



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS

FORMIGAS VISITANTES DE PLANTAS EM ÁREAS
PRESERVADAS E PERTURBADAS PELO FOGO EM CAMPO
RUPESTRE, MUCUGÊ, BAHIA, BRASIL

EVELINNE SILVA CHAVES

Itapetinga
Bahia
Fevereiro - 2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

FORMIGAS VISITANTES DE PLANTAS EM ÁREAS
PRESERVADAS E PERTURBADAS PELO FOGO EM CAMPO
RUPESTRE, MUCUGÊ, BAHIA, BRASIL

Autora: Evelinne Silva Chaves
Orientadora: Michele Martins Corrêa
Co-orientadores: Sébastien Lacau e Claudia Bottcher

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Itapetinga
Bahia
Fevereiro – 2017

595.796 Chaves, Evelinne Silva
C438f Formigas visitantes de plantas em áreas preservadas e perturbadas pelo fogo em campo rupestre, Mucugê, Bahia, Brasil. / Evelinne Silva Chaves. – Itapetinga, BA: UESB, 2017.
61fl.

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento. Sob a orientação da Prof^a. D.Sc. Michele Martins Corrêa e coorientação do Prof. D.Sc. Sébastien Lacau e Prof^a. D.Sc. Claudia Bottcher.

1. Formiga-Planta - Interação. 2. Bioindicador - Variação Temporal.
3. Campo rupestre - Fogo. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, *Campus* de Itapetinga. II. Corrêa, Michele Martins. III. Lacau, Sébastien. IV. Bottcher, Claudia. V. Título.

CDD(21): 595.796

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Siva – CRB 535-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Formiga-Planta - Interação
2. Bioindicador - Variação Temporal
3. Campo rupestre - Fogo


EVELINNE SILVA CHAVES

“FORMIGAS VISITANTES DE PLANTAS EM ÁREAS PRESERVADAS E PERTURBADAS PELO FOGO EM CAMPO RUPESTRE, MUCUGÊ, BAHIA, BRASIL”

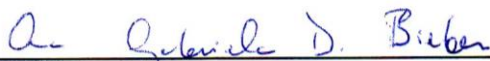
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* de Itapetinga, BA. Área de Concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Aprovada em: 20/02/2017

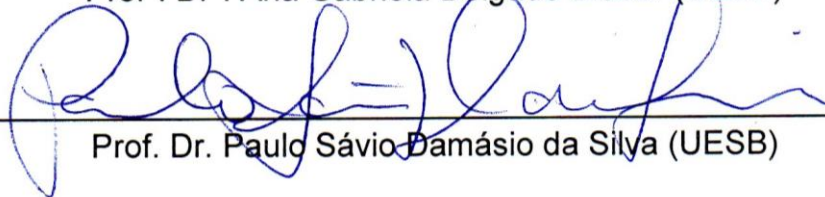
BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Michele Martins Corrêa (Orientadora/UESB)



Prof^a. Dr^a. Ana Gabriela Delgado Bieber (UESB)



Prof. Dr. Paulo Sávio Damásio da Silva (UESB)

“Se você consegue sonhar algo, consegue realizá-lo”.

Walt Disney

AGRADECIMENTOS

A Deus por se fazer presente em todos os momentos da minha vida, por ter me dado forças e saúde para percorrer esse trajeto.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) pela oportunidade de realizar este estudo.

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de mestrado.

A minha orientadora, Dr^a. Michele Martins Corrêa, pela orientação, paciência, motivação e pela participação fundamental na minha formação acadêmica e pessoal. Além disso, agradeço pela confiança e amizade demonstrada durante todo esse tempo. Muito obrigada, Mi!

A minha co-orientadora, Dr^a. Claudia Bottcher, pelas contribuições enriquecedoras para a melhoria deste trabalho, por toda ajuda em campo, atenção e cuidado. Durante esse período de convivência aprendi que um bom pesquisador se faz com humildade e parcerias.

Ao meu co-orientador, Sebastien Lacau, pela oportunidade e pelo auxílio na identificação das formigas.

Ao Dr. Raymundo de Sá Neto pela disponibilidade e por todo auxílio nas análises de dados.

Ao Me. Lucas Cardoso Marinho pelo auxílio na identificação das plantas.

Ao Me. Muriel Oliveira pelo apoio e assistência na identificação das formigas.

Aos colegas de campo, Elcia Almeida, Daniella Senna, Isamara Mendes, Josué Dafles e Quênia Oliveira por toda ajuda e companheirismo.

A Maiza dos Anjos, pela amizade e suporte durante a pesquisa.

A todos os colegas de Pós-Graduação, especialmente, Bruna Borges, Glauco Nolasco, Jéssica Costa, José Roberto, Nathalia Silvão, Tânia Macário, Tiago Meira e Raul Alves, pela amizade que construímos, por todos os momentos que passamos juntos e por estarem ao meu lado sempre!

Ao meu valioso motorista, Seu Manoel, por toda contribuição, cuidado e gargalhadas nas coletas de campo.

Ao meu saudoso Pai, meu eterno agradecimento, pelos momentos em que estive ao meu lado, me fazendo acreditar que nada é impossível.

A minha mãe Áurea e aos meus irmãos Fabrício e Elisa, por terem sido o motivo de me fazer seguir em frente.

De uma maneira especial, agradeço ao meu namorado Helder, pelo indescritível apoio, força, amor e companheirismo na construção deste trabalho. Obrigada por caminhar ao meu lado em busca da nossa história! Te amo muito, meu amor!

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO.....	iiix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Família Formicidae.....	3
2.2 Formigas como Bioindicadores	4
2.3 Fogo: Dinâmica e Efeitos em Ecossistemas	7
2.4 Efeito do Fogo sobre a Comunidade de Formigas	8
2.5 Interação entre Plantas e Formigas	10
2.6 Caracterização do Ambiente de Estudo: Mucugê, Chapada Diamantina, BA	12
3 REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO I.....	25
RESUMO.....	27
ABSTRACT	28
INTRODUÇÃO.....	29
MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
Área de Estudo.....	30
Coleta de Dados.....	30
Análise de Dados	31
RESULTADOS	32
Riqueza de Plantas.....	32
Riqueza de Formigas	32
Associação entre Formigas e Plantas.....	33
DISCUSSÃO	34

REFERÊNCIAS	38
CAPÍTULO II.....	42
RESUMO.....	44
ABSTRACT	45
INTRODUÇÃO.....	46
Material e Métodos.....	48
Área de Estudo.....	48
Coleta de Dados.....	48
Métricas de Rede	48
Análise de Dados	49
RESULTADOS	49
Conectância	49
Aninhamento	50
DISCUSSÃO	51
REFERÊNCIAS	53

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

	Páginas
Apêndice A: Espécies de plantas amostradas em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo na Chapada Diamantina, Mucugê – BA	57
Apêndice B. Espécies de formigas coletadas durante os meses de fevereiro, março, julho dezembro de 2016, em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo em Mucugê – BA	60

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

	Páginas
Figura 1. Riqueza (\pm desvio padrão) de espécies de formigas visitantes de plantas em campo rupestre na Chapada Diamantina, Bahia, em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, em quatro meses de 2016.....	33
Figura 2. Proporção (\pm desvio padrão) de plantas visitadas por formigas em campo rupestre na Chapada Diamantina, Bahia, em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, em quatro meses de 2016.....	34

CAPÍTULO II

	Páginas
Figura 1. Conectância (\pm desvio padrão) em redes de formigas e plantas em campo rupestre na Chapada Diamantina, Nordeste Brasileiro, entre áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, nos 4 meses observados, em 2016.....	50
Figura 2. Aninhamento (\pm desvio padrão) entre espécies de formigas e plantas em campo rupestre na Chapada Diamantina, Nordeste Brasileiro, entre áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, nos 4 meses observados, em 2016.....	50

RESUMO

Uma das maneiras de identificar e monitorar os padrões de mudanças na biodiversidade é utilizar espécies que atuam como bioindicadores. Dentre os organismos bioindicadores, as formigas representam um grupo com grande potencial. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo, analisar a associação entre plantas e formigas visitantes em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, ao longo de 13 meses de regeneração, em campo rupestre, no município de Mucugê, Bahia. Foram estabelecidas 7 parcelas nas áreas afetadas e 10 nas áreas não afetadas pelo fogo. Todas as plantas presentes nas parcelas foram marcadas e identificadas. As plantas foram vistoriadas quanto à presença de formigas e quando presentes essas foram coletadas manualmente, armazenadas em potes com álcool 70% e posteriormente identificadas. As coletas foram realizadas nos meses de fevereiro, março, julho e dezembro de 2016. No total, foram encontradas 45 espécies de formigas, distribuídas em seis subfamílias e 67 espécies de plantas, pertencentes a 28 famílias. Dentre os táxons, Formicinae foi a subfamília mais frequente para as formigas e para as plantas foi a família Fabaceae. As áreas afetadas pelo fogo apresentaram riqueza de espécies de formigas semelhantes às áreas não-afetadas. Além disso, a associação entre plantas e formigas visitantes nas áreas afetadas pelo fogo apresenta variação temporal, com a estação seca (julho) apresentando uma maior conectância e menor aninhamento entre as espécies de formigas e plantas. A análise de aninhamento demonstrou que as formigas visitantes das plantas de campos rupestres de ambas as áreas, afetadas e não-afetadas pelo fogo, encontram-se significativamente aninhadas na estação chuvosa. Contudo, a ocorrência do fogo parece não interferir nas relações estabelecidas entre as plantas e suas formigas visitantes em campo rupestre. Isso indica que as formigas arborícolas não são boas indicadoras de recuperação após impacto ambiental causado pelo fogo em vegetação de campo rupestre, ao menos nas áreas aqui estudadas.

Palavras-chave: Interação Formiga-Planta; Bioindicador; Variação Temporal; Fogo; Campo rupestre.

ABSTRACT

One of the ways to identify and monitor patterns of changes in biodiversity is to use species that act as bioindicators. Among the organisms bioindicators, the ants represent a group with great potential. In this sense, this work aimed to analyze the association between plants and ants visitors in areas affected and non-affected by fire, along 13 months of regeneration, in rocky fields, in the municipality of Mucugê, Bahia. 7 plots were established in the affected areas and 10 in areas not affected by the fire. All the plants present in the plots were marked and identified. The plants were inspected for the presence of ants, and when present these were collected manually, stored in jars with 70% alcohol and subsequently identified. The collections were made in the months of February, March, July and December 2016. In total, 45 ant species were found, distributed in six subfamilies and 67 plant species, belonging to 28 families. Among the táxons, Formicinae was the most frequent subfamily for ants and plants was the Fabaceae family. The fire affected areas showed Ants species richness similar to non-affected areas. In addition, the association between plants and ants visitors in areas affected by fire presents temporal variation, with the dry season (July) showing greater connectance and lower nesting Ants species and plants. The analysis of nesting showed that the ants visitors of rocky fields of both areas, affected and non-affected by the fire, are found nested significantly in the rainy season. However, the occurrence of the fire seems not to interfere in the relationships established between the plants and their ants visitors in rocky fields. This indicates that the arboreal ants are not good indicators of recovery after environmental impact caused by fire in rocky fields vegetation, at least in the areas studied here

Keywords: Ant-Plant Interaction; Bioindicator; Temporal Variation; Fire; Rock field.

1 INTRODUÇÃO

As interações ecológicas existentes entre organismos são consideradas um dos principais fatores que mantêm a biodiversidade (GILBERT, 1980). Desse modo, uma das maneiras de identificar e monitorar os padrões de mudanças na biodiversidade é utilizar espécies que atuam como bioindicadores, que indicam condições do ambiente, detectando as causas das mudanças ambientais (HILTY e MERENLENDER, 2000). E dentre os organismos bioindicadores, as formigas (Hymenoptera: Formicidae) representam um grupo com grande potencial de utilização em programas de monitoramento, devido a sua alta diversidade, predominância numérica, biomassa em quase todos os habitats do mundo, bem como pelas importantes funções nos ecossistemas, incluindo interações com organismos de variados níveis tróficos (AGOSTI e ALONSO, 2000).

A interação entre plantas e formigas é bastante comum na região Neotropical (RICO-GRAY e OLIVEIRA, 2007). Nestas interações, as formigas podem, por exemplo, atuar como polinizadoras, dispersoras de sementes (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990), bem como proteger as plantas contra herbívoros (RICO-GRAY e OLIVEIRA, 2007). Em troca, a planta fornece às formigas alimento ou estruturas especializadas onde podem nidificar (ROSUMEK, 2008). Geralmente, as respostas dessas relações são positivas, mas em alguns casos, a presença de formigas é neutra ou negativa para as plantas. Por exemplo, alguns estudos apontam que o ataque agressivo ou a presença de formigas pode diminuir a eficiência da visitação de polinizadores específicos (ASSUNÇÃO et al., 2014).

A eficácia da família Formicidae como bioindicadores é comprovada através de diversos tipos de avaliações e monitoramento, tais como: agricultura (PHILPOTT e ARMBRECHT, 2006), impactos da pastagem e desmatamento (VASCONCELOS et al., 2000; CANTARELLI et al., 2015), recuperação de áreas degradadas (RIBAS et al., 2007; ROCHA et al., 2015), urbanização (DELABIE et al., 2006; SOARES et al., 2006) e distúrbios por fogo (ENDRINGER et al., 2008; VASCONCELOS et al., 2016). De acordo com Horn e Kappelle (2009), o fogo é um processo ecológico importante, que pode ser provocado pelo homem ou por causa natural, característico de muitos ecossistemas terrestres. Trata-se de um agente modelador da vegetação em diversos ecossistemas do

mundo, podendo afetar a riqueza das comunidades bióticas através de resultados diretos ou indiretos, cujos efeitos dependem de vários fatores, tais como: frequência, intensidade, duração da combustão, solo, topografia, vento, temperatura e umidade (COCHRANE, 2009). Em geral, incêndios na vegetação são tidos como uma das ameaças às unidades de conservação, em virtude das mudanças físicas, biológicas e químicas que produzem no ambiente, ocasionando implicações sobre o solo, a vegetação e a fauna (MIRANDA et al., 2009).

A Chapada Diamantina é uma das regiões da Bahia mais afetada pelas queimadas. A elevada frequência do fogo no local é preocupante (NEVES e CONCEIÇÃO, 2007), pois é uma região que inclui desde a caatinga até diversos tipos de florestas, como as matas ciliares e de planalto, culminando nas áreas mais elevadas com vegetações abertas, como cerrados e campos rupestres (CRUZ et al., 2007). O campo rupestre é um tipo de vegetação representado por um conjunto de comunidades herbáceo-arbustivas associadas aos afloramentos rochosos e solos arenosos, localizados nas áreas mais elevadas, geralmente a partir de 900 m de altitude (CONCEIÇÃO e PIRANI, 2007). A composição da sua flora pode ser relacionada às características como isolamento entre as serras, habitats diversificados, grande quantidade de rocha exposta, longos períodos de déficit hídrico, enxurradas, baixa capacidade de armazenamento de água, elevado acúmulo de matéria orgânica, extensa amplitude térmica diária e alta insolação (CONCEIÇÃO e PIRANI, 2005).

Diante do exposto, apesar da existência de Unidades de Conservação em toda a região (Parque Nacional da Chapada Diamantina, Parque Municipal de Mucugê e de RPPNs (Reservas Particulares do Patrimônio Nacional, como a de Adília Paraguassu Batista) a rica biodiversidade da região da Chapada Diamantina não está efetivamente protegida, pois se encontra ameaçada pelo avanço agrícola, garimpo, queimadas antrópicas, pastagens, retirada de madeira e turismo desordenado (FRANCA-ROCHA et al., 2005). Desse modo, com a importância da influência do fogo na dinâmica dos ecossistemas e a carência de informações sobre os seus efeitos nas comunidades vegetais e animais da Chapada Diamantina, pretendeu-se nesse trabalho analisar a associação entre plantas e formigas visitantes em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, ao longo de 13 meses de regeneração, em campo rupestre no município de Mucugê, Bahia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Família Formicidae

As formigas constituem uma única família, Formicidae, e, junto com as abelhas e vespas, formam a ordem Hymenoptera (BRANDÃO e CANCELLO, 1999). Distribuem-se abundantemente por todos os ambientes terrestres. São 14.097 espécies descritas (ANTBASE, 2017), com 17 subfamílias válidas, distribuídas em cerca de 330 gêneros (BOLTON, 2017). Estimativas sugerem que o número total de espécies de formigas no mundo, apesar de pertencerem a uma única família, ultrapasse 25.000, sendo que a maior parte dos táxons não descritos se encontra nas florestas tropicais (FERNÁNDEZ e OSPINA, 2003). Em razão dessa dominância, as formigas são invertebrados de grande importância para os ecossistemas, participando de vários processos e interações ecológicas, que compreendem desde a predação e competição com outros organismos até as relações mutualísticas com plantas e outros artrópodes (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990).

As formigas são organismos eussociais, apresentando as três características que definem esse comportamento: sobreposição de gerações, em que indivíduos mais jovens trabalham em benefício de indivíduos mais velhos; cuidado cooperativo com a prole; e divisão de trabalho reprodutivo, onde indivíduos estéreis trabalham em prol de indivíduos férteis da mesma espécie (WILSON, 1971). Seu desenvolvimento é completo, holometábolo, o que significa que apresentam metamorfose completa, passando pelos estágios de ovo, que são de tamanho microscópico, larva, pupa e adulto (SANTOS e DEL-CLARO, 2002).

A colônia é uma sociedade quase que exclusivamente do sexo feminino com rainha(s) encarregada(s) pela postura dos ovos, sendo estas os maiores indivíduos da colônia, possuindo asas para fazer o voo nupcial (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990). As operárias não possuem asas e são fêmeas estéreis, responsáveis pela maioria das funções laborais da colônia. Estas cuidam da prole, da construção, manutenção e limpeza do ninho, além de procurar alimento e defender a colônia. Em algumas espécies de formigas podemos observar, dentro da casta de operárias, indivíduos com a cabeça desproporcionalmente

maior em relação às outras operárias. Estas operárias eram denominadas soldados por protegerem o ninho, porém esse papel tem sido questionado e, por conta disso, estão sendo chamadas de “operárias maiores”. Os machos também são alados e sua função é unicamente reprodutiva (BACCARO et al., 2015).

O ciclo de vida de uma colônia pode ser dividido em três fases: fundação, crescimento e reprodução (PEETERS e MOLET, 2010). A fase de fundação começa com o voo nupcial, momento no qual a rainha virgem, após sair da colônia-mãe, é inseminada, ou seja, uma rainha copula com pelo menos um macho. Depois de encontrar um local adequado, a rainha inseminada cava um buraco no solo ou em uma planta, e coloca os primeiros ovos. Em algumas espécies, a rainha usa sua própria reserva energética para alimentar a primeira geração de larvas. A fase de crescimento começa no instante em que as primeiras larvas se tornam adultas, e então o papel da rainha limita-se a postura de ovos (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990). As primeiras operárias emergem e assumem todas as outras tarefas. A duração desse período pode variar de acordo com cada espécie e a fase termina quando a colônia alcança sua maturidade, produzindo indivíduos reprodutivos. A fase reprodutiva de uma colônia começa quando os recursos são conduzidos para a criação de machos e fêmeas férteis. Quando estão prontos e as condições ambientais são favoráveis, esses indivíduos férteis saem do ninho e procuram indivíduos férteis de outras colônias (BACCARO et al., 2015). E todo o ciclo se repete.

As formigas exibem uma grande variedade de formas e comportamentos que as permitem ocupar os diferentes habitats terrestres (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990). Nidificam desde a copa das árvores até alguns metros de profundidade no solo (BRUHL et al., 1998). Nesses locais ocupam um número expressivo de nichos, adaptando sua nidificação e forrageamento, sendo está definida como uma atividade de seleção, corte e transporte de material vegetal para o interior de uma colônia (DELLA LÚCIA e OLIVEIRA, 1993), podendo ser alterado de acordo a disponibilidade de recursos (SILVA, 2012), o que as permite ocupar os mais variados ambientes, formando assim guildas tróficas distintas (SILVESTRE e SILVA, 2001). Este termo (guildas), adotado pelos ecologistas, refere-se ao grupo de espécies que compartilham os mesmos tipos de recursos (DELABIE et al., 2015).

2.2 Formigas como Bioindicadores

O impacto ambiental e as ações antrópicas modificam e destroem interações ecológicas, trazendo danos à natureza. Assim, há a necessidade de informações e

ferramentas de biomonitoramento para que análises da qualidade ambiental sejam realizadas (BUSS et al., 2003). Uma das estratégias para detectar e acompanhar os padrões de alterações na biodiversidade e nas relações entre espécies, provocados por ações antrópicas, é utilizar determinadas espécies ou grupo de espécies que atuam como indicadores da degradação ambiental (SANTOS et al., 2006).

Uma ferramenta que está recebendo cada vez mais atenção é a investigação de grupos bioindicadores, ou seja, grupos taxinômicos cuja presença, abundância e condições são sinais biológicos de uma determinada condição ambiental (RAINIO e NIEMELA, 2003). De acordo com Louzada et al. (2000), os bioindicadores são organismos vivos, ou processos biológicos, empregados para avaliar a qualidade ambiental. Seu uso permite ao pesquisador inferir sobre o impacto da degradação em um determinado ecossistema, mostrar a distribuição espacial e temporal do impacto e fornecer dados sobre um potencial risco para a flora, fauna e população humana (KAPUSTA, 2008).

Segundo Freitas et al. (2006), alguns critérios são definidos para que um grupo taxinômico seja considerado bioindicador: taxonomia relativamente bem resolvida; informações sobre história natural, genética, química e outros aspectos da biologia; diversidade dentro do grupo; ciclo de vida curto; diversidade ecológica; fidelidade de habitat; associação estreita a recursos ou outras espécies; facilidade na amostragem, triagem e identificação e pouco uso humano. Nesse contexto, destacam-se os hexápodes, que além de serem numerosos, constituem a maior parte da biodiversidade global, possuindo extensas relações ecológicas, fato que os inserem como organismos essenciais para a caracterização de sistemas biológicos, portanto, com grande capacidade para a bioindicação (HUTCHESON et al., 1999).

Diversos grupos de insetos têm sido utilizados para este fim, destacando-se a família Formicidae, da Ordem Hymenoptera (SANTOS et al., 2006). As formigas são utilizadas como bioindicadores por reunirem uma série de características desejáveis para indicação de sucesso e monitoramento dos impactos ambientais, como: alta abundância; riqueza de espécies; importância no funcionamento dos ecossistemas terrestres, interação com outros organismos em todos os níveis tróficos; ocupação de todos os estratos (solo e vegetação); ninhos perenes e estacionários; vários táxons especializados e sensíveis a alterações do ambiente; facilidade de amostragem e de identificação (FREITAS et al., 2006), tornando-

se uma ferramenta eficaz do estado de conservação, degradação ou recuperação de um ambiente e indicadores de diversidade (SILVESTRE et al., 2007).

Para compreender as comunidades de formigas, critérios ecológicos como a frequência e a riqueza são importantes (SILVEIRA-NETO et al., 1995), pois modificações nas condições físicas e biológicas entre diferentes ambientes influenciam na sua composição, riqueza e abundância (PEIXOTO et al., 2010). Em ecossistemas terrestres, a riqueza e a diversidade aumentam conforme a complexidade estrutural do ambiente, em razão de uma maior disponibilidade de nichos presentes, resultando em uma maior quantidade de sítios para nidificação, área de forrageamento e quantidade de alimento (PEREIRA et al., 2007). Ambientes mais complexos oferecem uma maior variedade de micro habitats e formas de explorar os recursos, e assim, diminui a competição entre as espécies aumentando a sua diversidade (MATOS et al., 1994). De modo geral, ambientes homogêneos acomodam menor riqueza e diversidade, em contrapartida, ambientes heterogêneos disponibilizam maior diversidade de recursos, o que possibilita maior heterogeneidade na composição da fauna de formigas (MIRANDA, 2013).

Nesse sentido, a sensibilidade das comunidades de formigas, combinado com sua grande importância funcional e facilidade de amostragem, tornam o seu acompanhamento e a sua avaliação poderosas ferramentas na gestão da terra. As respostas da comunidade de formigas às perturbações englobam mudanças na composição de espécies, alterações de interações interespecíficas, perda de diversidade e modificações nas atividades realizadas pelas formigas como dispersão de sementes e predação. Assim, as formigas têm sido utilizadas como indicadores de vários impactos ambientais, como: fogo, furacões, inundações, desmatamento, urbanização, agricultura e mineração (PHILPOTT et al., 2010).

Seu uso como indicadores das mudanças nos ecossistemas é particularmente difundido na Austrália, onde são consideradas como um dos grupos de invertebrados com o mais importante papel na pirâmide de fluxo de energia (MAJER, 1983). No Brasil, dentre os diversos estudos com comunidades de formigas, pode-se destacar a utilização destes invertebrados na avaliação de áreas em recuperação de minerações (PEREIRA et al., 2007; ROCHA et al., 2015), na avaliação da riqueza e diversidade em áreas preservadas e em regeneração (FREIRE et al., 2012; SOUZA et al., 2015), e em levantamentos taxinômicos (FONSECA e DIEHL, 2004; OLIVEIRA et al., 2015). Além disso, vários são os estudos que reportam a viabilidade do uso de formigas como indicadores das alterações causadas

pelo fogo em diferentes ecossistemas (FRIZZO et al., 2007; LOPES et al., 2007; SANTOS et al., 2008; BOSCARDIN et al., 2014).

2.3 Fogo: Dinâmica e Efeitos em Ecossistemas

Vários tipos de distúrbios naturais ou antrópicos podem modificar a dinâmica da vegetação florestal e provocar o processo de sucessão secundária. Dentre essas fontes de perturbação, destaca-se o fogo, por afetar o funcionamento desses ecossistemas (MARTINS et al., 2002), influenciando a composição florestal, o acúmulo de serapilheira, a ciclagem de nutrientes, a população de insetos, o banco de sementes no solo, a rebrota de espécies arbustivo-arbóreas, a redução ou alteração da população microbiana, a alteração no pH, o aumento da fonte de carbono orgânico no solo e a oxidação da matéria orgânica (COCHRANE e SCHULZE, 1999).

Sua incidência é influenciada pelas condições meteorológicas, bem como pelas mudanças climáticas, ao passo que a ocupação humana e as práticas agrícolas têm sido os fatores principais do início dessas queimadas (FRIZZO et al., 2011). No Brasil, o fogo ainda é muito empregado na renovação de pastagens, pois é uma forma rápida e barata de estimular a rebrota, eliminar pragas e remover os remanescentes agrícolas, estabelecendo uma ferramenta acessível para gestão do agronegócio (SANTOS, 2014). Entretanto, a elevada frequência de queimadas utilizadas na limpeza de pastagens e no preparo do solo, ocasionam grande responsabilidade sobre a eliminação de espécies sensíveis (MOREIRA, 2000), o que leva ao declínio do ecossistema, tendo como consequência, por exemplo, a eliminação de nutrientes e a redução na camada arbustivo e arbórea (MIRANDA, et al., 2004).

Neste sentido, as consequências do fogo ao meio irão depender das características do bioma, associadas às características do solo e relevo da região (COSTA e RODRIGUES, 2015). No Cerrado, a existência de fogo reporta há mais de 22.000 anos (DIAS, 1994). Com o clima seco e frio, os incêndios só ocorriam por razões naturais, em geral causados por raios, que em companhia das chuvas, tinham o benefício de proporcionar o manejo natural do material combustível existente. Com a presença humana, o regime do fogo mudou, aumentando sua frequência, com concentração das queimadas no início e no meio da estação seca (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

As espécies de cerrado evoluíram com o fogo e são capazes de rebrotar após uma queimada. As árvores são baixas e normalmente apresentam uma casca espessa que protege os tecidos internos, características relacionadas à incidência do fogo (GOTTSBERGER e

SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006). Entretanto, frequência, intensidade e tamanho da área queimada geralmente são considerados como fatores determinantes no efeito do fogo sobre as populações vegetais afetadas (FRANCESCHINELLI e BAWA, 2005). O aumento na frequência de ocorrência no bioma ocasiona alterações florísticas, filogenéticas e funcionais nas comunidades vegetais, modificando a composição do solo e as interações interespecíficas (SILVA et al., 2011).

A Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, constituída de árvores e arbustos de pequeno porte, com folhas miúdas e caducifólias, solos rasos e com uma vegetação herbácea temporária, presente apenas no período chuvoso (DRUMOND et al., 2012), é considerada como um dos ecossistemas mais frágeis e vulneráveis à ação antrópica (PEREIRA et al., 2014). As queimadas, utilizadas para limpar o terreno, vêm causando perdas consideráveis na biodiversidade (NUNES et al., 2006), pois a alta temperatura do fogo altera os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo, contribuindo para a intensificação dos processos erosivos, trazendo como consequências a fragilização do ecossistema (ALBUQUERQUE et al., 2001).

Portanto, o fogo é um distúrbio que pode afetar a riqueza das comunidades ecológicas através de efeitos diretos e/ou indiretos. Os efeitos diretos ocorrem imediatamente após o fogo e é de se esperar que a mortalidade não atinja uniformemente todas as populações, pois características comportamentais e morfológicas permitem que alguns grupos sejam menos susceptíveis às queimadas. Os efeitos indiretos tendem a ser mais amplos e tardios, acarretando alterações na estrutura de comunidades. Tais mudanças estão relacionadas a variações na disponibilidade e qualidade de recursos e mudanças na estrutura dos habitats (FRIZZO et al., 2011). No entanto, o grau de alteração depende de vários fatores, dentre os quais: tipo de solo, cobertura vegetal, duração, intensidade e frequência de uso. No Brasil, como atividade no meio rural, o uso do fogo é permitido em período específico, desde que haja autorização pelo órgão ambiental competente, realizado de forma controlada e seguindo um plano pré-elaborado e em fidelidade às normas (Decreto nº 2.661/1998). Entretanto, o comum é a sua utilização de forma inadequada, seja como resultado de descuido no seu manuseio ou como ato intencional, afetando áreas produtivas e de conservação (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

2.4 Efeito do Fogo sobre a Comunidade de Formigas

As consequências dos distúrbios ocasionados pelo fogo sobre as comunidades naturais estão diretamente ligadas à redução da biomassa, alterações no ciclo hidrológico

e de nutrientes e ao declínio das comunidades animais e vegetais nativas (PINNARD et al., 1999). Desta maneira, as queimadas afetam diretamente o funcionamento dos ecossistemas, podendo gerar danos irreparáveis à flora e fauna, provocando prejuízos ambientais e econômicos (SILVA et al., 2011), resultando na redução ou no aumento da riqueza de espécies (FRANCESCHINELLI e BAWA, 2005).

Quanto aos estudos que referem-se ao efeito do fogo sobre a diversidade da fauna, as formigas são consideradas ferramentas úteis por apresentarem características esperadas aos bioindicadores, fornecendo inferências confiáveis sobre as implicações ecológicas e funcionais desse tipo de perturbação (RIBAS et al., 2012). De acordo com Morais e Benson (1988), a ação do fogo provoca diretamente a morte de formigas existentes na vegetação, sendo que as espécies com ninhos subterrâneos possuem maior probabilidade de sobrevivência quando comparadas às espécies arborícolas, tendo em vista que estas últimas estão mais expostas às chamas e ao aumento de temperatura. Tal fato acontece porque mesmo a uma pequena profundidade do solo, o aumento da temperatura ocasionado pelo fogo é normalmente pequeno (FRIZZO et al., 2007). No entanto, os efeitos dessa perturbação podem não ser visíveis de imediato, pois as modificações induzidas pelo fogo na vegetação envolvem consequências indiretas sobre formigas de solo a médio e longo prazo, uma vez que a eliminação da cobertura vegetal pelo fogo pode aumentar a temperatura do solo e limitar o uso do habitat por formigas (ARNAN et al., 2006). Além disso, as modificações da composição de plantas também podem afetar a disponibilidade de recursos alimentares para as formigas, tais como sementes, néctar e seiva açucarada excretada pelos hemípteros (RODRIGO e RETANA, 2006).

Estudos realizados na Austrália apontam que espécies diferentes de formigas podem responder de diversas formas aos efeitos das queimadas. Assim, em determinada área uma espécie pode aumentar sua abundância, enquanto outras podem diminuir ou até desaparecer (HOFFMANN, 2003). Isso deve-se ao fato do fogo ser uma perturbação ambiental comum que pode aumentar, diminuir ou não ter efeito sobre a diversidade de artrópodes. Estes efeitos variáveis vão depender das características do fogo, da composição da comunidade e do tipo de habitat que distinguem-se pelo nível de complexidade (PARR et al., 2004).

As diferenças entre as condições de habitat pós e pré-fogo podem ser mais destacadas nos habitats complexos do que em ambientes mais simples. Isto significa que o fogo, como outras perturbações, pode ter efeitos diferentes dependendo do tipo de habitat, e a resposta de comunidades poderá variar dependendo da capacidade das suas espécies em lidar com as condições pós-perturbação (PIMM, 1991). Espécies adaptadas a habitats mais

complexos serão mais afetadas do que espécies que preferem habitats menos complexos (FARJI-BRENER et al., 2002), pois habitats complexos possuem mais espécies do que habitats mais simples (BELL et al., 1991). Esse padrão pode ser explicado pela diversificação de nichos e disponibilidade de recursos que esses tipos de habitats possuem (TEWS et al., 2004).

Desta forma, o grupo das formigas tem sido utilizado em vários estudos como indicador dos efeitos decorrentes do fogo. Swengel (2001) relatou que espécies arborícolas inicialmente sofrem alta mortalidade, mas recolonizam rapidamente esses locais por meio de populações advindas das áreas vizinhas não queimadas. Morais e Benson (1988), também constataram sensível redução do número de colônias de formigas arborícolas na região de cerrado, mesmo com a rápida recolonização pelas espécies de áreas vizinhas não queimadas. Farji-Brener et al. (2002) mostraram que o efeito do fogo sobre a diversidade de formigas foi maior em habitat estruturalmente complexo do que em ambientes estruturalmente simples. Boscardin et al. (2014) citaram o fogo como um agente de distúrbio ambiental por vezes significativo, causando efeitos positivos e negativos sobre a fauna edáfica. Vasconcelos et al. (2016) verificaram que a diversidade de formigas sofre impacto negativo em florestas, enquanto em ambientes abertos este efeito é nulo e que a comunidade mais afetada são as formigas de serapilheira, em comparação às arbóreas ou as de solo.

2.5 Interação entre Plantas e Formigas

Duas espécies diferentes podem se relacionar adquirindo benefícios simultâneos, em uma relação conhecida como mutualismo. Neste tipo de relação há vantagens recíprocas para as espécies que se associam (HOEKSEMA e BRUNA, 2000). Um exemplo importante de interação mutualística é a que ocorre entre formigas e plantas, considerada uma relação ecológica comum e disseminada nos ecossistemas terrestres. Entre essas relações podemos citar a obtenção de abrigo e/ou alimento pela formiga, resultando na proteção da planta contra herbivoria, na dispersão de suas sementes e, casualmente, na polinização de suas flores. Em algumas situações, as plantas possuem adaptações antagônicas com a finalidade de impossibilitar a associação com formigas oportunistas, tendo como exemplo os compostos tóxicos que afastam as formigas das flores, o que faz com que a planta atraia polinizadores mais específicos (DÁTTILO et al., 2009).

A dispersão de sementes por formigas, ou mirmecocoria, abrange as plantas que produzem uma estrutura presa externamente à semente, denominada elaiossomo (COSTA et al., 2007), um tecido gorduroso rico em nitrogênio e lipídeo, servindo como recompensa pelo trabalho desses organismos como dispersores de sementes, provavelmente com função exclusiva na atração das formigas (VAN DERL PIJL, 1982). As formigas são atraídas pelo elaiossomo, que são usados por elas como apoio no transporte das sementes para seus ninhos, onde também possuem função alimentar (LEAL, 2003). Apesar das formigas transportarem as sementes por pequenas distâncias, quando comparadas com alguns vertebrados, a mirmecocoria pode trazer uma série de benefícios às plantas, como: evitar o consumo por predadores; diminuir a competição interespecífica e intraespecífica; escape do fogo, sendo este benefício mais evidente em ambientes constantemente atingidos por queimadas; e germinação, já que os formigueiros onde são colocadas as sementes são sítios mais propícios à germinação das sementes (DÁTILLO et al., 2009).

A polinização é definida como um processo reprodutivo vegetal que envolve o transporte de pólen das anteras para o estigma entre indivíduos de plantas com flores. Este transporte pode ser realizado por mecanismos bióticos, ou seja, com o auxílio de seres vivos, e abióticos, através de fatores ambientais como o vento (SCHOWALTER, 2006). Abelhas, vespas, besouros, borboletas, mariposa, moscas e formigas são os principais insetos responsáveis pelo transporte do pólen (MILKO, 2016). Há poucas evidências da habilidade das formigas à polinização. No entanto, são assim mesmo eventualmente mencionadas como polinizadores de plantas, onde os grãos de pólen aderem aos seus pelos, que são menos abundantes e densos comparando com as abelhas, e às suas esculturas cuticulares (CONCEIÇÃO et al., 2004). Mesmo que alguns estudos demonstrem que as formigas possam agir como polinizadores de algumas espécies de plantas em um processo denominado mirmecogamia (PEAKALL et al., 1991; GÓMEZ e ZAMORA, 1992; GARCIA et al., 1995; CUNHA et al., 2014), existem duas principais limitações na polinização realizadas por elas: as operárias não possuem asas para ir muito longe, e por isso, geralmente forrageiam na mesma planta; possuem a glândula metapleurálica que produz substâncias lipofílicas com função antibiótica, podendo inativar o pólen, perdendo sua capacidade de germinação (HÖLLDOBLER e WILSON, 1990). Na realidade, algumas plantas, evoluíram mecanismos para afastar formigas, contudo, algumas poucas espécies, parecem ter evoluído adaptações para a polinização por formigas (CUNHA et al., 2014).

Em interações mais específicas, algumas plantas oferecem para as formigas nectários extraflorais ou corpos alimentares, sendo uma fonte rica em carboidratos, aminoácidos,

vitaminas, água e outros compostos orgânicos, em uma relação denominada mirmecotrofia (DELABIE, 2003). É, portanto, um valioso recurso alimentar, importante para o aumento da incidência de formigas, que em troca podem fornecer proteção contra herbívoros (KAMINSKI et al., 2009). Em geral, o resultado dessa interação resulta em vantagens tanto para as formigas quanto para a planta (FERNÁNDEZ, 2003). Porém, como em qualquer associação, estes benefícios podem variar entre habitats em função de características bióticas e abióticas (IZZO e PENETI-BENELLI, 2011).

Outras espécies de plantas, conhecidas como mirmecófitas, possuem interações estreitas com formigas. Estas plantas comumente desenvolvem estruturas que funcionam para abrigar ninhos de formigas, denominadas domáceas, que constituem depressões, bolsas ou tufo de pelos localizados na axila da nervura central, ápice do pecíolo, base da lâmina foliar ou ramo. Em alguns casos, plantas mirmecófitas, além de abrigo, concedem recursos alimentares para estes animais, conhecidos como corpúsculos de alimentação (VASCONCELOS, 1991). Portanto, formigas, em troca de alimento e abrigo, agem como alelopáticos, impedindo o crescimento de outras espécies, acumulando matéria orgânica no interior das domáceas, que pode ser absorvida na forma de nutrientes pela planta hospedeira, e diminuindo o impacto da herbivoria por outros invertebrados (DÁTTILO et al., 2009). Exemplos bem conhecidos desse mutualismo são as associações entre plantas do gênero *Acacia* (Fabaceae) e formigas do gênero *Crematogaster*, *Camponotus* e *Brachymyrmex* (BERTUOL et al., 2008), plantas do gênero *Cordia* (Boraginaceae) e formigas do gênero *Crematogaster*, *Allomerus* e *Azteca* (IZZO e PENETI-BENELLI, 2011).

2.6 Caracterização do Ambiente de Estudo: Mucugê, Chapada Diamantina, BA

A Chapada Diamantina, localizada na parte central do território do estado da Bahia, abrange 23 municípios: Abaíra, Andaraí, Barra Da Estiva, Boninal, Bonito, Ibicoara, Ibitiara, Iraquara, Itaeté, Jussiape, Lençóis, Marcionílio Souza, Morro do Chapéu, Mucugê, Nova Redenção, Novo Horizonte, Palmeiras, Piatã, Rio de Contas, Seabra, Souto Soares, Utinga e Wagner. A população total do território é de 359.678 habitantes, dos quais 184.894 vivem na área rural, o que corresponde a 51,41% do total (FAEB, 2016). Diante da variedade do relevo, clima local e composição do solo a Chapada apresenta variados tipos vegetacionais (QUEIROZ et al., 2008). Esse mosaico inclui cerrados, caatingas,

diferentes tipos de matas e, principalmente, campos rupestres, caracterizados por apresentar elevada proporção de rochas expostas em altas altitudes com predominância de espécies herbáceo-arbustivas (JUNCÀ et al., 2005).

A importância biológica da região estimulou a criação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, em 1985 (NEVES e CONCEIÇÃO, 2007), através do decreto nº 91.655, assegurando a preservação de seus recursos naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, contribuindo para a preservação de sítios e estruturas de interesse histórico-cultural existentes na área. O Parque possui aproximadamente 152.575 hectares, distribuindo-se pelos Municípios de Lençóis, Andaraí, Mucugê, Palmeiras e Ibicoara (ICMBIO– Instituto Chico Mendes, 2016). Dessa área, 52% pertencem à Mucugê, que se localiza na região central da Chapada Diamantina, na Serra do Sincorá (SILVA e WANDERLEY, 2013).

Com uma população de aproximadamente 10.250 habitantes e possuindo uma área territorial de 2.462,163 km² (IBGE, 2015), Mucugê é uma das mais antigas cidades da região da Chapada Diamantina, fundada no final do século XVIII, e seu passado está diretamente relacionado à atividade mineradora, se destacando como um dos principais centros de exploração de ouro e diamantes (IPHAN, 2014). O tipo vegetacional predominante na região é o campo rupestre, que prevalece em áreas montanhosas suscetíveis aos fortes ventos, geralmente em altitudes acima de 900 m. É caracterizado por uma fisionomia herbácea e arbustiva associada aos afloramentos rochosos e pela ocorrência de solos arenosos e pedregosos (GIULIETTI e PIRANI, 1988), destacando-se por apresentar grande número de espécies endêmicas distribuídas em diversos grupos de plantas de algumas famílias como: Orchidaceae, Bromeliaceae, Eriocaulaceae, Cactaceae, Melastomataceae e Asteraceae (CONCEIÇÃO e PIRANI, 2007).

Além do Parque Nacional da Chapada Diamantina, a cidade abriga o Parque Municipal de Mucugê, um dos principais centros de pesquisas biológicas da Chapada Diamantina (SILVA e WANDERLEY, 2013). O Parque teve origem a partir de um projeto denominado Sempre Viva, executado em 1995 com o apoio da Prefeitura Municipal, do Governo do estado da Bahia, da Universidade Católica de Salvador e das Comissões de Meio Ambiente dos Municípios limítrofes do Parque Nacional da Chapada Diamantina. A proposta encaminhada ao Ministério do Meio Ambiente foi aprovada, criando a Unidade de Conservação de Mucugê em 15 de março de 1999 pelo Decreto Municipal nº 235 (STRADMANN, 1998).

O Parque Municipal de Mucugê possui uma área de 540 ha e seus principais objetivos são: conservar espécies endêmicas, como, por exemplo, a sempre viva de Mucugê, *Syngonanthus mucugensis* Giulietti, que está seriamente ameaçada de extinção pela coleta intensiva para a exportação; preservar os recursos naturais que constituem os balneários; proteger integralmente os ecossistemas que se encontram dentro dos limites do Parque; promover o ecoturismo, possibilitando de forma sustentável o uso de alguns recursos naturais como cachoeiras, trilhas e registros históricos do garimpo (ruínas); proporcionar o turismo científico, permitindo maiores conhecimentos sobre a área do Parque; fomentar atividades de pesquisa, monitoramento e educação ambiental. O projeto hoje tem fortes relações com a Universidade Estadual de Feira de Santana (UESF) e a Universidade Federal da Bahia (UFBA), disponibilizando infraestrutura para a realização de pesquisas científicas de discentes de graduação e pós-graduação. Outro trabalho de sucesso é com a educação ambiental, que tem sido dirigido a todos os segmentos da comunidade e às suas mais importantes instituições, com o objetivo de entrarem em contato com o parque recebendo orientações teóricas e práticas de conservação da natureza (STRADMANN, 1998).

Além de Unidades de Conservação Federal, Estadual e Municipal, essa região também apresenta unidades de conservação particulares, como exemplo a RPPN Adília Paraguassu Batista, situada no município de Mucugê, com uma área de 70 ha (ICMBIO– Instituto Chico Mendes, 2016). De acordo com o Ministério do Meio ambiente, RPPNs são Unidades de Conservação de domínio privado, com o objetivo de conservar a diversidade biológica, gravada com perpetuidade, por intermédio de Termo de Compromisso averbado à margem da inscrição no Registro Público de Imóveis, fazendo parte do grupo das Unidades de uso sustentável.

Embora a Chapada Diamantina seja uma região que possui alta biodiversidade e uma extensa área dentro de unidades de conservação, sua área está sujeita a incêndio frequentes (CONCEIÇÃO e PIVELLO, 2011). Ao longo do tempo, eventos recorrentes têm atingido extensas áreas de caatingas, cerrados e campos rupestres impactando a fauna e a flora (CONCEIÇÃO, 2000). Os danos provocados pelas queimadas e o desconhecimento dos processos envolvidos reforçam a necessidade de estudos para o reconhecimento dos efeitos do fogo na região, contribuindo para a conservação das diferentes espécies biológicas.

3 REFERÊNCIAS

AGOSTI, D.; ALONSO, L. E. The ALL Protocol. In: AGOSTI, D.; MAJER, J. D.; ALONSO, L. E.; SCHULTZ, T. R. (Eds). **Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity**. Washington and London: Smithsonian Institution Press, 2000.

ALBUQUERQUE, A.W., LOMBARDI NETO, F., SRINIVASAN, V.S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25: 121-128, 2001.

ANTBASE. Disponível em: <http://antbase.org/index.htm>. 2017. Acessado em 30/01/2017.

ARNAN, X.; RODRIGO, A.; RETANA, J. Post-fire recovery of mediterranean ground ant communities follows vegetation and dryness gradients. **Journal of Biogeography**, v.33, p. 1246–1258, 2006.

ASSUNÇÃO, M. A.; TOREZAN-SILINGARDI, H. M.; DEL-CLARO, K. Do ant visitors to extrafloral nectaries of plants repel pollinators and cause an indirect cost of mutualism? **Flora**, v. 209, p. 244-249, 2014.

BACARRO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. L. P.; SOLAR, R. **Guia para os Gêneros de Formigas do Brasil**. Editora Inpa. Manaus, 2015.

BELL, S. S.; MCCOY, E. D.; MUSHINSKY, H. R. **Habitat structure: the physical arrangement of objects in space**. London, New York, Chapman & Hall. 1991.

BERTUOL, T. J.; GALBIATI, C.; PEREIRA, M. J. B.; AMARAL, A. M. Avaliação de mutualismo entre *Acacia mangium* Willd (Mimosaceae) e formigas (Hymenoptera: Formicidae). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.3, n.1, p. 41-47, 2008.

BOLTON, B. Antcat. Disponível em: <http://www.antcat.org/>.2017. Acessado em 30/01/2017.

BOSCARDIN, J.; COSTA, E. C.; DELABIE, J. H. C.; GARLET, J. Efeito do fogo sobre a riqueza de formigas (Hymenoptera: Formicidae) associadas à *Pinus elliottii* Engelm no Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 1031-1040, 2014.

BRANDÃO, C. R. F.; CANCELLO, E. M. (Eds.). v. 5. Invertebrados Terrestres. In: JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. M. (Orgs). **Biodiversidade do Estado de São Paulo: síntese do conhecimento ao final do século XX**. São Paulo: FAPESP, 1999.

- BRUHL, C. A.; GUNSALAM, G.; LINSÉNMAIRE, K. E. Stratification of ants (Hymenoptera: Formicidae) in a primary rain forest in Sabah, Borneo. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 285-297, 1998.
- BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Caderno Saúde Pública**, V. 19, n. 2, p. 465-473, 2003.
- CANTARELLI, E. B.; FLECK, M. D.; GRANZOTTO, F.; CORASSA, J. N.; D'AVILA, M. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serrapilheira em diferentes sistemas de uso do solo. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 607-616, 2015.
- COCHRANE, M. A. **Tropical fire ecology: climate change, land use, and ecosystem dynamics**. Chichester, Springer-Praxis. 2009.
- COCHRANE, M.; SCHULZE, M.D. Fire as a Recurrent Event in Tropical Forests of the Eastern Amazon: Effects on Forest Structure, Biomass, and Species Composition. **Biotropica**, v.31, n.1, p. 2-16, 1999.
- CONCEIÇÃO, A. A.; PIRANI, J. R. Diversidade em quatro áreas de campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: Espécies distintas, mas riqueza similares. **Rodriguésia**, v. 58, n.1, 193-206, 2007.
- CONCEIÇÃO, A. A.; PIRANI, J. R. **Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina: substratos, composição florística e aspectos estruturais**. Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo, v. 23, n. 1. p. 85-111, 2005.
- CONCEIÇÃO, E. S.; DELABIE, J. H. C.; COSTA NETO, A. O. A entomofilia do coqueiro em questão: avaliação do transporte de pólen por formigas e abelhas nas inflorescências. **Neotropical Entomology**, v.33, n.6, p. 679-683, 2004.
- CONCEIÇÃO, A. A. Alerta para a conservação da biota na Chapada Diamantina. **Ciência Hoje**, v.27, p. 54-56, 2000.
- CONCEIÇÃO, A. A.; PIVELLO, V. R. Biomassa combustível em campo sujo no entorno do Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, ano 1, n. 2, p. 146-160, 2011.
- COSTA, U. A. S.; OLIVEIRA, M.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. Dispersão de sementes por formigas em remanescentes de Floresta Atlântica Nordeste. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 231-233, 2007.
- COSTA, Y. T., RODRIGUES, S. C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de cerrado. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 30, p. 149-165, 2015.
- CRUZ, A. C. R.; MARQUES, M. F. O.; GUSMÃO, L. F. P. Fungos anamórficos (Hyphomycetes) da Chapada Diamantina: novos registros para o Estado da Bahia e Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 21, n. 4, p. 847-855, 2007.

CUNHA, D. A. S.; NÓBREGA, A. A. S.; ANTONIALLI JUNIOR, W. F. Insetos polinizadores em sistemas agrícolas. **Ensaio Ciências, Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 18, n. 4, p. 185-194, 2014.

DÁTTILO, W.; MARQUES, E. C.; FALCÃO, J. C. F.; MOREIRA, D. D. O. Interações mutualísticas entre formigas e plantas. **EntomoBrasilis**, v.2, n. 2, p. 32-36, 2009.

DELABIE, J. H.; PAIM, V. L. R. M.; NASCIMENTO, I. C.; CAMPIOLO, S. MARIANO, C. S. F. As Formigas como indicadores biológicos do impacto humano em manguezais da Costa Sudeste da Bahia. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 5, p. 602-615, 2006.

DELABIE, J. H. C.; OSPINA, M.; ZABALA, G. Relaciones entre hormigas y plantas: una introducción. In. FERNÁNDEZ, F. **Introducción a las hormigas de la región Neotropical**. Acta Noturna, Bogotá, 2003.

DELABIE, J. H. C.; FEITOSA, R. M.; SERRÃO, J. E.; MARIANO, C. S. F.; MAJER, J. D. **As Formigas paneromorfas do Brasil**. Ilhéus, BA: Editus, 2015.

DELLA LÚCIA, T. M. C.; OLIVEIRA, M. A. **As Formigas cortadeiras**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1993.

DIAS, B. F. S. A conservação da natureza. In: PINTO, M. N. (org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2ª ed., Editora Universidade de Brasília. Brasília-DF: 1994.

DRUMOND, M. A.; SCHISTEK, H.; SEIFFARTH, J. A. Caatinga: um bioma exclusivamente brasileiro... e o mais frágil. **Revista do Instituto Humanitas Unisinos**. Ano XII, n. 389, 2012.

ENDRINGER, F. B.; SANTOS, I. A.; TEIXEIRA, M. C.; SHOEREDER, J. H. Ant species richness in sand dune environments following burning (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v.51, n.2, p. 415-423, 2008.

FAEB — Federação da Agricultura e Pecuária do Estado da Bahia. Disponível em <http://www.faeb.org.br/index.php?id=216>. Acesso em 06/05/2016.

FARJI-BRENER, A. G.; CORLEY, J. C.; BETTINELLI, J. The effects of fire on ant communities in northwestern Patagonia: The importance of habitat structure and regional context. **Diversity and Distributions**, v.8, p. 235-243, 2002.

FERNÁNDEZ, F. **Introducción a las Hormigas de la región Neotropical**. Bogotá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colômbia, 2003.

FERNÁNDEZ, F.; OSPINA, M. Sinopsis de las hormigas de la región Neotropical. In: FERNÁNDEZ, F. (ed.) **Introducción a las hormigas de la región Neotropical**. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, Colômbia, 2003.

FONSECA, R. C.; DIEHL, E. Riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) epigéicas em povoamentos de *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae) de diferentes idades no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.48, n.1, p. 95-100, 2004.

FRANCESCHINELLI, E. B.; BAWA, K. S. The post-fire effects on the outcrossing rate of a Brazilian savannah shrub, *Helicteres sacarolha* A.St.-Hil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.1, p. 163-170, 2005.

FRANCA-ROCHA, W. et al. Considerações finais e recomendações para conservação. Pp. 409-435. In: JUNCÁ, F. A.; FUNCH, L.; W. FRANCA-ROCHA (eds.). **Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 2005.

FREIRE, C. B.; OLIVEIRA, G. V.; SÁ-MARTINS, F. R.; SOUZA, L. E. C.; LACAU, L. S. R.; CORRÊA, M. M. Riqueza de formigas em áreas preservadas e em regeneração de caatinga arbustiva no sudoeste da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 10, n. 1, p. 131-134, 2012.

FREITAS, A.V. L. et al. Insetos como indicadores de conservação da paisagem. In: **Biologia da Conservação: Essências**. (ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S. ed.). Editora RiMa, São Carlos, 2006.

FRIZZO, T. L. M.; CAMPOS, R. I.; VASCONCELOS, H. L. Efeito do fogo sobre a riqueza e abundância de formigas em área de Cerrado no Brasil Central. **Biológico**, v. 69, Suplemento 2, p. 275-278, 2007.

FRIZZO, T. L. M.; BONIZÁRIO, C.; BORGES, M. P.; VASCONCELOS, H. L. Revisão dos efeitos do fogo sobre a fauna de formações savânicas do Brasil. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 365-379, 2011.

GARCIA, M.B.; R.J. ANTOR; X. ESPADALER. Ant pollination of the palaeoendemic dioecious *Borderea pyrenaica* (Dioscoriaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v.198, p.17-27, 1995.

GILBERT, L. E. Food web organization and conservation of neotropical diversity. **Conservation Biology**. Sinauer Press, Standford, Connecticut. 1980.

GIULIETTI, A. M.; PIRANI, J. R. Patterns of geografic distribution of some plant species from the Espinhaço Range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. In: P.E. Vanzolini,; W.R. Meyer (eds.). **Proceedings of a workshop of neotropical distribution patterns**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 1988.

GÓMEZ, J.M., R. ZAMORA. Pollination by ants: consequences of the quantitative effects on a mutualistic system. **Oecologia**, v. 91, p. 410-418, 1992.

GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. **Life in the cerrado: a South American tropical seasonal vegetation**, v. 1, Origin, structure, dynamics and plant use. Reta Verlag. 2006.

- HILTY, J.; MERENLENDER, A. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. **Biological Conservation**, n.92, p. 185-197, 2000.
- HOEKSEMA, J. D.; BRUNA, E. M. Pursuing the big questions about interspecific mutualism: a review of theoretical approaches. **Oecologia**, v.125, p. 321-330, 2000.
- HOFFMANN, B. D. Responses of ant communities to experimental fire regimes on rangelands in the Victoria River District of the Northern Territory. **Austral Ecology**, v.28, p.182-195, 2003.
- HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The ants**. Cambridge: Harvard University Press, 1990.
- HORN, S.P.; KAPPELLE, M. Fire in the páramo ecosystems of Central and South America. P. 505-539. In: M.A. Cochrane (ed.). **Tropical fire ecology: climate change, land use, and ecosystem dynamics**. Chichester, Springer-Praxis, 2009.
- HUTCHESON, J.; WALSH, P.; GIVEN, D. Potencial value of indicator species for conservation and management of New Zealand terrestrial communities. **Science for Conservation**, v.109, p. 1-90, 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Bahia, Mucugê. **População estimada 2015**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=292190&search=bahia|mucuge>. Acesso em 16/05/2016.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Parque Nacional da Chapada Diamantina**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/> Acesso em: 04/05/2016.
- IPHAN-Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Mucugê/Bahia. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/239>. Acesso em 22/05/2016.
- IZZO, T. J.; PENETI-BENELLI, A. Relação entre diferentes espécies de formigas e a mirmecófita *Cordia nodosa* Lamarck (Boraginaceae) em áreas de mata ripária na Amazônia mato-grossense. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 3, p. 355-360, 2011.
- JUNCÀ, F. A.; FUNCH, L. ROCHA, W. **Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Série Biodiversidade. 2005.
- KAMINSKI, L. A.; SENDOYA, S. F.; FREITAS, A. V. L.; OLIVEIRA, P. S. Ecologia comportamental na interface formiga-planta-herbívoro: Interações entre formigas e lepidópteros. **Oecologia Brasiliensis**, v.13, n.1, p. 27-44, 2009.
- KAPUSTA, S. C. Curso Técnico em Meio Ambiente. **Bioindicação Ambiental**. Porto Alegre : Escola Técnica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- LEAL, I. R. Diversidade de formigas em diferentes unidades de paisagem da caatinga. In: LEAL, I. R. TABARELLI, M. SILVA, J. M. C. (Eds). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1º Ed. Recife. Ed. Universitária da UFPE, 2003.

LOPES, C. T.; PACHECO, R. FERREIRA, A. V.; COSTA, A. N.; VASCONCELOS, H. L. Efeitos do fogo e da sazonalidade sobre formigas em três espécies arbóreas do Cerrado do Brasil Central. **Biológico**, v. 69, Suplemento 2, 2007.

LOUZADA, J. N. C.; SANCHES, N. M.; SCHLINDWEIN, M. N. Bioindicadores de qualidade e de impactos ambientais da atividade agropecuária. **Informe Agropecuário**, v.21, n. 202, p. 72-77, 2000.

MAJER, J. D. Ants: Bio-indicators of minesite rehabilitation, landuse, and land conservation. **Environmental Management**, v.7, p. 375-383, 1983.

MARTINS, S. V.; RIBEIRO, G. A.; SILVA JUNIOR, W. M.; NAPPO, M. E. Regeneração Pós-Fogo em um Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no Município de Viçosa, Mg. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 11-19, 2002.

MATOS, J. Z.; YAMANAKA, C. N.; CASTELLANI, T. T.; LOPES, B. C. Comparação da fauna de formigas de solo em áreas de plantio de *Pinus elliottii*, com diferentes graus de complexidade estrutural (Florianópolis, SC). **Biotemas**, v.7, p. 1-2, 1994.

MILKO, P. A Arte de Polinizar. Horizonte Educação e Comunicação. **Revista Horizonte Geográfico**. Ed. Ltda, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado**. Brasília: MMA, 2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 19 de Jul. 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/consulta-por-uc>. Acesso em: 01/11/2016.

MIRANDA, H. S. et al. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (Eds.). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; NASCIMENTO NETO, W.; AIRES, F. S. Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. Pp. 427-450. In: M.A. Cochrane (ed.). **Tropical fire ecology: climate change, land use, and ecosystem dynamics**. Chichester, Springer-Praxis, 2009.

MIRANDA, T. A.; SANTANA, A. S.; VARGAS, A. B.; ALMEIDA, F. S. **Aspectos estruturais do ambiente e seus efeitos nas assembleias de formigas em ambientes de floresta e bosque**. Cadernos UniFOA. Edição n. 21, Abril, 2013.

MORAIS, H. C.; BENSON, W.W. Recolonização de vegetação de cerrado após queimada, por formigas arborícolas. **Revista Brasileira de Biologia**, v.48, n.3, p. 459-466, 1988.

MOREIRA, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal Of Biogeography**, v. 27, n. 4, p. 1021-1029, 2000.

NEVES, S. P. S.; CONCEIÇÃO, A. A. Vegetação em afloramentos rochosos na Serra do Sincorá, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Sitientibus - Série Ciências Biológicas**, v.7, n.1, p. 36-45, 2007.

NUNES, L. A. P. L. ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semi-árido nordestino. **Caatinga**, v.19, n.2, p. 200-208, 2006.

OLIVEIRA, M. L.; MARIANO, C. F. S.; COSTA, M. A.; DALABIE, J. H. C. LACAU, S. *Pheidole protaxi* sp. nov. (Hymenoptera: Formicidae), new species from tabuleiro forests of the Atlantic Forest biome. **Sociobiology**, v.62, n.4, p. 533-537, 2015.

PARR, C. L.; ROBERTSON, H. G.; BIGGS, H. C.; CHOWN, S. L. Response of African savanna ants to longterm fire regimes. **Journal of Applied Ecology**, v.41, p. 630-641, 2004.

PEIXOTO, T. S.; PRAXEDES, C. L.; BACCARO, F. B.; BARBOSA, R. I.; MOURÃO JUNIOR, M. Composição e riqueza de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em savana e ambientes associados de Roraima. **Revista Agroambiente On-line**, v.4, n.1, p. 1-10, 2010.

PEREIRA, M. P. S.; QUEIROZ, J. M.; VALCARCEL, R.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 13, p. 197-204, 2007.

PEREIRA, M. M. D.; BRAGA, P. E. T.; GUIOMAR, N. Análise dos diferentes estágios de desenvolvimento da caatinga em Sobral, Ceará, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 16, n. 2, p. 46-65, 2014.

PEETERS, C.; MOLET, M. Colonial reproduction and life histories. In: LACH, L.; PARR, C.L.; ABBOTT, K.L. (org.) **Ant ecology**. New York, Oxford University Press, 2010.

PEAKALL, R., C.J. ANGUS, A.J. BEATTIE. The significance of ant and plant traits for ant pollination in *Leporella fimbriata*. **Oecologia**, v. 84, p. 457-460, 1990.

PHILPOTT, S. M.; ARMBRECHT, I. Biodiversity in tropical agroforest and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. **Ecological Entomology**, v.31, n.4, 2006.

PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I.; ARMBRECHT, I.; PARR, C. L. Ant diversity and function in disturbed and changing habitats. In: L. LACH; C. L. PARR; K. L. Abbott (eds.). **Ant Ecology**. New York, Oxford University Press Inc. 402 p. Porto Alegre, 2010.

PIMM, S. **The Balance of Nature? Ecological Issues in the Conservation of Species and Communities**. University of Chicago Press, Chicago, Illinois. 1991.

PINARD, M. A.; PUTZ, F. E.; LICONA, J. C. Tree mortality and vine proliferation following a wildfire in a subhumid tropical forest in eastern Bolívia. **Forest Ecology and Management**, v. 116, p. 247-252, 1999.

QUEIROZ, L.P.; FUNCH, L.S.; FUNCH, R.R. Vegetação da Chapada Diamantina. Pp. 35-47. In: FUNCH, L. S.; FUNCH, R. R.; QUEIROZ, L. P. (org.). **Serra do Sincorá: Parque Nacional da Chapada Diamantina**. Feira de Santana: Radami. 2008.

RAINIO, J.; NIEMELA, J. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. **Biodiversity and Conservation**, v.12, p. 487-506, 2003.

RIBAS, C. R.; CAMPOS, R. B. F.; SCHMIDT, F. A.; SOLAR, R. R. C. Ants as indicators in Brazil: A review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. **Psyche**, p. 1-23, 2012.

RIBAS, C. R.; Schmidt, F. A.; SOLAR, R. R. C.; Schoereder, J. H.; VALENTIM, C. L. SANCHES, A. L. P.; Endringer, F. B. Formigas podem ser utilizadas como bioindicadoras de recuperação após impactos ambientais. **Biológico**, v.69, suplemento 2, p. 57-60, 2007.

RICO-GRAY, V.; OLIVEIRA, P. S. **The ecology and evolution of ant-plant interactions**. Chicago: The University of Chicago Press, 2007.

ROCHA, W. O.; DORVAL, A.; PERES FILHO, O.; VAEZ, C. A.; RIBEIRO, E. S. Formigas (Hymenoptera: Formicidae) Bioindicadoras de Degradação Ambiental em Poxoréu, Mato Grosso, Brasil. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.1, p. 88-98, 2015.

RODRIGO, A.; RETANA, J. Post-fire recovery of ant communities in submediterranean *Pinus nigra* forests. **Ecography**, v.29, p. 231-239, 2006.

ROSUMEK, F. B. Associação de *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish (Asteraceae) com formigas e sua relação com a mirmecofauna do solo em floresta de altitude, região central de Minas Gerais. **Lundiana**, v.9, n.1, p. 41-47, 2008.

SANTOS, J. C.; DELABIE, J. H. C.; FERNANDES, G. W. A 15-year post evaluation of the fire effects on ant community in an area of Amazonian forest. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.52, n.1, p. 82-87, 2008.

SANTOS, J. C.; DEL-CLARO, K. As formigas tecelãs do cerrado. **Ciência Hoje**, v.32, n.188, p. 68-71, 2002.

SANTOS, M. S.; LOUZADA, J. N. C.; DIAS, N.; ZANETTI, R.; DELABIE, J. H. C.; NASCIMENTO, I. C. Riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) da serapilheira em fragmentos de floresta semidecídua da Mata Atlântica na região do Alto do Rio Grande, MG, Brasil. **Iheringia - Série Zoologia**, v.96, n.1, p. 95-101, 2006.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, G.; ROCHA, L. C. **Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma Cerrado (2002-2012)**. Caderno de Geografia, v.24, número especial 1, 2014.

SCHOWALTER, T.D. **Insect ecology: an ecosystem approach**. Academic Press. Oxford. 2006.

SILVA, D. M.; LOIOLA, P. P.; ROSATTI, N. B.; SOLVA, I. A.; CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A. Os Efeitos dos Regimes de Fogo sobre a Vegetação de cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: Considerações para a Conservação da Diversidade. **Biodiversidade Brasileira**, Ano I, n. 2, p. 26-39, 2011.

SILVA, G. O.; WANDERLEY, M. G. L. A família xyridaceae no município de Mucugê, BA, Brasil. **Hoehnea**, v.40, n.1, p. 51-76, 2013.

SILVA, M. X. **Composição de espécies e padrão de forrageamento de formigas em *Talipariti pernambucense* (Malvaceae) em uma área de restinga.** Prática da Pesquisa em Ecologia da Mata Atlântica. Curso de Pós-graduação em Ecologia. Universidade de São Paulo, 2012.

SILVA, R. F.; SAIDELLES, F. L. F.; VASCONCELLOS, N. J. S.; WEBBER, D. P.; MANASSERO, D. Impacto do Fogo na Comunidade da Fauna Edáfica em Florestas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.17, n.2-4, p. 234-241, 2011.

SILVEIRA NETO, S.; MONTEIRO, R. C.; ZUCCHI, R. C. B. M. Uso da análise faunística de insetos na avaliação do impacto ambiental. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.1, p. 9-15, 1995.

SILVESTRE, R.; SILVA, F. G.; PAULA, S. M.; RAMOS, L. A.; FERNANDES, W. D. **Formigas como indicadores ecológicos do manejo e conservação da mata ciliar do Rio Dourado, Mato Grosso do Sul.** XVIII Simpósio de Mirmecologia. **Biológico**, v.69, suplemento 2, p.43-48, 2007.

SILVESTRE, R.; SILVA, R. R. Guildas de formigas da estação ecológica Jataí, Luiz Antônio – SP – sugestões para aplicação do modelo de Guildas como bio-indicadores ambientais. **Biotemas**, v.14, n.1, p. 37-69, 2001.

SOARES, N.S.; ALMEIDA, L.O.; GONÇALVES, C.A.; MARCOLINO, M.T.; BONETTI, A.M. Levantamento da diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) na região urbana de Uberlândia, MG. **Neotropical Entomology**, v.35, n.3, p. 324-328, 2006.

SOUZA, I. D.; MARINHO, S. G. S.; LIMA, A. S.; MELO, B. A.; OLIVEIRA, M. A.; DELABIE, J. H. C. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) epigéias na mesoregião do sertão paraibano. **Revista Brasileira de Zoociências**, v.16, p. 43-53. 2014/2015.

STRADMANN, M. T. S. **Plano de manejo do Parque Municipal de Mucugê.** Mucugê: Prefeitura Municipal.1998.

SWENGEL, A. B. A Literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat. **Biodiversity and Conservation**, v.10, p. 1141-1169, 2001.

TEWS, J. U.; BROSE, U.; GRIMM, V.; TIELBÖRGER, K.; WICHMANN, M. C.; SCHWAGER, M.; JELTSCH, F. Animal species diversity driven by habitat

heterogeneity diversity: the importance of keystone structures. **Journal of Biogeography**, v. 31, p. 79-92, 2004.

VAN DER PIJL, L. Principles of dispersal in higher plants. 3ed. **Springer Verlag**, Berlin, 1982.

VASCONCELOS, H.L. Mutualism between *Maieta guianensis* Aubl., a myrmecophytic melastome, and one of its ant inhabitants: ant protection against insect herbivores. **Oecologia**, V. 87, p. 295-298, 1991.

VASCONCELOS, H. L.; VILHENA, J. M. S.; CALIRI, G. J. A. Responses of ants to selective logging of a central Amazonian forest. **Journal of Applied Ecology**, London, v.37, n.3. p. 508-514, 2000.

VASCONCELOS, H. L.; MARAVALHAS, J. B.; CORNELISSEN, T. Effects of fire disturbance on ant abundance and diversity: a global meta-analysis. **Biodiversity and Conservation**. Electronic supplementary material The online version of this article (doi:10.1007/s10531-016-1234-3). 2016.

WILSON, E. O. **The insect societies**. Cambridge-Mass: Belknap Press Harvard, 1971.

CAPÍTULO I

Manuscrito a ser submetido para a revista *Arthropod-Plant Interactions*

Formigas Visitantes de Plantas em Áreas de Campo Rupestre Afetadas e Não-afetadas Pelo Fogo na Chapada Diamantina, Nordeste Brasileiro

Evelinne Silva Chaves¹, Claudia Bottcher¹, Lucas Cardoso Marinho², Sebastien Lacau³ & Michele Martins Corrêa⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), BR 415, Km 03, s/nº, 45700-000, Itapetinga, Bahia, Brazil. vellychaves@hotmail.com; caubottcher@gmail.com

²Programa de Pós-graduação em Botânica, Universidade Estadual de Feira de Santana, Av. Transnordestina, Novo Horizonte, Feira de Santana, Bahia 44036-900, Brazil. lcmarinho1@gmail.com

³Laboratório de Biossistemática Animal, Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), BR 415, Km 03, s/nº, 45700-000, Itapetinga, Bahia, Brazil. slacau@uesb.edu.br

⁴Laboratório de Biodiversidade do Semiárido, Departamento de Ciências Naturais (DCN), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Estrada do Bem Querer, Km 04, s/n, 45083-900, Vitória da Conquista, Brazil. mcorrea@uesb.edu.br

RESUMO

Formigas Visitantes de Plantas em Áreas de Campo Rupestre Afetadas e Não-afetadas Pelo Fogo na Chapada Diamantina, Nordeste Brasileiro - A eficácia da família Formicidae como bioindicador é comprovada através de diversos tipos de avaliações e monitoramento sobre impactos da agricultura, pastagem, desmatamento e distúrbios por fogo. Neste estudo, comparamos a riqueza e composição de espécies de formigas visitantes de plantas entre áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo em campo rupestre no município de Mucugê, Bahia, e respondemos às seguintes questões: existe variação, entre as áreas de campo rupestre afetadas e não afetadas pelo fogo: 1) na riqueza e composição de espécies de formigas visitantes das plantas; 2) na proporção de plantas visitadas por formigas; e 3) variação temporal na interação planta-formiga. Foram estabelecidas 20 parcelas aleatórias entre as áreas, onde cada planta presente foi marcada e identificada. As plantas foram vistoriadas quanto à presença de formigas, e quando presentes, estas foram coletadas manualmente, armazenadas em potes com álcool 70% e posteriormente identificadas. No total, foram encontradas 45 espécies de formigas, distribuídas em seis subfamílias e 67 espécies de plantas pertencentes a 28 famílias. A subfamília mais frequente para as formigas foi Formicinae e a família Fabaceae para as plantas. Áreas afetadas pelo fogo apresentaram riqueza de espécies de formigas semelhantes a de áreas não-afetadas pelo fogo. Além disso, as áreas afetadas pelo fogo mostraram uma maior proporção de plantas visitadas por formigas, com a variação temporal também sendo um fator importante. Desta forma, pode-se concluir que formigas arborícolas não são boas indicadoras de recuperação após impacto ambiental causado pelo fogo em vegetação de campo rupestre, pelo menos nas áreas estudadas aqui.

Palavras-chave: Associação formiga-planta; Bioindicador; Variação temporal; Campo Rupestre.

ABSTRACT

Ants Visitors of plants in areas of rocky fields affected and non-affected by fire in Chapada Diamantina, northeastern Brazil - The effectiveness of the Formicidae family as a bioindicator is proven through various types of assessments and monitoring of impacts of agriculture, pasture, deforestation and disturbance By fire. In this study, we compared the richness and composition of ant species of plant visitors among affected and non-affected areas in the Mucugê county, Bahia, Brazil, and we answered the following questions: there is a variation among affected rock field areas And not affected by the fire: 1) in the richness and composition of species of ants visiting plants; 2) in the proportion of plants visited by ants; And 3) temporal variation in plant-ant interaction. 20 random plots were established between the areas, where each plant was marked and identified. The plants were inspected for the presence of ants, and when present, these were collected manually, stored in jars with 70% alcohol and subsequently identified. In total, 45 species of ants were found, distributed in six subfamilies and 67 species of plants belonging to 28 families. The most frequent subfamily for the ants was Formicinae and the Fabaceae family for the plants. Areas affected by fire showed ants species richness similar to that of areas not affected by fire. In addition, areas affected by fire showed a greater proportion of plants visited by ants, with temporal variation being also an important factor. Thus, it can be concluded that arboreal ants are not good indicators of recovery after environmental impact caused by fire in rock field vegetation, at least in the areas studied here.

Palavras-chave: Association ant-plant; Bioindicator; Temporal variation; Rock field.

INTRODUÇÃO

Espécies diferentes podem se associar para aumentar suas chances de sobrevivência (Dáttilo et al. 2009), sendo uma relação bem conhecida a existente entre formigas e plantas (Izzo e Peneti-Benelli 2011). Nessas interações, as plantas podem oferecer abrigo ou alimento para as formigas, à medida que as formigas podem propiciar proteção contra herbivoria, dispersar suas sementes e, casualmente, polinizar suas flores (Dáttilo et al. 2009). Algumas plantas formam estruturas especializadas, chamadas domáceas, onde as formigas constroem seus ninhos (Matos et al. 2006). Outras podem ainda produzir néctar ou corpos alimentares ricos em carboidratos, aminoácidos, gorduras e vitaminas para atrair formigas (Dáttilo et al. 2009). No entanto, em alguns casos, o patrulhamento realizado pelas formigas, atraídas pelos recursos oferecidos pelas plantas, pode afastar polinizadores específicos e, conseqüentemente, diminuir seu sucesso reprodutivo (Heil e McKey 2003).

Em função dessa diversidade de papéis nos ecossistemas, seja por características ecológicas ou comportamentais (Kaminski et al. 2009), um maior conhecimento a respeito da família Formicidae se torna fundamental. As formigas vêm, também, sendo consideradas importantes bioindicadores da qualidade ambiental (Delabie et al. 2006). Isso principalmente por ser um grupo com distribuição geográfica ampla, facilmente amostrado, com ecologia e taxonomia relativamente bem conhecida e, também, por serem sensíveis às mudanças nas condições ambientais (Couto et al. 2010). Logo, mudanças bióticas ou abióticas, tais como a ocorrência de queimadas, podem influenciar diretamente na abundância, riqueza e composição de suas espécies (Freitas et al. 2003).

As conseqüências dos distúrbios ocasionados pelo fogo sobre as comunidades naturais estão diretamente ligadas a perdas nos estoques de biomassa, alterações no ciclo hidrológico e de nutrientes, e declínio das comunidades animais e vegetais nativas (Melo e Durigan 2010). Portanto, os efeitos do fogo determinam a estrutura e composição de espécies de uma comunidade vegetal (Lopes et al. 2009). Quanto aos efeitos do fogo sobre as comunidades de formigas, alguns estudos indicam que as populações podem ser influenciadas de forma negativa, neutra ou positiva (Izhaki et al. 2003). Foi evidenciado em um estudo na Austrália que diferentes espécies de formigas podem responder de formas

distintas aos efeitos do fogo, ou seja, em uma determinada área uma espécie pode diminuir ou desaparecer, à medida que outras podem ter um aumento na sua abundância (Hoffmann 2003).

Compreender como os seres vivos respondem aos eventos de fogo é importante para a conservação dos ecossistemas terrestres, principalmente diante das mudanças ambientais e do aumento das atividades antrópicas em todos os ambientes (Frizzo et al. 2011). Portanto, o objetivo deste estudo foi comparar a riqueza e composição de espécies de formigas visitantes de plantas entre áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo em campo rupestre no município de Mucugê, Bahia. Buscou-se responder se existe variação, entre áreas de campo rupestre afetadas e não afetadas pelo fogo: 1) na riqueza e composição de espécies de formigas visitantes das plantas; 2) na proporção de plantas visitadas por formigas; e 3) variação temporal na interação planta-formiga.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Este estudo foi realizado no município de Mucugê, em duas áreas: 1) dentro da RPPN Adília Paraguassu Batista e suas adjacências (S12°59'47" O041°23'04"), consideradas aqui como áreas afetadas pelo fogo, já que foram atingidas por fogo no mês de novembro de 2015, e 2) dentro do Parque Municipal de Mucugê (S12°59'02" O041°20'41"), consideradas aqui como área não-afetada pelo fogo, segundo comunicação pessoal do gestor do Parque.

O clima da região é mesotérmico, com precipitação média anual variando de 800–1100 mm e a temperatura média é de 19,5°C (Roque et al. 2016). A vegetação predominante na área é o campo rupestre, encontrada em altitudes acima de 900 m (Harley e Giulietti 2004), e caracterizada pela ocorrência de formações herbáceo-arbustivas associadas aos afloramentos rochosos e solo arenoso, destacando-se por apresentar grande número de espécies vegetais (Silva e Wanderley 2013).

Coleta de Dados

As coletas de dados foram realizadas nos meses de Fevereiro, Março, Julho e Dezembro de 2016, nas áreas selecionadas no município de Mucugê/BA, respectivamente

três, quatro, oito e treze meses após a ocorrência de fogo na RPPN – Adília Paraguassu Batista (Novembro/2015) e suas adjacências.

Para o estudo foram estabelecidas 20 parcelas aleatórias medindo 10 X 10 m, sendo 10 definidas na área não-afetada pelo fogo e 10 ao longo das áreas afetadas pelo fogo. No entanto, destas 10 parcelas estabelecidas na área afetada pelo fogo, três foram perdidas no mês de março devido ao pisoteio animal e ação humana. Em cada parcela, todos os arbustos e árvores com altura entre 0,50 m e 3,0 m foram marcados com placas de folha de alumínio (1,5 x 1,5cm) numeradas e fixadas a uma altura visível com linha de nylon. Em campo, depois de marcadas, foram coletadas amostras, tanto de suas partes reprodutivas quanto vegetativas, e acondicionadas em sacos plásticos. Esse material foi prensado e, posteriormente, seco em estufa para envio e identificação por especialistas. Durante as amostragens, entre 08 e 10 horas da manhã, todos os indivíduos de plantas eram cuidadosamente vistoriados quanto à presença de formigas. Quando presentes, as formigas eram contadas e coletadas manualmente, e armazenadas em potes com álcool 70%. Em laboratório, com a ajuda de especialistas, foram identificadas até espécie.

Os exemplares botânicos coletados foram identificados e estão depositados no Herbário da Universidade Estadual de Feira de Santana. As formigas coletadas foram identificadas e estão depositadas na coleção de Formicidae do Laboratório de Biosistemática Animal (LBSA), UESB - Itapetinga.

Análise de Dados

A riqueza de espécies de formigas associadas às plantas foi comparada entre as áreas e meses com o uso do teste Anova fatorial com ponderação pela proporção de plantas visitadas por formiga, essa técnica é recomendada para reduzir o efeito da heterocedasticidade, o que permitiu atender as premissas da análise mesmo com uma variável dependente com dados discretos como riqueza de espécies (Quinn e Keough, 2002). A proporção de plantas associadas com formigas foi comparada entre as áreas e meses com o uso do teste Anova fatorial com transformação dos dados em raiz quadrada e ponderação pela abundância total de plantas nas parcelas. A similaridade na composição de espécies de formigas associadas com as plantas entre as áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo foi comparada com o uso do teste de similaridade de Jaccard.

RESULTADOS

Riqueza de Plantas

Ao todo, foram amostrados 1932 indivíduos de plantas, pertencentes a 67 espécies, 56 gêneros e 28 famílias (Apêndice A). Destes, 1490 localizavam-se nas áreas não-afetadas pelo fogo e 442 nas áreas afetadas pelo fogo. Além disso, nas áreas afetadas foram registrados 575 indivíduos queimados e mortos e que, portanto, não foram acompanhados neste estudo. No geral, a família de plantas mais frequente foi Fabaceae (11 espécies), seguida pelas famílias Asteraceae (oito espécies), Melastomataceae (seis espécies), Euphorbiaceae (cinco espécies) e Lamiaceae (cinco espécies). Os gêneros com maior número de espécies foram *Chamaecrista* (Fabaceae), com quatro espécies e *Vellozia* (Velloziaceae), com três espécies (Apêndice A).

A família de plantas mais frequente na área afetada pelo fogo foi Fabaceae (seis espécies), seguida pelas famílias Euphorbiaceae e Lamiaceae (três espécies). O gênero com maior número de espécies foi *Calliandra* (duas espécies). Na área não-afetada pelo fogo, Fabaceae também foi a família mais frequente (oito espécies), seguida pelas famílias Asteraceae (sete espécies) e Melastomataceae (seis espécies). O gênero com maior número de espécie foi *Chamaecrista* (Fabaceae), com três espécies (Apêndice A).

Riqueza de Formigas

Foram coletadas 45 espécies de formigas, distribuídas em seis subfamílias e 13 gêneros. Destas, 34 espécies foram encontradas nas áreas não-afetadas pelo fogo e 26 nas áreas afetadas pelo fogo, sendo 15 espécies comuns entre as áreas. No geral, a subfamília mais frequente foi Formicinae (26 espécies), seguida pela subfamília Myrmicinae (8 espécies). O gênero mais rico em espécie foi *Camponotus* (24 espécies) no total entre as áreas (Apêndice B).

A espécie de formiga mais frequente foi *Camponotus* sp.1, comum aos dois ambientes, ocorrendo em todos os meses de coleta (Fevereiro, Março, Julho e Dezembro). Dezenove espécies foram coletadas apenas na área afetada pelo fogo. Por outro lado, 11

espécies ocorreram exclusivamente na área afetada pelo fogo. As espécies, *Brachymyrmex* sp. 1, *Brachymyrmex* sp. 2, *Camponotus* sp. 2, *Camponotus* sp. 9, *Camponotus* sp. 10, *Camponotus* sp. 11, *Camponotus* sp. 12, *Camponotus* sp. 13, *Camponotus* sp. 14, *Pheidole* sp., *Solenopsis* sp., *Wasmannia* sp., *Ectatomma* sp. 1, *Neoponera* sp., *Pseudomyrmex* sp. 1 só ocorreram nos meses de fevereiro e março, início de regeneração após o fogo. Já as espécies, *Camponotus* sp. 4, *Camponotus* sp. 6, *Cephalotes* sp. 2, *Dorymyrmex* sp. 2, *Dorymyrmex* NE, só ocorreram no mês de Dezembro, estágio mais avançado de sucessão ecológica (Apêndice B).

Associação entre Formigas e Plantas

O número de espécies de formigas visitantes de plantas não diferiu entre os meses ($F = 1,907$; $gl = 3$ e 52 ; $p = 0,140$), e nem entre as áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo ($F = 0,002$; $gl = 1$ e 52 ; $p = 0,969$) (Figura 1). Adicionalmente, a similaridade na composição de espécies de formigas visitantes de plantas entre as áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo foi de 16% no mês de fevereiro; 13% em março e julho e 17% em dezembro.

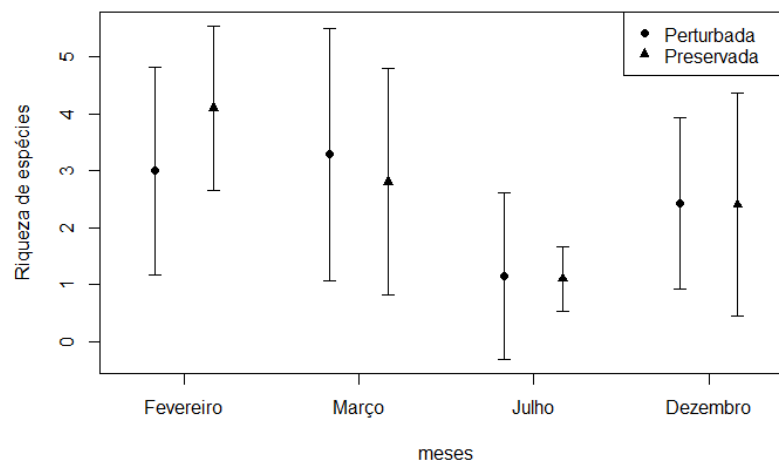


Figura 1. Riqueza (\pm desvio padrão) de espécies de formigas visitantes de plantas em campo rupestre na Chapada Diamantina, Bahia, em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, em quatro meses de 2016.

Do total de plantas coletadas, 67% das espécies e 11% dos indivíduos foram visitadas por formigas em pelo menos um período de coleta. A proporção de plantas visitadas por formigas diferiu entre as áreas ($F = 9,122$; $gl = 1$ e 60 ; $p = 0,003$), sendo mais frequente nas áreas afetadas pelo fogo. Essa proporção também difere entre os meses ($F = 7,229$; $gl = 3$ e 60 ; $p = 0,0003$), com o mês de Julho (estação seca) possuindo um menor número de espécies de formigas visitantes de plantas (Figura 2).

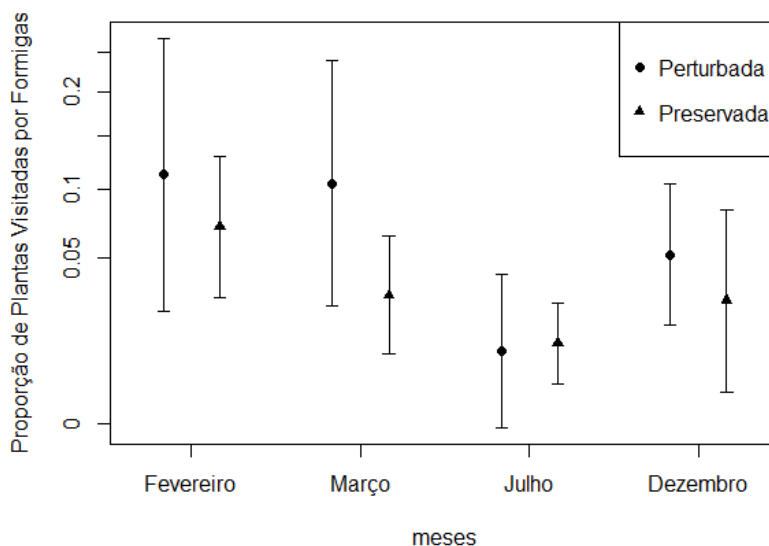


Figura 2. Proporção (\pm desvio padrão) de plantas visitadas por formigas em campo rupestre na Chapada Diamantina, Bahia, em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, em quatro meses de 2016.

DISCUSSÃO

A ocorrência significativa da família de plantas Fabaceae, verificada neste estudo, está de acordo com a descrita na literatura, uma vez que a família está entre as mais importantes em número de espécies no cerrado e na caatinga, o que demonstra a influência dessas duas formações na composição da vegetação de campo rupestre (Ferreira e Pasa 2014; Lima et al. 2014; Silva et al. 2002; Silva e Scarlot, 2004; Souza et al. 2015). Este resultado foi similar ao observado por Neves et al. (2010) e Costa et al. (2011), que igualmente, encontraram essa família como a mais significativa em campo rupestre.

Formicinae, a subfamília de formigas mais frequente, abriga gêneros bastantes abundantes e facilmente coletados. Essa representatividade se deve à sua adaptação a

diversos nichos ecológicos, já que esta subfamília apresenta espécies arborícolas, terrícolas e de serapilheira (Baccaro et al. 2015). Esse resultado é semelhante ao observado por Silva et al. (2015) e Rocha et al. (2015), que também encontraram essa subfamília como a mais significativa, independentemente do ambiente estudado. Myrmicinae, a segunda subfamília mais frequente, é caracterizada por possuir diversificados hábitos alimentares e de nidificação (Hölldobler e Wilson 1990), o que pode justificar sua alta representatividade neste estudo. O gênero *Camponotus*, o mais constante, tanto na área não-afetada quanto na área afetada pelo fogo, é constituído por espécies arborícolas e terrícolas, possuem uma grande distribuição e abundância nos ecossistemas terrestres (Ramos et al. 2003). Tais características podem explicar o destaque desse gênero nas áreas estudadas.

De acordo com os resultados, a riqueza e composição de espécies de formigas visitantes de plantas não foram influenciadas pelo grau de preservação da área estudada. Esse resultado provavelmente ocorreu porque as áreas afetadas pelo fogo (em regeneração) já possuem heterogeneidade ambiental suficiente para possibilitar recursos, locais de nidificação e alimentação para as formigas, gerando diminuição de sobreposição de nichos e, conseqüentemente, redução da competição, aumentando o número de espécies da mirmecofauna. Neves et al. (2016) estudando a estrutura das comunidades de formigas em diferentes elevações de campo rupestre encontraram resultados semelhantes, em que a riqueza e a composição de espécies de formigas não variou entre parcelas queimadas e não-queimadas.

Entretanto, a proporção de plantas visitadas por formigas em campo rupestre foi mais frequente nas áreas afetadas pelo fogo do que nas áreas não-afetadas, e este efeito apresentou variação temporal. Essas áreas em regeneração, que surgem com recursos mais ativos e melhor aparência, influenciam na frequência de interações e podem estar sendo escolhidas como habitat pelas formigas, o que também justificaria a baixa similaridade na composição de espécies de formigas observadas entre as áreas queimadas e não-queimadas. Outra explicação para esses resultados é o fato de que ambientes em estágio inicial de regeneração são mais comumente ocupados por espécies generalistas que possuem capacidade de aproveitar eficientemente diferentes recursos oferecidos pelo ambiente (Biagiotti et al. 2013).

A variação temporal observada não parece ser efeito da regeneração das áreas afetadas pelo fogo, mas provavelmente é decorrente da diferença entre as coletas realizadas em períodos chuvosos (fevereiro, março e dezembro) e seco (julho) na região. De acordo com Nogueira et al. (2013), a estação chuvosa representa, para a maioria das espécies

vegetais, a retomada do crescimento, pois a água nesse período é abundante e os nutrientes do solo são absorvidos pelas raízes. Conseqüentemente, há um aumento na produção de folhas novas e ramos, tornando os recursos como sementes, frutos e néctar mais abundantes. Além disso, na estação chuvosa, há um aumento da umidade relativa do ar que diminui os riscos de dessecação e desidratação, e torna o ambiente mais favorável ao desenvolvimento (Araujo 2013). Esse resultado também é observado em outro estudo que aponta para um aumento na diversidade de espécies de formigas associadas às plantas na estação chuvosa (Díaz-Castelazo et al. 2004).

Portanto, quanto aos efeitos do fogo sobre as comunidades animais, a intensidade desse efeito vai depender de uma série de fatores. É de se esperar que a mortalidade não atinja uniformemente todas as populações das diferentes espécies, pois características do comportamento e morfologia permitem que alguns grupos sejam menos susceptíveis aos efeitos diretos do fogo (Frizzo et al. 2011). Estudos mostram que espécies de formigas arborícolas inicialmente sofrem alta mortalidade, mas recolonizam rapidamente esses locais por meio de populações decorrentes das áreas próximas não queimadas (Swengel 2001; Zimmer e Parmenter 1998). Adicionalmente, espécies diferentes de formigas podem responder de formas distintas aos efeitos das queimadas, isto é, em uma área uma espécie pode aumentar sua frequência, enquanto outras podem diminuir ou até desaparecer. Logo, espécies de formigas apresentam respostas variáveis a diferentes situações de acordo com o habitat, intensidade e tempo da perturbação (Hoffmann 2003).

De acordo com Miranda (2009), o processo de sucessão ecológica é usado para descrever alterações na vegetação sobre várias escalas. À medida que a sucessão se processa, ocorrem modificações sucessivas no ambiente físico e na composição e estrutura vegetal e, conseqüentemente, na animal (Begon et al. 1996). Contudo, em nosso estudo, o número de espécies de formigas não variou entre os meses ou áreas, como observado em outros trabalhos. Schmidt e Diehl (2008) estudando o comportamento da comunidade de formigas em áreas sob diferentes usos do solo, encontraram uma maior riqueza de formigas capturadas em áreas em estágio inicial de regeneração. Em contrapartida, Neves et al. (2006) verificaram uma diferença significativa na abundância de formigas entre diferentes estágios sucessionais, com o estágio tardio sendo o com maior abundância.

Adicionalmente, as áreas de campo rupestre afetadas e não-afetadas pelo fogo apresentaram baixa similaridade na composição de espécies de formigas entre os meses. Esse resultado sugere que existe uma alteração na composição de espécies de formigas com a mudança de estágio sucessional, sendo o início do processo marcado por uma assembleia

de espécies diferente dos outros estágios. A espécie *Wasmannia* sp., por exemplo, ocorreu apenas no início da regeneração (fevereiro e março), assim como *Pheidole* sp. Espécies do gênero *Wasmania* apresentam alta capacidade de invasão e adaptação a novos locais (Errard et al. 2005), e são consideradas como típicas de áreas em início de sucessão (Coelho et al. 2009). Espécies do gênero *Pheidole* apresentam grande capacidade de colonizar habitats alterados pelo homem e com baixa complexidade estrutural (Fonseca e Diehl 2004).

Em vista disso, os resultados obtidos neste estudo indicam que a vegetação de campo rupestre afetadas pelo fogo (em regeneração) apresentam riqueza de espécies de formigas semelhantes à de áreas não-afetadas pelo fogo, possivelmente devido a heterogeneidade ambiental como importante fator que determina a distribuição e a coexistência de espécies. Além disso, as áreas afetadas pelo fogo apresentam uma maior proporção de plantas visitadas por formigas, com a variação temporal também sendo um fator importante. Certamente essa variação ocorre devido à disponibilidade de recursos obtidos diretamente das plantas ou de organismos associados a elas no período chuvoso. Assim, concluímos que formigas arborícolas não são boas indicadoras de recuperação após impacto ambiental causado pelo fogo, fortalecendo a ideia de que as formigas reagem rapidamente aos efeitos das queimadas e que as alterações continuam durante alguns meses após a queima. Simultaneamente, a rápida colonização de sítios queimados pelas formigas pode ser benéfica para as plantas, já que são dispersores de sementes, por exemplo, nesse tipo de ambiente (Neves et al. 2016).

REFERÊNCIAS

- Araújo WS (2013) A importância de fatores temporais para a distribuição de insetos herbívoros em sistemas Neotropicais. *Rev Biol* 10: 1-7
- Baccaro FB, Feitosa RM, Fernandez F, Fernandez IO, Izzo TJ, Souza JLP, Solar R (2015) Guia para os Gêneros de Formigas do Brasil, Editora Inpa, Manaus
- Begon M, Harper JL, Townsend CR (1996) *Ecology: individuals, populations and communities*. 4rd edn, London, Blackwell
- Biagiotti G, Pereira JAA, Ribas CR, Korasaki V, Zanetti R, Queiroz ACM (2013) Riqueza e Composição de Espécies de Formigas no Processo de Recuperação de uma Voçoroca. *Cerne* 19: 661-668
- Coelho MS, Fernandes GW, Santos JC, Delabie JHC (2009) Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators of land restoration in a Brazilian Atlantic forest fragment. *Sociobiology* 54: 51-63
- Couto PHM, Araújo MS, Rodriguez OS, Della Lúcia TMC, Oliveira MA, Bacci L (2010) Formigas como Bioindicadores da Qualidade Ambiental em Diferentes Sistemas de Cultivo da Soja. *Rev Agrotecnologia* 1: 11-20
- Costa NO, Cielo-Filho R, Pastore JA, Aguiar OT, Baitello JB, Lima CR, Souza SCPM, Franco GADC (2011) Caracterização florística da vegetação sobre afloramento rochoso na estação experimental de Itapeva, SP, e comparação com áreas de campos rupestres e de altitude. *Revista do Instituto Florestal* 23: 81-108
- Dáttilo W, Marques EC, Falcão JCF, Moreira DDO (2009) Interações mutualísticas entre formigas e plantas. *EntomoBrasilis* 2: 32-36
- Delabie JH, Paim VLRM, Nascimento IC, Campiolo S, Mariano CSF (2006) As Formigas como indicadores Biológicos do Impacto Humano em Manguezais da Costa Sudeste da Bahia. *Neo Ento Londrina* 35: 602-615
- Díaz-castelazo C, Rico-Gray V, Oliveira PS, Cuautle M (2004) Extrafloral nectary-mediated ant-plant interactions in the coastal vegetation of Veracruz, Mexico: richness, occurrence, seasonality, and ant foraging patterns. *Écoscience* 11: 472-481
- Errard C, Delabie JHC, Jourdan H, Hefetz A (2005) Intercontinental chemical variation in the invasive ant *Wasmannia auropunctata* (Roger) (Hymenoptera, Formicidae): a key to the invasive success of a tramp species. *Naturwissenschaften* 92: 319-323

Ferreira ALS, Pasa MC (2014) Estudo fitossociológico de vegetação de cerrado: Chapada dos Guimarães – MT, Brasil. FLOVET – Boletim do grupo de pesquisa da flora, vegetação e etnobotânica 1: 43-57

Fonseca RC, Diehl E (2004) Riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) epigéicas em povoamentos de *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae) de diferentes idades no Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Entomologia 48: 95-100

Freitas AVL, Francini RB, Brow Junior KS (2003) Insetos como indicadores ambientais. In: Cullen Jr, Rudran L, Valladares- Pádua R Métodos de Estudos em Biologia da Conservação & Manejo da Vida Silvestre. Editora UFPR, Fundação O Boticário de Proteção à Natureza 2: 125-151

Frizzo TLM, Bonizário C, Borges MP, Vasconcelos HL (2011) Revisão dos Efeitos do Fogo sobre a Fauna de Formações Savânicas do Brasil. Oecol Austra 15: 365-379

Harley RM, Giulietti AM (2004) Flores nativas da Chapada Diamantina. Rima 319p

Heil M, McKey LC (2003) Protective ant-plant interactions as model systems in ecological and evolutionary research. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 34:425-453

Hoffmann BD (2003) Responses of ant communities to experimental fire regimes on rangelands in the Victoria River District of the Northern Territory. Austral Ecology 28: 182-195

Hölldobler B, Wilson EO (1990) The ants. Cambridge: Harvard University Press 732pp

Izhaki I, Levey DJ, Silva ER (2003) Effect of prescribed fire on an ant community in Florida pine savanna. Ecol Entom 28: 439-448

Izzo TJ, Peneti-Benelli A (2011) Relação entre diferentes espécies de formigas e a mirmecófita *Cordia nodosa* Lamarck (Boraginaceae) em áreas de mata ripária na Amazônia mato-grossense. Acta Amazon 41: 355-360

Kaminski LA, Sendoya SF, Freitas AVL, Oliveira OS (2009) Ecologia comportamental na interface formiga-planta-herbívoro: Interações entre formigas e lepidópteros. Oecologia Brasiliensis 13: 27-44

Lima HC (2014) In: Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> Acesso 20 Janeiro 2017

Lopes SF, Vale VS, Schiavini I (2009) Efeito de queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do cerrado sentido restrito em Caldas Novas, GO. Rev Árvore Viçosa 33: 695-704

Matos CHC, Pallini A, Bellini LL, Freitas RCP (2006) Domácias e seu Papel na Defesa das Plantas. *Ciência Rural*, Santa Maria 36: 1021-1026

Melo ACG, Durigan G (2010) Impacto do fogo e dinâmica da regeneração da comunidade vegetal em borda de Floresta Estacional Semidecidual (Gália, SP, Brasil). *Revista Brasileira de Botânica* 33: 37-50

Miranda JC (2009) Sucessão ecológica: conceitos, modelos e perspectivas. *Revista Saúde e Biologia* 4: 31-37

Neves FS, Braga RF, Madeira BG (2006) Diversidade de formigas arborícolas em três estágios sucessionais de uma floresta estacional decidual no norte de Minas Gerais. *Unimontes Científica* 8: 59-68

Neves SPS, Conceição AA (2010) Campo rupestre recém-queimado na Chapada diamantina, Bahia, Brasil: plantas de rebrota e sementes, com espécies endêmicas na rocha. *Acta Botânica Brasilica São Paulo* 24: 697-707

Neves FS, Lana TC, Anjos MC, Reis AC, Fernandes GW (2016) Ant community in burned and unburned sites in campos rupestres ecosystem. *Sociobiology* 63: 628-636

Nogueira FCB, Pacheco Filho AJP, Gallão MI, Bezerra AME, Medeiro Filho S (2013) Fenologia de *Dalbergia cearensis* Ducke (Fabaceae) Em Um Fragmento de Floresta Estacional, no Semiárido Do Nordeste, Brasil. *Revista Árvore* 37: 657-667

Quinn GP, Keough MJ (2002) *Experimental Design And Data Analysis For Biologists*. New York: Cambridge, 2002

Ramos LS, Bonetti Filho RZ, Delabie JHC, Lacau S, Santos MFS, Nascimento IC, Marinho CGS (2003) Comunidades de Formigas (Hymenoptera: Formicinae) de Serapilheira em Áreas de Cerrado ‘stricto sensu’ em Minas Gerais. *Lundiana* 4: 95-102

Rocha WO, Dorval A, Peres Filho O, Vaez CA, Ribeiro ES (2015) Formigas (Hymenoptera: Formicidae) Bioindicadoras de Degradação Ambiental em Poxoréu, Mato Grosso, Brasil. *Floresta e Ambiente* 22: 88-98

Roque N.; Oliveira, EC, Moura L, Quaresma AS, Ogasawara, HA, Alves M, Santana FA, Heiden G, Caires TA, Bastos NG, Lima GM, Bautista HP (2016) Asteraceae no Município de Mucugê, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Rodriguésia* 67:125-202

Schmidt FA, Diehl E (2008) What is the effect of soil use on ant communities? *Neotropical Entomology* 37: 381-388

Silva GO, Wanderley MGL (2013). A família Xyridaceae no município de Mucugê, BA. *Hoehnea* 40: 51-76

Silva KB, Teles, DM, Oliveira, JS, Braga, PET (2015) A Comunidade de Formigas Arborícolas em ecossistemas de pastagens no Noroeste Cearense. *Caderno de Cultura e Ciência* 14: 9-24

Silva LO, COSTA DA, Ferreira HD, Brandão D (2002) Levantamento florístico e fitossociológico em duas áreas de cerrado sensu stricto no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. *Acta Botânica Brasilica* 16: 43-53

Silva LA, Scarlot A (2004) Composição e estrutura da comunidade arbórea de uma floresta estacional decidual sobre afloramento calcário no Brasil Central. *Revista Árvore* 28: 69-25

Souza BI, Artigas RC, Lima ERV (2015) Caatinga e desertificação. *Mercator Fortaleza* 14: 131-150

Swengel ABA (2001) Literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat. *Biod and Conser* 10: 1141–1169

Zimmer K, Parmenter RR (1998) Harvester ants and fire in a desert grassland: ecological responses of *Pogonomyrmex rugosus* (Hymenoptera: Formicidae) to experimental wildfires in central New Mexico. *Env Entom* 27: 282-287

CAPÍTULO II

Manuscrito a ser submetido para a revista *Arthropod-Plant Interactions*

Variação Temporal na Associação entre Plantas e suas Formigas Visitantes
em Áreas de Campo Rupestre Afetadas e Não-Afetadas pelo Fogo na
Chapada Diamantina, Nordeste Brasileiro

Evelinne Silva Chaves¹, Claudia Bottcher¹, Lucas Cardoso Marinho², Sebastien Lacau³,
Raymundo José de Sá Neto⁴ & Michele Martins Corrêa⁵

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), BR 415, Km 03, s/nº, 45700-000, Itapetinga, Bahia, Brazil. vellychaves@hotmail.com; caubottcher@gmail.com

²Programa de Pós-graduação em Botânica, Universidade Estadual de Feira de Santana, Av. Transnordestina, Novo Horizonte, Feira de Santana, Bahia 44036-900, Brazil. lcmarinho1@gmail.com

³Laboratório de Biossistemática Animal, Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), BR 415, Km 03, s/nº, 45700-000, Itapetinga, Bahia, Brazil. slacau@uesb.edu.br

^{4,5}Laboratório de Biodiversidade do Semiárido, Departamento de Ciências Naturais (DCN), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Estrada do Bem Querer, Km 04, s/n, 45083-900, Vitória da Conquista, Brazil. rjsaneto@gmail.com; correamm@gmail.com

RESUMO

Variação Temporal na Associação entre Plantas e suas Formigas visitantes em áreas de Campo Rupestre afetadas e não-afetadas pelo fogo na Chapada Diamantina, Nordeste Brasileiro – Interações ecológicas existentes entre organismos são consideradas um dos principais fatores que mantêm a biodiversidade. Neste estudo analisamos se existe diferença na estrutura das redes de disponibilidade de plantas para formigas visitantes em áreas afetadas e não afetadas pelo fogo, bem como entre os meses de regeneração pós-fogo com o uso do cálculo da conectância e aninhamento. A rede de interações estabelecida na área de estudo foi composta por 45 espécies de formigas e 67 espécies de plantas, sendo, teoricamente, possíveis 3.015 interações entre as espécies dos dois táxons. A associação entre plantas e formigas visitantes pós-fogo em campo rupestre apresenta variação temporal, com a estação seca (julho) apresentando uma maior conectância e menor aninhamento entre as espécies de formigas e plantas. Adicionalmente, a análise de aninhamento demonstrou que as formigas visitantes das plantas de campos rupestres estudadas encontram-se significativamente aninhadas na estação chuvosa (Fevereiro, Março e Dezembro) nos dois ambientes. Contudo, a ocorrência do fogo em campo rupestre parece não interferir nas relações estabelecidas entre as plantas e suas formigas visitantes.

Palavras-chave: Variação temporal; Interações Ecológicas; Formicinae; Fabaceae; Campo rupestre.

ABSTRACT

Temporal Variation in the Association between Plants and Their Visiting Ants in Rocky Ground Areas Affected and Not Affected by Fire in Chapada Diamantina, Northeast Brazil - Ecological interactions that exist between organisms are considered one of the main factors that maintain biodiversity. In this study we analyzed whether there is a difference in the structure of plant availability networks for ants visitors in areas affected and unaffected by fire, as well as between the months of after fire regeneration with the use of calculating the connectance and nesting. The network of interactions established in the study area consisted of 45 species of ants and 67 species of plants, with theoretically possible 3,015 interactions between species of the two táxons. The association between plants and ants visiting post-fire in rocky field presents temporal variation, with the dry season (July) presenting a greater connectivity and less nesting between the species of ants and plants. Additionally, the nesting analysis showed that the visiting ants of the rock-field plants studied were significantly nested in the rainy season (February, March and December) in both environments. However, the occurrence of fire in rocky fields doesn't seem to interfere in relations between plants and their ants visitors.

Keywords: Temporal variation; Ecological Interactions; Formicinae; Fabaceae; Rock field.

INTRODUÇÃO

O estudo das interações entre plantas e animais é importante tanto para uma compreensão básica do equilíbrio de ecossistemas quanto para o manejo e conservação de suas espécies (Rico-Gray e Oliveira 2007). Como qualquer outro tipo de interação ecológica, as existentes entre plantas e animais ocorrem em um contexto comunitário (Vázquez et al. 2009), com as espécies interagindo dentro das comunidades como redes, cada uma conectada a uma ou mais espécies (Pascual e Dunne 2006). Como exemplo, a interação entre formigas e plantas, nessas interações as plantas podem oferecer refúgio ou alimento para as formigas, resultando na proteção da planta contra herbivoria, dispersão de suas sementes e polinização de suas flores. Em algumas situações, as plantas exibem adaptações antagônicas para impedir a associação com formigas oportunistas (Dáttilo et al. 2009).

As interações ecológicas estão progressivamente em risco de extinção local e global como consequência, por exemplo, de distúrbios causados por atividades humanas, incluindo a perda de habitats, introdução de espécies exóticas e alterações climáticas (Dáttilo 2012). Nesse contexto, destaca-se o fogo, que em geral, causa mudanças nas condições ambientais, na diversidade de espécies e no funcionamento dos ecossistemas (Bengtsson et al. 2000). Logo, os recentes aumentos nas taxas de extinção das espécies aumentaram o interesse dos pesquisadores, pois entender como essas alterações afetam a estrutura e composição das comunidades é importante para o conhecimento sobre a dinâmica ecológica da interação entre as espécies (Jones et al. 2007). Atualmente, pesquisas sobre redes ecológicas têm gerado importantes reflexões sobre os recursos que contribuem para a estabilidade estrutural e a organização das interações entre espécies em nível da comunidade (Bascompte et al. 2003; Guimarães Junior et al. 2007; Vázquez et al. 2009; Ings et al. 2009; Dáttilo 2012).

As análises de redes ecológicas correspondem a esquemas que enfatizam a interação entre as espécies em uma comunidade (Ings et al. 2009), fornecendo pistas sobre os processos que moldam a biodiversidade, entre elas, a proximidade da interação e o grau de associação biológica entre os parceiros (Guimarães Junior et al. 2007). É, portanto, um

fator chave para a compreensão de processos ecológicos e evolutivos no contexto em que ocorrem (Vázquez et al. 2009), podendo ser visualizadas e analisadas por meio de representações de matrizes, redes bipartidas ou gráficos de ordenação obtidos através de uma análise de correspondência (Lewinsohn et al. 2006). Seu estudo tem possibilitado prever as consequências da extinção de espécies e perturbação ambiental, além de explicar a variação nos padrões de especialização entre comunidades (Guimarães Junior et al. 2006).

De acordo com Bascompte e Jordano (2007), a análise de rede corresponde a um método de representação de interações interespecíficas que permite uma melhor compreensão sobre a especialização, complexidade e estabilidade das relações entre as espécies na comunidade, dentre elas o aninhamento e a conectância. Uma rede é considerada aninhada quando grupos de espécies com poucas interações (especialistas) são subgrupos de espécies com muitas interações (generalistas). Já a conectância mede o percentual de interações que ocorrem em uma rede e revela a coesão desta unidade (Pigozzo e Viana 2010). Dessa forma, o grande desafio para prever as consequências das mudanças na biodiversidade é entender a complexidade dos sistemas naturais e as etapas necessárias para preservá-los em um mundo em ligeira mudança (Hagen 2012).

A funcionalidade das redes ecológicas é cada vez mais aceita como uma abordagem apropriada para a melhoria da qualidade ecológica dos ecossistemas naturais e para a proteção da biodiversidade (Hepcan et al. 2008). Desse modo, associações entre formigas e plantas são um sistema útil para estudar questões sobre a importância da frequência de interações em redes ecológicas, tanto por serem relativamente fáceis de quantificar, como também extremamente comuns na maioria dos ambientes terrestres (Rico-Gray e Oliveira 2007). Em vista disso, o objetivo do nosso estudo é analisar se existe diferença na estrutura das redes de disponibilidade de plantas para formigas visitantes em áreas afetadas e não afetadas pelo fogo, bem como entre os meses de regeneração pós-fogo com o uso do cálculo da conectância e aninhamento.

Material e Métodos

Área de Estudo

Duas áreas foram selecionadas no município de Mucugê – BA: (1) dentro da RPPN Adília Paraguassu Batista e suas adjacências (S12°59'47" O041°23'04"), e (2) dentro do Parque Municipal de Mucugê (S12°59'02" O041°20'41"). O clima da região é mesotérmico, com precipitação média anual variando de 800–1100 mm, e a temperatura média é de 19,5°C (Roque et al. 2016). A vegetação predominante na área ocorre principalmente sobre afloramentos rochosos, em altitudes acima de 900 m, sendo dominada fitofisionomicamente pelos campos rupestres (Watanabe e Rapini 2009), caracterizado por incluir formações herbáceo-arbustivas associadas a solos litólicos. Os campos rupestres, inseridos nos biomas do Cerrado e das Caatingas, são frequentemente acompanhados por matas ciliares e eventualmente salpicados de ilhas de capão (Rapini et al. 2008).

Coleta de Dados

A metodologia de coleta de dados para o presente trabalho está descrita no Capítulo 1 dessa dissertação.

Métricas de Rede

Para análise das redes de disponibilidade foram elaboradas, para cada parcela em cada mês, redes bipartidas entre formigas visitantes e plantas disponíveis. Todas as plantas, até mesmo as que não foram visitadas por formigas foram utilizadas, para isso foi criado um outro nó no campo das formigas simbolizando a ausência de visitantes. Dentre as métricas disponíveis para análise das redes, foram utilizadas as métricas para calcular a conectância e o grau de aninhamento, essas duas métricas foram selecionadas porque responderiam melhor as hipóteses desse trabalho. A conectância (C), que mede a proporção das conexões que de fato são observadas, é a razão entre o número de interações observadas (E) e o número de interações possíveis, que por sua vez é dado pelo produto do número

plantas (P) e formigas (A) da rede: $C = E/A.P$. Para valores percentuais, o valor de C foi multiplicado por 100. Para avaliar o grau de aninhamento da rede de interações foi selecionado o índice de aninhamento NODF (Nestedness metric based on Overlap and Decerasing Fill). Um resultado significativo de aninhamento possibilita inferir que ambientes com menor riqueza podem ser classificados como subconjuntos de um ambiente com maior riqueza (Ulrich et al. 2009).

Análise de Dados

A conectância das redes de plantas e formigas visitantes foi comparada entre as áreas e meses com o uso do teste Anova fatorial. Para avaliar o grau de aninhamento das redes de plantas e formigas visitantes entre as áreas e os meses também foi utilizado o teste Anova fatorial, porém com transformação dos dados em logaritmo base natural +1 ($\ln(x+1)$) (Quinn e Keough, 2002).

RESULTADOS

Conectância

A rede de interações estabelecida na área de estudo foi composta por 45 espécies de formigas e 67 espécies de plantas, sendo, teoricamente, possíveis 3.015 interações entre as espécies dos dois táxons. Nota-se que a conectância entre formigas visitantes de plantas não diferiu entre as áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo ($F = 0,026$; $gl = 1$ e 36 ; $p = 0,871$), mas diferiu entre os meses ($F = 4,608$; $gl = 3$ e 36 ; $p = 0,007$), com o mês de julho (estação seca) apresentando uma maior conectância entre as espécies de formigas e plantas (Figura 1).

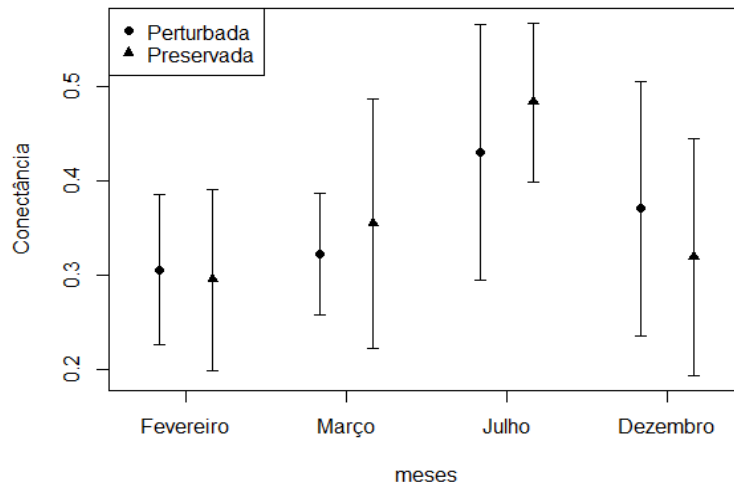


Figura 1. Conectância (\pm desvio padrão) em redes de formigas e plantas em campo rupestre na Chapada Diamantina, Nordeste Brasileiro, entre áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, nos 4 meses observados, em 2016.

Aninhamento

O aninhamento das redes de formigas visitantes de plantas não diferiu entre as áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo ($F = 0,231$; $gl = 1$ e 36 ; $p = 0,633$), mas diferiu entre os meses ($F = 5,394$; $gl = 3$ e 36 ; $p = 0,003$), com o mês de julho (estação seca) apresentando um menor aninhamento entre as espécies de formigas e plantas (Figura 2).

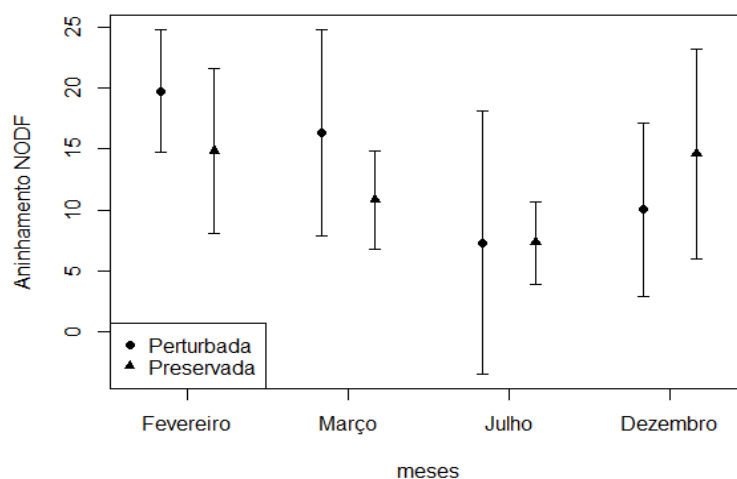


Figura 2. Aninhamento (\pm desvio padrão) entre espécies de formigas e plantas em campo rupestre na Chapada Diamantina, Nordeste Brasileiro, entre áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo, nos 4 meses observados, em 2016.

DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, a associação entre plantas e formigas visitantes pós-fogo em campo rupestre não difere entre os ambientes estudados, o que indica que a estrutura das redes formiga-planta pode ser estável, independente de fatores ambientais. Essa resposta foi semelhante a observada por Passmore et al. (2012) onde redes mutualísticas de formigas em fragmentos de 25 anos são semelhantes às de florestas contínuas, sugerindo que essas interações são resistentes às alterações bióticas e/ou abióticas.

No entanto, essa associação apresenta variação temporal, com a estação seca (julho) apresentando uma maior conectância e menor aninhamento entre as espécies de formigas e plantas. Na estação seca os recursos são mais escassos e, por isso, as espécies estão mais interligadas do que em ambiente onde há maiores períodos de disponibilidade e fontes de recursos. Estes resultados corroboram com o de Biesmeijer et al. (2005), que também encontraram níveis altos de conectância para áreas mais secas. A disponibilidade de água e nutrientes no solo variam de acordo com a sazonalidade das chuvas, o que acaba afetando diretamente o desenvolvimento das plantas (Franco 2002). De acordo com Oliveira (1998), na estação chuvosa a maioria das espécies vegetais aumenta a produção de novas folhas e ramos, pois a água nesse período é abundante. Além disso, na estação chuvosa há um aumento da umidade do ar, diminuindo os riscos de dessecação (Araujo 2013). Dessa forma, comunidades com uma alta diversidade de nichos possuem uma maior disponibilidade de recursos e, conseqüentemente, redução da competição entre elas, fato que justificaria o maior aninhamento na estação chuvosa (Fevereiro, Março e Dezembro) nos dois ambientes. De acordo com Bastolla et al. (2009), o padrão aninhado descreve a grandeza do nicho das espécies em uma comunidade, sendo que comunidades mais aninhadas possuem maior divisão de nicho e menor competição. Além disso, ele ainda mostra que uma rede aninhada surgirá naturalmente se novas espécies são mais propensas a entrar na comunidade onde tem carga competitiva mínima.

Contudo, a incidência do fogo, aparentemente, não interfere nas relações entre plantas e formigas visitantes. O fogo é uma perturbação que pode atingir a riqueza das

comunidades bióticas através de efeitos diretos, como mortes, queimaduras e intoxicações, ou indiretos, que acarretam alterações na estrutura das comunidades. Estas mudanças estão relacionadas a variações na disponibilidade e na qualidade de recursos e mudanças na estrutura dos habitats (Frizzo et al. 2011). De acordo com Araújo e Ribeiro (2005), a ação do fogo causa impactos à fauna, e tais alterações dependem da intensidade e do comportamento do incêndio. Isso pode resultar na redução ou no aumento da abundância de espécies. Desse modo, espécies de formigas podem responder de formas diferentes aos efeitos do fogo e por isso têm sido utilizadas em vários estudos (Farji-Brener 2002; Frizzo et al. 2011; Arnan et al. 2006; Freire et al. 2012; Knoechelmann e Morais 2008; Neves et al. 2016; Boscardin 2014; Silva e Del-Klaro 2013).

Portanto, os resultados alcançados neste estudo mostram que a associação entre plantas e formigas visitantes em áreas de campo rupestre pós-fogo apresenta variação temporal, com a estação seca (julho) apresentando uma maior conectância e menor aninhamento entre as espécies de formigas e plantas. Adicionalmente, a análise de aninhamento demonstrou que as formigas visitantes das plantas de campos rupestres estudadas encontram-se significativamente mais aninhadas na estação chuvosa (Fevereiro, Março e Dezembro) nos dois ambientes, corroborando a ideia de que a disponibilidade de recursos afetam essas interações. Contudo, a ocorrência do fogo no campo rupestre parece não interferir nas relações estabelecidas entre as plantas e suas formigas visitantes, pois mesmo com alterações na vegetação não foi verificada mudanças na estrutura das redes, sugerindo que a estrutura das redes formiga-planta pode ser estável e independente de fatores ambientais.

REFERÊNCIAS

- Araújo WS (2013) A importância de fatores temporais para a distribuição de insetos herbívoros em sistemas Neotropicais. *Rev Biol* 10: 1-7
- Araújo EA, Ribeiro GA (2005) Impactos do fogo sobre a entomofauna do solo em ecossistemas florestais. *Natureza & Desenvolvimento* 1: 75-85
- Arnan X, Rodrigo A, Retana J (2006) Post-fire recovery of mediterranean ground ant communities follows vegetation and dryness gradients. *Journal of Biogeography* 33: 1246–1258
- Bascompte J, Jordano P, Melián CJ, Olesen JM (2003) The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *PNAS* 100: 9383–9387
- Bascompte J, Jordano P (2007) Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 38: 576-593
- Bastolla U, Fortuna MA, Pascual-García A, Ferrera A, Luque B, Bascompte J (2009) The architecture of mutualistic networks minimizes competition and increases biodiversity. *Nature* 458: 1018-1020
- Bengtsson J, Nilsson SG, Franc A, Menozzi P (2000) Biodiversity, disturbance, ecosystem function and management of European forests. *Forest ecology and Management* 132: 30-50
- Biesmeijer JC, Slaa EJ, Castro MS, Viana BF, Kleinert AMP, Imperatriz-Fonseca VL (2005) Connectance of Brazilian social bee-food plant networks is influenced by habitat, but not by latitude, altitude or network size. *Biotoa Neotropica* 5: 85-89
- Boscardin J, Costa EC, Delabie JHC, Garlet J (2014) Efeito do fogo sobre a riqueza de formigas (Hymenoptera: Formicidae) associadas à *Pinus elliottii* Engelm. No Sul do Brasil. *Ciência Florestal* 24: 1031-1040
- Dáttilo W, Marques EC, Falcão JCF, Moreira DDO (2009) Interações mutualísticas entre formigas e plantas. *EntomoBrasilis* 2: 32-36
- Dáttilo W (2012) Different tolerances of symbiotic and nonsymbiotic ant-plant networks to species extinctions. *Network Biology* 2: 127-138
- Farji-Brener AG, Corley JC, Bettinelli J (2002) The effects of fire on ant communities in north-western Patagonia: the importance of habitat structure and regional context. *Diversity and Distributions* 8: 235-243

- Franco AC (2002) Ecophysiology of woody plants. In: Oliveira PS e Marquis RJ, editors. The cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. Irvington: Columbia University Press 178-197
- Freire CB, Oliveira GV, Sá-Martins FR, Souza LEC, Lacau LSR, Corrêa MM (2012) Riqueza de formigas em áreas preservadas e em regeneração de caatinga arbustiva no sudoeste da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências* 10: 131-134
- Frizzo TLM, Bonizário C, Borges MP, Vasconcelos HL (2011) Revisão dos efeitos do fogo sobre a fauna de formações savânicas do Brasil. *Oecologia Australis* 15: 365-379
- Guimarães Junior PR, Rico-Gray V, Reis SF, Thompson JN (2006) Asymmetries in specialization in ant-plant mutualistic networks. *Proc Biol Sci* 273: 2041-2047
- Guimaraes junior PR, Rico-Gray V, Oliveira OS, Izzo TJ, Reis SF, Thompson JN (2007) Interaction Intimacy Affects Structure and Coevolutionary Dynamics in Mutualistic Networks. *Current Biology* 17: 1797-1803
- Hagen M, Kissling D, Rasmussen C, Aguiar MAM, Brown LE, Carstensen DW, -Santos IA, Dupont YL, Edwards FK, Genini J, Guimarães Júnior PR, Jenkins BG, Jordano P, Kaiser-Bunbury CN, Ledger ME, Maia KP, Marquitti FMD, McLaughlin O, Morellato LPC, Gorman EJO, Trojelsgaard K, Tylianakis JM, Vidal MM, Woodward G, Olesen JM (2012) Biodiversity, Species Interactions and Ecological Networks in a Fragmented World. *Advances in Ecological Research*, 46: 89-210
- Hepcan S, Hepcan CC, Bouwma IM, Jongman RHG, Ozkan MB (2008) Ecological networks as a new approach for nature conservation in Turkey: A case study of Izmir Province. *Landscape and Urban Planning* 90: 143-154
- Ings TC, Montoya JM, Bascompte J, Bluthgen N, Brown L, Dormann CF, Edwards F, Figueroa D, Jacob U, Jones JI, Lauridsen RB, Ledger ME, Lewis HM, Olesen JM, Veen FJF V, Warren PH, Woodward G (2009) Ecological networks – beyond food webs. *Journal of Animal Ecology* 78: 253-269
- Jones ME, Jarman PJ, Lees CM, Hesterman H, Hamede RK, Mooney NJ, Mann D, Pukk CE, Bergfeld J (2007) Conservation management of Tasmanian devils in the context of an emerging, extinction-threatening disease: devil facial tumor disease. *EcoHealth* 4: 326-337
- Knoechelmann CM, Morais H (2008) Visitas de formigas (Hymenoptera, Formicidae) a nectários extra-florais de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Cov. (Fabaceae, Mimosoideae) em uma área de cerrado frequentemente queimado. *Revista Brasileira de Zoociências* 10: 35-40
- Lewinsohn TM, Loyola RD, Prado PI (2006) Matrizes, Redes e Ordenações: A Detecção de Estruturas em Comunidades Interativas. *Oecologia Brasiliensis* 10: 90-104
- Neves FS, Lana TC, Anjos MC, Reis AC, Fernandes GW (2016) Ant community in burned and unburned sites in campos rupestres ecosystem. *Sociobiology* 63: 628-636

Oliveira PO (1998) Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de cerrado. In: Sano SM e Almeida SP, editors. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina. Embrapa 169-192.

Pascual M, Dunne JÁ (2006) Food webs as complex adaptive networks: linking structure to dynamics. Oxford University Press, USA

Passmore HA, Bruna EM, Heredia SM, Vasconcelos HL (2012) Resilient Networks of Ant-Plant Mutualists in Amazonian Forest Fragments. PLoS One 7: e40803.

Pigozzo CM, Viana BF (2010) Estrutura da rede de interações entre flores e abelhas em ambiente de caatinga. Oecologia Australis 14: 100-114

Quinn GP, Keough MJ (2002) Experimental Design And Data Analysis For Biologists. New York: Cambridge, 2002

Rapini A, Ribeiro PL, Lambert S, Pirani JR (2008) A Flora dos Campos Rupestres na cadeia do Espinhaço. Megadiversidade 4: 16-24

Rico-Gray V, Oliveira OS (2007) The ecology and evolution of ant-plant interactions, 1rd. Edn. Chicago: University of Chicago Press

Roque N.; Oliveira, EC, Moura L, Quaresma AS, Ogasawara, HA, Alves M, Santana FA, Heiden G, Caires TA, Bastos NG, Lima GM, Bautista HP (2016) Asteraceae no Município de Mucugê, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. Rodriguésia 67:125-202

Silva EA, Del-Claro K (2013) Effect of post-fire resprouting on leaf fluctuating asymmetry, extrafloral néctar quality, and ant-plant-herbivore interactions. Naturwissenschaften 100: 525-532

Ulrich W, Almeida-Neto M, Nj Gotelli (2009) A consumer's guide to nestedness analysis. Oikos 118: 3-17

Vázquez DP, Bluthgen N, Cagnolo L, Chacoff NP (2009) Uniting pattern and process in plant-animal mutualistic networks: a review. Annals of Botany 103: 1445-1457

Watanabe MTC, Rapini A (2009) Apocynaceae sensu strictum no Parque Municipal de Mucugê, Bahia, Brasil, incluindo a publicação válida de dois nomes em Mandevilla Lindl. IHERINGIA, Série Botânica 64: 63-75

APÊNDICE

TABELAS DO APÊNDICE

Apêndice A: Espécies de plantas amostradas em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo na Chapada Diamantina, Mucugê – BA

Família	Espécies	Áreas	
		Afetadas	Não-afetadas
Apocynaceae	<i>Mandevilla bahiensis</i> (Woodson) M.F. Sales & Kin. - Gouv.		X
	<i>Metastelma myrtifolium</i> Decne.		X
Arecaceae	<i>Syagrus harleyi</i> Glassman	X	X
Asteraceae	<i>Acritopappus confertus</i> (Gardner) R.M. King & H. Rob.		X
	<i>Bahianthus viscosus</i> (Spreng.) R.M. King & H. Rob.		X
	<i>Lasiolaena blanchetii</i> (Sch. Bip. ex Baker) R.M. King & H. Rob.		X
	<i>Lepidaploa</i> sp. 1		X
	<i>Lepidaploa</i> sp. 2		X
	<i>Mikania</i> sp.		X
	<i>Paralychnophora harleyi</i> (H. Rob.) D.J.N. Hind	X	X
	<i>Trixis vauthieri</i> DC.	X	
Bignoniaceae	<i>Jacaranda irwinii</i> A.H. Gentry	X	X
Bromeliaceae	<i>Hohenbergia</i> sp.	X	X
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera cuspidata</i> Saddi	X	X
Clusiaceae	<i>Clusia burle-marxii</i> Bittrich		X
Convolvulaceae	<i>Austinia montana</i> (Moric.) Buril & A.R. Simões	X	
	<i>Evolvulus jacobinus</i> Moric.		X
Cyperaceae	<i>Lagenocarpus rigidus</i> (Kunth) Nees		X
Ericaceae	<i>Agarista coriifolia</i> (Thunb.) Hook. ex Nied.		X
	<i>Gaylussacia</i> sp.		X
Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	X	
	<i>Croton longibracteatus</i> Mart. Gord. & de Luna	X	
	<i>Manihot</i> aff. <i>jacobinensis</i> Müll. Arg.		X
	<i>Manihot reniformes</i> Pohl		X

Família	Espécies	Áreas	
		Afetadas	Não-afetadas
	<i>Microstachys</i> sp.	X	X
Fabaceae	<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	X	
	<i>Bionia coriacea</i> (Nees & C. Mart.) Benth.	X	X
	<i>Calliandra mucugeana</i> Renvoize	X	X
	<i>Calliandra viscidula</i> Benth.	X	X
	<i>Chamaecrista blanchetii</i> Conc. et al.		X
	<i>Chamaecrista confertifomis</i> (H.S. Irwin & Barneby) Conc. et al.		X
	<i>Chamaecrista sincorana</i> (Harms) H.S. Irwin & Barneby		X
	<i>Chamaecrista</i> sp.	X	
	<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	X	
	<i>Senna cana</i> (Nees & Mart.) H.S. Irwin & Barneby		X
	<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.		X
Gentianaceae	<i>Curtia verticillaris</i> (Spreng.) Knobl.		X
Lamiaceae	<i>Eriope confusa</i> Harley		X
	<i>Eriope sincorana</i> Harley		X
	<i>Leptohyptis calida</i> (Mart. ex Benth.) Harley & J.F.B. Pastore	X	
	<i>Medusantha martiusii</i> (Benth.) Harley & J.F.B. Pastore ex Benth.	X	
	<i>Mesosphaerum irwinii</i> (Harley) Harley & J.F.B. Pastore	X	
Lythraceae	<i>Cuphea ericoides</i> Cham. & Schtdl.	X	
	<i>Cuphea</i> sp.		X
	<i>Diplusodon ulei</i> Koehne	X	X
Malpighiaceae	<i>Stigmaphyllon paralias</i> A. Juss.	X	
Malvaceae	<i>Pavonia luetzelburgii</i> Ulbr.	X	
	<i>Waltheria</i> sp.	X	
Melastomataceae	<i>Marcetia taxifolia</i> (A. St.-Hil.) DC.		X
	<i>Marcetia velutina</i> Markgr.		X
	<i>Microlicia</i> sp.		X
	<i>Pterolepis parnassifolia</i> (DC.) Triana		X
	<i>Ruprestrea johnwurdackiana</i> (Baumgratz & D'El Rei Souza) Michelang. et al.		X
	<i>Tibouchina pereirae</i> Brade & Markgr.		X
Myrtaceae	<i>Eugenia angustissima</i> O. Berg		X
	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	X	
Orchidaceae	<i>Cyrtopodium aliciae</i> L. Linden & Rolfe		X

Família	Espécies	Áreas	
		Afetadas	Não-afetadas
Pentaphragaceae	<i>Ternstroemia carnosa</i> Cambess.		X
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus klotzschianus</i> Müll. Arg.		X
Plantaginaceae	<i>Angelonia verticillata</i> Philcox		X
Polygalaceae	<i>Polygala harleyi</i> Marques		X
Rubiaceae	<i>Declieuxia aspalathoides</i> Mull.Arg.		X
Sapotaceae	<i>Pouteria subsessilifolia</i> Cronquist	X	X
Velloziaceae	<i>Vellozia dasypus</i> Seub.		X
	<i>Vellozia punctulata</i> Seub.	X	
	<i>Vellozia seubertiana</i> Goethart & Henrard		X
Verbenaceae	<i>Stachytarpheta crassifolia</i> Schrad.		X

Apêndice B. Espécies de formigas coletadas durante os meses de fevereiro, março, julho e dezembro de 2016, em áreas afetadas e não-afetadas pelo fogo em Mucugê – BA

Subfamílias	Espécies	Áreas afetadas				Áreas não-afetadas			
		Fev	Mar	Jul	Dez	Fev	Mar	Jul	Dez
Formicinae	<i>Bachymyrmex</i> sp. 1	x	x			x			x
	<i>Brachymyrmex</i> sp. 2		x			x			
	<i>Camponotus</i> sp. 1	x	x	x	x	x	x		x
	<i>Camponotus</i> sp. 2	x							
	<i>Camponotus</i> sp. 3						x		
	<i>Camponotus</i> sp. 4				x				
	<i>Camponotus</i> sp. 5					x	x		
	<i>Camponotus</i> sp. 6				x	x	x		x
	<i>Camponotus</i> sp. 7			x	x	x	x		x
	<i>Camponotus</i> sp. 8					x			
	<i>Camponotus</i> sp. 9	x	x						
	<i>Camponotus</i> sp. 10		x		x				x
	<i>Camponotus</i> sp. 11	x	x						
	<i>Camponotus</i> sp. 12	x	x			x	x		
	<i>Camponotus</i> sp. 13		x			x			
	<i>Camponotus</i> sp. 14	x	x			x	x		x
	<i>Camponotus</i> sp. 15					x			
	<i>Camponotus</i> sp. 16					x	x		x
	<i>Camponotus</i> sp. 17							x	
	<i>Camponotus</i> sp. 18			x				x	
	<i>Camponotus</i> sp. 19							x	
	<i>Camponotus</i> sp. 20							x	
	<i>Camponotus</i> sp. 21			x					
<i>Camponotus</i> sp. 22							x		
<i>Camponotus</i> sp. 23			x				x		
<i>Camponotus</i> NE								x	
Myrmicinae	<i>Cephalotes</i> sp. 1					x			
	<i>Cephalotes</i> sp. 2				x	x	x		
	<i>Cephalotes</i> sp. 3			x					
	<i>Pheidole</i> sp.		x						
	<i>Pogonomyrmex</i> sp.					x			
	<i>Procryptocerus</i> sp.						x		
	<i>Solenopsis</i> sp.	x					x		
	<i>Wasmannia</i> sp.	x	x						
Dolichoderinae	<i>Dorymyrmex</i> sp. 1					x	x		x
	<i>Dorymyrmex</i> sp. 2				x				
	<i>Dorymyrmex</i> NE				x				
	<i>Forelius</i> sp.					x			
Ectatomminae	<i>Ectatomma</i> sp. 1	x	x			x	x	x	x

ANEXOS

Arthropod-Plant Interactions

An international journal devoted to studies on interactions of insects, mites, and other arthropods with plants

Editor in Chief: Heikki M. Hokkanen Managing

Editor: Ingeborg Menzler-Hokkanen

ISSN: 18728855 (print version)

ISSN: 18728847 (electronic version) Journal no. 11829

Instructions for Authors

Versão deste documento, disponível on-line em
https://www.springer.com/life+sciences/entomology/journal/11829?detailsPage=pltpci_2095509

Language

The journal Arthropod-Plant Interactions is published in English only. Therefore, submitted manuscripts must be in acceptable English language to be considered for review for publication. Those submitted not in that form will not be reviewed. Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process. The following editing service provides language editing for scientific articles in: Medicine, biomedical and life sciences, chemistry, physics, engineering, business/economics, and humanities

- Edanz Editing Global Use: of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication. Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment. <http://edanzediting.com/springer>

[Edanz Editing Global](#)

MANUSCRIPT SUBMISSION

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all coauthors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting

their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

ADDITIONAL REQUEST

Upon submission, the e-mail addresses of all authors will be requested. At the end of the submission process, the corresponding author will receive an acknowledgement e-mail and all co-authors will be contacted automatically to confirm their affiliation to the submitted work.

TITLE PAGE

Title Page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s);
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s);
- The e-mail address, and telephone number(s) of the corresponding author;
- If available, the 16-digit ORCID of the author(s).

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

TEXT

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

- LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables. Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols. Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

REFERENCES

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

- Journal article
Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8
Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. N Engl J Med 965:325–329

- Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. J Mol Med. doi:10.1007/s001090000086

- Book

South J, Blass B (2001) The future of modern genomics. Blackwell, London

- Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) The rise of modern genomics, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

- Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

- Dissertation

Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see

ISSN LTWA

If you are unsure, please use the full journal title.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

EndNote style (zip, 2 kB)

TABLES

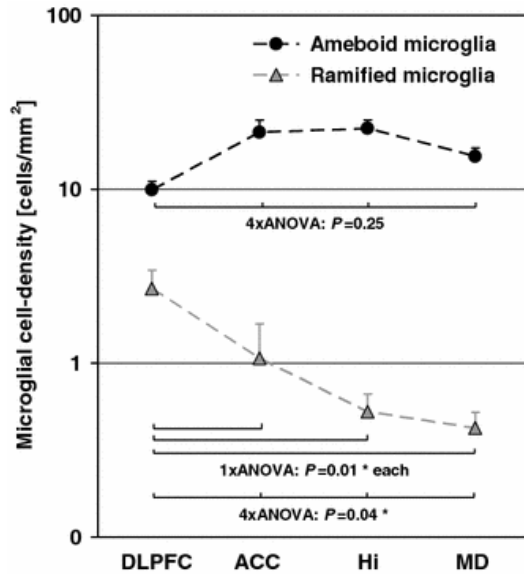
- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES

Electronic Figure Submission

- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art

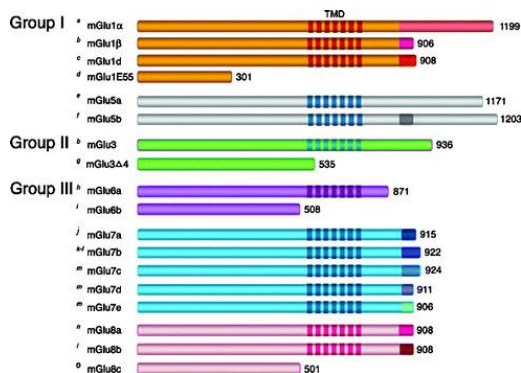


- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art



- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- Figures should be submitted separately from the text, if possible.
- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
- For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)
- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

Submission

- Supply all supplementary material in standard file formats.
- Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
- To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

- Aspect ratio: 16:9 or 4:3
- Maximum file size: 25 GB
- Minimum video duration: 1 sec
- Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

Text and Presentations

- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

- Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.

- If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

- Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
- Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.
- Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

- Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

- The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
- Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

ETHICAL RESPONSIBILITIES OF AUTHORS

This journal is committed to upholding the integrity of the scientific record. As a member of the Committee on Publication Ethics (COPE) the journal will follow the COPE guidelines on how to deal with potential acts of misconduct.

Authors should refrain from misrepresenting research results which could damage the trust in the journal, the professionalism of scientific authorship, and ultimately the entire scientific endeavour. Maintaining integrity of the research and its presentation can be achieved by following the rules of good scientific practice, which include:

- The manuscript has not been submitted to more than one journal for simultaneous consideration.
- The manuscript has not been published previously (partly or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work (please provide transparency on the re-use of material to avoid the hint of text-recycling (“self-plagiarism”)).
- A single study is not split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (e.g. “salami-publishing”).

- No data have been fabricated or manipulated (including images) to support your conclusions
- No data, text, or theories by others are presented as if they were the author's own ("plagiarism"). Proper acknowledgements to other works must be given (this includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks are used for verbatim copying of material, and permissions are secured for material that is copyrighted.

Important note: the journal may use software to screen for plagiarism.

- Consent to submit has been received explicitly from all co-authors, as well as from the responsible authorities - tacitly or explicitly - at the institute/organization where the work has been carried out, **before** the work is submitted.
- Authors whose names appear on the submission have contributed sufficiently to the scientific work and therefore share collective responsibility and accountability for the results.
- Authors are strongly advised to ensure the correct author group, corresponding author, and order of authors at submission. Changes of authorship or in the order of authors are **not** accepted **after** acceptance of a manuscript.
- Adding and/or deleting authors **at revision stage** may be justifiably warranted. A letter must accompany the revised manuscript to explain the role of the added and/or deleted author(s). Further documentation may be required to support your request.
- Requests for addition or removal of authors as a result of authorship disputes after acceptance are honored after formal notification by the institute or independent body and/or when there is agreement between all authors.
- Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results. This could be in the form of raw data, samples, records, etc. Sensitive information in the form of confidential proprietary data is excluded.

If there is a suspicion of misconduct, the journal will carry out an investigation following the COPE guidelines. If, after investigation, the allegation seems to raise valid concerns, the accused author will be contacted and given an opportunity to address the issue. If misconduct has been established beyond reasonable doubt, this may result in the Editor-in-Chief's implementation of the following measures, including, but not limited to:

- If the article is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.
- If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction, either an erratum will be placed with the article or in severe cases complete retraction of the article will occur. The reason must be given in the published erratum or retraction note. Please note that retraction means that the paper is **maintained on the platform**, watermarked "retracted" and explanation for the retraction is provided in a note linked to the watermarked article.
- The author's institution may be informed.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

Authors should include the following statements (if applicable) in a separate section entitled "Compliance with Ethical Standards" when submitting a paper:

- Disclosure of potential conflicts of interest
- Research involving Human Participants and/or Animals
- Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. single or double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the instructions following this section carefully.

The corresponding author should be prepared to collect documentation of compliance with ethical standards and send if requested during peer review or after publication.

The Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned guidelines. The author will be held responsible for false statements or failure to fulfill the above-mentioned guidelines.

DISCLOSURE OF POTENTIAL CONFLICTS OF INTEREST

Authors must disclose all relationships or interests that could have direct or potential influence or impart bias on the work. Although an author may not feel there is any conflict, disclosure of relationships and interests provides a more complete and transparent process, leading to an accurate and objective assessment of the work. Awareness of a real or perceived conflicts of interest is a perspective to which the readers are entitled. This is not meant to imply that a financial relationship with an organization that sponsored the research or compensation received for consultancy work is inappropriate. Examples of potential conflicts of interests **that are directly or indirectly related to the research** may include but are not limited to the following:

- Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)
- Honoraria for speaking at symposia
- Financial support for attending symposia
- Financial support for educational programs
- Employment or consultation
- Support from a project sponsor
- Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships
- Multiple affiliations
- Financial relationships, for example equity ownership or investment interest
- Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)
- Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

In addition, interests that go beyond financial interests and compensation (non-financial interests) that may be important to readers should be disclosed. These may include but are not limited to personal relationships or competing interests directly or indirectly tied to this research, or professional interests or personal beliefs that may influence your research.

The corresponding author collects the conflict of interest disclosure forms from all authors. In author collaborations where formal agreements for representation allow it, it is sufficient for the corresponding author to sign the disclosure form on behalf of all authors. Examples of forms can be found

[here](#):

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list, that reflects what is recorded in the potential conflict of interest disclosure form(s).

See below examples of disclosures:

Funding: This study was funded by X (grant number X).

Conflict of Interest: Author A has received research grants from Company A. Author B has received a speaker honorarium from Company X and owns stock in Company Y. Author C is a member of committee Z.

If no conflict exists, the authors should state:

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

RESEARCH DATA POLICY

A submission to the journal implies that materials described in the manuscript, including all relevant raw data, will be freely available to any researcher wishing to use them for non-commercial purposes, without breaching participant confidentiality.

The journal strongly encourages that all datasets on which the conclusions of the paper rely should be available to readers. We encourage authors to ensure that their datasets are either deposited in publicly available repositories (where available and appropriate) or presented in the main manuscript or additional supporting files whenever possible. Please see Springer Nature’s information on recommended repositories.

List of Repositories

Research Data Policy

General repositories - for all types of research data - such as figshare and Dryad may be used where appropriate.

Datasets that are assigned digital object identifiers (DOIs) by a data repository may be cited in the reference list. Data citations should include the minimum information recommended by DataCite: authors, title, publisher (repository name), identifier.

DataCite

Where a widely established research community expectation for data archiving in public repositories exists, submission to a community-endorsed, public repository is mandatory. Persistent identifiers (such as DOIs and accession numbers) for relevant datasets must be provided in the paper

For the following types of data set, submission to a community-endorsed, public repository is mandatory:

Mandatory deposition	Suitable repositories
Protein sequences	Uniprot
DNA and RNA sequences	Genbank DNA DataBank of Japan (DDBJ) EMBL Nucleotide Sequence Database (ENA)
DNA and RNA sequencing data	NCBI Trace Archive NCBI Sequence Read Archive (SRA)
Genetic polymorphisms	dbSNP dbVar European Variation Archive (EVA)
Linked genotype and phenotype data	dbGAP The European Genome-phenome Archive (EGA)
Macromolecular structure	Worldwide Protein Data Bank (wwPDB) Biological Magnetic Resonance Data Bank (BMRB) Electron Microscopy Data Bank (EMDB)
Microarray data (must be MIAME compliant)	Gene Expression Omnibus (GEO) ArrayExpress
Crystallographic data for small molecules	Cambridge Structural Database

For more information:

[Research Data Policy Frequently Asked Questions](#)

Data availability

The journal encourages authors to provide a statement of Data availability in their article. Data availability statements should include information on where data supporting the results reported in the article can be found, including, where applicable, hyperlinks to publicly archived datasets analysed or generated during the study. Data availability statements can also indicate whether data are available on request from the authors and where no data are available, if appropriate.

Data Availability statements can take one of the following forms (or a combination of more than one if required for multiple datasets):

- 1. The datasets generated during and/or analysed during the current study are available in the [NAME] repository, [PERSISTENT WEB LINK TO DATASETS]
- 2. The datasets generated during and/or analysed during the current study are not publicly available due [REASON WHY DATA ARE NOT PUBLIC] but are available from the corresponding author on reasonable request.
- 3. The datasets during and/or analysed during the current study available from the corresponding author on reasonable request.
- 4. Data sharing not applicable to this article as no datasets were generated or analysed during the current study.
- 5. All data generated or analysed during this study are included in this published article [and its supplementary information files].

More examples of template data availability statements, which include examples of openly available and restricted access datasets, are available:

Data availability statements

This service provides advice on research data policy compliance and on finding research data repositories. It is independent of journal, book and conference proceedings editorial offices and does not advise on specific manuscripts.

Helpdesk

AFTER ACCEPTANCE

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer's web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice, offprints, or printing of figures in color.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Copyright transfer

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Online publication of color illustrations is free of charge. For color in the print version, authors will be expected to make a contribution towards the extra costs.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

OPEN CHOICE

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer provides an alternative publishing option: Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Springer's online platform SpringerLink.

[Open Choice](#)

Copyright and license term – CC BY

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.

[Find more about the license agreement](#)

ENGLISH LANGUAGE EDITING

For editors and reviewers to accurately assess the work presented in your manuscript you need to ensure the English language is of sufficient quality to be understood. If you need help with writing in English you should consider:

- Asking a colleague who is a native English speaker to review your manuscript for clarity.
- Visiting the English language tutorial which covers the common mistakes when writing in English.
- Using a professional language editing service where editors will improve the English to ensure that your meaning is clear and identify problems that require your review. Two such services are provided by our affiliates Nature Research Editing Service and American Journal Experts.

[English language tutorial](#)

[Nature Research Editing Service](#)

[American Journal Experts](#)

Please note that the use of a language editing service is not a requirement for publication in this journal and does not imply or guarantee that the article will be selected for peer review or accepted.

If your manuscript is accepted it will be checked by our copyeditors for spelling and formal style before publication.