

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
UNIDADE ACADÊMICA DE HUMANIDADES, CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BACHARELADO)**

FILIPPE MACHADO PATEL

**FORMIGAS EM ÁREAS COM SOLO CONSTRUÍDO APÓS MINERAÇÃO DE
CARVÃO A CÉU ABERTO NO EXTREMO SUL CATARINENSE, BRASIL**

**CRICIÚMA
2016**

FILIPPE MACHADO PATEL

**FORMIGAS EM ÁREAS COM SOLO CONSTRUÍDO APÓS MINERAÇÃO DE
CARVÃO A CÉU ABERTO NO EXTREMO SUL CATARINENSE, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção do grau de Bacharelado em
Ciências Biológicas da Universidade do
Extremo sul Catarinense

Orientadora: Profa. Dra. Birgit Harter-
Marques

**CRICIÚMA
2016**

*“Tanto o insignificante quanto o extraordinário são
arquitetos do mundo natural”*

Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus familiares que me apoiaram e me aturaram durante todos esses anos, em especial a minha mãe Ines Eulalia dos Reis Machado, meu pai, Luis Carlos Patel, minha avó Salvatina Colodel Patel.

A minha orientadora, amiga e professora, Dr^a Birgit Harter-Marques, por me receber em seu grupo de pesquisa, pelo conhecimento transmitido, pelo profissionalismo e paciência comigo durante todos os anos de graduação.

Aos professores Jairo José Zocche, Marcos Back, Rafael Martins, Roberto Recart, Robson Santos, Vanilde Citadin-Zanette, Aldo Fernando Assunção, Tiago Moretti e a todos os demais, pelo esforço em transmitir seu conhecimento.

Aos professores e amigos Mainara Figueiredo Cascaes (mãe haha), Fernando Carvalho (Tomate), por me auxiliarem em diversos momentos, seja com conhecimento científico ou conselhos de amigo, assim como por modificarem minha visão da biologia como ramo de trabalho e produção científica.

Aos colegas de trabalho, amigos e integrantes do LIAP, Alexandra (Xandinha), Adrielle, Bruna (Morsa), Betina, Camila, Karina, João, Joice, Robson (bob), responsáveis por diversas risadas e momentos de descontração, assim como pela discussão de ideias e aprimoramento das mesmas, tais conversas foram e serão fundamentais a produção científica.

Ao Dr^o João Luis Osório Rosado, o qual me instruiu com as identificações e pelo auxílio em diversas etapas deste trabalho.

A todo o pessoal da biologia que me acompanhou, em sala ou fora, durante os anos de graduação, aos colegas Daniela Bolla, Istefaniy Oliveira e Renato Colares, pela grande amizade e parceria demonstradas em diversos momentos, mesmo que isso signifique uma “bronca”, em especial ao Renato pelo companheirismo durante toda a graduação.

A cafeteira do LIAP, por me fornecer café em todos os momentos difíceis auxiliando no desenvolvimento deste trabalho. Ao sci-hub por incrementar meu referencial teórico e permitir que a ciência possa se desenvolver sem tantas amarras.

RESUMO

O uso de formigas como organismos bioindicadores vem crescendo no Brasil, devido à alta sensibilidade destes organismos a distúrbios ambientais. Este estudo se faz importante para o conhecimento da comunidade de formigas presentes nas áreas com solos construídos e suas funções ecológicas. O estudo teve como objetivo conhecer a mirmecofauna em nível de gênero de três áreas com solo construído e comparar com um remanescente de mata nativa, localizadas ao Sul de Santa Catarina. As áreas de estudo pertencem à Empresa Carbonífera Criciúma e se localizam nos municípios de Treviso (A1 e A2), Lauro Müller (A3) e Siderópolis (A4). As áreas A1, A2 e A3 são áreas em processo de recuperação após mineração de carvão a céu aberto, com estádios sucessionais diferentes: A2 foi revegetada ao mesmo tempo que A1 (ano 2012), porém A2 apresenta solo alagado. A revegetação em A3 teve início em 2010. A construção do solo nas três áreas deu-se pela construção com camadas de argila e matéria orgânica. A área 4 (A4) representa um remanescente florestal em estágio avançado de regeneração natural. Para o processo de amostragem foram utilizadas 15 armadilhas do tipo *pitfall* em cada área, as quais ficaram expostas em campo por um período de 72 horas/estação do ano, ocorrendo entre março e novembro de 2014. Foram amostrados 20 gêneros, distribuídos em sete subfamílias (Myrmicinae, Ponerinae, Formicinae, Dolichoderinae, Ectatomminae, Dorylinae e Pseudomyrmecinae). Myrmicinae foi a subfamília com maior número de gêneros (nove), seguida por Ponerinae e Formicinae (ambas com três gêneros), Dolichoderinae (dois), Dorylinae, Ectatominae e Pseudomyrmecinae (com apenas um gênero cada). A área A1 apresentou 18 gêneros, seguida por A2 (11), A3 (13) e na A4 com 17 gêneros amostrados. As áreas A2, A3 abrigaram gêneros com características generalistas como Pheidole, Solenopsis, Nylanderia e Linepithema, que apresentam características como ninhos polidômicos, baixa agressividade interespecífica e alta agressividade no consumo de recursos. Tais características permitem grande plasticidade, adaptabilidade e competitividade às condições impostas por estes ambientes. Já as áreas A1 e A4, apresentaram um maior número de gêneros poneromorfo como: Hypoponera, Odontomachus, Pachycondyla e Gnampogenys. Estes gêneros são predadores generalistas, sendo comuns em ambientes menos impactados ou mais heterogênicos. A presença destes gêneros predadores em A4 já era esperada, enquanto sua ocorrência em A1 deve-se, possivelmente, a uma maior cobertura de solo e desenvolvimento do estrato arbóreo, gerando assim uma maior heterogeneidade nestas áreas, além de possuírem certa proximidade com remanescentes florestais, os quais podem servir como fonte de espécies. Pode-se concluir que a composição dos estratos vegetais influencia no estabelecimento da mirmecofauna.

Palavras-Chave: Mirmecofauna, Áreas degradadas, Mata Atlântica, Bioindicadores.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Região da AMREC (verde claro) e destaque dos municípios onde estão situadas as áreas de estudo (verde escuro) no extremo sul de Santa Catarina.....	14
Figura 2 Vista parcial da área A1, localizada no município de Treviso, Santa Catarina.	16
Figura 3 Vista parcial da área A2, localizada no município de Treviso, Santa Catarina.	16
Figura 4 Vista parcial da área de estudo A3, localizada no município de Lauro Müller, Santa Catarina.....	17
Figura 5 Vista parcial da área de estudo A4, localizada no município de Siderópolis, Santa Catarina.....	17
Figura 6 Armadilha de queda do tipo pitfall instalada nas áreas de estudo, no sul de Santa Catarina.....	19
Figura 7 Croqui da disposição dos pitfalls e transectos para captura da mirmecofauna em áreas restauradas após mineração de carvão e em um remanescente florestal no extremo sul catarinense, Brasil.....	20
Figura 8 Número de gêneros por grupo funcional de formigas registradas nas quatro áreas de estudo.....	23
Figura 9 Curva cumulativa de gêneros amostrados nas quatro áreas de estudo no sul de Santa Catarina.....	24
Figura 10 Dendrograma de similaridade na composição de gêneros das áreas de estudo, no sul de Santa Catarina.	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 ÁREA DE ESTUDO	14
3.1.1 Descrição das áreas A1 e A2	15
3.1.2 Descrição da área A3.....	15
3.1.3 Descrição da área A4.....	15
3.1.4 Clima.....	17
3.1.5 Solo.....	18
3.2 AMOSTRAGEM.....	18
3.3 ANÁLISE DE DADOS	20
4 RESULTADOS	22
5 DISCUSSÃO	26
6 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é formada por um conjunto de formações florestais (Florestas: Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Estacional Semidecidual, Estacional Decidual e Ombrófila Aberta) e ecossistemas associados como as restingas, manguezais e campos de altitude, que se estendem originalmente por aproximadamente 1.300.000 km² (MMA, 2012).

Estima-se que na Mata Atlântica existam cerca de 20.000 espécies vegetais, correspondendo a cerca de 35% das espécies existentes no Brasil, incluindo diversas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Essa riqueza é maior que a de alguns continentes (17.000 espécies na América do Norte e 12.500 na Europa) e, por isso, a região da Mata Atlântica é altamente prioritária para a conservação da biodiversidade mundial (GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2005; TONHASCA JUNIOR, 2005; MMA, 2012).

A maior parte da vegetação original de Mata Atlântica encontra-se em fragmentos menores de 50 ha, restando aproximadamente 12% de sua cobertura vegetal original (RIBEIRO et al., 2009). Santa Catarina encontra-se totalmente inserida no bioma Mata Atlântica, o qual vem perdendo áreas de vegetação devido ocupação antrópica e exploração do ambiente de forma predatória, destacando-se a mineração de carvão, que possui um forte vínculo com o desenvolvimento econômico dos municípios localizados no extremo sul catarinense (BELOLLI et al., 2002; CPRM, 2002). Dentre os principais problemas oriundos da mineração podem ser destacados a poluição e perda do solo, a poluição da água, do ar, sonora, subsidência dos terrenos, combustão espontânea dos rejeitos do carvão (RIBEIRO et al., 2013; SILVA et al., 2013). Além de ocupar áreas próximas as minas com seu rejeito, afetando assim corpos d'água próximos aos depósitos de rejeitos, exportando a água poluída para rios/riachos (CPRM, 2002; TORREZANI; OLIVEIRA, 2013; SILVA et al., 2013).

Dentre as formas de extração de carvão destaca-se a mineração a céu aberto, comum na região do extremo sul catarinense, que modifica os aspectos químicos e físicos do solo com maior intensidade, alterando assim a vegetação e fauna presentes (SOARES; SANTOS dos; POSSA, 2008). Devido a tal degradação a recuperação, restauração ou reabilitação de áreas que sofreram exploração dos recursos minerais é prevista por lei (Decreto 97.632). Os processos de restauração e recuperação visam o retorno do ecossistema ao seu estado original ou um estado avançado, respectivamente (LEI 9985/2000). Outra forma de se trabalhar áreas degradadas é através de sua reabilitação, a qual propicia a área o retorno de uma função produtiva ou de seus processos naturais (NBR 13030,1999). Tais processos envolvem várias etapas de modelagem do terreno e superfície do solo (CITADINE-

ZANETTE; BACK; SANTOS dos, 2010). Ao utilizar materiais e processos de determinação antrópica, durante a elaboração do solo, estes passam a ser considerados “solos construídos” (KAMPF, 2000).

O solo, em questão, é o habitat e substrato natural para uma grande variedade de organismos, desde microrganismos, organismos de maior complexidade como plantas e animais (ANDRÉ, 1994, JÓNSSON; DAVIDSDÓTTIR, 2016). Tais organismos vêm coevoluindo com o solo a milhões de anos, desenvolvendo complexas interações e atuando como engenheiros deste (STORK; EGGLETON, 1992; LAVELLE et al., 2006). Tal conjunto é chamado de biota do solo e possui uma grande variedade de formas e tamanhos assim como de metabolismos (CORREIA; OLIVEIRA, 2000; LAVELLE et al., 2006; JOQUET et al., 2006).

Grande parte desta biota é composta por invertebrados, os quais desempenham importantes funções na ciclagem de nutrientes, atuando em diversos níveis tróficos (REICHLE, 1977; SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979; CORREIA; OLIVEIRA, 2000). Sua capacidade enzimática é limitada, restringindo-se à digestão de proteínas, lipídeos e sacarídeos simples. Mas, associados com microrganismos presentes no ambiente, eles conseguem aproveitar a celulose e lignina, seja por ingestão simultânea do alimento em decomposição ou por associação simbiótica mutualística, pela qual os invertebrados ampliam sua gama de alimentos e os microrganismos ganham com a mobilidade dos invertebrados, aumentando sua área de dispersão (REICHLE, 1977; LAVELLE et al, 2006). Além de interferir de forma positiva como reguladores da atividade microbiótica, os invertebrados atuam como fragmentadores do material orgânico, modificando estruturalmente o ecossistema que habitam (LAVELLE, 1996; CORREIA; OLIVEIRA, 2000).

Devido a estas interações, tal conjunto torna-se uma boa ferramenta para avaliação dos efeitos do impacto ambiental e/ou a eficiência da restauração ecológica (MCGEOCH, 1998; QUEIROZ, 2013). Os estudos envolvendo invertebrados edáficos têm revelado um potencial de utilização destes organismos como bioindicadores, destacando-se as ordens Collembola e Hymenoptera como representantes com maior frequência de utilização (PEREIRA, 2012).

Dentre os insetos, as formigas (Formicidae, Hymenoptera) formam um dos grupos mais ricos (WILSON, 1971; SCHMIDT; DIEHL, 2008), com 11.079 espécies descritas até o final de 2001, porém estima-se que este número seja próximo de 22.000 (AGOSTI; JOHNSON, 2003), além de uma ampla distribuição geográfica. Fittkau e Klinge (1973) estimaram a biomassa animal presente no solo da Amazônia central, onde cupins (Isoptera) e

formigas representaram 15% da biomassa animal encontrada. Entretanto, as comunidades de formigas são afetadas por diversos fatores, como, já citadas acima, alterações nas estruturas físicas e químicas do solo (KUSNEZOV, 1957; SCHMIDT; DIEHL, 2008).

As formigas são consideradas excelentes bioindicadores, pois apresentam abundância local relativamente alta, alta riqueza local e global de espécies, possuem representantes com atividades bastante especializadas como a predação e a dispersão de sementes e, ainda, são relativamente fáceis de serem coletadas e identificadas, apresentando um bom conhecimento em nível taxonômico (SCHMIDT; DIEHL, 2008; PEREIRA, 2012; RIBAS et al., 2012). Também são consideradas ferramentas de grande importância para programas de monitoramentos, devido a sua habilidade em responder a mudanças ambientais em processos de restauração (UNDERWOOD; FISHER, 2006; OTTONETTI; TUCCI; SANTINI; 2006).

Na Austrália, muitos estudos utilizam formigas como bioindicadores de restauração em áreas mineradas. Atualmente, esta prática de monitoramento é adotada por toda indústria de mineração australiana e tida como uma das mais efetivas práticas em manejo de recursos ambientais (MAJER, 1983; MAJER; NICHOLS, 1997; ANDERSEN, 2004). Um estudo elaborado por Hoffman e Andersen (2003), em que analisaram todos os estudos envolvendo formigas em áreas impactadas na Austrália, observaram uma melhor resposta quando a comunidade de formigas é analisada em agrupamentos, evidenciando, assim, que uma melhor compreensão dos fatores ecológicos atuantes sob a comunidade de formigas pode ser obtida ao observar seus grupos funcionais (HOFFMAN; ANDERSEN, 2003; OTTONETTI; TUCCI; SANTINI; 2006).

A ideia inicial de se criar agrupamentos funcionais para formigas foi proposta por Greenslade (1978), o qual utilizava interações competitivas, hábitos alimentares e história evolutiva para formar tais grupos. Posteriormente, os grupos funcionais foram revisados e modificados por Andersen (1990, 1992, 1995), para dar maior ênfase nos atributos ecológicos das comunidades de formigas.

Grupos funcionais também foram propostos por Brandão (2012), para a região neotropical, baseados em sua dieta e outros fatores ecológicos. Para o autor, essa proposta é fundamentada sob a ideia de que o poder de resposta da comunidade de formigas a fatores ambientais é maior levando em conta os grupos funcionais do que com a utilização de métodos de análises tradicionais, como índices de diversidade.

Nesse contexto, as principais representantes da mirmecofauna neotropical estão dispostas dentre os seguintes grupos funcionais: Predadoras Generalistas (GP) - podem ser divididos em

predadoras epigéicas e hipogéicas. No geral, as operárias de predadoras epigéicas forrageiam sozinhas em busca de suas presas, especialmente artrópodes de tamanho similar ao seu, porém também caçam outros invertebrados como pequenos gastrópodes e minhocas. Também podem ser saprófitas, sendo que as espécies de maior porte (*Dinoponera* Roger, 1861, *Ectatomma* Smith, 1858 e *Pachycondyla* Smith, 1858) podem ser observadas em corpos de pequenos mamíferos. Este grupo inclui ainda gêneros como: *Basiceros* Schulz, 1906, *Gnamptogenys* Roger, 1863, *Heteroponera* Mayr, 1887, *Pheidole* Westwood, 1839 e *Solenopsis* Westwood, 1840. As predadoras generalistas hipogéicas forrageiam abaixo do folhíço, predando pequenos artrópodes ali presentes. Estes grupos possuem olhos reduzidos e inseridos bem próximos a inserção das mandíbulas. Incluem alguns membros de pequeno tamanho representadas pelos gêneros *Gnamptogenys*, *Hypoconeropsis* Santschi, 1938 e *Pachycondyla* (CARROL; JAZEN, 1973; ANDERSEN, 1995, BRANDÃO, 2012); Especialistas (EP) - este grupo possui especializações morfológicas e biológicas, no entanto, são poucos os estudos sobre elas. Possuem tamanho médio a pequeno, mandíbulas abrangendo clássico formato triangular até um formato bem diferenciado ou mandíbulas estreitas com dentição diferenciada. O grupo também pode apresentar recrutamento em massa, se diferenciam das formigas legionárias em aspectos como padrão de migração de colônias e sistema de forrageio, que neste grupo é efetuado por pequenos grupos de operárias (MASCHWITZ et al., 1989; FOWLER et al., 1999; BRANDÃO et al., 2009; BRANDÃO, 2012); Predadoras Arbóreas (AP) - este grupo inclui espécies de *Acanthoponera* Mayr 1862, *Paraponera* Smith, 1858, e a maioria das espécies de *Pseudomyrmex* Lund, 1834. Exploram a vegetação, predando uma diversidade de artrópodes. No geral, seu hábito de forrageamento é solitário e vivem em colônias com poucos milhares de indivíduos. Podem atingir tamanhos grandes e apresentar um poderoso veneno (i.e. *Paraponera clavata*), como também, alta agressividade (BRANDÃO, 2012); Generalistas (G) - são divididas em dois grandes grupos: as generalistas Myrmicine e as generalistas Formicine. Ambos os grupos possuem uma grande variedade de fontes alimentares e alto recrutamento na exploração de recursos, entretanto, se diferenciam em características morfológicas, como comprimento das pernas, estômago “social” e adaptações a dietas líquidas. Estão incluídos nestes grupos gêneros como: *Brachymyrmex* Mayr, 1868, *Linepithema* Mayr, 1866, *Nylanderia* Emery, 1906, *Pheidole* e *Wasmannia* Forel, 1893. Tais gêneros possuem características que os tornam mais resistentes aos distúrbios do ambiente, como ninhos polidômicos e/ou ninhos mais superficiais (diminuindo a dependência de solos profundos). *Pheidole* possui maior prevalência em áreas de clima

quente, especialmente em solo ou folhiço (ANDERSEN; PATEL, 1994; PHILPOTT; ARMBRECHT, 2006,).

Cultivadoras de fungos (CF) - podem ser divididas em dois grupos, de acordo com o substrato utilizado e a forma como o coletam. As Cortadeiras e as Cultivadoras em restos de serapilheira (“*Litter-Nesting Fungus Grower*”). As cortadeiras ou grandes attinins incluem os gêneros *Acromyrmex* Mayr, 1865 e *Atta* Fabricius, 1804, e algumas espécies de *Sericomyrmex* Mayr, 1865 e *Trachymyrmex* Forel, 1893. Tais formigas utilizam partes de plantas para cultivar seus fungos. Enquanto as colônias de *Acromyrmex*, *Sericomyrmex* e *Trachymyrmex* possuem centenas de milhares de indivíduos, as colônias de *Atta* possuem milhões de indivíduos e exercem um papel importante nos processos ecológicos locais, movimentando grande quantidade de material vegetal, modificando a estrutura do solo e da vegetação próxima aos ninhos (LEAL; OLIVEIRA, 2000; BRANDÃO, 2010; BRANDÃO, 2012).

Formigas Legionárias (LA) - neste grupo encontram-se as formigas com síndrome adaptativa conhecida como “Legionária” (GOTWALD, 1995; BRADY, 2003). São nômades, com forrageio coletivo e alta especialização, possuindo rainhas permanentemente aladas (Brady; Ward, 2007). São divididas em dois grupos, devido a sua área de forrageio. Quando o forrageio ocorre acima do folhiço/solo são agrupadas em epigéicas e, quando ocorrem abaixo da camada de folhiço e/ou nas camadas superficiais do solo, são agrupadas como hipogéicas. Ambos os grupos são especializados na predação de invertebrados, influenciando a abundância e biodiversidade de suas presas (SWARTZ, 1998; BERGHOFF et al., 2002, 2003).

O nível taxonômico utilizado ao agrupar tais organismos é de suma importância quando se analisa o papel exercido pelos mesmos em seus ecossistemas. Estudos recentes realizados por Souza (2014) indicam que a identificação em nível de gênero é suficiente para modular agrupamentos funcionais. Kallimanis (2012) verificou que um taxa mais elevado, como gênero, possui uma alta correlação com riqueza de espécies, sendo assim um valioso recurso para monitoramentos rápidos. Estudos realizados por Bisevac e Majer (1999) reconhecem que a substituição de níveis taxonômicos como espécie por grupos funcionais permite uma análise rápida e eficiente do sucesso de restauração de áreas.

Existe a tendência de que uma maior complexidade e heterogeneidade do habitat aumentem o número de espécies de formigas (RIBAS et al., 2012). Os estudos que utilizam formigas como bioindicadores em áreas de mineração buscam compreender os efeitos do impacto e a forma como ocorre o processo de restauração, usando, principalmente, a comparação entre áreas em diferentes estádios sucessionais (PHILPOTT; PERFECTO;

ARMBRECHT, 2010; QUEIROZ, 2013). Por fim, evidencia-se a importância de estudos sobre a mirmicofauna e os grupos funcionais presentes nas áreas em processo de restauração, bem como investigar os fatores ecológicos que influenciam seus processos de recolonização.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a assembleia de formigas presentes em áreas com solos construídos em diferentes estágios de regeneração após mineração de carvão a céu aberto e comparar com uma área de referência da Floresta Ombrófila Densa no extremo sul de Santa Catarina

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a riqueza dos gêneros de formigas entre três (3) áreas com diferentes estágios de regeneração após mineração de carvão a céu aberto e um remanescente florestal (área de referência) no extremo sul de Santa Catarina;
- Detectar os gêneros dominantes nas diferentes áreas de estudo;
- Comparar os grupos funcionais de formigas existentes em três (3) áreas restauradas e em diferentes estágios de regeneração após mineração de carvão a céu aberto e na área de referência no extremo sul catarinense.

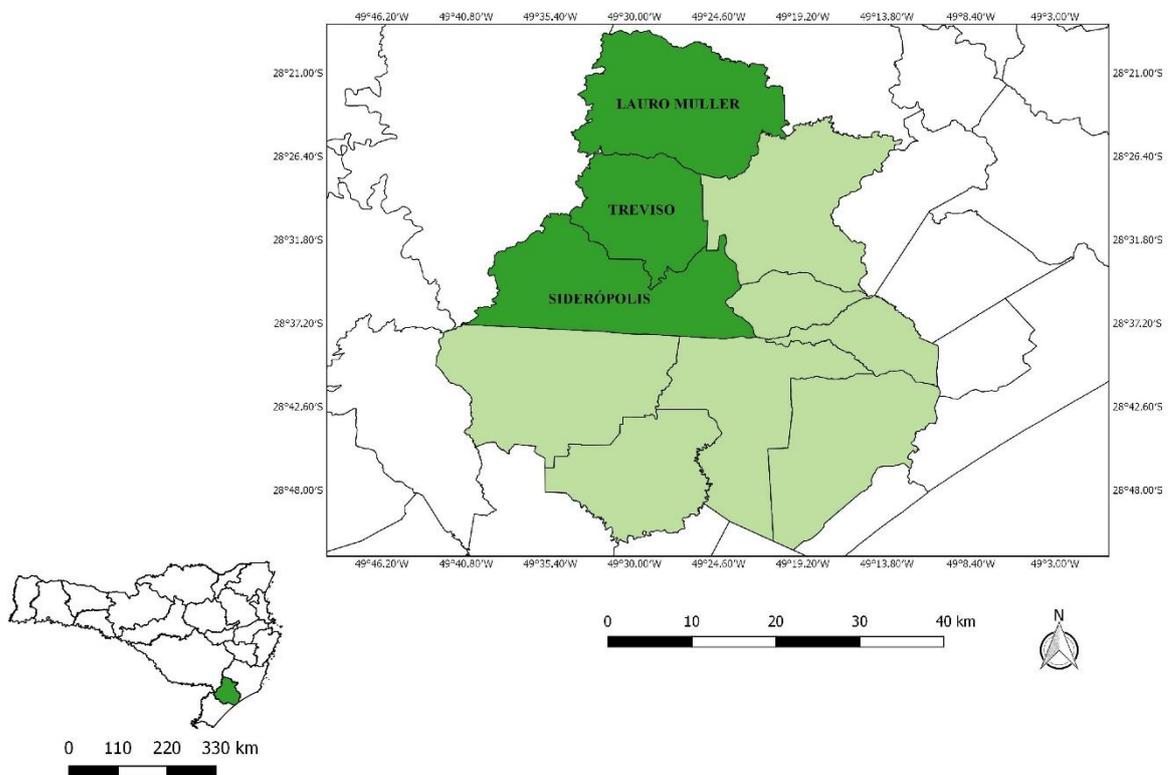
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em quatro (4) áreas no estado de Santa Catarina localizadas nos municípios de Treviso ($28^{\circ}32'37.25''\text{S}$ e $49^{\circ}28'06.44''\text{O}$), Lauro Müller ($28^{\circ}25'55.26''\text{S}$ e $49^{\circ}25'25.91''\text{O}$) e Siderópolis ($28^{\circ}35'04.27''\text{S}$ e $49^{\circ}24'17.43''\text{O}$) (Figura 1). As áreas foram nomeadas como A1, A2, situadas no município de Treviso, A3 no município de Lauro Müller, e A4, localizada em Siderópolis. Os municípios que abrigam as áreas de estudo pertencem à Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC) (Figura 1).

As áreas A1, A2 e A3 são áreas com o solo construído após mineração de carvão por lavra a céu aberto em processos de restauração, pertencentes à Empresa Carbonífera Criciúma. A área A4 é um remanescente florestal da Floresta Ombrófila Densa em estágio avançado de regeneração, utilizado como área controle neste estudo.

Figura 1 - Região da AMREC (verde claro) e destaque dos municípios onde estão situadas as áreas de estudo (verde escuro) no extremo sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor, 2016.

3.1.1 Descrição das áreas A1 e A2

Estão localizadas no município de Treviso. O material depositado nestas áreas se constitui de rejeito proveniente da lavagem de carvão, que teve início em dezembro de 1982 e se encerrou em novembro de 1989. Durante este período, foram mineradas 5.772 toneladas de carvão. A espessura da camada de rejeito removida varia de um (1) a oito (8) metros. Isto deve-se ao relevo irregular sobre o qual foram depositados estes materiais nas fases de implantação e operação da mina. O material argiloso aplicado nestas áreas possui 25 cm de espessura (JFSC, 2013). O processo de revegetação teve início em 2012, utilizando-se de espécies nativas, como *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira) *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby (Cassia-multijuga), *Mimosa scabrella* Beth. (Bracatinga), entre outras. O plantio ocorreu em espaçamento de 4 m x 3 m entre covas e entre linhas.

A vegetação em A1 se apresenta em estágio inicial de regeneração, com a ocorrência de arbustos e regenerantes de árvores, além disso conta com um bom desenvolvimento das espécies arbóreas introduzidas, apresentando altura média próxima de 4 m e copas capazes de produzir certo grau de sombreamento, dentre as espécies introduzidas um melhor desenvolvimento é observado em *Schinus terebinthifolius* e *Senna multijuga*, com as mesmas apresentando predominância em abundância de indivíduos (Figura 2). Quanto ao estado de regeneração em A2 pode-se considerar como arbustiva, visto que há predomínio do estrato herbáceo, um menor porte das mudas introduzidas e pouco desenvolvimento de copa, além disso apresenta uma menor densidade de indivíduos arbóreos, além de possuir o solo alagado, semelhante a um banhado (Figura 3).

3.1.2 Descrição da área A3

Está localizada no município de Lauro Müller e foi utilizada como depósito de estéril de mineração durante 39 meses (de outubro de 1994 a dezembro de 1997). Após a remoção do estéril, ocorreu a aplicação de uma camada de argila compactada, com uma espessura de 20 cm. Nesta área, o processo de revegetação teve início em 2010 (JFSC, 2013). A área A3 encontra-se em estágio de regeneração mais avançado quando comparado às áreas A2 e A1, apresentando maior densidade de espécies arbóreas (Figura 4).

3.1.3 Descrição da área A4

Localizada no município de Siderópolis, possui 3 ha. Trata-se de um remanescente florestal de Floresta Ombrófila Densa em estágio avançado de regeneração (SANTOS, 2003) (Figura 5).

Figura 2 Vista parcial da área A1, localizada no município de Treviso, Santa Catarina.



Fonte: Frasson, 2015.

Figura 3 Vista parcial da área A2, localizada no município de Treviso, Santa Catarina.



Fonte: Frasson, 2015.

Figura 4 Vista parcial da área de estudo A3, localizada no município de Lauro Müller, Santa Catarina.



Fonte: Frasson, 2015.

Figura 5 Vista parcial da área de estudo A4, localizada no município de Siderópolis, Santa Catarina.



Fonte: Frasson, 2015.

3.1.4 Clima

O clima da região é caracterizado como Cfa, seguindo a classificação de Köppen, ou seja, subtropical úmido, com verões quentes (ALVARES, 2014.). A temperatura média normal anual da região varia de 17,0 a 19,3 °C, a média normal das máximas varia de 23,4 a 25,9 C°, e das mínimas de 12,0 a 15,1 C°. O total de dias chuvosos varia entre 102 a 150 dias

e mantem um total de precipitação anual entre 1220 mm a 1660 mm com umidade relativa do ar entre 81,4 a 82,2% (EPAGRI, 2001).

3.1.5 Solo Construído

A reconstrução do solo foi semelhante nas três áreas, sendo que apenas na A3 foi verificado a necessidade de correção do pH solucionada com a aplicação de calcário dolomítico. Após a remoção dos rejeitos, o solo foi construído, utilizando uma camada de argila sobre a qual foi aplicada uma camada de matéria orgânica com 7 a 10 cm de espessura. Esta camada consistiu em uma mistura de turfa ambiental proveniente do município de Araranguá (SC) e uma camada de cama de aviário, material de fácil obtenção na região (JFSC, 2013).

3.1.6 Solo Natural

O solo em A4 é de sua formação original, sendo uma associação de Litossolo Eutrófico, Cambissolo Eutrófico e afloramentos rochoso (com predominância de Cambissolo), apresentando o horizonte A ou O (hístico) com espessura inferior a 40 cm. Ocorrem normalmente em relevos acidentados e ondulados, entretanto na região podem aparecer em áreas de terreno mais regular (EPAGRI, 2001).

3.2 AMOSTRAGEM

Em cada área de estudo foram estabelecidos três transectos, nos quais foram distribuídas 15 armadilhas do tipo *pitfall* (Figura 6) com 10 metros de distância entre si (Figura 7). As armadilhas foram enterradas para que a abertura das armadilhas fique ao nível do solo. Os *pitfalls* consistiam de canos de PVC com 10 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro, preenchidos com uma solução de água e detergente. As armadilhas ficaram abertas nas áreas de estudo por 72 horas consecutivas, em cada estação do ano (inverno, primavera, verão e outono).

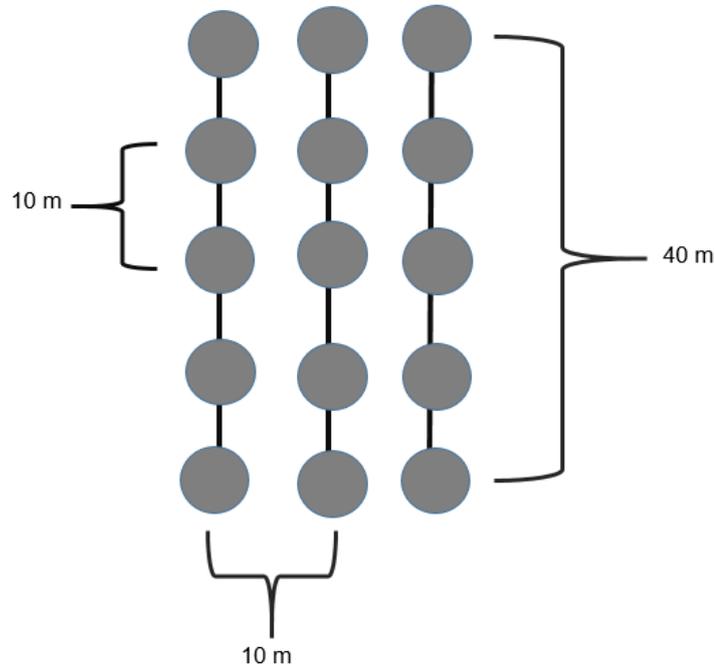
Figura 6 Armadilha de queda do tipo pitfall instalada nas áreas de estudo, no sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor, 2015.

Posteriormente, as formigas coletadas foram levadas para o Laboratório de Interação Animal Planta (LIAP) pertencente à Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Em laboratório, o material foi triado com o auxílio de um microscópio estereoscópico e os indivíduos identificados em nível de gênero, baseados em Fernando Fernandez (2003). Os grupos funcionais foram adaptados da classificação de Brandão, 2012, elaborada para região neotropical.

Figura 7 Croqui da disposição dos pitfalls e transectos para captura da mirmecofauna em áreas restauradas após mineração de carvão e em um remanescente florestal no extremo sul catarinense, Brasil.



Fonte: Do autor, 2016.

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram analisados quali-quantitativamente. Para a avaliação da eficiência deste levantamento, foram utilizadas curvas de rarefação que fornecem dados para comparação entre o número de gêneros obtidos e o esperado. Foi utilizado o estimador Bootstrap que utiliza dados de todos os gêneros coletados para estimar a riqueza total, não se restringindo aos gêneros raros. As curvas foram calculadas por intermédio do programa EstimateS 6.01 (COLWELL, 2000) e plotadas no programa R® (R CORE TEAM, 2015) com base em 100 aleatorizações. As curvas de rarefação foram elaboradas através da frequência e número de gêneros de formigas amostrados.

A avaliação dos gêneros abundantes e dominantes foi realizada a partir de uma tabela comparativa onde foram listados os cinco gêneros mais frequentes nas amostras de cada tipo de ambiente. A frequência nas amostras foi definida como o número de vezes que um dado gênero foi registrado em uma das armadilhas de queda (*pitfalls*), desconsiderando o número de indivíduos amostrados. As ocorrências foram agrupadas nos quatro tipos de

ambientes (A1, A2, A3 e A4), independentemente da réplica e/ou da repetição por estação do ano. Como “frequentes” foram consideradas os gêneros que apresentaram as maiores frequências absolutas de ocorrências e como "dominantes" os que apresentaram frequência relativa maior que 10% (NOVOTNÝ; BASSET 2000).

Para análise da similaridade na composição de gêneros de formigas nas quatro áreas de estudo foi utilizado o índice qualitativo de Jaccard e para verificar se existe diferença significativa entre as frequências dos gêneros de formigas entre as áreas de estudo foi aplicada a análise de variância ANOVA, utilizando o programa PAST (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

4 RESULTADOS

Foram amostrados 20 gêneros (Tabela 1), pertencentes a sete subfamílias (Figura 3) e dispostos em seis grupos funcionais. A área que apresentou maior riqueza em nível de gênero foi A1 (18), seguida por A4 (17), A3 (13) e A2 (11). Nenhuma área apresentou todos os gêneros. Oito gêneros foram registrados nas quatro áreas (*Linepthema*, *Brachymyrmex*, *Nylanderia*, *Cyphomyrmex*, *Pheidole*, *Solenopsis*, *Wasmannia* e *Pachycondyla*). O gênero *Dorymyrmex* ocorreu exclusivamente na área A1 e *Nomamyrmex* foi encontrado apenas na área A4. As áreas A2 e A3 não apresentaram gêneros exclusivos (Tabela 1).

Tabela 1 - Taxa amostrados por área e correspondentes agrupamentos funcionais nas áreas de estudo no sul de Santa Catarina. GDF (Gêneralistas Dolichoderinae e Formicinae), LG (Legionárias), GP (Predadoras Generalistas), GM (Generalistas Myrmicinae), AB (Arborícolas), e FG (Cultivadoras de Fungo).

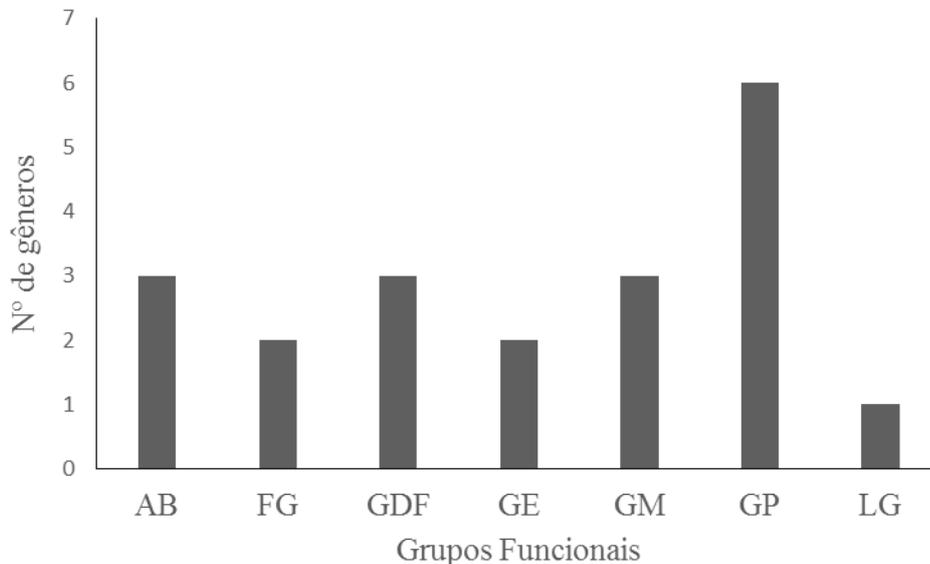
TÁXON	A1	A2	A3	A4	Grupo Funcional
Dolichoderinae					
<i>Dorymyrmex</i> (Mayr, 1866)	X				GDF
<i>Linepthema</i> (Mayr, 1866)	X	X	X	X	GDF
Dorylinae					
<i>Nomamyrmex</i> (Borgmeier, 1936)				X	LG
Ectatominae					
<i>Gnamptogenys</i> (Roger, 1863)	X			X	GP
Formicinae					
<i>Brachymyrmex</i> (Mayr, 1868)	X	X	X	X	GDF
<i>Camponotus</i> (Mayr, 1861)	X		X	X	GDF
<i>Nylanderia</i> (Emery, 1906)	X	X	X	X	GDF
Myrmicinae					
<i>Acromyrmex</i> (Mayr, 1865)	X	X	X		FG
<i>Crematogaster</i> (Lund, 1831)	X	X		X	AB
<i>Cyphomyrmex</i> (Mayr, 1862)	X	X	X	X	FG
<i>Octostruma</i> (Forel, 1912)				X	GP
<i>Pheidole</i> (Westwood, 1839)	X	X	X	X	GM
<i>Pogonomyrmex</i> (Mayr, 1868)	X			X	GM
<i>Solenopsis</i> (Westwood, 1840)	X	X	X	X	GM
<i>Strumigenys</i> (Smith, 1860)	X		X	X	GP
<i>Wasmannia</i> (Forel, 1893)	X	X	X	X	GM
Ponerinae					
<i>Hypoconera</i> (Santschi, 1938)	X		X	X	GP
<i>Odontomachus</i> (Latreille, 1804)	X			X	GP

TÁXON	A1	A2	A3	A4	Grupo Funcional
<i>Pachycondyla</i> (Smith, 1858)	X	X	X	X	GP
Pseudomyrmecinae					
<i>Pseudomyrmex</i> (Lund, 1831)	X	X	X		AB
Total de gêneros	18	11	13	17	

Fonte: Do autor, 2016

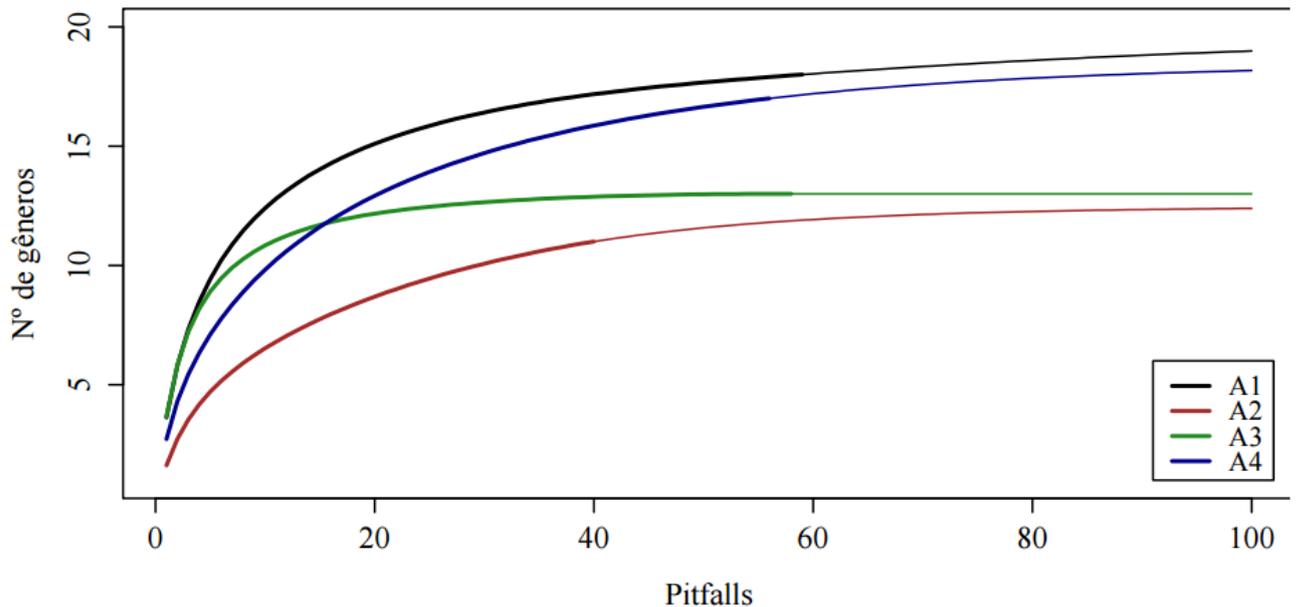
A subfamília mais rica foi Myrmicinae, apresentando nove gêneros, seguida por Ponerinae e Formicinae com três gêneros cada (Tabela 1). Quanto aos grupos funcionais, os predadores generalistas (GP) englobaram o maior número de gêneros (seis) seguidos por generalistas Dolichoderinae e Formicinae (GDF) com cinco gêneros e Generalistas Myrmicinae (GM) com três (Figura 8), A curva de rarefação exibiu uma tendência a estabilização, indicando assim o alcance da suficiência amostral, para os gêneros de formigas presentes nas áreas de estudo (Figura 9).

Figura 8 Número de gêneros por grupo funcional de formigas registradas nas quatro áreas de estudo.



Fonte: Do autor, 2016

Figura 9 Curva cumulativa de gêneros amostrados nas quatro áreas de estudo no sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor, 2016

Os gêneros *Pheidole* e *Solenopsis* foram dominantes em todas as áreas de estudo (Tabela 2), *Linepithema* e *Nylanderia* apresentaram dominância apenas nas em processo de restauração, *Wasmannia*, *Brachymyrmex*, e *Pachycondyla* foram amostradas em todas as áreas, no entanto, não apresentaram dominância em nenhuma delas. *Wasmannia* foi registrado como abundante apenas em A2, enquanto *Brachymyrmex* foi registrada como abundante tanto na A1 como na A2. *Pachycondyla* apresentou abundancia apenas em A4. *Gnamptogenys* apresentou dominância e abundancia apenas em A4

Tabela 2- Gêneros mais abundantes (a) e dominantes (*), com suas frequências relativas percentuais (%) em três áreas com solo construído após mineração de carvão por lavra a céu aberto (A1, A2, A3), e um remanescente de Floresta Ombrófila Densa (A4) no extremo sul de Santa Catarina, Brasil.

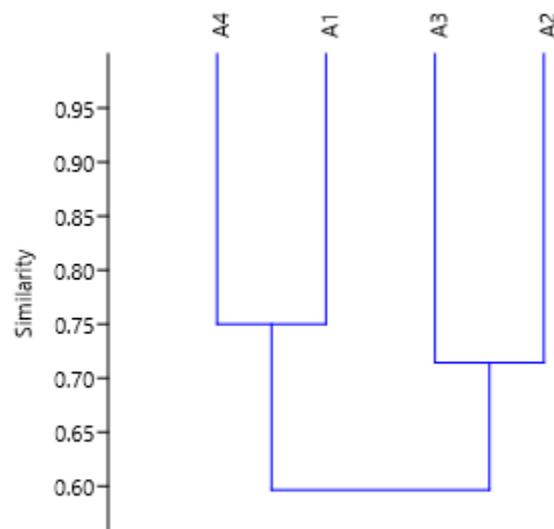
Táxon	A1	A2	A3	A4
<i>Brachymyrmex</i>	8.8(a)	4.5(a)	2.8	1.3
<i>Camponotus</i>	2.8	0.0	10.7(a)(*)	1.3
<i>Gnamptogenys</i>	1.4	0.0	0.0	12.9(a)(*)
<i>Linepithema</i>	10.7(a)(*)	2.2	18.7(a)(*)	0.6
<i>Nylanderia</i>	8.4(a)	18(a)(*)	10.3(a)(*)	5.8(a)
<i>Pachycondyla</i>	4.2	2.2	8.4	8.4(a)
<i>Pheidole</i>	20(a)(*)	21.3(a)(*)	14.5(a)(*)	29(a)(*)
<i>Solenopsis</i>	18.6(a)(*)	33.7(a)(*)	14.5(a)(*)	20.6(a)(*)

<i>Wasmannia</i>	5.6	6.7(a)	3.7	0.6
------------------	-----	--------	-----	-----

Fonte: Do autor, 2016

Quanto à similaridade na composição de gêneros de formigas nas áreas de estudo observa-se uma composição similar até 60%, quando ocorre a formação de dois grupos, onde estão aproximadas as áreas A1 e A4 (0,75) e A2 e A3 (0,72) (Figura 10). O teste de significância (ANOVA) resultou em $F_{[3;76]} = 1,39$, $p = 0,252$, demonstrando não haver uma diferença significativa entre as frequências dos gêneros de formigas entre as áreas de estudo.

Figura 10 Dendrograma de similaridade na composição de gêneros das áreas de estudo, no sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor, 2016.

5 DISCUSSÃO

O maior número de gêneros encontrado em A1 e A4, em relação às demais áreas em processo de recuperação deve-se, provavelmente, a presença de maior cobertura vegetal e estrato arbóreo melhor desenvolvido. Tais características estão mais evidentes nestas duas áreas, onde foi observada uma diversidade de microhabitats, um estrato arbóreo bem desenvolvido e uma boa cobertura de solo por folhiço. Seguindo Ribas (2012), ao aumentar a complexidade e heterogeneidade do ambiente tende-se a aumentar a riqueza de formigas na área, tal tendência foi observada no presente estudo, entretanto a proximidade da área A1 com outros remanescentes pode ter influenciado em sua riqueza uma vez que tais remanescentes podem atuar como fonte de espécies para esta área, além disso outra explicação plausível para a riqueza de A1.

Todas as áreas apresentaram gêneros arborícolas, tais como *Crematogaster* e *Pseudomyrmex*. Apesar de A2 não possuir um estrato arbóreo bem desenvolvido, tais gêneros ocasionalmente forrageiam em solos e são muito comuns em todo Brasil (BACCARO, et al., 2015). Por outro lado, podem ter origem das áreas adjacentes a área A2. A menor riqueza apresentada por A2 (11) pode estar relacionada ao fato que o solo desta área se encontra com maior umidade e frequentemente alagado, o que exerce influência direta na composição da assembleia e dinâmica de forrageio das formigas (SOARES, 2013), além de dificultar o processo de amostragem. A menor riqueza de A3, em relação a A1 e A4, pode estar relacionada ao domínio de gêneros com alto potencial de competição, como *Linepithema* (WILD, 2009, BRANDÃO, 2012, SCHIMIDT, 2013) e/ou a menor biomassa de serapilheira observada, tendo em alguns pontos a superfície do solo exposto, visto que a cobertura do solo pode influenciar no forrageio e nidificação de outras formigas (ANDERSEN, 1986; LASSAU; HOCHULI, 2004). No entanto, tal dado não foi quantificado no presente trabalho e, por tanto, uma relação mais direta não pode ser estabelecida.

Quanto às subfamílias amostradas ao longo do estudo, quase todas com ocorrência registrada para região neotropical foram amostradas no presente estudo (FERNANDEZ, 2003; BRANDÃO, 2015). A predominância de Myrmicinae pode ser explicada pela sua grande diversidade, possuindo grande número de estratégias para reprodução e obtenção de alimento, sendo conhecida como uma das subfamílias com maior importância econômica e ecológica. Esta subfamília é considerada elemento conspícuo em qualquer ecossistema terrestre (FERNANDEZ, 2003; BACCARO, et al., 2015), possuindo gêneros com alta tolerância à competição e potencial de invasão, como *Pheidole*, que apresenta uma ampla distribuição,

sendo predominante no solo da maioria dos ecossistemas tropicais, e considerado hiperdiverso (WILSON, 2003). Ainda dentro de Myrmicinae, *Solenopsis* aparece de forma representativa, ocorrendo em todas as áreas de estudo. Assim como *Pheidole*, este gênero possui uma elevada capacidade de invasão, mas é caracterizado por um potente veneno (BACARO et al., 2015) e é considerado cosmopolita nos neotrópicos (PACHECO, 2007).

Neste contexto, vale ressaltar o gênero *Wasmannia*, que ocorre em ambientes preservados (BACARO et al., 2015), porém, tem sido relatado, também, em ambientes perturbados. Este gênero possui um grande potencial de ocupação, devido a sua alta agressividade no consumo dos recursos e defesa de suas fontes alimentares diante de outras formigas e/ou outros organismos (LE BRENTON; CHAZEAU; JOURDAN, 2003).

A ocorrência de *Acromyrmex* apenas nas áreas em recuperação pode estar relacionada com a menor complexidade do ambiente, uma vez que demonstra ser favorecida em ambientes menos complexos e, conseqüentemente, reduzido número de nichos (RAMOS; et al., 2004; OLIVEIRA; et al., 2015).

O gênero *Cyphomyrmex* é comum em todos os ecossistemas neotropicais e tem baixa exigência para locais de nidificação, o fazendo embaixo de pedras ou entre as folhas na serrapilheira e utilizando diversos materiais para cultivo de fungo, como partes de artrópodes, fezes, e material em decomposição (LEAL; et al., 2010, BACARO; et al., 2015), o que pode explicar a sua presença nas quatro áreas amostradas.

Da subfamília Formicinae, os gêneros *Brachymyrmex* e *Nylanderia* foram registradas também em todas as áreas, possivelmente, devido a seu alto potencial de invasão, sendo frequentemente encontrados em ambientes urbanos (CAMPOS-FARINHA, 2005, LUTINSKI; LOPES; MORAIS, 2013). Representantes de formigas destes gêneros apresentam características que os adaptam à vida em competição como, por exemplo, a alta taxa de recrutamento, a formação de ninhos polidômicos, alta agressividade no consumo de recursos, e uma baixa agressividade intraespecífica (ZARZUELA; RIBEIRO; CAMPOS-FARINHA, 2002, BACCARO, et al., 2015). Já o gênero *Camponotus* possui ampla distribuição e é frequente em ambientes naturais da Mata Atlântica (BRANDÃO, et al., 2012). Possui capacidade de ocupar novos locais, devido a sua dieta e habito de nidificação, ambos generalistas. Além disso, a sua agressividade ao dominar fontes de recursos facilita o estabelecimento deste gênero (RAMOS, et al., 2003). Sua nidificação pode ser terrícola ou arborícola, ocupando troncos, bases e copas de arvores, assim como o solo e seus ninhos são grandes, possuindo alguns milhares de indivíduos (BACCARO, et al., 2015). Com relação à subfamília *Ponerinae* e *Ectatomminae*, praticamente todos os gêneros amostrados no presente

estudo ocorreram em todas as áreas com exceção de *Hypoponera*, que se mostrou ausente na A2. Representantes deste gênero nidificam em diversos locais, como embaixo de pedras, em troncos e na própria serapilheira (BACCARO, et. al., 2015), porém, seu hábito de forrageio é abaixo da serapilheira. Além disso, possuem comportamentos que evitam a competição intraespecífica são predadores generalistas, preferindo pequenos invertebrados adultos e/ou jovens (BRANDÃO, et. al., 2012). Levando em conta os mecanismos para evitar competição e o hábito de forrageio, pode-se sugerir que a ocorrência deste gênero ao longo do estudo esteja relacionada com a competição por recursos e disponibilidade de substrato para forrageio, ocorrendo em ambientes, onde a competição seja menor e onde haja maior substrato para forrageio. O gênero *Odontomachus* é considerado o mais especializado entre as predadoras generalistas. As formigas deste gênero possuem mandíbulas largas e durante o forrageio permanecem abertas em 180°. Procuram por presas de tamanho similar, como pequenos gastrópodes ou outros invertebrados, porém, em alguns casos, podem ser saprofitas e/ou atuar como dispersoras de sementes (LATTKE, 2003; BRANDÃO, et al., 2012; BACCARO, et al., 2015). Sua ausência em A2 e A3 pode estar relacionada à disponibilidade de substrato para forrageio ou, ainda, à competição por presas com outras espécies predadoras. Já o gênero *Pachycondyla* possui um comportamento mais generalista quanto à seleção de presas, buscando presas de qualquer tamanho, com exceção de algumas espécies que podem ser especializadas em predação de cupins (DELABIE, 2001). Representantes deste gênero ocorrem em toda a região neotropical (BRANDÃO, et. al., 2012), especialmente em florestas úmidas, e podem apresentar comportamento oportunistas, alimentando-se de arilos das sementes (BACCARO, 2015).

O gênero *Nomamyrmex* possui uma ampla distribuição, entretanto, no Brasil, é representado por apenas duas espécies (*N. eiseinmanni* (Westwood, 1842) e *N. hardi* (Westwood, 1842)). As espécies deste gênero são legionárias, ou seja, estão sempre em migração e forrageiam e se locomovem predominantemente abaixo do solo. Entretanto, podem ser avistadas formando filas de forrageio sob o solo, sendo que algumas operárias grandes podem ser vistas durante o dia (BACCARO, et al., 2015). Não armazenam alimento, por tanto, estão sempre em busca de presas. São quase que especializadas em predação de outras formigas, porém, consomem artrópodes e outra presa em seu caminho que não consiga mover-se rapidamente (PALACIO, 2003). Isto, possivelmente, influencia a sua ocorrência apenas na A4, uma vez que nas áreas mais abertas (A1, A2 e A3) podem oferecer uma menor quantidade de biomassa e expõe tais formigas à ação de outros predadores.

Quanto à dominância observada nos grupos Gêneralistas Myrmicinae e Dolichoderinae/Formicinae, esta pode ser explicada pelos hábitos dos mesmos, possuindo gêneros com uma dieta onívora e flexível (ANDERSEN, 1995, BRANDÃO, 2012). Em áreas mais abertas, a velocidade de forrageio e rápido domínio/consumo das fontes de alimento tornam-se características mais importantes para rápida ocupação do ambiente. Devido a estas características, tais grupos tornam-se mais tolerantes à competição e apresentam uma maior capacidade de ocupação (MAJER; NICHOLS, 1992). Tal fato é observado através dos gêneros *Solenopsis* e *Pheidole*, os quais foram dominantes e abundantes em todos os ambientes amostrados, embora nem todos os gêneros previstos como invasores potenciais tenham apresentado maior abundância e/ou dominância, como *Nylanderia* e *Linepthema*.

O grupo de predadoras generalistas apresentou abundância (a) apenas na área A4 com *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*, embora apenas *Gnamptogenys* tenha apresentado dominância (*) nesta área. Isto pode estar relacionado ao hábito de forrageio deste grupo, que geralmente patrulha de forma solitária e, ainda, pode ser relacionado à abundância de outros invertebrados (SILVESTRE; BRANDÃO; SILVA, 2003).

A complexidade da vegetação pode não ser o único fator atuante sobre a riqueza de gêneros de formigas (MARINHO, et al., 2002), uma vez que áreas em processo de restauração, como A1 apresentaram riqueza similares a área A4, diferenciando pouco em sua composição. No entanto, a disponibilidade de substrato para forrageio pode ter sido um fator determinante para a composição da riqueza em A2 e A3 (LASSAU e HOCHULI, 2004), visto que uma das áreas (A2) apresentou pouca vegetação arbórea no local de amostragem, assim como um solo alagado, enquanto A3 apresentou um bom extrato arbóreo, porém, uma baixa disponibilidade de serapilheira nos locais de amostragem. Também deve ser levado em conta as áreas adjacentes aos locais de amostragem. Áreas preservadas próximas a áreas em restauração podem servir como fonte de espécies, assim como grupos predadores podem utilizar as áreas em rera restauração como fonte de presas (OLIVEIRA, et al. 2015), sem necessariamente nidificar na mesma, desde que esta possui certo grau de conectividade com a área e substrato para forrageio. A composição da riqueza de formigas das áreas de estudos parece sofrer uma maior influência dos estratos vegetais que constituem tais áreas, ao invés do tempo de recuperação.

6 CONCLUSÃO

A similaridade entre as áreas de estudo pode estar relacionada com os estratos vegetais que as compõem, indicando que este fator possa ter maior influência do que o tempo de recuperação.

A dominância de grupos com alto potencial competitivo encontrados nas áreas estudadas, possivelmente, se relaciona com a ocorrência natural destes grupos na região Mata Atlântica. No entanto, tal dominância foi acentuada em ambientes que apresentaram um maior estímulo a competição, como a ausência de um estrato arbóreo melhor desenvolvido (A2) ou a menor cobertura de solo (A3).

A riqueza de gêneros observada em A1 e A4 deve-se, possivelmente, ao melhor desenvolvimento dos substratos utilizados durante o forrageio. No caso de A4 se esperava uma maior riqueza em relação às outras áreas, uma vez que outros estudos evidenciaram uma relação entre diversidade e heterogeneidade ambiental. Entretanto, a riqueza encontrada em A1 indica que a presença de mais estratos vegetais possui maior influência que o tempo de recuperação das áreas.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p. 711–728, 2014.
- ANDERSEN, A. N. A. Classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. **Journal of Biogeography**, v. 22, n. 1, p. 15-29, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13030**. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro. 1999.
- ALBA, J. M. Recuperação de áreas mineradas. **Brasília: EMBRAPA**, 2010.
- ANDERSEN, A. N. Diversity, seasonality and community organization of ants at adjacent heath and woodland sites in southeastern Australia. **Australian Journal of Zoology**, v. 34, n. 1, p. 53-64, 1986.
- BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNÁNDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. L. P.; SOLAR, R. R. C. **Guia para os gêneros de formigas do Brasil**. Ed. INPA, Manaus, Brazil, 2015.
- BELOLLI, M. et al. **História do Carvão de Santa Catarina**. Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 2002. 300 p.
- BRANDÃO, C. R. F.; SILVA, R. R.; DELABIE, J. C. Neotropical ants (Hymenoptera) functional groups: nutritional and applied implications. In: PANIZZII, A. R.; PANIZZII, J. R. P. (eds.): *Insect bioecology and nutrition for integrated pest management*. Boca Raton: CRS Press. 2012. 213-236 p.
- BRASIL. Decreto n. 97.632 - 10 abr. 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.
- BRASIL. **Sistema Nacional de Unidade de Conservação**. Lei Federal 9985/2000. Brasília: Congresso Federal, 2000.
- CAMPOS, M. L. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 2, p. 198-205, 2010.
- CITADINE-ZANETTE, V.; BACK, M.; SANTOS, R. Reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão a céu aberto no sul de Santa Catarina. In: ALBA, J. M. (ed.): **Recuperação de áreas mineradas**. Brasília: EMBRAPA. 2010. p. 282-301.
- CAMPOS-FARINHA, A.E de C. Urban pest ants of Brazil (Hymenoptera: Formicidae). In: **Proceedings of the 5th International Conference on Urban Pests, Suntec, Singapore**. 2005. p. 10-13.
- COLWELL, R. K. **EstimateS**: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1 Persiten URL. 2009. Disponível em: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>. Acesso em: 17 mar. 2016.

- CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. **Fauna de Solo: Aspectos Gerais e Metodológicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 46p. (Série Documentos, 112).
- CPRM - **Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil: Uso do Subsolo**. MME - Ministério de Minas e Energia, 2002. Disponível em: <www.cprm.gov.br>. Acesso em 15 mar. 2016.
- DELABIE, J. H. C., Trophobiosis between Formicidae and Hemiptera (Sternorrhyncha and Auchenorrhyncha): an overview. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 4, p. 501-516, 2001.
- DOS SANTOS, R. **Reabilitação de Ecossistemas Degradados Pela mineração de Carvão a Céu Aberto em Santa Catarina, Brasil**. 2003. 107 f. Tese (Doutor em Engenharia) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2003.
- EPAGRI - **Dados e Informações Biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Litoral Sul Catarinense** – UPR 8, 2001.
- FRASSON, F. M. J. **Degradação foliar de duas espécies arbóreas pioneiras e meso e macrofauna edáfica em áreas com solos construídos após mineração de carvão no sul de santa catarina**. 2015. 87 f. Tese (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2015.
- FERNÁNDEZ, F. Subfamilia Myrmicinae. In: FERNÁNDEZ, F. (ed.): **Introducción a las hormigas de la región neotropical**. Colômbia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt, 2003. p. 307-330.
- GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. **Mata atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005. 471 p.
- HAMMER; Ø; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analyses. **Paleontologica Electronica**, v. 4, n. 1, p 1-9, 2001.
- JFSC. Portal da Ação Civil Pública do Carvão (ACP do Carvão). **Relatório de vistoria e automonitoramento. PRAD UMIV – Volta Redonda LAI nº 048/2006, 2012**. Disponível em:<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/2012/Criciuma_2012/monitoramento_ambiental_criciuma.htm>. Acesso em: 17 jul. 2015.
- KAMPF, N. et al. Solos construídos em áreas de mineração da bacia carbonífera. In: **Carvão e meio ambiente**: Centro de Ecologia da UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p.596-640.
- LASSAU, S. A., HOCHULI, D. F. Effects of habitat complexity on ant assemblages. **Ecography**, v. 27, n. 2, p. 157-164, 2004.
- LATTKE, J. E. Subfamilia Ponerinae. In: FERNÁNDEZ, F. (ed.): **Introducción a las hormigas de la región neotropical**. Colômbia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt, 2003. p. 261-276
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, Paris, v. 33, p. 3-16, 1996.
- LE BRETON, J., CHAZEAU, J., JOURDAN, H. Immediate impacts of invasion by *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae) on native litter ant fauna in a New Caledonian rainforest. **Austral Ecology**, v. 28, n. 2, p. 204-209, 2003.

LEAL, I. R. et al. Biodiversity surrogacy: indicator taxa as predictors of total species richness in Brazilian Atlantic forest and Caatinga. **Biodiversity and conservation**, v. 19, n. 12, p. 3347-3360, 2010.

LUTINSKI, J. A., LOPES, B. C., DE MORAIS, A. B. B., Diversidade de formigas urbanas (Hymenoptera: Formicidae) de dez cidades do sul do Brasil/Urban ant diversity (Hymenoptera: Formicidae) in ten cities of southern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 3, p. 332, 2013.

MAJER, J. D.; NICHOLS, O. G. Long-term recolonization patterns of ants in Western Australian rehabilitated bauxite mines with reference to their use as indicators of restoration success. **Journal of Applied Ecology**, p. 161-182, 1998.

MARINHO, C.; ZANETTI, G. S., R.; DELABIE, J., H. C.; SCHLINDWEIN, M., N.; RAMOS, L. S.. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serapilheira em eucaliptais (Myrtaceae) e área de cerrado em Minas Gerais. **Neotropical Entomology** v.31: p.187-195. 2002.

MARTINS, R. **Florística, estrutura fitossociológica e interação interespecíficas de um remanescente de floresta ombrófila densa como subsídio para recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão, Siderópolis, SC.** 2005. 82 f. Tese (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2005.

MCGEOCH, M. A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biological Reviews**, v. 73, p. 181-201, 1998.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Monitoramento do Bioma Mata Atlântica 2008 a 2009.** 2012. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatorio_tcnico_mata_atlantica_2008_2009_72.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2015.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1983. 613 p.

OLIVEIRA, Daniel Mendes et al. Mirmecofauna em agroecossistemas e sua função na transição agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 01-06, 2015.

OTTONETTI, L.; TUCCI, L.; SANTINI, G. Recolonization patterns of ants in a rehabilitated lignite mine in Central Italy: Potential for the use of Mediterranean ants as indicators of restoration processes. **Restoration Ecology**. v.14 p.60-66. 2006.

PACHECO, J. A. **The New World Thief Ants of the Genus *Solenopsis* (Hymenoptera: Formicidae).** 2007. 542 f. Dissertação (Ph.D em Ciências Biológicas) The University of Texas at El Paso, UTEP, El Paso, 2007.

PALACIO, E. E., Subfampilia Ecitocinae: In: FERNÁNDEZ, F. (ed.): **Introducción a las hormigas de la región neotropical.** Colômbia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt, 2003. p. 281-286.

PEREIRA, J. M. **Atributos biológicos como indicadores de qualidade de solo em Floresta de Araucária nativa e reflorestada no Estado de São Paulo.** 2012. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I.; ARMBRECHT, I.; PARR, C. L. Ant diversity and function in disturbed and changing habitats. In: LACH, L.; PARR, C. L.; ABBOTT, K. L. (Ed.). **Ant Ecology**. Oxford: Oxford University Press, 2010. p. 137-156.

QUEIROZ, J. M., **Formigas como indicadoras de impacto ambiental em áreas de mineração**. 2013, 131 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015. Disponível em .

RAMOS, L. S. et al. Comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) de serapilheira em áreas de cerrado “stricto sensu” em Minas Gerais. **Lundiana**, v. 4, p. 95-102, 2003.

RAMOS, L.S.; ZANETTI, R.; MARINHO, C.G.S.; DELABIE, J.H.C.; SCHLINDWEIN, M.N. Impacto das capinas mecânica e química do sub-bosque de *Eucalyptus grandis* sobre a comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 139-146, 2004.

RIBAS, C. R.; SCHMIDT, F. A.; SOLAR, R. R. C.; CAMPOS, R. B. F.; VALENTIM, C. L.; SCHOEREDER, J. H. Ants as indicators of the success of rehabilitation efforts in deposits of gold mining tailings. **Restoration Ecology**, v. 20, n. 6, p. 712-720, 2012.

RIBEIRO, J.; TAFFAREL, S. R.; SAMPAIO, C. H.; FLORES, D.; SILVA, L.F.O. Mineral speciation and fate of some hazardous contaminants in coal waste pile from anthracite mining in Portugal. **International Journal of Coal Geology**. v. 109-110 p. 15–23, 2013.

SANCHEZ, J. C. D.; FORMOSO, M. L. L. **Utilização do carvão e meio ambiente**. Porto Alegre: CIENTEC, 1990. 34 p.

SCHMIDT, F. A.; DIEHL, E. What is the effect of soil use on ant communities? **Neotropical Entomology**, v. 37, p. 381–388, 2008.

SCHMIDT, F. A.; RIBAS, C. R.; SCHOEREDER, J. H. How predictable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 158-166, 2013

SILVA, L. F. O.; AKARAZO, I. M.; CASTRO, K.; OLIVEIRA, S. L. M. SAMPAIO, C. H.; BRUM, I. A. S.; LEÃO, B. F.; TAFFAREL, S. R.; MANDARIAGA, M. J. Study of environmental pollution and mineralogical characterization of sediment rivers from Brazilian coal mining acid drainage. **Science of Total Environment**. v. 447. P. 169-178. 2013.

SILVESTRE, R. C.; BRANDÃO, R. F.; SILVA, R. R. Grupos funcionales de hormigas: el caso de los grêmios del Cerrado. In: FERNÁNDEZ, F. (ed.): **Introducción a las hormigas de la región neotropical**. Colômbia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt, 2003. p. 113-148.

SOARES S. A., SUAREZ Y. R., FERNANDES W. D., TENÓRIO, P. M. S., DELABIE J. H. C., ANTONIALLI-JUNIOR, W. F. Temporal variation in the composition of ant assemblages (Hymenoptera, Formicidae) on trees in the Pantanal floodplain, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, n. 1, p. 84-90, 2013.

SOARES, P. S. M.; SANTOS, M. D. C. dos; POSSA, M. V. **Carvão brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 300p.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in Terrestrial Ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. 372p.

TONHASCA JUNIOR, ATHAYDE. **Ecologia e história natural da Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005. 197p.

UNDERWOOD, E. C.; FISHER, B. L. The role of ants in conservation monitoring: If, when, and how. **Biological Conservation**. v. 132. p. 166–182. 2006.

WILD, Alexander L. Evolution of the Neotropical ant genus *Linepithema*. **Systematic Entomology**, v. 34, n. 1, p. 49-62, 2009.

WILSON, E. O. **Pheidole in the new world: a dominant, hyperdiverse ant genus**. Cambridge: Harvard University Press, 2003. 818p.

WILSON, E. O. **The insect societies**. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 1971. 548 p.

ZARZUELA, M. F. M., RIBEIRO, M. C. C., CAMPOS-FARINHA, A. E. C. Distribuição de formigas urbanas em um hospital da região sudeste do Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo**, v. 69, n. 1, p. 85-87, 2002.