

U F *m* G

Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Ciências Biológicas



Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

Rayana Mello Souza

VARIAÇÃO TEMPORAL DA COMUNIDADE  
DE FORMIGAS AO LONGO DE UM  
GRADIENTE ALTITUDINAL

Belo Horizonte

Minas Gerais - Brasil

2016

Rayana Mello Souza

VARIAÇÃO TEMPORAL DA COMUNIDADE  
DE FORMIGAS AO LONGO DE UM  
GRADIENTE ALTITUDINAL

Dissertação apresentada ao  
programa de Pós-graduação em  
Ecologia Conservação e Manejo da  
Vida Silvestre do Instituto de Ciências  
Biológicas da Universidade Federal  
de Minas Gerais como requisito  
parcial para a obtenção do título de  
Mestre em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Frederico de Siqueira Neves (UFMG)

Co-orientador : Dr. Rodrigo Fagundes Braga (UFLA)

Belo Horizonte

Minas Gerais – Brasil

2016

Dedico esta dissertação de Mestrado aos meus familiares, principalmente à minha mãe Márcia, por estar sempre presente na minha vida me apoiando em todas as minhas decisões, e acima de tudo pelo imenso amor!

## **Agradecimentos**

Dois anos que se resumem, à muito trabalho, muito aprendizado, muita dedicação, muita paciência, várias novas experiências e novos amigos... Ao longo desse tempo muita gente (linda) caminhou do meu lado, e tenho muita gratidão a expressar por vocês.

Agradeço à minha Mãe, por todo amor, apoio e pela confiança oferecida. Gratidão por sempre me incentivar nos meus objetivos e compreender minhas escolhas, seu companheirismo foi fundamental na construção desse objetivo. Te amo Mãe, obrigada por tudo !

Aos meus familiares, meu Pai Agnaldo, por todo carinho e amor, minha tia Lene por todas suas orações e torcida, aos meus tios e meus primos por toda admiração e apoio nessa jornada.

Ao meu orientador e professor, Frederico de Siqueira Neves, sou muito grata pela confiança, pelas idéias, pela amizade, pelas viagens, pelos artigos discutidos e por todo conhecimento ofertado para realização deste projeto. Obrigada por me apresentar os Campos Rupestres! Gratidão pela oportunidade de poder crescer como aluna e me descobrir pesquisadora.

Ao meu co-orientador Rodrigo (Cotonete) por todas as ideias e discussões, foram fundamentais para conclusão do trabalho.

Gratidão aos (grandes) amigos da Villa Parentoni, este laboratório que é uma verdadeira família, repleto de grandes pessoas com mentes brilhantes. Um agradecimento especial para os amigos que contribuíram com ideias pro projeto, com ajudas estatísticas, idéias, alegrias, risadas, cafés, ajudas na triagem e montagem, pela troca de experiências acadêmicas e por todos artigos baixados.. valew demais mesmo galera...Vocês são maravilhosos.

Agradeço a todos aqueles que dedicaram um tempinho para me ajudar nas intermináveis triagens e montagens, o Luiz, a Dani, a Melina, e o Humberto, muito obrigada pessoal . Especialmente os meus “filhos” João e Mir que abraçaram junto comigo essa missão, aguentaram minhas loucuras (pacotinhos de 11 em 11) e deram

raça mesmo, obrigada meninas vocês foram incríveis, seria impossível chegar até aqui sozinha.

Gostaria de agradecer a todos que me ajudaram nos trabalhos de campo, o João Matheus, o Mir, o Humberto, a Aninha, a Catão, a Tate, o Arleu, o Reuber, o Fred, a Paty, a Laurinha, a Gramps. Muito obrigada pela ajuda, pelo suor derramado, pelas ladeiras subidas, pelos buracos cavados, pelas brincadeiras, pelas risadas e pelos tibuns no rio. Gratidão equipe eficiAnts, vocês foram indispensáveis para realização desta dissertação, estes grandes momentos nunca serão esquecidos.

Aos colegas da pós graduação, por todo aprendizado, pela troca de experiência e pela amizade. Foram muitas alegrias nesses dois anos e foi incrível ingressar no mestrado dentro de uma turma tão sensacional (aaaaaiiennn), agradeço por ter conhecido todos vocês, foi lindo !

Ao Ricardo (Bob), ao Raoni, ao Arleu e a Marina Beirão, a minha imensa gratidão pela paciência com minhas intermináveis dúvidas sobre estatísticas, além de toda ajuda ofertada com os gráficos e análises, foi fundamental de verdade, muito obrigada.

Aos amigos, Fernanda Costa, Marina Beirão, Alice Leite e Flávio Siqueira pelas contribuições valiosas a este texto.

Agradeço aos excelentes profissionais taxonomistas que se dispuseram a confirmar algumas identificações, o Rodrigo Feitosa, a Mônica Ulysséa e o Thiago S. Ranzani.

Aos meus amigos que mesmo sem entenderem nada de formiga, fizeram uma grande diferença na conclusão desse trabalho. Sou grata pela existência de vocês !

Sou grata a Bahia, essa que não me sai do meu pensamento, que esbanja beleza com tanta natureza, que me recebeu de braços abertos, ganhou meu coração e me trouxe inspiração junto com o calor do verão !!!

À pós-graduação de Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre e aos professores associados pelas aulas e valiosos conhecimento transmitido. Ao Parque Nacional da Serra do Cipó, à Pousada Serra Morena, à Reserva Vellozia, à Cedro

Cachoeira Indústria Têxtil e à Pousada Pedra do Elefante pelo apoio logístico no trabalho de campo .

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado e juntamente com a FAPEMIG pelo financiamento do Projeto Ecológico de Longa Duração – Sítio 17 Campos Rupestres da Serra do Cipó (PELD – CRSC) Aos professores Geraldo Wilson e Frederico Neves por me darem a oportunidade de participar deste projeto.

Gratidão por todos !!!

“A grandiosidade do homem se explica quando ele decide contemplar a natureza, contemplação essa que advém da certeza de fazer parte da mesma !”

# SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
2.1.Área de estudo .....	13
2.2.Desenho amostral .....	14
2.3.Amostragem de formigas .....	15
2.4.Variáveis climáticas .....	16
2.5.Análise de dados .....	16
2.5.1.Particionamento da Diversidade .....	16
2.5.2.Análises Estatísticas .....	17
<b>3.RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.DISSCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>32</b>
<b>6.ANEXO.....</b>	<b>42</b>



## Resumo

A necessidade de se estudar e compreender como as alterações climáticas afetam a biodiversidade com o passar do tempo é cada vez maior. Gradientes altitudinais são grandes modelos ecológicos, dentro dos quais a diminuição da riqueza com o aumento da altitude é o padrão mais encontrado. Os mecanismos inerentes a este padrão geralmente são associados com mudanças nas condições, como clima e solo, na medida em que subimos a montanha, podendo atuar em distintas escalas (espaciais e temporais). Sendo seres termófilos, as formigas podem ser influenciadas pela temperatura, tanto na escala local quanto na global. O particionamento da diversidade é uma forma útil de lidar com estes mecanismos que atuam em diferentes escalas, sendo assim, o objetivo desse estudo foi testar se os fatores climáticos (temperatura, umidade e precipitação) determinam a variação temporal da comunidade de formigas em distintas escalas ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) em um gradiente altitudinal tropical e se este efeito se altera com a elevação. O estudo foi conduzido na Serra do Cipó utilizando sete áreas em distintas cotas altitudinais (800m à 1400 m). Foram amostrados 15 pontos por área, onde instalou-se armadilhas do tipo *pitfall* de janeiro/2012 à janeiro/2014, trimestralmente. A abordagem multiplicativa foi utilizada para calcular os componentes da diversidade  $\gamma$  (gama),  $\alpha$  (alfa) e  $\beta$  (beta), que foram representados à cada coleta pela riqueza de cada altitude, riqueza média de cada altitude e a razão entre esses parâmetros ( $\beta=\gamma/\alpha$ ), respectivamente, sendo o último a representação da diversidade de diferenciação em cada altitude. Um total de 166 espécies de formigas foram amostradas. Ao longo do tempo ocorreram alterações na atividade de formigas em todo o gradiente, observando-se um efeito positivo da temperatura na diversidade local e da umidade na diversidade regional, porém ambos os efeitos não diferiram com a altitude. Nenhum dos fatores climáticos determinaram a variação temporal da diversidade  $\beta$  (beta) ao longo do gradiente estudado. Nossos dados mostraram que a variação climática tem forte relação com a variação temporal da comunidade de formigas e corroboram a hipótese de alterações em diferentes níveis da estrutura ecológica em ecossistemas montanos, como previsto pelos modelos de aquecimento global.

**Palavras chave:** Diversidade Beta, Padrão Temporal, Cadeia do Espinhaço, Campos Rupestres, Serra do Cipó.

## **Abstract**

The need to study and understand how climate change will affect biodiversity over time is increasingly. Altitudinal gradients are great ecological models, within which the decreased richness with increasing altitude is the pattern most encountered. The mechanisms inherent in this pattern are generally associated with changes in conditions such as climate and soil, insofar as we climbed the mountain, and can act in different spatial scales (spatial and temporal). Being thermophilic beings, the ants can be influenced by temperature, both in the local and global scale. Partitioning of diversity is a useful way to deal with these mechanisms that act at different scales, in this way, the objective of this study was to test whether the climatic factors (temperature, humidity and precipitation) determine the temporal variation of ants in different scales ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) in a tropical altitudinal gradient and if this effect changes with elevation. The study was conducted in Serra do Cipó using seven areas in different altitudinal quotas (800m to 1400m). Fifteen points were sampled per area, where was installed "pitfall" traps from January/2012 to January/2014, quarterly. Multiplicative approach was used to calculate the components of (gamma)  $\gamma$ ,  $\alpha$  (Alpha) and  $\beta$  (beta) diversities, which were represented at each collection by the richness of each altitude, average wealth of each altitude and the ratio of these parameters ( $\beta = \gamma/\alpha$ ), respectively, being the last a representation of the diversity of differentiation in each. A hundred and sixty six (166) species of ants were sampled. Over time, changes happened in the activity of ants across the gradient, observing a positive effect of temperature in the local diversity and humidity in the regional diversity, but the effects did not differ with height. None of the climatic factors determined the temporal variation of  $\beta$  (beta) diversity along the studied gradient. Our data showed that the climate variation has a strong relationship with the community temporal variation of ants and corroborate the hypothesis of changes at different levels of ecological structure in mountains ecosystems, as predicted by the models of global warming.

**Keywords:** Beta Diversity, Temporal pattern, Chain Ridge, Rupestres fields, Serra do Cipo.

## 1.Introdução

Os ambientes montanhosos representam laboratórios naturais para estudos evolutivos e ecológicos, abrigando uma grande diversidade de espécies endêmicas, devido à sua topografia complexa, com variações em uma área relativamente pequena, além de condições climáticas variadas e recursos (Lomolino 2001, Körner 2007, Sundqvist *et al.*, 2013). Ecossistemas montanos ocorrem em todos principais biomas do mundo e cerca de 50% da população mundial faz uso direto de seus recursos (Fernandes *et al.*, 2016 *in press*). Apesar das montanhas tropicais apresentarem normalmente uma amplitude altitudinal menor em relação às montanhas temperadas (Grytnes & McCain 2007), elas apresentam uma grande diversidade de endemismos e geralmente uma elevada diversidade  $\beta$  entre seus micro-habitats, que são ambientes altamente heterogêneos (Munyai & Foord 2012, Rahbek 2005), como é o caso da Cadeia do Espinhaço (Barbosa *et al.*, 2015, Silveira *et al.*, 2016).

Considerando a iminência das alterações climáticas, e o cenário previsto para daqui 100 anos, onde os gases do efeito estufa podem gerar um aquecimento da temperatura global de 0,3 a 4,8 °C (médias de 1,0 a 3,7 °C) segundo o relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) de 2014, torna-se cada vez mais urgente a necessidade de criação de esforços e pesquisas para entender como a biodiversidade responde as alterações do clima (Beniston 2003). Neste sentido, pesquisadores têm-se empenhado no estudo de gradientes ambientais que fornecem variação suficiente para prever os efeitos das futuras alterações climáticas (Beniston *et al.*, 1997). Com isso, os gradientes altitudinais vêm sendo cada vez mais estudados (Sundqvist *et al.*, 2013) e são considerados termômetros para as mudanças climáticas, pois serão os primeiros a sentirem os efeitos destas alterações (Beniston *et al.*, 1997, Bitencourt *et al.*, 2016, Fernandes *et al.*, 2014, Körner 2007).

Os padrões mais comuns encontrados para a distribuição das espécies nas montanhas, é o declínio monotômico da riqueza com o aumento da altitude, ou picos de riqueza em altitudes intermediárias (Rahbek 1995, 2005). Em montanhas tropicais, como por exemplo na Cadeia do Espinhaço, estes padrões já foram corroborados para diversos grupos de organismos (Carneiro *et al.*, 2005, Coutinho *et al.*, 2015, Fernandes *et al.*, 2016 *in press*), inclusive para as formigas, que apresentaram o padrão de diminuição da riqueza de espécies com o aumento da altitude (Araújo & Fernandes

2003, Costa *et al.*, 2015, Lana 2015). As formigas que por sua vez, são um grupo faunístico ecologicamente dominantes, sendo consideradas bons modelos ecológicos em estudos de diversidade, pois estão presentes em todos os biomas e habitats terrestres, são ecologicamente diversas, além de apresentarem uma rápida resposta as variações ambientais (Hölldobler & Wilson, 1990).

Frequentemente, o padrão da diminuição da riqueza de espécies em montanhas é associado com o aumento da elevação, onde a medida que subimos em um gradiente altitudinal ocorrem mudanças das condições ambientais (como solo e clima), redução da área de habitat, diminuição da diversidade de recursos (riqueza de plantas) e da produtividade primária (Fernandes & Price 1988, Lomolino, 2001, Körner 2007, Lana 2015). Entretanto, sabe-se que os mecanismos que determinam os padrões de distribuição de formigas também variam temporalmente, como por exemplo, as interações competitivas (Cerdá *et al.*, 1998), a disponibilidade de recursos alimentares (Bernstein 1979, Samways 1990) e as condições microclimáticas (como temperatura e umidade, Perfecto & Vandermeer 1996). Ainda assim, poucos estudos têm focado nas variações temporais das medidas de diversidade de formigas nestes ambientes montanos (mas veja, Bishop *et al.*, 2014).

Padrões de diversidade globais em relação ao clima são bem documentados para as formigas (Dunn *et al.*, 2009; Jenkins *et al.*, 2011, Kaspari & Weiser 2000). Consideradas organismos termófilos, as formigas apresentam maior atividade em períodos “mais quentes” e úmidos (Hölldobler & Wilson 1990, Andersen 2003, Anjos *et al.*, 2015). A temperatura por exemplo, é capaz de influenciar de diferentes maneiras sua distribuição e atividade (Dunn *et al.*, 2009, Hölldobler & Wilson, 1990, Sanders *et al.*, 2007). Limitações fisiológicas, como a tolerância térmica máxima, são sugeridas para prever a resposta das espécies de formigas à alterações ambientais (como o aquecimento global) na escala local (Cerdá *et al.*, 1998, Wittman *et al.*, 2010). Já as temperaturas mínimas determinam o aumento das taxas de mortalidade e/ou taxas de extinção (Dunn *et al.*, 2009, Sanders *et al.*, 2007). As limitações fisiológicas também podem estar correlacionadas à outras variáveis climáticas, como por exemplo a umidade, a qual é fortemente associada com a resistência à dessecação. Normalmente, as formigas forrageiam evitando e/ou regulando o risco de dessecação (Arnan & Bluthgen 2015, Kaspari & Weiser 2000, Kay & Whitford 1975) e outros autores já

demonstraram que a atividade e riqueza de formigas tendem a ser maiores em épocas e em habitats mais úmidos (Kaspari & Weiser, 2000).

Diante dessas premissas, uma estratégia interessante para lidar com estes processos que atuam em múltiplas escalas (temporais e espaciais) de diversidade seria examinar estas variações em diferentes escalas, como proposto por Whittaker (1960), focando em  $\beta$  diversidade (uma medida de variabilidade da composição entre amostras) que liga a diversidade local ( $\alpha$ ) à diversidade em grande escala ( $\gamma$ ) (Pech-Canche *et al.*, 2011, Baselga 2007, Soininem *et al.*, 2007). Atualmente, muitos índices têm sido desenvolvidos para mensurar a  $\beta$  diversidade (Baselga & Leprieur 2015). Entretanto, diferenças na diversidade  $\beta$  ao longo de gradientes biogeográficos já foram interpretados como reflexos das diferenças nos processos ecológicos que atuam ao longo destes gradientes. A substituição de espécies entre as áreas (diversidade  $\beta$ ), que ocorrem ao longo de gradientes também são utilizados para inferir a variação nos processos de estruturação da comunidade (Kraft *et al.*, 2011). Este tipo de abordagem é muito útil pois permite a avaliação das contribuições relativas de cada nível da diversidade para a diversidade total de espécies, sendo assim, a diversidade total de uma região (diversidade  $\gamma$ ) pode ser particionada (Lande 1996) em componentes que representam a diversidade dentro da comunidade local (diversidade  $\alpha$ ) e entre as comunidades (diversidade  $\beta$ ).

Sendo assim, elucidar os mecanismos que determinam o padrão de atividade da fauna em distintas escalas (espaciais e temporais), é fundamental para descrição dos padrões de diversidade, além de servir como base para futuras previsões acerca das alterações climáticas. Desta maneira, o objetivo desse estudo foi verificar a variação temporal da comunidade de formigas em um gradiente altitudinal tropical e testar as seguintes hipóteses: i. a temperatura, umidade e precipitação determinam a variação temporal da comunidade de formigas em distintas escalas ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ), e a ii. a variação temporal da comunidade de formigas em distintas escalas ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) não se mantêm a medida que aumenta a altitude. Assim, esperamos encontrar uma maior atividade de formigas ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) em meses mais quentes e úmidos, e a medida que a altitude aumenta essa variação da diversidade diminui, acompanhando a variação espacial da diversidade de formigas já corroborada em outros estudos na mesma região (Araújo & Fernandes 2003, Costa *et al.*, 2015, Lana 2015).

## 2. Métodos

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido em áreas de transição entre Cerrado e Campo Rupestre na Serra do Cipó, município de Santana do Riacho (MG), localizada na porção sul da Cadeia do Espinhaço, região central de Minas Gerais, sudeste do Brasil (19 ° 10 'e 19 ° 22' S, 43 ° 29 'e 43 ° 36' W). A Cadeia do Espinhaço se estende por mais de 1200 km e está inserida em três grandes biomas brasileiros: ao norte, a Caatinga, à oeste o Cerrado, e à leste a Mata Atlântica (Kamino *et al.*, 2008) sendo considerada um grande divisor de águas naturais de alta importância ecológica do Brasil (Giulietti *et al.*, 1987, Kamino *et al.*, 2008, Santos *et al.*, 2011, Fernandes *et al.*, 2014, Fernandes *et al.*, 2016 *in press*).

A Serra do Cipó apresenta um clima tropical do tipo *Cwb* de Köppen, caracterizado pela estação chuvosa durante o verão, entre os meses de Novembro a Fevereiro, e uma estação seca durante o inverno, entre os meses de Junho a Agosto, com temperatura média anual de 20 ° C e precipitação a 1.500 mm, (Madeira & Fernandes 1999). A região da Serra do Cipó também é conhecida pela sua elevada biodiversidade vegetal e animal além de um grande número de espécies endêmicas (Costa *et al.*, 2015, Giulietti *et al.*, 1987, Rapini *et al.*, 2008, Vasconcelos *et al.*, 2008). Sua vegetação é composta tanto pelo Cerrado, quanto pela Mata Atlântica, ambos considerados “hotspots” de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000). A vegetação de Cerrado ocorre nas baixas altitudes, geralmente abaixo de 800m. Entre 900 e 1000 m de atitude essa vegetação é presente apenas em manchas isoladas de solos mais profundos apresentando uma região de ecótono destas fitofisionomias (Le Stradic 2012). A partir dos 900m a fitofisionomia predominante é o Campo Rupestre (Giulietti *et al.*, 1987).

Os Campos Rupestres (Figura 1), constituem um ambiente altamente heterogêneo, onde as plantas crescem sobre solos rasos e pedregulhosos, apresentando um complexo mosaico de vegetações e solos, os quais se diferenciam em poucos metros de distância, influenciados principalmente pelos aspectos de topografia e microhabitats locais e pela história geológica antiga (de Carvalho *et al.*, 2012, Fernandes *et al.*, 2014, Silveira *et al.*, 2016). Os Campos Rupestres, possuem um alto índice de diversidade de espécies e endemismos (Fernandes *et al.*, 2014, Silveira *et al.*, 2016), abrigando mais de 5000 espécies de plantas vasculares, o que contempla 14% da diversidade Brasil em

menos de 1% da superfície do país (Silveira *et al.*, 2016), e recentemente foram incluídos nas previsões da teoria de OCBIL (Silveira *et al.*, 2016). No entanto, apesar do grande interesse em preservar este ecossistema único, os fortes impactos antrópicos sofridos pelos Campos Rupestres ameaçam muitas espécies ao risco de extinção, fato que vêm se intensificando nos últimos anos (Fernandes *et al.*, 2014).



Figura 1: Campo Rupestre da Serra do Cipó, MG (Fotografia tirada na altitude 1300 metros). Foto Laura di Spirito Braga 2013.

## *2.2.Desenho amostral*

Este estudo faz parte do projeto Ecológico de Longa Duração nos Campos Rupestres da Serra do Cipó (PELD CRSC Site 17). Foram utilizados os sete sítios de amostragem pré-estabelecidos (Figura 2). Estes sites estão distribuídos ao longo da Serra do Cipó em sete cotas altitudinais distintas entre as altitudes de 800 e 1400 m, espaçados a cada 100 m de elevação e distantes geograficamente em pelo menos três quilômetros. Em cada altitude, três transectos lineares de 200 m no sentido norte-sul foram demarcados, distantes entre si por 200 m, totalizando 21 transectos. Ao longo de cada transecto cinco pontos amostrais foram distribuídos distantes 50m. Os pontos representam réplicas amostrais independentes, uma vez que, o espaçamento de 50 m entre as amostras é considerado suficiente para evitar interferência relacionada ao alcance de forrageamento de formigas pertencentes a uma mesma colônia (Leponce *et al.*, 2004).

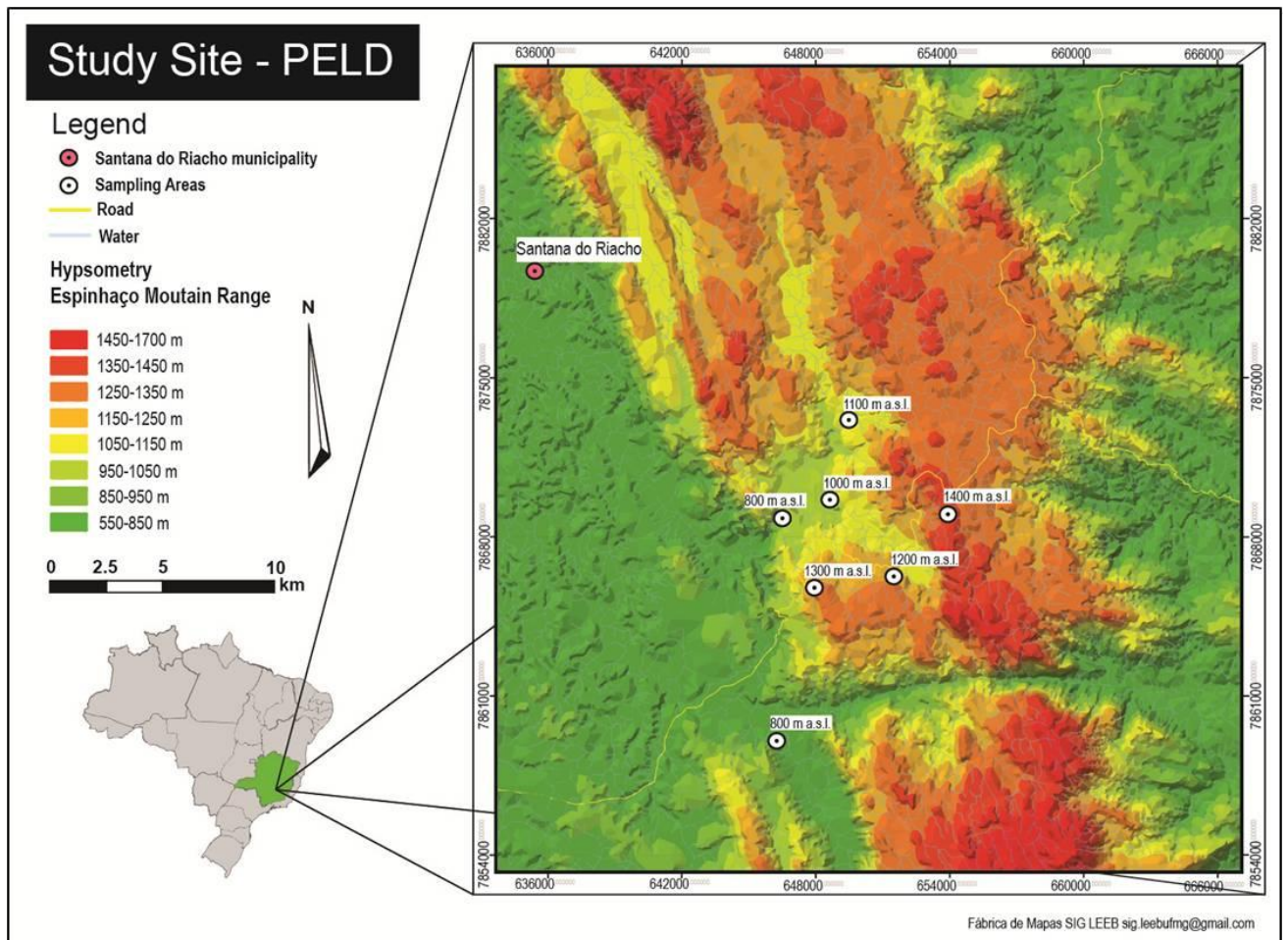


Figura 2: Mapa representando os sete sítios de amostragem do projeto Ecológico de longa duração (PELD), sítio 17, nos Campos Rupestres da Serra do Cipó (CRSC), MG.

### 2.3. Amostragem de formigas

A amostragem das formigas foi realizada utilizando armadilhas do tipo *pitfall* epigéicos não atrativo, preenchido com água e detergente (aproximadamente 250 ml). Os *pitfalls* utilizados foram recipientes plásticos com 14 cm de diâmetro e 9 cm de profundidade, instalados ao nível do solo e uma cobertura de proteção contra chuva (Bestelmeyer *et al.*, 2000). As formigas foram amostradas trimestralmente ao longo de dois anos (Jan/2012 à Jan/2014) no início e final das estações chuvosa e seca, totalizando nove coletas, o que gerou 135 amostras por altitude. Em cada coleta, foi instalado um *pitfall* por ponto de cada transecto, os quais permaneceram em campo por 48 horas, totalizando cinco armadilhas por transecto e 15 por altitude. O material coletado foi encaminhado ao laboratório de Ecologia de Insetos (LEI) da UFMG, onde foi realizada a triagem, montagem e identificação dos espécimes coletados em espécies e morfoespécies. A identificação das formigas foi realizada segundo Bolton (1994) e



Baccaro *et al.*, (2015). Algumas confirmações e identificações em espécie e/ou morfoespécies, foram realizadas no Laboratório de Mirmecologia do CEPEC/CEPLAC, Ilhéus, BA (Biólogo Msc. Wesley Duarte da Rocha e Prof. Dr. Jacques H.C. Delabie). Exemplares dos gêneros *Hylomyrma*, *Strumigenys* e *Octostruma*, foram enviados ao Laboratório de Hymenoptera do Museu de Zoologia da USP - MZUSP (Prof. Dr. Carlos Roberto Brandão), para identificação das espécies. O doutorando Thiago Sanches Ranzani da Silva, confirmou as identificações das *Strumigenys* e *Octostruma* e doutoranda Mônica Antunes Ulysséa, confirmou as *Hylomyrma*. Os espécimes testemunhos estão depositados em três coleções entomológicas do Brasil. Parte da coleção encontra-se no Laboratório de Hymenoptera, no Museu de Zoologia da USP – MZUSP, São Paulo, SP, outra parte está depositada no Laboratório de Mirmecologia do CEPEC/CEPLAC, Ilhéus, BA. O restante do material se encontra na coleção entomológica do Laboratório de Ecologia de Insetos da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

#### **2.4. Variáveis climáticas**

Torres de monitoramento meteorológico (equipadas com o registrador de dados Onset HOBO® U30) registraram a variação dos seguintes parâmetros climáticos: temperatura do ar (°C), umidade do ar (%) e precipitação (mm), em cada uma das sete cotas altitudinais. Nas análises utilizamos valores de média mensal para temperatura e umidade, e acúmulo mensal para precipitação. Nossa área de estudo, está inserida numa região naturalmente inflamável (Conceição *et al.*, 2013), e durante o período de coleta (jan/2012 à jan/2014), alguns eventos de fogo chegaram a atingir as torres meteorológicas, impossibilitando assim a coleta de dados climáticos de algumas altitudes nestes períodos (Jan/2012: 800 e 1400m, Abr/2012: todas as altitudes, Out/2012: 800 à 1300m, Jan/2013: 800m).

#### **2.5. Análise de dados**

##### **2.5.1. Particionamento da Diversidade**

Para avaliar a variação temporal da diversidade da comunidade de formigas em distintas escalas espaciais, a diversidade de formigas em cada altitude e em cada período amostral, foi particionada de forma multiplicativa Whittaker (1972). Na escala local, definimos como diversidade alfa ( $\alpha$ ) a riqueza média de espécies de formigas por

armadilha em cada altitude, em cada período amostral. Na escala regional, a diversidade gama ( $\gamma$ ) foi considerada como a riqueza acumulada de espécies de formigas em cada altitude, em cada período amostral. A diversidade  $\beta$  em cada altitude em cada período amostral foi calculada através da fórmula :  $\beta = \gamma / \alpha$  Whittaker (1972). Nessa abordagem, os valores da diversidade  $\beta$  são independentes matematicamente dos outros componentes da diversidade (Chao *et al.*, 2012), sendo uma medida eficaz do número de conjuntos distintos em uma amostra ou uma região, fornecendo assim uma informação sobre a heterogeneidade da comunidade de formigas em cada altitude (Jost 2007).

### 2.5.2. Análises Estatísticas

Primeiramente foram realizadas análises de correlação entre as variáveis climáticas (temperatura, umidade e precipitação). Variáveis que apresentaram forte correlação com outras variáveis ( $R > 0.40$  e  $p > 0,05$ ) foram descartadas dos modelos (Clarke & Warkick 2001). Para verificar quais mecanismos determinam a variação temporal dos componentes da diversidade de formigas ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) construímos modelos lineares generalizados mistos (GLMM) (Bolker *et al.*, 2009). Assim assumimos pseudoreplicação temporal, onde no efeito fixo utilizamos as variáveis explicativas que são os fatores climáticos (temperatura, umidade e precipitação), a altitude e as interações entre as variáveis climáticas e a altitude. Nesses modelos as variáveis respostas utilizadas são os componentes da diversidade ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ). As variáveis utilizadas foram aninhadas dentro dos efeitos aleatórios de cada cota altitudinal, que se repetem a cada coleta. Para verificar se os mecanismos determinantes da variação temporal da comunidade de formigas atuam de forma distinta nas diferentes escalas espaciais ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ), e se este efeito varia com a altitude, foi construído um modelo misto para cada componente da diversidade. Ajustamos os modelos mínimos adequados para cada componente ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) através da simplificação dos modelos completos, usando ANOVA, onde os modelos mais complexos são simplificados com a retirada de variáveis não significativas e contrastados com os mais simples. Os modelos mínimos adequados são selecionados quando não apresentam diferenças no poder de explicação com os modelos mais complexos ( $p > 0,05$ ), se existe diferenças significativas no poder de explicação o modelo mais complexo é mantido (Crawley 2012). Todos os modelos foram submetidos a análises residuais, para adequação da distribuição de erro.

O software R (R Core Team 2015) foi utilizado para realizar todas as análises. O particionamento da diversidade foi realizado utilizando o pacote *vegan* v.2.3-0 (Oksanen *et al.*, 2013) e os GLMMs utilizando os pacotes *nlme* v.3.1-12 (Pinheiro *et al.*, 2015), e *lme4* v.1.1-7 (Bates *et al.*, 2014).

### 3.Resultados

Um total de 166 espécies de formigas foi amostrado (Tabela 1), pertencentes a 50 gêneros e oito subfamílias. A subfamília Myrmicinae apresentou a maior riqueza de espécies, representando 55% das espécies amostradas, seguida por Formicinae (15.5%), Dolichoderinae (8%), Dorylinae (7%), Ponerinae (7%), Ectatomminae (5%), Pseudomyrmex (2%) e Amblyponinae (0,5%). Os gêneros mais ricos em espécies foram *Pheidole* e *Camponotus*, com 24 e 20 espécies respectivamente.

Durante as amostragens na estação chuvosa (janeiro e abril) amostramos um total de 148 espécies, pertencentes a 46 gêneros, já na estação seca (julho e outubro) amostramos 138 espécies de formigas de 42 gêneros. Em ambas estações, os gêneros com maior número de espécies se mantêm, *Pheidole* (23 espécies em cada uma das estações) e *Camponotus* (com 17 espécies na estação chuvosa e 18 na seca). Os três gêneros mais frequentes em todas as altitudes e nas duas estações (seca e chuvosa) foram, *Pheidole*, *Camponotus* e *Linepithema*. Oito gêneros foram coletados exclusivamente durante estação chuvosa (*Anochetus*, *Dolichoderus*, *Eurhopalotrix*, *Megalomyrmex*, *Neoponera*, *Nomamyrmex*, *Prionopelta* e *Strumigenys*). Sendo que *Dolichoderus*, *Eurhopalotrix* e *Megalomyrmex* foram registrados apenas em uma das nove coletas. *Neoponera*, *Nomamyrmex* e *Prionopelta* apenas em duas coletas, diferentemente dos gêneros *Strumigenys* e *Anochetus*, registradas em cinco das nove coletas. Na estação seca apenas quatro gêneros foram exclusivos (*Acanthostichus*, *Mycetarotes*, *Nesomyrmex* e *Nylanderia*), destes quatro gêneros, três foram amostrados apenas em uma coleta (*Acanthostichus*, *Mycetarotes* e *Nesomyrmex*), e apenas *Nylanderia* foi registrado em duas coletas.

Durante a estação chuvosa, também foram registrados os valores mais elevados dos fatores climáticos em todas as altitudes, são eles: Temperatura Média Mensal (TMM) ( $19.3^{\circ} \pm 2.5$  DP), Umidade Média Mensal (UMM) ( $79\% \pm 6.7$  DP) e Precipitação Acumulada Mensal (PAM) ( $94.5\text{mm} \pm 92.5$  DP)(Figura 3). Apesar da variação sazonal registrada para as variáveis climáticas, podemos notar que o padrão espacial se manteve ao longo do tempo, ou seja, a temperatura foi maior em altitudes mais baixas e menor em altitudes mais elevadas, já a umidade foi maior em altitudes superiores e menor nas altitudes inferiores. A visualização deste padrão fica mais evidente quando observamos as altitudes mais extremas 800 e 1400 metros. A

precipitação não demonstrou uma variação muito clara entre as altitudes. Após a análise de correlação das variáveis climáticas, verificamos uma forte correlação da precipitação tanto com a temperatura ( $R= 0,42$ ,  $p=0,003$ ), quanto com a umidade ( $R=0,56$ ,  $p<0,001$ ), desta maneira não utilizamos a precipitação em nossos modelos estatísticos.

Ocorreu uma variação temporal dos distintos componentes da diversidade ( $\alpha$ ,  $\beta$ , e  $\gamma$ ) (Figura 4). Estes valores representam a variação temporal em diferentes escalas da diversidade de formigas ao longo da Serra do Cipó. A variação temporal da diversidade  $\alpha$  ( $5.85 \pm 2.88$  DP) e  $\gamma$  ( $35.01 \pm 14.6$  DP) se mantêm ao longo das altitudes, entretanto a variação temporal da  $\beta$  diversidade ( $6.09 \pm 0.99$  DP) é mais complexa com uma amplitude de variação menor (Figura 4).

Verificamos um efeito positivo da temperatura média mensal sobre a diversidade de comunidades de formigas ao longo do tempo na escala local ( $\alpha$ ) (GLMM:  $F_{(1,38)} = 10.37$ ,  $p = 0.002$ ) (Figura 5) e esse efeito não diferiu entre as altitudes ( $p=0.33$ ). Na escala regional ( $\gamma$ ), verificamos um efeito positivo da umidade (GLMM:  $F_{(1,40)} = 5.36$ ,  $p < 0.001$ ) (Figura 6), e esse efeito não diferiu entre as altitudes ( $p=0.44$ ). Nenhum dos parâmetros analisados determinam a  $\beta$  diversidade ( $p=0.11$ ) (Tabela 2).

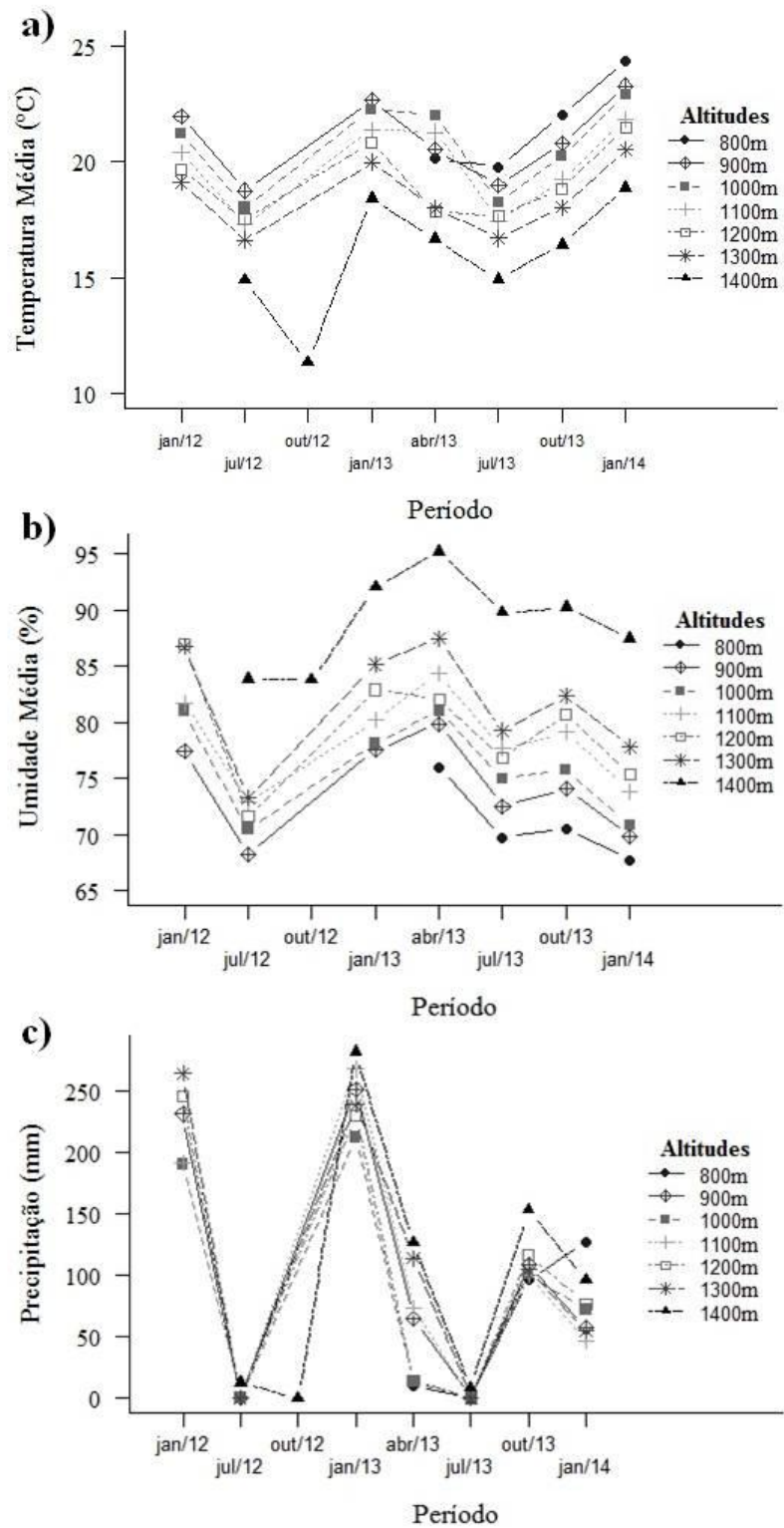


Figura 3: Variação temporal dos fatores climáticos testados, (a) Temperatura Média Mensal ( $19.3^{\circ} \pm 2.5$  DP), Umidade Média Mensal ( $79\% \pm 6.7$  DP) e Precipitação Acumulada Mensal ( $94.5\text{mm} \pm 92.5$  DP) em diferentes altitudes ao longo de um gradiente altitudinal Tropical na Serra do Cipó, MG.

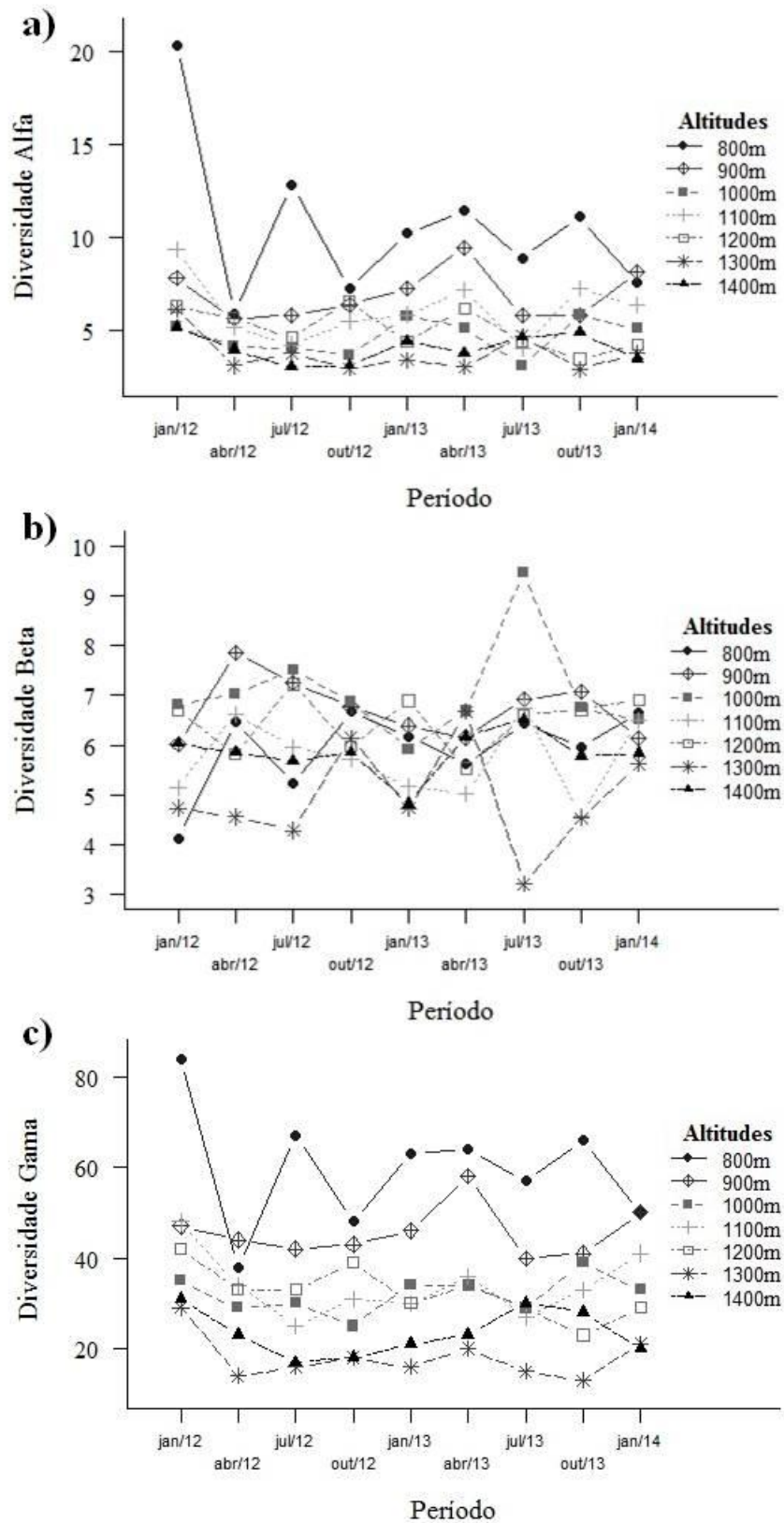


Figura 4: Variação ao longo do tempo dos componentes da diversidade de formigas, alfa ( $5.85 \pm 2.88$  DP) (a), beta ( $6.09 \pm 0.99$  DP) (b) e gama ( $35.01 \pm 14.6$  DP) (c), em diferentes altitudes ao longo de um gradiente altitudinal Tropical na Serra do Cipó, MG.

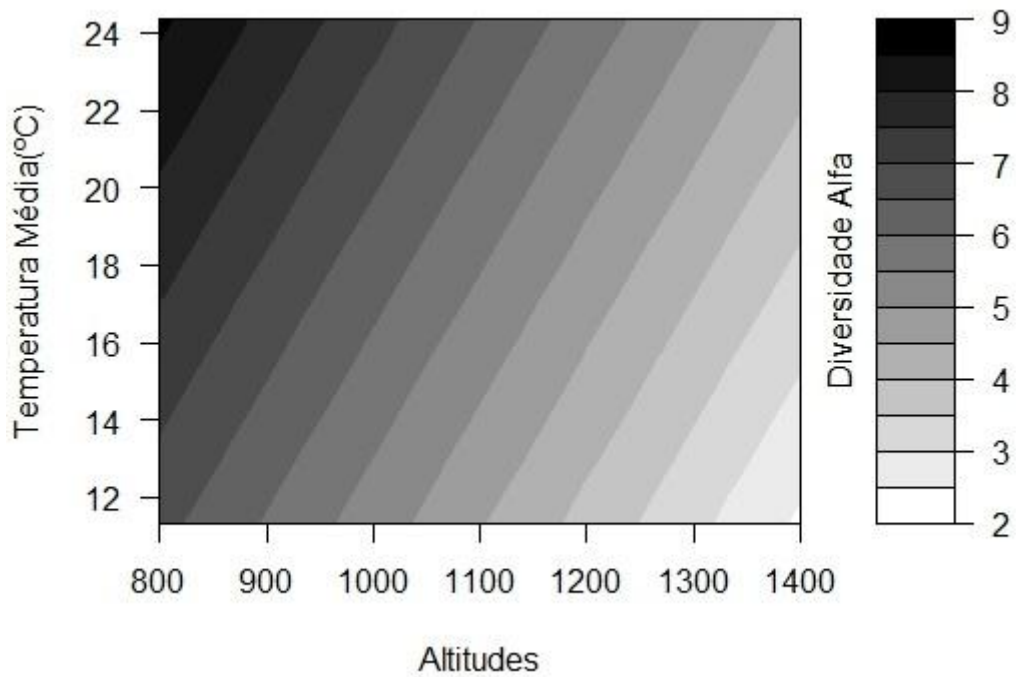


Figura 5: Efeito da altitude e da temperatura média mensal sobre a diversidade local ( $\alpha$ ) de formigas ao longo do tempo na Serra do Cipó, MG ( $p= 0,002$ ).

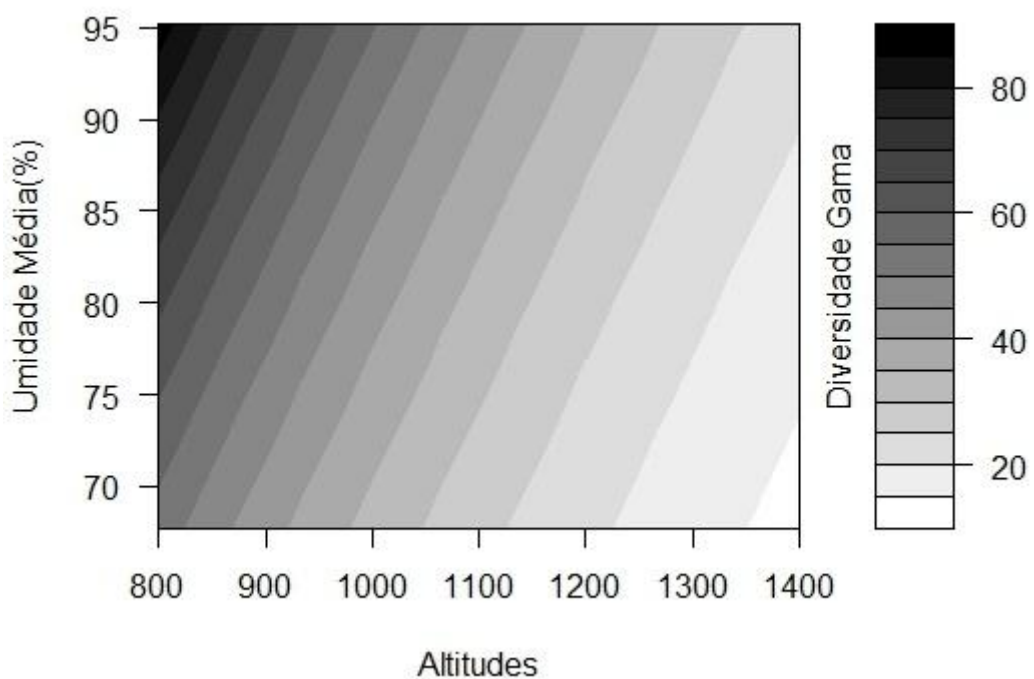


Figura 6: Efeito da altitude e da umidade mensal média sobre a diversidade regional ( $\gamma$ ) de formigas ao longo do tempo na Serra do Cipó, MG ( $p = 0,002$ ).



Tabela 2: Parâmetros estatísticos gerados através dos GLMMs, para o modelo completo e mínimo adequado de cada um dos componentes da diversidade ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ). Valores em negrito representam os resultados estatisticamente significativos ( $p < 0.05$ ). A significância foi estimada com uma ANOVA entre o modelo completo e o modelo nulo.

<b>Variável Resposta</b>	<b>Variável Explicativa</b>	<b>Modelo</b>	<b>AIC</b>	<b>Valor - p</b>
<b>Alfa</b>	Temperatura+Umidade+Temp:Altitude +Umi:Altitude+Altitude	Completo	166.81	<b>4e-04</b>
	~1	Nulo	179.53	
	Temperatura+Altitude ~1	Mínimo Nulo	171.02 179.53	<b>0.001</b>
<b>Beta</b>	Temperatura+Umidade+Temp:Altitude +Umi:Altitude+Altitude	Completo	127.66	0.11
	~1	Nulo	126.46	
<b>Gama</b>	Temperatura+Umidade+Temp:Altitude +Umi:Altitude+Altitude	Completo	307.95	<b>0.001</b>
	~1	Nulo	317.38	
	Umidade+Altitude ~1	Mínimo Nulo	302.4 317.38	<b>7.54e-05</b>

## 4. Discussão

Nós verificamos que a variação temporal dos distintos componententes da diversidade de formigas é determinada por diferentes mecanismos. A temperatura se mostrou como o principal mecanismo que determina positivamente a diversidade local ( $\alpha$ : GLMM:  $F_{(1,38)} = 10.37$ ,  $p = 0.002$ ) e esse efeito não diferiu entre as altitudes ( $p=0.33$ ). A umidade se mostra como o principal mecanismo da diversidade regional ( $\gamma$ : GLMM:  $F_{(1,40)} = 5.36$ ,  $p < 0.001$ ) e nenhum dos mecanismos testados determina a variação temporal da  $\beta$  diversidade ( $p=0.11$ ).

Diversos estudos demonstraram a importância da temperatura como mecanismos determinante da riqueza de formigas (Dunn *et al.*, 2009, Kaspari *et al.*, 2000, 2004, Majer *et al.*, 2001, Sanders *et al.*, 2007), porém a maioria dos trabalhos corroboram essa hipótese numa escala global (Dunn *et al.*, 2009, Gibb *et al.*, 2015, Sanders *et al.*, 2007). Na escala local a riqueza de formigas está associada geralmente a recursos como a disponibilidade de ninhos (Armbrecht *et al.*, 2004) ou riqueza de plantas (Ribas *et al.*, 2003, Lana 2015). Entretanto, nichos térmicos também são sugeridos como importantes preditores de coexistência de espécies de formigas (Retana & Cerdá 2000, Lessard *et al.*, 2009, Wittman *et al.*, 2010). Alguns autores já sugerem que algumas formigas forrageiam apenas em uma estreita faixa dentro de sua amplitude térmica (Cerdá *et al.*, 1997, 1998). Sendo assim, quanto maior o número de dias possíveis para forragear em locais mais quentes, maior a chance das formigas acessarem uma maior quantidade de recursos disponíveis e conseqüentemente mais energia estará disponível (Sanders *et al.*, 2007).

Dunn e colaboradores 2009, analisando como os efeitos do clima influenciam no padrão de riqueza local de formigas em diferentes tipos de habitats ao longo de seis continentes, sugerem que o clima atual mundial juntamente com as mudanças no clima desde o Eoceno, determinam grande parte da assimetria hemisférica encontrada na riqueza local de formigas. A relação temporal positiva da temperatura média mensal com a diversidade local ( $\alpha$ ) encontrada em nosso estudo, provavelmente está relacionada com a tolerância térmica das formigas para forragear. Levando em consideração que utilizamos uma metodologia passiva, a maior atividade das formigas ocasionada pelo aumento da temperatura, fazendo com que elas fiquem mais ativas nas épocas mais quentes do ano, também gera um aumento na probabilidade delas serem

capturadas nas armadilhas, conseqüentemente aumentando a riqueza local. No entanto, esperávamos que essa relação temporal positiva encontrada fosse variar com a altitude, acompanhando o padrão espacial já descrito para formigas da região por Lana (2015), onde a diversidade alfa diminuiu com a altitude, sendo maior em temperaturas mais altas. Este fato pode ser explicado pela variação sazonal climática, onde os valores da temperatura sobem durante o verão de forma simultânea em todas as altitudes. Desta maneira, podemos dizer que a variação sazonal da temperatura determina de forma igual a variação temporal da comunidade de formigas na escala local em todo o gradiente estudado.

Na escala regional ( $\gamma$ ) verificamos uma variação temporal da diversidade de formigas, determinada positivamente pela a umidade média mensal mas sem efeito da altitude nesta variação. Normalmente, as formigas forrageiam evitando e/ou regulando o risco de dessecação (Arnan & Bluthgen 2015, Kaspari & Weiser 2000, Kay & Whitford 1975), portanto este fato, pode estar relacionado com a possibilidade da umidade regular características fisiológicas, como o risco de dessecação (Arnan & Bluthgen 2015, Kaspari & Weiser 2000, Kay & Whitford 1975). Por exemplo Kaspari & Weiser 2000, encontram um aumento de 200% na atividade de formigas através de um gradiente de umidade, e de 25% da estação seca para chuvosa. Outra possível explicação para a variação temporal da diversidade regional de formigas, está relacionada com a disposição em mosaicos da vegetação dos Campos Rupestres, gerando uma grande diversidade de micro-habitats altamente heterogêneo, sendo caracterizado pelo gradiente de vegetação e do solo, composição florística, afloramentos quartizíticos, proporção de rocha exposta e sedimento arenoso (De Carvalho *et al.*, 2012, Negreiros *et al.*, 2014). Ou seja, nas épocas mais úmidas do ano (estação chuvosa), onde a umidade média mensal alcança seus maiores valores em todo o gradiente estudado, diversos micro-habitats que apresentavam uma umidade baixa durante a estação seca se tornam mais úmidos, aumentando assim a disponibilidade de locais para forrageamento das formigas, conseqüentemente aumentando a diversidade regional (gama) de formigas no nosso estudo. Desta forma, podemos dizer que a variação sazonal da umidade determina de forma igual a variação temporal da comunidade de formigas na escala regional em todo o gradiente estudado.

Diferente do que esperávamos, a variação temporal da  $\beta$  diversidade não foi determinada pela variação das condições abióticas (temperatura, umidade ou

precipitação) ao longo das altitudes estudadas. Ou seja, a  $\beta$  diversidade apresenta uma variação temporal semelhante em todo o gradiente, porém esta variação não é determinada pela sazonalidade climática. Na mesma área de estudo, Lana (2015) demonstrou que a diversidade  $\beta$ , espacialmente, é determinada pela riqueza de plantas e diminui com o aumento da elevação, sendo predita 99% por *turnover* de espécies. Desta forma, também era esperado diferentes efeitos na variação temporal entre as altitudes, acompanhando o padrão espacial da diminuição da heterogeneidade das comunidades de formigas com o aumento da elevação. Nosso resultado sugere que outros fatores podem estar regulando essa variação temporal da  $\beta$  diversidade. Por exemplo, Warren e Chick (2013) em um trabalho envolvendo a distribuição pelo clima de várias espécies de formigas do gênero *Aphaenogaster*, verificaram que as espécies diferem em fenologia (e, portanto, papéis ecológicos) pelo clima. No entanto, pouco se sabe como as formigas deste gênero interagem e como suas interações podem mudar com o clima, ou ao longo do tempo (Warren & Chick 2013). Em nosso estudo, informações a respeito de como as formigas interagem, suas abundâncias relativas e se estas interações variam ao longo do tempo, não foram testados. Desta maneira, sugerimos que para responder de forma mais clara a variação temporal da  $\beta$  diversidade de formigas, é necessário uma continuidade do monitoramento da diversidade de formigas da Serra do Cipó, incluindo dados de abundância relativa, diversidade funcional e experimentos observacionais das espécies de formigas, já que as variáveis climáticas sozinhas não respondem a variação temporal encontrada para a  $\beta$  diversidade.

Dos 50 gêneros de formigas amostrados, os três mais frequentes em todas as altitudes nas duas estações (seca e chuvosa) foram, *Pheidole*, *Camponotus* e *Linepithema*. *Pheidole* e *Camponotus* são considerados gêneros megadiversos, ambos com mais de mil espécies descritas, estas formigas podem nidificar em uma ampla gama de habitats, como no solo, em troncos, em árvores, sob pedras e entre folhas de serapilheira, ambas são onívoras e forrageiam tanto de dia quanto de noite, sendo as *Pheidole* conhecidas também por serem muito oportunistas (Baccaro *et al.*, 2015, Brandão *et al.*, 2012). O gênero *Linepithema* geralmente é dominante e de grande importância ecológica. Elas são espécies generalistas, que se alimentam de soluções açucaradas de nectários extraflorais e *honeydew* fornecido por hemípteros, mas as vezes podem ser predadoras oportunistas. Forrageiam durante o dia e a noite, tanto no solo quanto na vegetação. Algumas espécies deste gênero são consideradas espécies

invasoras, como é o caso da *Linepithema humile* (Mayr), popularmente conhecida como “formiga argentina”, uma espécie invasora em diversos países ao redor do mundo (Baccaro *et al.*, 2015). Estas informações explicam o fato destes três gêneros juntos representarem 49% de todas as formigas amostradas no estudo.

A fauna de formigas da Serra do Cipó conta com um registro de uma nova espécie que está sendo descrita pela taxonomista Mônica Antunes Ulysséa no projeto intitulado “Revisão taxonômica e análise filogenética do gênero *Hylomyrma* Forel, 1912 (Formicidae: Myrmicinae: Myrmicini), com base em dados morfológicos e moleculares”, desenvolvido como doutorado no Programa de Pós-graduação do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo. A morfoespécie representante do gênero *Hylomyrma*, possui até então distribuição restrita à Serra do Cipó, nas altitudes de 1400m, 1300m e 1100m, contemplando a mesma região descrita recentemente como um microrefúgio de endemismo de fauna e flora (Barbosa *et al.*, 2015). Segundo Mônica Ulysséa, esta espécie provavelmente faz ninhos no solo, mas ainda possui a biologia desconhecida. Normalmente, as formigas deste gênero são predadoras epigéicas generalistas, e os ninhos são encontrados na serapilheira, troncos caídos e nas camadas superficiais do solo, coletadas geralmente em florestas úmidas e ripárias, mesmo com algum grau de perturbação (Baccaro *et al.*, 2015). No entanto, apesar de endêmica esta espécie não foi exclusiva de clima em nosso estudo.

Em contrapartida, dos oito gêneros exclusivos para a estação chuvosa, *Dolichoderus*, *Eurhopalotrix* e *Megalomyrmex* foram amostrados somente uma vez. *Dolichoderus* é um gênero predominantemente arborícola, sendo bastante ativa durante o dia podendo forragear tanto no solo quanto na vegetação, são consideradas generalistas e dominantes (Baccaro *et al.*, 2015, Brandão *et al.*, 2012, Mackay 1993). Em nosso trabalho este gênero foi registrado apenas na altitude de 800m, região caracterizada pela vegetação de Cerrado.. *Eurhopalotrix* também apareceu somente na altitude de 800m, considerada uma formiga de serapilheira e solo, predadoras criptobióticas (coloração críptica e movimentos lentos), predam pequenos artrópodes de corpo mole, como colêmbolos (Baccaro *et al.*, 2015, Brown & Kempf 1960, Longino 2013). *Megalomyrmex* foi encontrada apenas na altitude de 1200m, região já caracterizada pelos Campos Rupestres, estas formigas podem nidificar no solo, troncos vivos ou em decomposição, sob pedras e na serapilheira. São onívoras, com tendência a

predar pequenos artrópodes de corpo macio, forrageando tanto durante o dia quanto a noite (Baccaro *et al.*, 2015, Brandão 1990).

Já os gêneros *Neoponera*, *Nomamyrmex* e *Prionopelta*, também exclusivos da estação chuvosa, foram resgistrados em duas coletas. *Neoponera* é conhecido por ter um comportamento diverso, algumas são predadoras especialistas (geralmente cupins) e as demais predadoras generalistas, podendo explorar carcaças, néctar e frutos (Baccaro *et al.*, 2015, Brandão *et al.*, 2012, Schmidt & Shattuck 2014), ocorreu nas altitudes de 900 e 1100m, região de transição entre Cerrado e Campo Rupestre. *Nomamyrmex* foi encontrada nos Campos Rupestres das altitudes de 1000m e 1100m, possuem hábito nômade, são caracterizadas pelos seus ninhos enormes e grande forrageamento em massa, são predadoras vorazes, principalmente de outros insetos sociais como cupins e até mesmo outras espécies de formigas, possuem hábito subterrâneo, mas algumas operárias são vistas forrageando no solo, principalmente durante o período noturno (Baccaro *et al.*, 2015, Kaspari & O'Donnell 2003). O gênero *Prionopelta*, pertence a subfamília Amblyoponinae, são comumente encontradas em locais mais úmidos, sendo que, em locais mais secos nidificam no fundo do solo, portanto são mais facilmente encontradas durante a estação chuvosa. Essas formigas nidificam no solo, em troncos podres e na serapilheira, possuem hábito criptobiótico, alimentam-se de dipluros, centopéias e outros pequenos artrópodes (Baccaro *et al.*, 2015, Hölldobler *et al.*, 1992), foram encontradas nas altitudes de 1200m e 1300m, área de Campos Rupestres.

O gênero *Strumigenys* foi representado em cinco das nove coletas realizadas, sendo encontrado em quatro das sete altitudes estudadas (800m, 1000m, 1200m e 1400m), geralmente são predadoras especialistas de mandíbulas longas, podendo predar pequenos artrópodes como ácaros e colêmbolos, essas formigas nidificam normalmente em serapilheira, seus ninhos são pequenos e móveis (Baccaro *et al.*, 2015). Já o gênero *Anochetus*, que também foi amostrado em cinco coletas e ocorre em cinco das sete altitudes estudadas, é conhecido por serem predadores generalistas frequentemente encontrado na serapilheira, podem predar pequenos artrópodes, como ninfas de grilos e cupins. Essas formigas nidificam em galhos podres, sob a casca de árvores ou no solo (Baccaro *et al.*, 2015, Brandão *et al.*, 2012, Brown 1978). Em resumo, dos oito gêneros exclusivos da estação úmida, sete são conhecidos por serem de espécies predadoras, destes sete, cinco são predadores generalistas e dois especialistas, sendo um gênero considerado generalista de dieta principalmente líquida. Normalmente é encontrada uma

maior densidade de artrópodes em estações úmidas (Basset *et al.*, 2015, Bigger 1976), e este fato atrai predadores, fazendo com que estas espécies tenham mais oportunidades de forragear nestas épocas.

Já para a estação seca apenas quatro gêneros foram exclusivos, sendo que três ocorreram em apenas uma das nove coletas realizadas. São eles: *Acanthostichus*, encontrada na altitude de 1300m, possui uma biologia pouco conhecida, mas sabe-se que possuem hábito subterrâneo, e raramente forrageiam sobre o solo, consideradas raras de se coletar e provavelmente se alimentam de cupins (Baccaro *et al.*, 2015, Mackway 1996). *Mycetarotes*, nidificam no solo e são formigas envolvidas em um mutualismo obrigatório com fungos. Este fungo é cultivado no interior das colônias para a alimentação das formigas, e tem como substrato uma variedade de material orgânico (Baccaro *et al.*, 2015, Solomon *et al.*, 2004). O gênero *Nesomyrmex*, ocorreu na área de transição Cerrado/Campos Rupestres em 900m de altitude, é um gênero típico de áreas úmidas e de difícil forrageamento no solo, se alimentando principalmente de soluções açucaradas secretadas por membracídeos (Baccaro *et al.*, 2015, Kempf 1959). Já o gênero *Nylanderia*, foi representado em duas das nove coletas, nas altitudes de 900m e 1000m. São formigas habitantes do solo, tanto em florestas úmidas quanto secas, matas de várzea e até manguezais. Forrageiam durante o dia e a noite, no solo e em vegetações baixas, são consideradas generalistas, visitantes frequentes de nectários (Baccaro *et al.*, 2015, Lapolla *et al.*, 2011). Os quatro gêneros exclusivos da época seca, foram representados apenas por uma única morfoespécie, evento conhecido como *singletons*, nos indica que estas espécies são raras na coleta. Esta fato, pode estar associado a metodologia de coleta, por exemplo *Acanthostichus* um gênero com hábito hipogéico que dificilmente é capturado em armadilhas epigéicas, ou até mesmo *Nesomyrmex*, que forrageia na maioria das vezes sobre a vegetação e devido à isso sugerimos que estas espécies não são especialista de clima seco e sim eventos raros de amostragem.

Os padrões temporais apresentados neste estudo são baseados em variáveis ambientais consideradas fortes preditores da diversidade formigas (Dunn *et al.*, 2009, Kay & Whitford 1975), sendo assim, nossos resultados contribuem para o entendimento de como distintos componentes da diversidade de formigas estão distribuídas ao longo do tempo em um gradiente altitudinal tropical. Embora nossos resultados revelem que o aumento da temperatura determina um aumento na riqueza local de espécies de formigas, o que teoricamente aumentaria a diversidade, quando associamos o aumento

da temperatura juntamente com uma queda da umidade relativa pode ocorrer uma diminuição da diversidade de formigas, uma vez que a diversidade gama foi determinado positivamente pela umidade. Desta maneira, nossos dados mostram que a variação climática tem forte relação com as mudanças ao longo do tempo na estrutura da comunidade formigas e corroboram a hipótese de alterações em diferentes níveis da estrutura ecológica em ecossistemas montanos, como previsto pelos modelos de aquecimento global. Sendo que, mudanças nos padrões temporais da diversidade de formigas, onde espécies oportunistas podem ser favorecidas enquanto outras prejudicadas são capazes de acarretar diversas alterações nos ecossistemas, em função da desconstrução da estrutura original da comunidade.



## 5.Referências Bibliográficas

Andersen A.N. 2003. Ant biodiversity in arid Australia: productivity, species richness and community organisation. *Rec. S. Aust. Mus.Monogr. Ser. 7*:79–92.

Anjos, D.V. Campos, R.B.F. & Ribeiro, S.P. 2015. Temporal Turnover of Species Maintains Ant Diversity but Transforms Species Assemblage Recovering from Fire Disturbance. *Sociobiology*, 62(3): 389-395.

Araújo L.M. & Fernandes G.W. 2003. Altitudinal patterns in a tropical ant assemblage and variation in species richness between habitats. *Lundiana*, 4:103-109.

Armbrecht, I., Perfecto, I., & Vandermeer, J. 2004. Enigmatic biodiversity correlations: ant diversity responds to diverse resources. *Science*, 304(5668):284-286.

Arnan, X, & Blüthgen, N. 2015. Using ecophysiological traits to predict climatic and activity niches: lethal temperature and water loss in Mediterranean ants. *Global Ecology and Biogeography*, 24(12):1454-1464.

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, Brasil. ISBN:978-85-211-0152-9.

Barbosa, N.P.U., Fernandes, G.W., Sánchez-Azofeifa, A. 2015. A relict species restricted to a quartzitic mountain in tropical America: an example of microrefugium? *Acta Bot Bras*, 29:299–309.

Baselga, A. 2007. Disentangling distance decay of similarity from richness gradients: response to Soinenen et al. 2007. *Ecography*, 30:838–841.

Baselga, A., & Leprieur, F. 2015. Comparing methods to separate components of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 6:1069–1079.

Basset, Y., Cizek, L., Cuénoud, P., Didham, R. K., Novotny, V., Ødegaard, F., Roslin, T., Tishechkin, A.K., Schmidl, J., Winchester, N.N., 11, David W. Roubik, D.W., Aberlenc, H., Bail, J., 13, Barrios, H., Bridle, J.R., Castaño-Meneses, G., Corbara, B., Curletti, G., da Rocha, W.D., De Bakker, D., Delabie, J.H.C., Dejean, A., Fagan, L.L., Floren, A., Kitching, R.L., Medianero, E., de Oliveira, E.G., Orivel, J., Pollet, M., Rapp,

- M., Ribeiro, S.P., Roisin, Y., Schmidt, J.B., Sørensen, L., Lewinsohn, T.M. & Leponce, M. 2015. Arthropod Distribution in a Tropical Rainforest: Tackling a Four Dimensional Puzzle. *PloS one*, 10:(12).
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S. 2014 lme4: linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.1–6. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.
- Beniston, M. 2003. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. In *Climate Variability and Change in High Elevation Regions: Past, Present & Future*. Springer Netherlands, 5-31.
- Beniston M, Diaz H.F., Bradley R.S. 1997. Climate change at high elevation sites: an overview. *Clim Chan*, 36:233-251.
- Bernstein, R.A. 1979. Schedules of foraging activity in species of ants. *The Journal of Animal Ecology*, 921-930.
- Bestelmeyer, B.T., Agosti, D., Alonso, L.E., Brandão, C.R.F., Brown, W.L., Delabie, J.H.C. & Silvestre, R. 2000. Field techniques for the study of ground-dwelling ant: an 26 overview, description, and evaluation. *Ants: standard methods for measuring and 27 monitoring biodiversity*. (ed. By D. Agosti, J.D. Majer, L. E. Alonso and T. R. Schultz), Smithsonian Institution Press, Washington, USA.,28 pp.:122-144.
- Bigger M 1976. Oscillations of tropical insect populations. *Nature*, 259:207–209.
- Bishop, T.R., Robertson, M.P., Rensburg, B.J., & Parr, C.L. 2014. Elevation–diversity patterns through space and time: ant communities of the Maloti-Drakensberg Mountains of southern Africa. *Journal of Biogeography*, 41(12):2256-2268.
- Bitencourt, C., Rapini, A., Damascena, L. S., & Junior, P. D. M. 2016. The worrying future of the endemic flora of a tropical mountain range under climate change. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 218:1-10.
- Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H. White, J.S. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends Ecol. Evol.*, 24:127–135.

Bolton, B. Identification guide to the ant genera of the world. Harvard University Press, London, 1994.

Brandão, C.R.F. 1990. Systematic revision of the Neotropical ant genus *Megalomyrmex* Forel (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae), with the description of thirteen new species. Arq. Zool. 31:411-481.

Brandão, C.R.F., Silva R.R., Delabie, J.C. 2012. Neotropical Ants (Hymenoptera) Functional Groups: Nutritional and Applied Implications. In: Panizzi, A.R., Panizzi, J. R. P.. (Org.). Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management. Boca Raton: CRS Press, 213-236.

Brown, W.L.Jr., 1978. Contributions toward a reclassification of the Formicidae. Part VI. Ponerinae, tribe Ponerini, subtribe Odontomachiti. Section B. Genus *Anochetus* and bibliography. Stud. Entomol., 20:549-638.

Brown, W.L.Jr. & W.W, Kempf. 1960. A world revision of the ant tribe Basicerotini. Stud. Entomol., 3:161-250.

Carneiro, M.A., Fernandes, G.W., & De Souza, O.F.F. 2005. Convergence in the variation of local and regional galling species richness. Neotropical Entomology, 34(4): 547-553.

De Carvalho, F., De Souza, F.A., Carrenho, R., Moreira, F.M.S., Jesus, E.C. & Fernandes, G.W. 2012. The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. Applied Soil Ecology, 52:9–19.

Cerdá, X., Retana, J. & Cros, S. 1997 Thermal disruption of transitive hierarchies in Mediterranean ant communities. Journal of Animal Ecology, 66:363–374.

Cerdá, X., Retana, J. & Cros, S. 1998. Critical thermal limits in Mediterranean ant species: trade-off between mortality risk and foraging performance. Functional Ecology, 12: 45– 55.

Chao, A., Chiu, C.H & Hsieh T.C, 2012. Proposing a resolution to debates on diversity partitioning. Ecology, 93(9):2037–2051.

Clarke, K. R. & Warwick, R.M. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation. PRIMER-E: Plymouth, 91 p.

- Conceição, A.A., Alencar, T.G., Souza, J.M., Daniel, A., Moura, C. & Silva, G.A. 2013. Massive post-fire flowering events in a tropical mountain region of Brazil: high episodic supply of floral resources. *Acta Bot. Bras.*, 27: 847–850. doi:http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062013000400025.
- Costa, F.V., Mello, R., Lana, C.T., Neves, F.S. 2015. Ant fauna in megadiverse mountains: a checklist for the rocky grasslands. *Sociobiol* 62:228-245.
- Coutinho, E.S., Fernandes, G.W., Berbara, R.L.L., Valério, H.M., & Goto, B.T. 2015. Variation of arbuscular mycorrhizal fungal communities along an altitudinal gradient in rupestrian grasslands in Brazil. *Mycorrhiza*, 1-12.
- Crawley, M.J. 2012. *The R Book*, 2nd edn. Wiley, London, UK.
- De Carvalho, F., de Souza, F.A., Carrenho, R., Moreira, F.M.D. S., Jesus, E.D.C. & Fernandes, G.W. 2012. The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Soil Ecol.*, 52: 9–19.
- Dunn R.R., Agosti, D., Andersen, A.N., Arnan, X., Bruhl, C.A., Cerda, X., Ellison, A.M., Fisher, B.L., Fitzpatrick, M.C., Gibb, H., Gotelli, N.J., Gove, A.D., Guenard, B., Janda, M., Kaspari, M., Laurent, E.J., Lessard, J.P., Longino, J.T., Majer, J.D., Menke, S.B., McGlynn, T.P., Parr, C.L., Philpott, S.M., Pfeiffer, M., Retana, J., Suarez, A.V., Vasconcelos, H.L., Weiser, M.D. & Sanders, N.J. 2009. Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness. *Ecological Letters*, 12:324–333.
- Fernandes, G.W., Price, P.W. 1988. Biogeographical gradients in galling species richness: tests of hypotheses. *Oecologia*, 76:161-167.
- Fernandes, G.W., Barbosa, N. P. U., Negreiros, D. & Paglia, A. P. 2014. Challenges for the conservation of vanishing megadiverse rupestrian grasslands. *Natureza da Conservação*, 12(2):162-165.
- Fernandes, G.W. 2016. *Ecology and conservation of mountain-top grasslands in Brazil*. Springer, Dordrecht (*in press*).
- Gibb, H., Sanders, N. J., Dunn, R. R., Watson, S., Photakis, M., Abril, S. & Baccaro, F. B. 2015. Climate mediates the effects of disturbance on ant assemblage

structure. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 282(1808), 20150418

Giulietti, A.M., Menezes, N.L., Pirani, M.M., Wanderley, M.G.L. 1987. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: caracterização e lista das espécies. Boletim de Botânica, 9:1-151.

Grytnes, J. & McCain C.M, 2007. Elevational trends in biodiversity. Encyclopedia of Biodiversity, 1–8.

Hölldobler, B., M. Obermayer & E.O. Wilson. 1992. Communication in the primitive cryptobiotic ant *Prionopelta amabilis* (Hymenoptera: Formicidae). J. Comp. Physiol. 171:9-16.

Hölldobler, B., Wilson, E.O. 1990. The Ants. Cambridge. Belknap Press of Harvard University Press. 732 p.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, 151 pp.

Jenkins, C.N., Sanders, N.J., Andersen, A.N., Arnan, X., Brühl, C.A., Cerda, X., Ellison, A.M., Fisher, B.L., Fitzpatrick, M.C., Gotelli, N.J., Gove, A.D., Lattke, J.E., Lessard, J.-P., McGlynn, T.P., Menke, S.B., Parr, C.L., Philpott, S.M., Weiser, M.D. & Dunn, R.R. 2011. Global diversity in light of climate change: the case of ants. Diversity and Distributions, 17: 652–662.

Jost, L. 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. Ecology, 88: 2427–2439.

Kamino, L., Oliveira-Filho, A. & Stehmann, J. 2008. Relações florísticas entre as fitofisionomias florestais da Cadeia do Espinhaço, Brasil. Megadiversidade, 4:39–49.

Kaspari, M. & Weiser, M.D. 2000. Ant activity along moisture gradients in a Neotropical forest. Biotropica, 32:703–711.

Kaspari, M. & O'Donnell, S. 2003. High rates of army ant raids in the Neotropics and implications for ant colony and community structure. Evol. Ecol. and Res. 5:933-939.

- Kaspari, M., Alonso, L. & O'Donnell, S. 2000. Three energy variables predict ant abundance at a geographical scale. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 267: 485–489.
- Kaspari, M., Ward, P.S. & Yuan, M. 2004. Energy gradients and the geographic distribution of local ant diversity. *Oecologia*, 140:407–413.
- Kay, C.A., & Whitford, W.G. 1975. Influences of temperature and humidity on oxygen consumption of five Chihuahuan desert ants. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 52(2):281-286.
- Kempf, W.W. 1959. A synopsis of the New World species belonging to the *Nesomyrmex*-group of the ant genus *Leptothorax* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Stud. Entomol.*, 2:391-432.
- Körner, C. 2007. The use of “altitude” in ecological research. *Trend Ecol Evol.*,22:569-574.
- Kraft, N.J.B., Comita, L.S., Chase, J.M., Sanders, N.J., Swenson, N.G., Crist, T.O., Stegen, J.C., Vellend, M., Boyle, B., Anderson, M.J., Cornell, H.V., Davies, K.F., Freestone, A.L., Inouye, B.D., Harrison, S.P., Myers, J.A. 2011. Disentangling the Drivers of  $\beta$  Diversity Along Latitudinal and Elevational Gradients. *Science*, 333(6050):1755-1758.
- Lana, T.C. 2015. Estrutura da comunidade de formigas em um gradiente altitudinal de campo rupestre na Serra do Cipó. PhD Tese: Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.
- Lande, R. 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos*, 76:5–13.
- LaPolla, J.S., Brady, S.G., & Shattuck, S.O. 2011. Monograph of *Nylanderia* (Hymenoptera: Formicidae) of the world: an introduction to the systematics and biology of the genus. *Zootaxa*, 3110:1-9.
- Leponce, M., Theunis, L., Delabie, J.H., & Roisin, Y. 2004. Scale dependence of diversity measures in a leaf-litter ant assemblage. *Ecography*, 27(2):253-267.

- Lessard, J. P., Dunn, R. R., & Sanders, N. J. 2009. Temperature-mediated coexistence in temperate forest ant communities. *Insectes Sociaux*, 56(2), 149-156.
- Le Stradic, S. 2012. Composition, phenology and restoration of campos rupestres mountain grasslands, Brazil. Ph.D. Thesis. Universidade Federal de Minas Gerais
- Longino, J.T. 2013. A review of the Central American and Caribbean species of the ant genus *Eurhopalothrix* Brown and Kempf, 1961 (Hymenoptera, Formicidae), with a key to New World species. *Zootaxa*, 3693:101–151.
- Lomolino, M.V. 2001. Elevational gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10:3-13.
- Madeira, J.A. & G.W. Fernandes. 1999. Reproductive phenology of sympatric taxa of *Chamaecrista* (Leguminosae) in Serra do Cipó, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 15:463–479.
- Majer, J.D., Kitching, R.L., Heterick, B.E., Hurley, K., & Brennan, K.E.C. 2001. North—South Patterns within Arboreal Ant Assemblages from Rain Forests in Eastern Australia. *Biotropica*, 33(4):643-661.
- MacKay, W.P. 1993. A review of the New World ants of the genus *Dolichoderus* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 22:1-148.
- MacKay, W.P. 1996. A revision of the ant genus *Acanthostichus*. *Sociobiology*, 27: 129-179.
- Munyai, T.C. Foord, S.H. 2012. Ants on a mountain: spatial, environmental and habitat associations along an altitudinal transect in a centre of endemism. *J Insect Conserv.*, 16:677–695
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A., & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772):853-858.
- Negreiros, D., Le Stradic, S., Fernandes, G.W., & Rennó, H.C. 2014. CSR analysis of plant functional types in highly diverse tropical grasslands of harsh environments. *Plant ecology*, 215(4):379-388.

- Okasanem, J., Blanchet, G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. & Wagner, H.. 2015. Vegan: Pacote Comunidade Ecológica. R pacote versão 2,3-0.
- Pech-Canche, J.M., Moreno, C.E., Halftter, G. 2011. Additive Partitioning of Phyllostomid Bat Richness at Fine and Coarse Spatial and Temporal Scales in Yucatan, Mexico. *Ecoscience.*, 18(1):42-51.
- Perfecto, I., Vandermeer, J. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia*, 108:577–82.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sakar, D. & R Core Team. 2015. *\_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-120.
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern?. *Ecography*, 18:200–205.
- Rahbek C, 2005. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology Letters*, 8:224-239.
- Rapini, A., Ribeiro, P., Lambert, S. & Pirani, J. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade*,4:16–24.
- Retana, J. & Cerdá, X. 2000. Patterns of diversity and composition of Mediterranean ground ant communities tracking spatial and temporal variability in the thermal environment. *Oecologia*, 123(3):436-444.
- Ribas, C.R., Schoereder, J.H., Pic, M., & Soares, S.M. 2003. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology*, 28(3):305-314
- Sanders, N.J., Lessard, J-P., Fitzpatrick, M.C., Dunn, R.R. 2007. Temperature, but not productivity or geometry, predicts elevational diversity gradients in ants across spatial grains. *Global Ecology and Biogeography*,16(5)640-649.
- Santos, M., Serafim, H., Sano, P. 2011. Fisionomia e composição da vegetação florestal na Serra do Cipó, MG, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 25(4):793–814.



Samways M.J. 1990. Species temporal variability: epigaeic ant assemblages and management for abundance and scarcity. *Oecologia*, 84:482–90.

Schmidt, C.A. & Shattuck, S.O. 2014. The Higher Classification of the Ant Subfamily Ponerinae (Hymenoptera: Formicidae), with a Review of Ponerine Ecology and Behavior. *Zootaxa*, 3817 (1):001–242.

Silveira, F.A., Negreiros, D., Barbosa, N.P., Buisson, E., Carmo, F.F., Carstensen, D.W., Conceição, A.A., Cornelissen, T.G., Echternacht, L., Fernandes, G.W., Garcia, Q.S., Guerra, T.J., Jacobi, C.M., Lemos-Filho, J.P., Le Stradic, S., Morellato, L.P.C., Neves, F.S., Oliveira, R.S., Schaefer, C.E., Viana, P.L., Lambers, H. 2016. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. *Plant and Soil*, 1-24.

Soininen, J., Lennon, J.J., Hillebrand, H. 2007. A multivariate analysis of beta diversity across organisms and environments. *Ecology*, 88, 2830.

Solomon, S. E., Mueller, U.G., Schultz, T.R., Currie, C.R., Price, S.L., da Silva-Pinhati, A.O., Bacci Jr. M. & Vasconcelos, H.L. 2004. Nesting biology of the fungus growing ants *Mycetarotes* Emery (Attini, Formicidae). *Insectes Sociaux*, 51(4):333-338.

Sundqvist, M.K., Sanders, N.J., & Wardle, D.A. 2013. Community and ecosystem responses to elevational gradients: processes, mechanisms, and insights for global change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44:261-280.

Vasconcelos, M.F. De, L.E. Lopes, C.G. Machado, & Rodrigues, M. 2008. As aves dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço : diversidade , endemismo e conservação. *Megadiversidade* 4:221–241.

Warren, R.J., & Chick, L. 2013. Upward ant distribution shift corresponds with minimum, not maximum, temperature tolerance. *Global change biology*, 19(7):2082-2088.

Whittaker, R.H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.* 30:280–338.

Whittaker, R.H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21:213–251.

Wittman, S.E., Sanders, N.J., Ellison, A.M., Jules, E.S., Ratchford, J.S., & Gotelli, N. J. 2010. Species interactions and thermal constraints on ant community structure. *Oikos*, 119(3):551-559.

## 6.Anexo

Tabela 1. Ocorrência das espécies de formigas em dois períodos sazonais (seco e chuvoso), ao longo de um gradiente altitudinal tropical, localizado na Serra do Cipó, MG. amostradas em dois anos de coletas trimestrais. \*\* Registro de espécie nova.

TAXON	ALTITUDES													
	800		900		1000		1100		1200		1300		1400	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>Formicidae</b>														
<b>Amblyoponinae</b>														
<i>Prionopelta</i> sp1										3		1		
<b>Dolichoderinae</b>														
<i>Dolichoderus diversus</i> Emery, 1894	1													
<i>Dorymyrmex brunneus</i> Forel, 1908		3	3	1	3	9	11	6		1				
<i>Dorymyrmex goeldii</i> Forel, 1904	8	9	10	4	8	2	15	13	19	11			8	8
<i>Dorymyrmex pyramicus</i> Roger, 1863	28	28	38	20	4	5	49	40	15	16	1			2
<i>Dorymyrmex</i> sp1		1	2			3	10							
<i>Forelius brasiliensis</i> Forel, 1908	7	3	1	1	5	3	1	2						
<i>Forelius maranhaoensis</i> Cuzzo, 2000	16	13	4		32	19	17	7						2
<i>Linepithema.aztecoides</i> Wild, 2007	6	4	6	4			2							
<i>Linepithema humile</i> Mayr, 1868	3	2	4	1		2	8	8	3	1	59	21	6	7
<i>Linepithema</i> sp1	6	5	4	9	2	2	12	12	6	2	143	60	85	50
<i>Linepithema</i> sp2	1	2	2	1	5	4	5	5	9	11	57	22	61	23
<i>Linepithema</i> sp3	15	18	8	6	6	5	8	16	23	7		2	1	2
<i>Linepithema</i> sp4	1	5	3	1	4	1	4	1		2				
<i>Tapinoma</i> sp1	5	4	3	4	3	5	9	11	4	3				1
<b>Dorylinae</b>														
<i>Acanthostichus</i> sp1														1

TAXON	ALTITUDES													
	800		900		1000		1100		1200		1300		1400	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>Formicidae</b>														
<i>Eciton</i> sp1				1										
<i>Eciton</i> sp2			5						1					
<i>Labidus coecus</i> Latreille, 1802							2			2				1
<i>Labidus</i> sp1	2				2	3			2	1				
<i>Neivamyrmex pseudops</i> Forel, 1909	4	1			3	1	2		2					
<i>Neivamyrmex</i> sp1											1			
<i>Neivamyrmex</i> sp2						4	2							
<i>Neivamyrmex</i> sp3	1													
<i>Neivamyrmex</i> sp4		1												
<i>Nomamyrmex esenbeckii</i> Westwood, 1842					3		4							
<b>Ectatomminae</b>														
<i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858	22	16	36	19				1						
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	17	9	10	6	13		23	10	4	1				
<i>Ectatomma opaciventre</i> Roger, 1861	7	7	9	3	1									
<i>Ectatomma permagnum</i> Forel, 1908	32	14	4	1			2				1			
<i>Ectatomma planidens</i> Borgmeier, 1939	20	4			6	5								1
<i>Ectatomma tuberculatum</i> Olivier, 1792	27	21	17	1										
<i>Gnamptogenys</i> sp1							2	2	2					
<i>Gnamptogenys striatula</i> Mayr, 1884							1							
<i>Gnamptogenys sulcata</i> Smith, 1858	2	1	4	3	3	1	7	1	2					
<b>Formicinae</b>														
<i>Brachymyrmex</i> sp1	23	32	29	18	18	15	17	13	24	21	3	3		3
<i>Brachymyrmex</i> sp2	5	8	17	15	4	1	2		15	9	11	6	3	4
<i>Camponotus</i> (Hypercolobopsis) sp1		1	1							1				

TAXON	ALTITUDES													
	800		900		1000		1100		1200		1300		1400	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>Formicidae</b>														
<i>Camponotus</i> (Hypercolobopsis) sp2		1		1										
<i>Camponotus</i> (Hypercolobopsis) sp3									1					
<i>Camponotus</i> (Myrmaphaenus) sp1	4	1	1						2	3				
<i>Camponotus</i> (Myrmaphaenus) sp2	8	4	1	1		2	1		8	6	1	1	2	1
<i>Camponotus</i> (Myrmaphaenus) sp3		2	23	7	7	1	37	17	7	2			1	1
<i>Camponotus</i> (Tanaemyrmex) sp1		1	3				1		1					
<i>Camponotus</i> (Tanaemyrmex)sp2		1												
<i>Camponotus atriceps</i> Smith, 1858		1												
<i>Camponotus blandus</i> Smith, 1858	22	19	9	6	10	5	3		2		1		3	1
<i>Camponotus cingulatus</i> Mayr, 1862	7	8						1						
<i>Camponotus leydigi</i> Forel, 1886	5	2	3	2										
<i>Camponotus melanoticus</i> Emery, 1894	15	17	8	13	8	6	5	5	4	6	1	7	4	3
<i>Camponotus novogranadensis</i> Mayr, 1870	14	9	1		5	2		1	14	5		1	1	
<i>Camponotus renggeri</i> Emery, 1894	19	15	17	13	3			2	1					
<i>Camponotus rufipes</i> Fabricius, 1775	20	16	9	8	10	3	86	32	53	33	1		4	4
<i>Camponotus senex</i> Smith, 1858	54	46	18	8	22	13	5	1	4	3	1	1	3	1
<i>Camponotus</i> sp1	6	2	1	1										
<i>Camponotus</i> sp2			1						1					
<i>Camponotus vittatus</i> Forel, 1904	10	19	1	4	3	1								1
<i>Myrmelachista</i> sp1											2	1	7	
<i>Myrmelachista</i> sp2													2	
<i>Nylanderia</i> sp1				1		3								
<b>Myrmicinae</b>														
<i>Acromyrmex balzani</i> Emery, 1890	8	3	1	2							9	5		

TAXON	ALTITUDES													
	800		900		1000		1100		1200		1300		1400	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>Formicidae</b>														
<i>Acromyrmex</i> sp1	12	1												
<i>Acromyrmex</i> sp2	3		4										2	3
<i>Acromyrmex subterraneus subterraneus</i> Forel, 1893	9	3	4	4	1	1		1	14	6	1			
<i>Apterostigma</i> (gr.Pilosum) sp1	13	7	2	2				5	2					
<i>Apterostigma</i> (gr.Pilosum) sp2								1	1					
<i>Atta laevigata</i> Smith, 1858	3													
<i>Atta sexdens rubropilosa</i> Forel, 1908	31	16	7	4	2	6	5	1						1
<i>Atta</i> sp1	6	5	5	3		1	1							
<i>Cephalotes atratus</i> Linnaeus, 1758	1	2												
<i>Cephalotes pusillus</i> Klug, 1824	4	4	16	9	7		12	4	8	3				
<i>Cephalotes</i> sp1													1	
<i>Cephalotes</i> sp2													2	
<i>Crematogaster acuta</i> Fabricius, 1804	19	5	21	9	30	9	1		23	15				
<i>Crematogaster arcuata</i> Forel, 1899	3	1												
<i>Crematogaster brasiliensis</i> Mayr, 1878														3
<i>Crematogaster</i> prox. <i>erecta</i> sp1		1			6									
<i>Crematogaster</i> prox. <i>obscurata</i> sp1	1			1										
<i>Crematogaster</i> sp1							1							
<i>Crematogaster</i> sp2							2							
<i>Crematogaster</i> sp3														1
<i>Cyphomyrmex</i> (gr.Rimosus) sp1	10	4		1										
<i>Cyphomyrmex</i> (gr.Rimosus) sp2	2	2	1		9	2	4	1	7	2	13	4	20	9
<i>Cyphomyrmex</i> (gr.Strigatus) sp1	1								1	1				

TAXON	ALTITUDES													
	800		900		1000		1100		1200		1300		1400	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>Formicidae</b>														
<i>Cyphomyrmex</i> (gr.Strigatus) sp2									1			1		
<i>Cyphomyrmex</i> (gr.Strigatus) sp3	3	2	1	2	2			1		1				
<i>Cyphomyrmex lectus</i> Forel, 1911	3	1	3	1			5	2	2	1				
<i>Eurhopalotrix</i> sp1	1													
<i>Hylomyrma</i> sp1 **							1				8	2	15	6
<i>Kalathomyrmex emeryi</i> Forel, 1907			2											
<i>Kalathomyrmex</i> sp1		1						1		1				
<i>Megalomyrmex</i> sp1									2					
<i>Mycetarotes</i> sp1											1			
<i>Mycocepurus goeldii</i> Forel, 1893	10	3	15	4	6	1	14	6	13	5				
<i>Myrmicocrypta</i> sp1	3	1		2			1					1		
<i>Myrmicocrypta</i> sp2			1		2									
<i>Nesomyrmex</i> sp1				1										
<i>Ochetomyrmex semipolitus</i> Mayr, 1878	64	29	2		9	5		1	2					
<i>Octostruma iheringi</i> Emery, 1888											2	1		
<i>Oxyepoecus prox. bruschi</i> sp1		2						1			6	2	18	10
<i>Oxyepoecus prox. bruschi</i> sp2						1					29	17	6	3
<i>Pheidole gertrudae</i> Forel, 1886			11	7	1		1	1						
<i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908	73	70	33	34	34	36	39	37	28	26	2		9	16
<i>Pheidole</i> sp1	16	7	3	2	1				9	2	2	5	17	23
<i>Pheidole</i> sp2	22	7	20	1						1				
<i>Pheidole</i> sp3		1		1	1		1			1				
<i>Pheidole</i> sp4	5	3			1	2	3							
<i>Pheidole</i> sp5	8	4												

TAXON	ALTITUDES													
	800		900		1000		1100		1200		1300		1400	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>Formicidae</b>														
<i>Pheidole</i> sp6	12	3												
<i>Pheidole</i> sp7		1												
<i>Pheidole</i> sp8	2	1	1		1				2	1	1		9	5
<i>Pheidole</i> sp9	52	27	28	12	12	6			8	2				
<i>Pheidole</i> sp10	1	1												
<i>Pheidole</i> sp11	6	5	5	4	2	9	1		1	6				2
<i>Pheidole</i> sp12	3		1	1			9	4	2	1	5		1	
<i>Pheidole</i> sp13	13	8	14	4	2				6	3	2		2	1
<i>Pheidole</i> sp14	7	2			1		1							2
<i>Pheidole</i> sp15		2		1				2	1		43	33	37	28
<i>Pheidole</i> sp16	1				3									
<i>Pheidole</i> sp17	4		5	1										
<i>Pheidole</i> sp18	10	2												
<i>Pheidole</i> sp19	7	4	3	3						1				
<i>Pheidole</i> sp20	24	26	21	20	7	7	20	16	7	5	2		5	3
<i>Pheidole</i> sp21	29	29	52	32	22	13	46	27	7	9	8			8
<i>Pheidole</i> sp22	31	19	9	3			2	1			1			
<i>Pogonomyrmex naegelii</i> Emery, 1878	24	10	13	3	8	5	53	20	20	6			1	3
<i>Sericomyrmex</i> sp1	22	9	3		1		3	1						
<i>Sericomyrmex</i> sp2	1	1												
<i>Sericomyrmex</i> sp3														1
<i>Sericomyrmex</i> sp4	2	1												
<i>Solenopsis globularia</i> sp1	1		4	2	1	1	1	1	17	6				
<i>Solenopsis globularia</i> sp2		1			9	7					1			



TAXON	ALTITUDES													
	800		900		1000		1100		1200		1300		1400	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>Formicidae</b>														
<i>Solenopsis globularia</i> sp3		2												
<i>Solenopsis saevissima</i> Smith, 1855	4	9	32	19	61	47	23	12	36	12	2		9	2
<i>Solenopsis</i> sp1	14	9	18	2	12	8	18	16	7	3	6	6	8	2
<i>Solenopsis</i> sp2		1				1	2						1	
<i>Solenopsis</i> sp3		3				1	1	2	1		18	20	21	18
<i>Solenopsis substituta</i> Santschi, 1925	61	41	1	2	2	2	1		36	16	2		2	2
<i>Strumigenys denticulata</i> Mayr, 1887					1									
<i>Strumigenys eggersi</i> Emery, 1890									2					
<i>Strumigenys elongata</i> Roger, 1863									1					
<i>Strumigenys louisianae</i> Roger, 1863													3	
<i>Strumigenys schulzi</i> Emery, 1894	5													
<i>Trachymyrmex</i> sp1	1	3	8	1			4			2	11	18	5	2
<i>Trachymyrmex</i> sp2	2	2									1			1
<i>Trachymyrmex</i> sp3	7	3									1			
<i>Trachymyrmex</i> sp4		1	3											
<i>Trachymyrmex</i> sp5	5	1	8	5			2	1		3	3	2		
<i>Trachymyrmex</i> sp6	4			1							2	3	1	
<i>Tranopelta gilva</i> Mayr, 1866			3	1			7	2						
<i>Wasmannia auropunctata</i> Roger, 1863	8	8	21	10			6	2	9	6	2		2	2
<b>Ponerinae</b>														
<i>Anochetus inermis</i> André, 1889	2		5		1		3		3					
<i>Hypoponera</i> sp1	2	1				1	1		5	3			6	7
<i>Hypoponera</i> sp2			4	1	2		2		1					
<i>Hypoponera</i> sp3	3	2												

TAXON	ALTITUDES													
	800		900		1000		1100		1200		1300		1400	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>Formicidae</b>														
<i>Hypoponera</i> sp4														1
<i>Neoponera</i> sp1			1				1							
<i>Neoponera villosa</i> Fabricius, 1804	2					1								
<i>Odontomachus brunneus</i> Patton, 1894	1	1				2	1							
<i>Odontomachus chelifer</i> Latreille, 1802		1												
<i>Pachycondyla striata</i> Smith, 1858	2						1	1	1	1				14 8
<i>Pseudoponera</i> sp1														1 1
<i>Rasopone</i> sp1		1								1				
<b>Pseudomyrmicinae</b>														
<i>Pseudomyrmex</i> (gr. Pallidus) sp1	1	1	4							3	1			1
<i>Pseudomyrmex gracilis</i> Fabricius, 1804	2	1												
<i>Pseudomyrmex termitarius</i> Smith, 1855	16	11	8	7	13	5	7	8	7	3				
<b>Número total de especies por período</b>	<b>1171</b>	<b>815</b>	<b>743</b>	<b>409</b>	<b>469</b>	<b>308</b>	<b>663</b>	<b>382</b>	<b>526</b>	<b>304</b>	<b>470</b>	<b>245</b>	<b>412</b>	<b>284</b>