N. W. H. & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(2): 2290-2301.
- Violle, C., Reich, P. B., Pacala, S. W., Enquist, B. J., & Kattge, J. (2014). The emergence and promise of functional biogeography. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38), 13690-13696.
- Werneck, F. P. & Colli, G. R. (2006). The lizard assemblage from Seasonally Dry Tropical Forest enclaves in the Cerrado biome, Brazil, and its association with the Pleistocene. *Journal of Biogeography*. 33, 1983–1992.

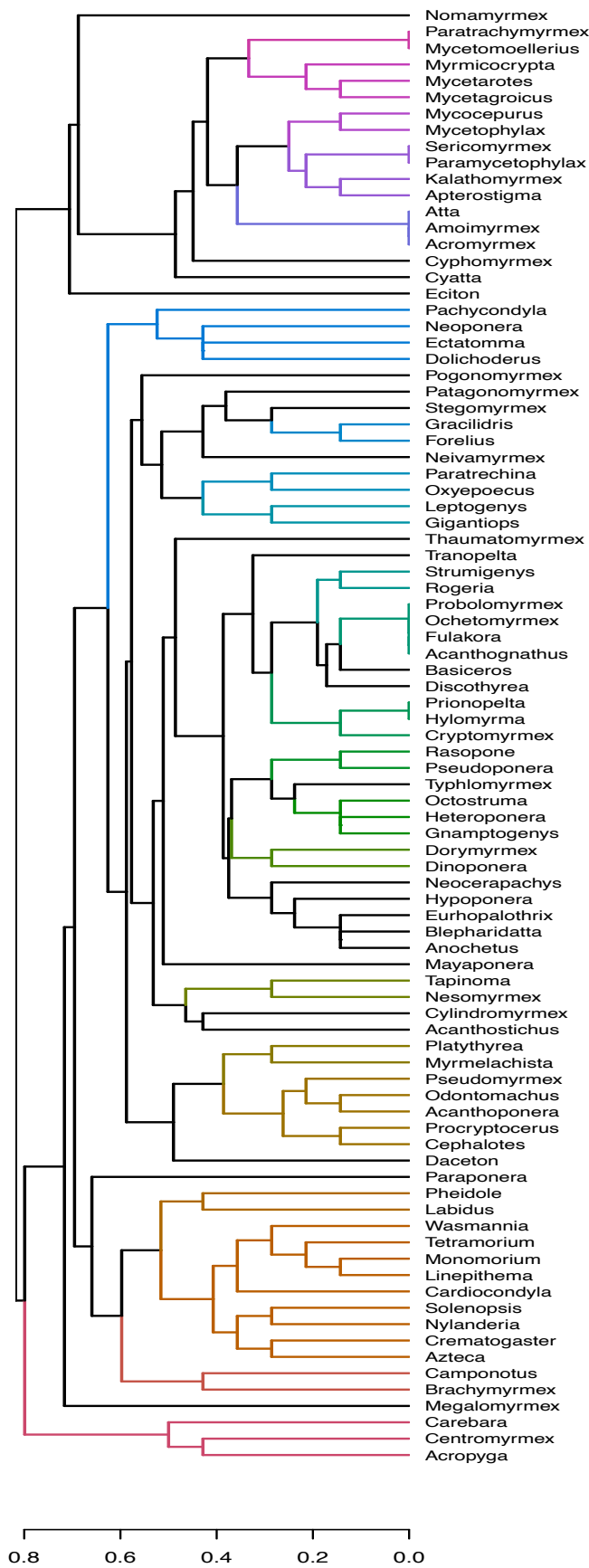
- Werneck, F. P. (2011). The diversification of eastern South American open vegetation biomes: Historical biogeography and perspectives. *Quaternary Science Reviews*, 30, 1630-1648.
- Yates, M. L., Andrew, R. N., Binns, M. & Gibbs, H. (2014). Morphological traits: predictable responses to macrohabitats across a 300 km scales. *PeerJ*, 271(2):1-20.

## Material Suplementar

**Tabela S1.** Estudos realizados nos domínios Caatinga, Cerrado e Chaco e que foram utilizados para compor o banco de dados para o estudo de diversidade funcional de formigas da diagonal seca.

Citações	Caatinga	Cerrado	Chaco
Aranda et al. (2022)		X	
Araújo & Fernandes (2003)		X	
Arnan et al. (2018)	X		
Arruda et al. (2015)		X	
Badano et al. (2005)			X
Bestelmeyer & Wiens (1996)			X
Borges et al. (não publicado)		X	
Brandao et al. (2011)		X	
Calcaterra et al. (2008)			X
Calcaterra et al. (2010)			X
Camacho & Vasconcelos (2015)		X	
Camarota et al. (2016)		X	
Carvalho et al. (2012)	X		
Carvalho et al. (2016)	X		
Cividanes et al. (2009)		X	
Costa et al. (2015)		X	
Costa-Milanez et al. (2015)		X	
Da Silva et al. (2004)		X	
Dantas et al. (2011)		X	
De Mendonca Santos et al. (1999)	X		
Delsinne et al. (2007)			X
Demétrio et al. (2017)		X	
Dutra de Sousa et al. (2015)	X		
Freitas et al. (2014)	X		
Frizzo et al. (2012)		X	
Garcia & Quiran (2002)			X
Lana (2015)		X	
Leal (2002)	X		
Leponce et al. (2004)			X
Maravalhas et al. (2012)		X	
Marinho et al. (2002)		X	
Marques & Del-Claro (2006)		X	
Murúa et al. (1999)			X
Nunes et al. (2011)	X		
Oliveira et al. (2016)	X		
Pereyra et al. (2019)			X

Pires do Prado et al. (2019)		X	
Ribas et al. (2003)		X	
Ribeiro et al. (2019)		X	
Rocha et al. (2014)		X	
Santiago et al. (2018)		X	
Silva et al. (2014)	X		
Soares et al. (2010)		X	
Sousa-Souto et al. (2016)	X		
Souza (2014)		X	X
Theunis et al. (2005)			X
Tibcherani et al. (2020)		X	
Ulysséa & Brandao (2013)	X		
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>11</b>



**Fig. S1.** Cluster dos grupos funcionais de formigas obtido a partir de agrupamento UPGMA.



## Conclusão geral

Apesar dos domínios que compõem a diagonal seca apresentarem características de pluviosidade e temperatura específicas, a Caatinga, Cerrado e o Chaco compartilham períodos sazonais secos bem estabelecidos, uma vez que são influenciados pelo stress hídrico. Consequentemente, esta característica compartilhada exerce influência nos componentes vegetais de cada domínio.

Assim, ocorre o compartilhamento de espécies de formigas entre os domínios da diagonal seca, considerando também que a composição da comunidade é alterada com o aumento da distância espacial, apresentando espécies endêmicas de cada um dos domínios da diagonal seca. Além da influência das características vegetais de cada domínio, mas também em relação a extensão geográfica e história evolutiva, o Cerrado apresentou maior riqueza e diversidade de formigas, assim como substituição de espécies, enquanto que a Caatinga, com a menor extensão geográfica, a qual é negligenciada e apresenta história evolutiva mais recente, obteve menor riqueza e diversidade. Já o Chaco apresentou maiores valores de diversidade  $\square$  e substituição de espécies.

Além disso, estudos que apresentem identificações corretas até nível específico auxiliam na compreensão da distribuição das espécies, solucionando lacunas taxonômicas existentes e auxiliando na compreensão de padrões ecológicos.

Em uma perspectiva funcional, considerando o nível de gênero, não existe diferença na quantidade de espaço funcional utilizado pelos gêneros de formigas em cada domínio (FRic), além de estarem igualmente distribuídos ao longo da diagonal seca (FDis). No entanto, apesar desta métricas não terem sido significativas, a maior redundância funcional foi encontrada no Chaco, o qual apresenta mais gêneros que realizam as mesmas funções.

Dentre os grupos funcionais estabelecidos para a diagonal seca, houve o compartilhamento de grupos entre os domínios, relacionados ao tipo e substrato de forrageamento, assim como nidificação, evidenciando que a variação de grupos funcionais está relacionada ao recurso alimentar utilizado. Já grupos exclusivos foram encontrados apenas no Cerrado e estavam relacionados a gêneros exclusivos, os quais desempenham funções únicas e específicas.

Portanto, apesar de existir diferença no número de gêneros de formigas entre os domínios, assim como na composição de gêneros, a funcionalidade varia pouco entre os domínios,

o que nos leva a compreender que diferentes gêneros de formigas desempenham as mesmas funções e ocupam o mesmo espaço funcional.

## Referências bibliográficas gerais

- Baccaro, F. B., Feitosa, R. M., Fernández, F., Fernandes, I. O., Izzo, T. J., Souza, J. L. P., & Solar, R. R. C. 2015. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Ed. INPA, Manaus, Brazil. 386 pp.
- DaSilva, M. B. 2011. Áreas de endemismo: as espécies vivem em qualquer lugar, onde podem ou onde historicamente evoluíram? *Revista da Biologia*, 5508, 12-17.
- Gaston, K. J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* 405(6783), 220-227.
- Gillung, J. P. 2011. Biogeografia: a história da vida na terra. *Revista da Biologia*, Vol. Esp. Biogeografia: 1-5.
- Leal, I. R. 2003. Dispersão de sementes por formigas na caatinga. pp 593-624. *In: Ecologia e conservação da caatinga*.
- Lee, K. E. & Foster, R.C. 1991. Soil fauna and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, 29: 745-775.
- Martins, R. P. & Barbeitos, M. S. 2000. Adaptações de insetos e mudanças no ambiente: ecologia e evolução da diapausa. Pp. 149-192. *In: Martins, R. P. Lewinsohn, T. M. & Barbeitos, M. S. (Eds). Ecologia e comportamento de insetos. Sério Oecologia Brasiliensis, vol VIII. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.*
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858. doi: 10.1038/
- Philpott, S. M. & Armbrecht, I. 2006. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology*, 31: 369-377. doi: 10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x.
- Santos, S. A., Soriano, B. M. A., Comastri Filho, J. A. & Abreu, U. G. P. 2007. Cheia e seca no Pantanal: importância do manejo adaptativo das fazendas. *ADM - Artigo de Divulgação na Mídia, Embrapa Pantanal, Corumbá, MS, n.120 p.1-3.*
- Violle, C., Reich, P. B., Palaca, S. W., Enquist, B. J., Kattge, J. 2014. The emergence and promise of functional biogeography. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38): 13690-13696.
- Ward, P. S. 1991. Phylogenetic analysis of pseudomyrmecine ants associated with domatia-bearing plants. pp 335-352. *In: Ant-plant interactions*, 335-352.

- Werneck, F.P. 2011. The diversification of eastern South American open vegetation biomes: historical biogeography and perspectives. *Quaternary Science Reviews*, 30, 1630– 1648.
- Whittaker, R. J., Araújo, M. B, Jepson, P. Ladle, R. J., Watson, J. E. M., & Willis, K. J. 2005. Conservation Biogeography: assessment and prospect. *Diversity and Distributions*, 11(1), 3–23.
- Zanella, F. C. 2011. Evolução da Biota da Diagonal de Formações Abertas Secas da América do Sul. In Carvalho e Almeida (2011) *Biogeografia da América do Sul*. Roca