

DALANA CAMPOS MUSCARDI

**FORMIGAS EDÁFICAS E ATRIBUTOS DO SOLO EM CAFEZAIS SOB  
DIFERENTES TIPOS DE MANEJO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

DALANA CAMPOS MUSCARDI

**FORMIGAS EDÁFICAS E ATRIBUTOS DO SOLO EM CAFEZAIS SOB  
DIFERENTES TIPOS DE MANEJO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 31 de julho de 2008.

---

Prof. Carlos Frankl Sperber  
(Co-Orientador)

---

Prof. Irene Maria Cardoso  
(Co-Orientadora)

---

Prof. Carlos Ernesto Schaefer

---

Prof. Eduardo de Sá Mendonça

---

Prof. Ivo Jucksch  
(Orientador)

À Elena.

Depois de você, passei a sorrir todos os dias.

## AGRADECIMENTOS

Ao Ivo Jucksch, pela orientação, pela dedicação, carinho, apoio e amizade.

À minha família, que mesmo distante sempre esteve ao meu lado me apoiando, me incentivando e me dando força em todos os momentos, sobretudo nos mais difíceis quando sua presença se fazia mais intensa.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Solos (DPS) e Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, nas pessoas do coordenador, professores, secretárias e colegas por todo o conhecimento, apoio e atenção.

À estudante Alessandra Tavares Mourão, pela ajuda nas coletas, triagem e montagem das formigas.

Aos funcionários do Laboratório de Matéria Orgânica, Bráz e Alisson, pela atenção e disposição na montagem da estrutura para os funis.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo, pelo empréstimo de materiais e pelo auxílio nas análises de solo.

Ao professor Raphael Fernandes e à estudante Ivanilda de Souza Aguiar, pelos materiais que propiciaram as coletas de solo.

À CAPES pelo apoio e bolsa concedidos, além do apoio na realização deste e de outros projetos agroecológicos.

O Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata, ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Araponga e outras organizações locais, por facilitarem a inserção da agroecologia no meio rural, incentivando a prática de uma agricultura mais sustentável e pelo apoio no desenvolvimento de projetos como este, que favorecem o acúmulo de conhecimento sobre os sistemas agroflorestais.

Aos agricultores familiares, por permitirem a realização de minha pesquisa em suas terras, abrirem a porta de suas casas e seus corações. Pelas conversas animadas, pelos cafezinhos, sorrisos e por toda a sabedoria que transmitiram a mim.

Ao Zhé, pelo apoio, carinho, incentivo, atenção, paciência, ajuda, correções e por todo o resto.

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| RESUMO.....  | v   |
| ABSTRACT.....  | vii |
| INTRODUÇÃO .....   | vii |
| MATERIAL E MÉTODOS.....  | 7   |
| 1. <i>Localização das áreas de estudo e condições climáticas</i> .....                   | 7   |
| 2. <i>Caracterização das áreas de estudo</i> .....                                       | 8   |
| 3. <i>Coleta dos dados</i> .....   | 12  |
| 4. <i>Análises estatísticas</i> .....  | 14  |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 16  |
| 1. <i>Espécies coletadas:</i> .....  | 16  |
| 2. <i>Análises físicas e químicas do solo</i> .....                                      | 20  |
| 3. <i>Serapilheira, cobertura do solo e porcentagem de sombra sobre o ponto</i> .....    | 21  |
| 4. <i>Riqueza de espécies e abundância de formigas, aspectos ambientais e edáficos</i> . | 26  |
| CONCLUSÃO .....  | 36  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 37  |
| ANEXOS .....   | 44  |

## RESUMO

MUSCARDI, Dalana Campos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2008. **Formigas edáficas e atributos do solo em cafezais sob diferentes tipos de manejo**. Orientador: Ivo Jucksch. Co-Orientadores: Carlos Frankl Sperber e Irene Maria Cardoso.

O cultivo intensivo do solo, está ligado à degradação pela perda da biodiversidade da fauna edáfica, responsável por favorecer a manutenção ou o aumento da qualidade do solo. O estudo biopedológico com formigas em ambientes rurais é necessário, pois elas modificam a estrutura física, os aspectos químicos e atuam em processos ecológicos que ocorrem no solo favorecendo a sustentabilidade. Neste trabalho analisou-se a resposta da riqueza de espécies e da abundância de formigas à cobertura do solo, cobertura de dossel, peso de serapilheira, pH do solo, umidade do solo e macroporosidade do solo, em 9 áreas de plantio de café sob três tipos de manejo: sistema convencional – SC (3 áreas), agroecológico – AGRO (3 áreas) e agroflorestal – SAF (3 áreas). As formigas foram coletadas através da coleta de serapilheira, de solo e da instalação de armadilhas em 5 pontos em cada uma das áreas. O solo e a serapilheira foram colocados em funis de Berlese por 7 dias para a extração das formigas. Após esse procedimento, a serapilheira foi secada e pesada, e uma amostra do solo remanescente da extração das formigas foi coletada para determinação do pH. Coletou-se uma amostra de solo *in situ* para determinação da umidade atual e da macroporosidade, feitas em laboratório. A cobertura do dossel foi determinada através da determinação dos pixels presentes em imagens ortogonais digitais feitas sobre cada ponto amostrado. Ainda em cada ponto, determinou-se a porcentagem de cobertura vegetal no solo. Foram ajustados modelos lineares mistos utilizando o programa R. A riqueza de espécies e a abundância de formigas foram analisadas em função da cobertura de dossel, cobertura do solo, peso de serapilheira, macroporosidade, umidade, pH e tipo de manejo. A riqueza de espécies e a abundância de formigas foram maiores no sistema agroecológico quando comparado aos outros sistemas de manejo, não responderam à cobertura do solo, mas responderam positivamente à cobertura de dossel, ao peso da serapilheira e ao pH. Há uma preferência por ambientes com um microclima mais estável no desenvolvimento da colônia de formigas, assim, a temperatura local afeta a escolha do ambiente para nidificação. Este é um fato que pode explicar porque a riqueza e a abundância respondem positivamente à porcentagem de sombra. Os resultados mostraram padrão semelhante encontrado na análise em relação ao peso da serapilheira.

Uma quantidade maior de serapilheira, oferece maior quantidade de recurso, permitindo a coexistência de mais espécies no local pela diminuição da competição intraespecífica. Essa relação entre serapilheira e diversidade pode ser o causador do resultado encontrado. O peso da serapilheira foi maior no SAF em relação aos outros manejos, uma vez que no SAF há maior aporte de serapilheira advindo das árvores. Já a cobertura de dossel foi maior no AGRO e não diferiu entre SAF e SC. Isso pode ser devido ao fato de a imagem ter sido feita ao nível do solo, tendo a interferência do diâmetro das copas do pé de café. Essas relações ajudam a inferir sobre o padrão de resposta da riqueza de espécies de formigas e da abundância de formigas aos tipos de manejo. Tanto para riqueza quanto para a abundância o padrão foi o mesmo: maior no AGRO que no SAF e SC, os quais não diferiram entre si. Conclui-se que o tipo de manejo afeta a diversidade de formigas e dessa forma as mudanças nos aspectos do solo refletem na biodiversidade da fauna edáfica, interferindo na sustentabilidade do solo. O melhor entendimento dos processos que ocorrem no solo, permite a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis e a conseqüente conservação da qualidade do solo.

## ABSTRACT

MUSCARDI, Dalana Campos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, 2008, July. **Edafic ants and soil attributes in different management coffee cultures.** Adviser: Ivo Jucksch. Co-Advisers: Carlos Frankl Sperber and Irene Maria Cardoso.

The intensive soil cultivation, is linked to degradation because of the edafic fauna biodiversity loss, which is responsive to keep or increase soil quality. Biopedological ants studies in farm lands is required, because ants modifies physics and chemistry soil aspects and act in ecologic process that occur in soil, enhancing this sustainability. In this work, the response of ant species richness and ant abundance to soil coverage, canopy coverage, litter weight, soil pH, soil moisture and soil macroporosity in nine coffee plantation areas above tree different management types: conventional cropping (three areas), agroecological cropping (three areas), agroforestry cropping (three areas) was tested. The ants were collected in litter, soil and pitfall traps in five points in each area. The soil and the litter were put into Berlese funnels and left there for seven days to extract the ants. After that, the litter was dried and weighted. After ants extraction, one funnel soil sample was collected to pH determination. One soil sample was collected *in situ* to determinate actual moisture and macroporosity, in laboratory. The canopy coverage was detected trough pixels presence in ortogonal digital images of each point sampled. The vegetal soil coverage percentage was detected in each point sampled. Linear mixed models were adjusted to data, using R program. The response of ant species richness and ant abundance to soil coverage, canopy coverage, litter weight, soil pH, soil moisture, soil macroporosity and management type was tested. The ant species richness and ant abundance were higher in agroecological system, and not respond to soil vegetal coverage. However, ant species richness and ant abundance responded positively to canopy coverage, litter weight and soil pH. Há uma preferência por ambientes com um microclima mais estável no desenvolvimento da colônia de formigas, assim, a temperatura local afeta a escolha do ambiente para nidificação. Este é um fato que pode explicar porque a riqueza e a abundância respondem positivamente à porcentagem de sombra. Os resultados mostraram padrão semelhante encontrado na análise em relação ao peso da serapilheira. Uma quantidade maior de serapilheira, oferece maior quantidade de recurso, permitindo a coexistência de mais espécies no local pela diminuição da competição intraespecífica. Essa relação entre serapilheira e diversidade pode ser o causador do resultado encontrado. O peso da serapilheira foi maior no SAF em relação aos outros manejos, uma vez



que no SAF há maior aporte de serapilheira advindo das árvores. Já a cobertura de dossel foi maior no AGRO e não diferiu entre SAF e SC. Isso pode ser devido ao fato de a imagem ter sido feita ao nível do solo, tendo a interferência do diâmetro das copas do pé de café. Essas relações ajudam a inferir sobre o padrão de resposta da riqueza de espécies de formigas e da abundância de formigas aos tipos de manejo. Tanto para riqueza quanto para a abundância o padrão foi o mesmo: maior no AGRO que no SAF e SC, os quais não diferiram entre si.

Conclui-se que o tipo de manejo afeta a diversidade de formigas e dessa forma as mudanças nos aspectos do solo refletem na biodiversidade da fauna edáfica, interferindo na sustentabilidade do solo. O melhor entendimento dos processos que ocorrem no solo, permite a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis e a conseqüente conservação da qualidade do solo.

## INTRODUÇÃO

Há quatro décadas, os sistemas agrícolas dependiam apenas de recursos internos ao sistema como ciclagem da matéria orgânica e padrões das chuvas. A produção era salvaguardada pela diversidade das culturas. As entradas de nitrogênio eram obtidas com rotação de culturas, e essa rotação e a diversidade das culturas diminuía possíveis ataques por pragas e doenças. Os sistemas agrícolas eram modestos, mas estáveis. O elo entre ecologia e agricultura era forte e havia menos sinais de degradação do que nos dias atuais (Altieri, 1992).

A partir da modernização e do surgimento da agricultura intensiva esse elo foi quebrado e o manejo do sistema produtivo passou a gerar grande estresse e degradação das bases de produção. Os princípios ecológicos foram substituídos pela especialização da produção (com grande demanda por insumos externos ao sistema), expansão do monocultivo e uso de mecanização, levando o que gerou problemas sociais, econômicos e ambientais (Altieri, 1992; Altieri, 1995). Dentre estes últimos, está a degradação dos solos. Estima-se que 40% das terras cultivadas no mundo estão degradadas, resultante de processos como erosão do solo, cultivo extensivo do solo, perda de produtividade, salinização, desmatamento, excesso de pastagem e desertificação (Oldeman, 1994 *apud* Doran & Zeis, 2000). A degradação dos solos é uma das maiores preocupações ambientais atuais, ao lado de três outros grandes problemas ambientais causados pelo homem: a mudança climática global, a destruição da camada de ozônio e a perda de biodiversidade (Lal, 1998).

Todas as formas de agricultura causam mudanças no balanço e fluxo do ecossistema preexistente, limitando a auto-regulação de suas funções. Porém, a agricultura convencional intensiva, torna a paisagem homogênea, quebra os ciclos de energia e matéria orgânica e diminui a diversidade do solo, causando estresse e degradação (Philpott & Armbrecht, 2006). Essas modificações no agroecossistema, sobretudo a entrada de insumos para manter as funções do agroecossistema, geram problemas conhecidos como, por exemplo, a descarga de agrotóxicos e a contaminação de cursos d'água por fosfato derivado da fertilização química (Schöder *et al.*, 2002). Vários estudos têm descrito os efeitos dos usos e manejos do solo em seus aspectos físicos, químicos e biológicos, manejos estes que muitas vezes levam o solo à degradação. Alguns tipos de manejo podem prejudicar aspectos físicos do solo pelo aumento de sua densidade, dificultando a retenção e condutibilidade de água e a penetração das raízes

(Hairiah, 2006). Outros diminuem o aporte de serapilheira, favorecendo processos como a lixiviação e erosão e afetando a taxa de decomposição de serapilheira, e a retenção de umidade do solo (Hairiah, 2006; Oliveira, 2003). E ainda, alguns usos do solo provocam mudanças na riqueza e composição da fauna de solo, diminuindo a biodiversidade e qualidade do solo (Dlamini & Haynes, 2004; Loranger *et. al.*, 1999).

Os processos de degradação levam a perda de qualidade do solo, ou seja, a perda da capacidade de um tipo específico de solo de, dentro dos limites ambientais de ecossistemas naturais ou manejados, sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e dar suporte à saúde e habitação humana (Karlen *et al.*, 1997). A qualidade do solo e a sustentabilidade de um agroecossistema ou de um sistema de manejo estão diretamente ligadas, pois a avaliação da qualidade do solo e da forma com que essa qualidade muda ao longo do tempo é o primeiro indicador de sustentabilidade de um sistema de manejo (Karlen *et. al.*, 1997). A sustentabilidade de um agroecossistema é definida por Altieri (1999b) como sendo a capacidade de um agroecossistema manter sua produção ao longo do tempo, apesar das restrições ecológicas a longo prazo.

A qualidade do solo pode ser medida de várias maneiras, fazendo-se uso de indicadores físicos, químicos e biológicos. Dentre os indicadores físicos, há aspectos do solo que podem ser modificados pelos tipos de manejo, como mudanças na estrutura do solo, permeabilidade do solo, condutividade hidráulica, formação de aglomerados, infiltração de água, mudanças na densidade do solo e na retenção da umidade. Em termos químicos, temos como indicadores de qualidade do solo a matéria orgânica, o teor de carbono orgânico, a disponibilidade de nutrientes, a acidez do solo, a fertilidade do solo, a dinâmica de nutrientes, a taxa de decomposição da serapilheira, a respiração do solo, dentre outros. E, como indicador biológico, tem-se os organismos do solo, incluindo sua abundância, estrutura da cadeia trófica, estabilidade da comunidade e biodiversidade ou riqueza de espécies (Gaston, 1996), que podem ser usados, associados ou não, como indicadores de qualidade do solo (Doran & Zeis, 2000).

A biodiversidade do solo é composta por todos os organismos vivos que permanecem todo ou parte de seu ciclo de vida no solo, sendo formada, principalmente, pelas plantas, fungos, bactérias e animais. A fauna do solo é muito rica, constituindo-se de aproximadamente 100.000 espécies de protozoários, 500.000 espécies de nematóides (Hawksworth & Mound, 1991) e 3.000 espécies de minhocas (Lee, 1985), sem mencionar outros táxons. Além da classificação taxonômica, a fauna do solo pode ser dividida de acordo com a função que desempenha no solo, com o tempo que permanece no solo, com o hábitat,

com a locomoção, alimentação e tamanho. De acordo com a função que desempenham no solo, os organismos podem ser agrupados em: biota da raiz - organismos que fazem associação com as raízes das plantas, como as micorrizas; decompositores – seres que mineralizam nutrientes e/ou atuam como reguladores do número e atividade de microorganismos; e engenheiros do ecossistema – animais que revolvem o solo criando microhabitats para outros organismos (Lavelle *et. al.*, 1994). De acordo com o tempo que permanecem no solo, os organismos podem ser permanentes ou temporários (minhocas e larvas de alguns insetos, respectivamente). Em relação ao hábitat, podem viver em ambientes secos ou em partes úmidas do solo (poros com água e filmes d'água ao redor das partículas do solo). Em relação à locomoção podem ser escavadores e não escavadores (algumas espécies de formigas e ácaros). Podem alimentar-se de seres mortos ou vivos, sendo então classificados como saprófagos e biófagos (alguns colêmbolas, insetos predadores), respectivamente. Com relação ao tamanho, podem ser classificados como microfauna, mesofauna e macrofauna. A microfauna é composta por organismos de até 100 $\mu$  e incluem nematóides e protozoários; a mesofauna (ácaros, enquitreídeos e alguns insetos) compreende organismos de 100 $\mu$  a 2mm e a macrofauna é composta por organismos de 2mm a 20mm, como os miriápodes, alguns insetos e oligoquetas (Swift *et. al.*, 1979, *apud* Begon *et. al.*, 2006).

Os animais do solo, sobretudo os artrópodes, são amplamente utilizados em estudos que relacionam sistemas de manejo e sustentabilidade (Altieri, 1999; Doran & Zeis, 2000), pois representam uma medida integrativa de qualidade de solo, uma vez que exercem importante papel na regulação de processos vitais para a contínua formação e proteção do solo contra degradação (Bruyn, 1999). Eles operam, por exemplo, a maioria das transformações químicas ocorridas na ciclagem da matéria orgânica e na fertilidade, eles promovem a formação de agregados e poros de diferentes tamanhos, diminuindo a densidade do solo e atuando como verdadeiros ‘descompactadores’ do solo (Lavelle *et. al.*, 2006). A estrutura das comunidades e a abundância de artrópodes do solo são muito sensíveis ao uso e manejo do solo (Benito *et. al.*, 2005; Decaëns *et. al.*, 2004; Giller *et. al.*, 1997). Dentre os artrópodes de solo, as formigas possuem grande importância no funcionamento do ecossistema, sobretudo em função da sua habilidade de manter ou aumentar a qualidade do solo, podendo ser utilizada como bioindicador de degradação do solo e do agroecossistema (Bruyn, 1999).

As formigas são insetos da família Formicidae pertencente à ordem Hymenoptera. Segundo Agosti (2005), são conhecidas aproximadamente 12.451 espécies de formigas,

amplamente distribuídas do sul do círculo polar ártico ao sul da América do Sul. As formigas podem ser arborícolas, estabelecendo a colônia e forrageando em árvores, ou podem habitar o solo. Dentre as espécies de formigas edáficas, encontramos espécies epigéicas, ou seja, que vivem na superfície do solo e espécies hipogéicas, que vivem primordialmente abaixo do solo, ou cobertas sob a serapilheira, pedras e cascas de árvores mortas (Hölldobler & Wilson, 1990).

Durante o ciclo de vida das formigas edáficas, estes animais executam inúmeras atividades no solo e interagem com outras espécies, podendo ser responsáveis, juntamente com outros fatores, pela alteração do ambiente edáfico e até mesmo da qualidade do solo. As formigas são capazes de modificar a estrutura do solo pela escavação, construção de galerias, montículos e ninhos, muitas vezes diminuindo a densidade do solo (Dostal *et. al.*, 2005). Alterações em aspectos estruturais do solo derivados da presença de ninhos e de atividades realizadas durante a construção dos ninhos são bem documentados. Cerdà e Jungensen (2008) ao estudar o efeito da existência de ninhos em solo sob cultivo de laranja observaram que a ocorrência de processos degradantes como a erosão e a lixiviação do solo eram mais brandos nos locais onde havia a presença de ninhos de formigas que em locais sem ninhos. Além disso, encontraram uma correlação positiva entre a taxa de infiltração de água e diminuição da densidade do solo e a presença de ninhos de formigas. Nkem (2000) e Petal (2003) observaram um aumento da porosidade do solo em locais com a presença de ninhos de formigas quando comparados a áreas sem ninhos, sendo que Nkem (2000) observou a ocorrência de poros derivados da ação das formigas, em até 200cm de profundidade.

As formigas podem modificar as propriedades químicas do solo pela ingestão e transporte de material mineral e orgânico em diferentes níveis de profundidade ao longo do perfil do solo, afetando, por exemplo, a concentração de nutrientes e a degradação da matéria orgânica (Briese, 1982; Cerdà & Jungensen, 2008).

Resultados de Briese (1982) sugerem que a comunidade de formigas contribuiu para o padrão de concentração de nutrientes no solo, sendo responsáveis por um aumento na concentração de carbono, nitrogênio e fósforo em locais adjacentes aos ninhos. Dostal *et. al.* (2005) observaram um aumento de P e K, além de C total, N total,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  no solo dos formigueiros ocupados por formigas quando comparados com solos de formigueiros abandonados, inferindo que a atividade das formigas seria a causadora do aumento da concentração de nutrientes no solo. A concentração de nutrientes nas plantas pode ser também relacionada à presença de ninhos e à atividade das formigas. Sousa-Souto *et. al.* (2007) estudaram o efeito das formigas na concentração de nutrientes em duas espécies de

plantas que cresciam sobre os ninhos. Eles inferiram que as formigas seriam as responsáveis pelo aumento da concentração de micro e macronutrientes nas plantas *Echinolaena inflexa* e *Solanum lycocarpum*, que cresciam sobre os ninhos, quando comparadas àquelas que cresciam fora dos ninhos.

A ação das formigas no solo não se restringe apenas aos aspectos químicos e físicos, a presença de formigas também interfere na biota. As formigas podem controlar a ocorrência, a abundância e a diversidade de outros animais impedindo a infestação de pragas em diferentes culturas (Perfecto, 1991, Perfecto & Sediles, 1992; Philpott *et. al.*, 2006). As formigas exercem uma redução na abundância de determinados artrópodes danosos às plantas, podendo ser utilizadas como controle biológico de pragas como a cigarrinha *Dalbulus maidis* e a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* que atacam culturas de milho (Perfecto, 1991; Perfecto & Sediles, 1992). Philpott *et. al.* (2006) trabalhando em áreas de cultivos de café sob diferentes manejos, observaram que a interação entre formigas e agentes polinizadores aumentou o peso das sementes de café sombreado e, conseqüentemente, a sua qualidade quando comparado ao não sombreado.

A interação das formigas com outras espécies é retratada na literatura como geradora de modificações no solo e no agroecossistema. Bolton e Amberman (2006), através da realização de um experimento manipulativo, concluíram que a presença de formigas interfere na cadeia trófica do solo, aumentando a abundância de outros artrópodes como ácaros e colêmbolas, tendo importantes implicações na conservação e recuperação do solo.

Além dessas ações no solo e no agroecossistema, as formigas reúnem características que as constituem potenciais indicadores biológicos de degradação do solo e do agroecossistema, pois elas são abundantes e facilmente amostráveis, podem ocupar altos níveis tróficos (espécies predadoras), possuem alta riqueza de espécies, são facilmente quantificáveis e identificáveis, são importantes para o agroecossistema e susceptíveis a estresses ambientais (Majer, 1983). Correlacionar aspectos edáficos e ambientais com a riqueza de espécies e abundância de formigas, constitui-se importante ferramenta para permitir o manejo e monitoramento da biodiversidade de solos cultivados (Bruyn, 1999).

Assim, o presente trabalho teve o objetivo de testar a resposta da riqueza de espécies e a abundância de formigas a aspectos do solo e ambientais modificados pelo tipo de manejo e, dessa forma, inferir sobre a utilização desses animais como bioindicadores de impactos derivados do manejo do solo de agroecossistemas. Para tal, testou-se a resposta da riqueza de espécies e da abundância de formigas de solo ao: a) peso de serapilheira, b) quantidade de sombra, c) cobertura do solo, d) acidez do solo, e) macroporosidade do solo e f) umidade do

solo. A eventual interação desses fatores com o tipo de manejo agrícola também foi testada. Tais aspectos foram escolhidos por serem potencialmente modificados pelo manejo e uso do solo (Bertol et al., 2001; Bewket & Stroosnijder, 2003; Llanillo et al., 2006; Neto et al., 2006; Ribas & Schoereder, 2007, Muscardi et al., 2008) e, apresentarem correlação com formigas edáficas.

Dado que um sistema agroflorestal é considerado um agroecossistema mais sustentável quando comparado a um sistema convencional de manejo, por, dentre outros fatores, permitir alta biodiversidade (Altieri, 199b), neste trabalho, testou-se também se a riqueza de espécies e a abundância de formigas era maior no sistema agroflorestal quando comparado aos sistemas agroecológico e convencional de manejo.

Dessa forma, neste trabalho testaram-se as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: a abundância de indivíduos e a riqueza de espécies de formigas de solo aumentam com o aumento do peso da serapilheira;

Hipótese 2: a abundância de indivíduos e a riqueza de espécies de formigas de solo aumentam com o aumento da cobertura do solo;

Hipótese 3: a abundância de indivíduos e a riqueza de espécies de formigas de solo aumentam com o aumento da sombra;

Hipótese 4: a abundância de indivíduos e a riqueza de espécies de formigas de solo aumentam com o aumento do pH do solo;

Hipótese 5: a abundância de indivíduos e a riqueza de espécies de formigas de solo aumentam com o aumento da macroporosidade do solo;

Hipótese 6: a abundância de indivíduos e a riqueza de espécies de formigas de solo aumentam com o aumento da umidade do solo;

Hipótese 7: os aspectos edáficos e ambientais influenciadores da abundância de indivíduos e/ou da riqueza de espécies de formigas de solo são afetados pelo tipo de manejo agrícola.

## MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo foram escolhidas dentre as áreas de cultivo de café existentes em Araponga e Canaã. No município de Araponga, agricultores familiares locais e o Centro de Tecnologias Alternativas de Zona da Mata estão em consonância no intuito de se estabelecer sistemas de produção mais sustentáveis. Dentro dessa perspectiva, há um histórico de incentivos e conversões de sistema de manejo de café convencional para sistemas de manejo agroecológico e agroflorestal. Com a finalidade de estudar os efeitos dessa conversão sobre a biodiversidade e qualidade ambiental, diversos estudos têm sido realizados em áreas de plantio de café neste município. Dessa forma, este trabalho foi desenvolvido em algumas dessas áreas no intuito de colaborar com a formação de um banco de dados sobre os resultados e as inferências da adoção de práticas mais sustentáveis de manejo de café. No município de Canaã, próximo a Araponga, estão concentradas várias áreas de plantio de café convencional. Uma das áreas estudadas está presente nesse município. A escolha dessa área se deveu à facilitação de contato com o proprietário e pelo fato dela ser semelhante às outras áreas de plantio convencional estudadas.

### *1. Localização das áreas de estudo e condições climáticas*

O presente estudo foi desenvolvido em áreas pertencentes aos municípios de Araponga (20°39'09''S, 42°31'15''W; IBGE, 1979) e Canaã (20°41'09''S, 42°37'12''W), localizados na Zona da Mata de Minas Gerais, dentro da microrregião de Viçosa. Araponga possui 300 km<sup>2</sup> e Canaã 175 km<sup>2</sup> de área. O clima da região é do tipo Cwb, tropical de altitude, com verões chuvosos e invernos frios e secos, a temperatura média mensal oscila entre 20 e 22 °C e a precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 mm (Meira-Neto, 2002). Os municípios estão localizados a aproximadamente 1.000 metros de altitude. As principais atividades econômicas desenvolvidas na região são a pecuária e a agricultura, esta última tendo como base de produção o café.

As áreas de estudo, constituem-se de sistemas de plantio de café localizadas, em sua maioria, em pequenas propriedades rurais, totalizando nove áreas de plantio de café sob diferentes sistemas de manejo:



- três sistemas sob SAF,
- três sistemas sob manejo agroecológico sem árvores (AGRO) e
- três sistemas sob manejo convencional (SC).

À exceção de um sistema convencional localizado em Canaã, todos os demais sistemas estudados estão dentro do município de Araçuaia.

| Área         | Coordenadas    |                |
|--------------|----------------|----------------|
| AGRO 1       | S 20° 38' 636" | W 42° 29' 876" |
| AGRO 2       | S 20° 41' 926" | W 42° 31' 757" |
| AGRO 3       | S 20° 42' 296" | W 42° 31' 085" |
| SAF 1        | S 20° 42' 291" | W 42° 31' 096" |
| SAF 2        | S 20° 38' 642" | W 42° 29' 904" |
| SAF 3        | S 20° 41' 939" | W 42° 31' 783" |
| SC 1         | S 20° 39' 825" | W 42° 31' 525" |
| SC 2 (Canaã) | S 20° 42' 064" | W 42° 35' 584" |
| SC 3         | S 20° 40' 974" | W 42° 31' 403" |

## 2. Caracterização das áreas de estudo

As áreas estudadas pertencem ao domínio da Mata Atlântica, sendo originalmente compostas por floresta estacional semidecidual. Esta foi substituída pelo café, que posteriormente foi trocado pela pastagem. Observa-se na região a presença de diversos fragmentos florestais e uma unidade de conservação, criada com o objetivo de conservar, parte da Mata Atlântica presente na região, o Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. O café é a principal base de produção agrícola, estando presente na região há pelo menos 50 anos.

Existem diferenças entre os tipos de manejos do cafezal adotados pelos produtores o que permitiu a caracterização e diferenciação entre os manejos agroecológico, convencional e agroflorestal. O manejo convencional é tradicionalmente adotado na região e, portanto, é nas áreas sob esse tipo de manejo que encontramos os pés de café com maior tempo de estabelecimento na área, chegando a atingir 25 anos de idade. A adoção do manejo denominado agroecológico ou do agroflorestal, ocorreu de diferentes formas. Em algumas áreas o manejo foi estabelecido desde o início da cultura, em outras áreas ele foi adotado como substituição ao manejo convencional e há casos em que ele foi adotado como método de recuperação do solo e da água. Nessas áreas sob manejo agroecológico ou agroflorestal, ocorrem lavouras de diferentes idades, sendo as mais jovens, com quatro anos de desenvolvimento.

O manejo realizado nos plantios convencionais constitui-se basicamente de adubação química, uso de “calda Viçosa” (fungicida de preparação caseira composto por fertilizantes solúveis e cal hidratada, utilizado para controlar a ferrugem do café causada pelo fungo *Hemielia vastratrix*), correção de acidez, uso de herbicidas para evitar o aparecimento de plantas oportunistas ou competidoras, e pesticidas quando ocorre infestação por pragas. Não há outra cultura consorciada ao café ou a permanência de herbáceas e outras plantas espontâneas, fato justificado pelos agricultores devido ao prejuízo que outras plantas trazem ao desenvolvimento do café. As áreas são normalmente maiores, alcançando 42 ha, que as dos outros tipos de manejo e o número de pés de café também acompanha essa tendência, chegando a 84.000 pés numa das áreas amostradas. Há a contratação de funcionários que cuidam da terra e a utilização de caminhões para facilitar o transporte da colheita. Os proprietários alegam como vantagens do sistema convencional de produção a melhora na produtividade e qualidade do café, além da organização do cafezal.

Os sistemas denominados agroecológicos, os agricultores introduzem ou permitem o crescimento de outras plantas no meio da cultura de café, sobretudo as espontâneas. Essas plantas desempenham, muitas vezes, funções específicas dentro do agroecossistema, como a oferta de alimentos, a proteção do solo ou a adubação verde. Assim, o agricultor favorece a adubação do café ao roçar essas plantas e algumas vezes complementa com adubo orgânico proveniente de sua propriedade, como cama de galinha e esterco de boi. Além disso, o agricultor enriquece a dieta alimentar cultivando alimentos como abóbora, feijão, cana-de-açúcar e mandioca junto ao café agroecológico; aumenta as fontes de renda com a venda de alguns produtos excedentes (mandioca, por exemplo); utiliza calda Viçosa como controle da ferrugem, corrige a acidez do solo com calcário e não utiliza agrotóxicos. São agricultores familiares, pois não há a contratação de funcionários, exceto em casos excepcionais quando da época de colheita. Os sistemas agroflorestais são bastante semelhantes aos agroecológicos em relação à forma de manejo, diferenciando-se no fato da introdução de plantas ser feita, sobretudo, com árvores. Ocorre a introdução de algumas espécies de plantas com o principal objetivo de enriquecer a dieta alimentar da família e fornecer alimentos para criação de animais. Outras plantas de sub-bosque, como algumas herbáceas espontâneas quando ocorrem, porém, são mantidas ou roçadas. As árvores comumente encontradas nas áreas estudadas são ingá, papagaio, capoeira branca, bananeira e abacate. Os agricultores investem nas árvores com o intuito de fornecer sombreamento ao café, favorecer a ação de agentes polinizadores, proteger o solo contra lixiviação, erosão e outros processos degradantes, aumentar formação de matéria orgânica e complementar a dieta alimentar da família e

diversificar a renda. Não há a contratação de funcionários, exceto em ocasiões especiais, como a época de colheita, o que os caracterizam como agricultores familiares.

A propriedade do agricultor familiar Ângelo (inclui as áreas AGRO 1 e SAF 1), mede ao todo pouco mais de 1 ha. Há aproximadamente 1200 pés de café cultivados sob manejo agroflorestal e pouco mais de 2000 pés cultivados sob manejo agroecológico. As plantas cultivadas sob manejo agroflorestal possuem aproximadamente 26 anos e a conversão de manejo convencional para agroflorestal ocorreu há aproximadamente 13 anos. De acordo com o agricultor, técnicos do CTA e alguns professores da Universidade Federal de Viçosa forneceram mudas, incentivando e facilitando a conversão do antigo sistema de manejo adotado para o sistema atual. De acordo com o agricultor, a conversão se deu como medida mitigadora de processos erosivos e de lixiviação do solo, resultantes do manejo convencional, processos esses que acarretavam prejuízo para o solo e para o agricultor. Há aproximadamente oito anos, o agricultor utiliza apenas adubo orgânico em sua lavoura (esterco e cama de galinha) realizando a roçada apenas, sem retirar a cobertura do solo. As árvores mais comuns em sua propriedade são o Ingá, a Bananeira e o Abacateiro. A vantagem da utilização do manejo agroflorestal, segundo Ângelo, é o fornecimento de alimento, a proteção do solo e a sombra proporcionada pelas árvores que facilita o cuidado na lavoura. Em relação ao cafezal sob manejo agroecológico, o agricultor relatou que a lavoura tem aproximadamente 20 anos, o manejo agroecológico adotado confere facilidade no cuidado da lavoura, além de mais alimento para o agricultor e sua família. Além da cama de galinha, o agricultor utiliza fertilizante “Super-magro”, urina de boi e fertilizante 25-20.

A propriedade do agricultor Romualdo (inclui as áreas AGRO 2 e SAF 2) também é uma pequena propriedade, medindo cerca de 1500 a 2000m<sup>2</sup> a parte da propriedade com café cultivado sob manejo agroecológico e 800 a 1200m<sup>2</sup> a parte da propriedade com café sob manejo agroflorestal. Nas duas áreas da propriedade, havia pasto até meados de 1983 e cultivou-se arroz até meados de 1989. Na área com café agroflorestal, houve ainda o plantio de “Capim-elefante” até meados de 1993 e somente em 1994 o café foi introduzido. Havia a necessidade de recuperação do solo que estava imensamente degradado pelo cultivo intensivo do arroz. De acordo com Romualdo, o plantio de árvores juntamente com o café teve o objetivo de fornecer cobertura do solo e protegê-lo. A escolha do Ingá foi favorecida pelo alto aporte de matéria orgânica produzida por essa espécie e pelo fato de possuir raiz profunda, o que, segundo Romualdo, impede que a árvore e o café compitam por água. Há também no sistema agroflorestal a “Uva-do-japão”, também conhecida como “Pau-doce”, árvore que, de acordo com o agricultor, produz muita serapilheira na época da colheita. Além dessas duas

espécies, há a presença de Bananeira e “Sobrasil” na área sob manejo agroflorestal. São cultivados aproximadamente 900 pés de café na área desde o início do plantio sob manejo agroflorestal o que, segundo o agricultor, veio como forma de recuperar o solo, que estava praticamente improdutivo quando o café foi introduzido. Ainda segundo Romualdo, houve benefícios derivados desse tipo de manejo, como a recuperação da cobertura e produtividade do solo e de uma nascente que ressurgiu na área. Além disso, o agricultor diz que o café coberto (sombreado pelas árvores) é superior ao café não sombreado em produtividade e estrutura (tamanho) da planta. Com relação ao manejo agroecológico, são cultivados sob esse tipo de manejo de três a quatro mil pés de café. A lavoura existe desde meados de 1994 e além do café há o plantio de mamão, abóbora, pêssego, goiaba, limão, e cana no meio da cultura. De acordo com o agricultor, a realização do manejo agroecológico com a introdução de outras plantas traz como benefícios o fornecimento de alimentos e a atração de pássaros e outros animais, que funcionam como agentes polinizadores e inimigos naturais de insetos praga. Além disso, Romualdo relatou que há economia de mão-de-obra e o solo é mantido coberto e retém mais umidade que quando sob manejo convencional. Há aproximadamente 25 anos não utiliza nenhum tipo de agrotóxico na lavoura, que é apenas roçada e cuja fertilização é feita com “Super-magro” e um fertilizante próprio, chamado pelo agricultor de “calda-alternativa”, preparado na propriedade e composto de folhas e raízes de plantas.

A propriedade do agricultor familiar Samuel, possui aproximadamente 38 ha (inclui as áreas AGRO 3 e SAF 3). Segundo relato do agricultor, em sua área havia um fragmento de mata que foi queimado há aproximadamente 12 anos. Após a retirada da mata, foi realizado o plantio de milho e feijão na área. O café foi introduzido somente há oito anos. Na área há aproximadamente 8000 pés de café. Além do café, na área sob manejo agroflorestal, houve o plantio de árvores como o Abacateiro e a Bananeira. Na área sob manejo agroecológico, houve o plantio de vegetais como o inhame, e a cana-de-açúcar. A introdução de outras plantas na lavoura de café, segundo o agricultor, deu como uma maneira de favorecer a subsistência, fornecer matéria orgânica para o solo e fornecer sombra para facilitar o trato da lavoura. O agricultor sempre utilizou essa forma de manejo, desde o plantio do café.

As propriedades do produtor Carlos, incluem as áreas SC 1 (em Araponga) e SC 2 (em Canaã). A propriedade em Araponga possui aproximadamente 44 mil pés de café, sob manejo convencional. Segundo um funcionário do produtor, a lavoura inteira possui aproximadamente 22 anos, no entanto alguns pés de café mais jovens foram estabelecidos há sete anos. Antes do plantio da lavoura havia pasto na área. O café foi introduzido e há a utilização de agrotóxicos como o Roundup e formicidas. Não há outras plantas e de acordo

com o funcionário, isso se deve ao fato de a presença de outras plantas serem prejudiciais à lavoura, ao crescimento do café. Além disso, a aparência da lavoura também é alterada pelo tipo de manejo. Segundo o relator, a adoção de manejo agroecológico ou agroflorestal com a introdução de outras plantas tornaria a lavoura “suja”, por apresentar outras plantas no meio da cultura. A adubação é feita com adubo químico (15-0-15) e pulverização com boro e zinco. Já a propriedade localizada em Canaã, apresenta uma área de aproximadamente 33 ha. Segundo o funcionário do produtor Carlos, antes do plantio do café havia um fragmento de mata no local. Há em torno de 126 mil pés de café na propriedade. A lavoura é cultivada há 19 anos, mas os pés mais novos chegam aos seis anos. Da mesma forma que a lavoura de Araponga, não há outras plantas no meio da cultura. Segundo o funcionário, não há o plantio de outros vegetais no meio da lavoura pelo fato de não haver espaço para isso. Porém, quando os pés de café estão jovens, até dois anos, é realizado o plantio de feijão para consumo próprio.

A propriedade do Paulo, que inclui a área SC 3, é conhecida como Fazenda Castelo e possui 42 ha.

Essas informações foram obtidas através de entrevista semi-estruturada (anexo) com os proprietários e agricultores, relato pessoal de pessoas que trabalham nas áreas e observações no local.

### **3. Coleta dos dados**

As coletas foram realizadas de julho a setembro de 2007. Como as áreas de sistema agroflorestal e agroecológico eram próximas, optou-se por amostrar as áreas duas a duas, sendo feitas as coletas em três etapas. Na primeira etapa demarcaram-se os pontos de coleta com estaca e fizeram-se as fotografias do dossel. Na segunda etapa coletou-se a cobertura do solo, a serapilheira, o solo e instalaram-se as armadilhas. Na terceira etapa retiraram-se as armadilhas (após 48hr horas de instalação).

#### **3.1. Formigas hipogêicas e serrapilheira**

Em cada área foram demarcados cinco pontos de coleta, distanciando-se ao menos quinze metros um do outro para conferir independência entre os pontos. Sobre o solo de cada ponto amostrado determinou-se a porcentagem de cobertura do solo, utilizando-se para isso, um gabarito de madeira quadriculado, de 30x30cm, dividido em 36 quadrículas de 5x5cm cada uma. O gabarito foi disposto sobre o solo e contabilizou-se a quantidade de quadrados

cobertos, em mais de 50% de sua área, por vegetação viva ou morta. O resultado de cada ponto foi utilizado como valor absoluto para análise.

Coletou-se a serapilheira de cada ponto amostrado, utilizando-se um gabarito de madeira de 20x20cm. Tal gabarito foi disposto sobre o solo e a serapilheira de seu interior foi recolhida, armazenada em saco plástico e encaminhada ao Laboratório de Matéria Orgânica da Universidade Federal de Viçosa. No laboratório, a serapilheira foi colocada em funis de Berlese e mantida sob luz de 40W por sete dias a fim de extrair as formigas presentes. Concluída a extração, a serapilheira foi seca em estufa a 110°C (até atingir peso constante) e pesada.

### **3.2. *Formigas hipogêicas, macroporosidade e umidade***

Após a coleta da serapilheira de cada ponto, retirou-se um bloco de solo, com as dimensões de 20x20 cm de área, por 10 cm de profundidade. Este solo foi ensacado e levado ao Laboratório de Matéria Orgânica da Universidade Federal de Viçosa. Em laboratório, as amostras de solo foram colocadas em funis de Berlese e mantidas sob luz de 40W por sete dias para a extração das formigas presentes. Ao final da extração, uma amostra composta desse solo foi coletada e encaminhada ao Laboratório de Fertilidade de Solo da Universidade Federal de Viçosa, para realização da análise de rotina a fim de se obter o pH do solo (EMBRAPA, 1997).

Ao final da coleta de cada bloco de solo, uma amostra do solo foi retirada com a utilização de anel volumétrico, o qual foi devidamente protegido e encaminhado ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa. A partir das amostras encaminhadas, foi calculada a macroporosidade a partir da determinação da densidade do solo e obtida a umidade atual do solo de cada ponto amostrado, utilizando-se o método de mesa de tensão (Kiehl, 1979).

### **3.3. *Formigas epigêicas***

As formigas epigêicas foram coletadas a partir da utilização de armadilhas do tipo *pitfall* instaladas em local adjacente ao ponto de retirada do bloco de solo. Os *pitfalls* eram frascos plásticos de sete centímetros de diâmetro e nove centímetros de altura. Eles foram enterrados até a borda e preenchidos até um terço de seu volume com uma solução de sal, água e detergente para matar as formigas e impedir que elas saíssem do frasco. As armadilhas foram retiradas após 48 horas de permanência nas áreas e procedeu-se a triagem, identificação e contagem das formigas presentes. Para a identificação, utilizou-se a chave de

identificação (Bolton, 1994) e comparação com a coleção de referência do Laboratório de Ecologia de Comunidades do Departamento de Biologia Geral da Universidade Federal de Viçosa. Todas as formigas coletadas foram identificadas para a determinação da riqueza de espécies e contadas para a determinação da abundância de indivíduos.

### **3.4. *Sombreamento***

Em cada um dos cinco pontos amostrados fez-se uma imagem ortogonal da cobertura do dossel utilizando-se máquina digital Nikon COOLPIX 4500 com de 35mm. A máquina fotográfica foi disposta sobre o solo e, com o auxílio do temporizador, pôde-se registrar o dossel sobre cada local amostrado. As fotografias foram analisadas com o programa GLA (Gap Light Analyser, 1999), determinando-se a porcentagem de pixels ocupados na imagem, a qual representou a porcentagem de sombra sobre cada ponto.

### **4. *Análises estatísticas***

A riqueza de espécies e a abundância de formigas foram utilizadas como variáveis resposta, por serem parâmetros facilmente mensuráveis e constituírem-se base em estudos de biodiversidade. Por riqueza de formigas entende-se o número de espécies de formigas diferentes. Por abundância de formigas entende-se o número total de indivíduos encontrados, não importando a qual espécie pertence.

Para a análise dos dados utilizou-se o programa R (R Development Core Team, 2006) sendo ajustados modelos lineares mistos. Esses modelos são mais adequados para análise dos dados obtidos, por permitem análise mais precisa do fator que se quer (por exemplo, a riqueza de espécies de formigas em função do peso de serapilheira), retirando-se os fatores aleatórios pertinentes às áreas estudadas que poderiam prejudicar a análise (possíveis heterogeneidades entre as áreas, como inclinação do terreno, intensidade de luz solar, etc), ao incluir o fator “área” no modelo (Crawley, 2005).

Cada sistema foi considerado uma repetição em relação ao tipo de manejo. Os pontos amostrados dentro de cada um dos sistemas foram considerados observações independentes. A independência das amostras foi conferida pela distância entre os pontos (mínimo de 12 metros entre eles e 12 metros da borda dos agroecossistemas) e pelo tipo de análise adotado (Crawley, 2005).

Primeiramente, verificou-se a resposta da riqueza de espécies e da abundância de formigas, consideradas como variáveis resposta, aos tipos de manejo (AGRO, SAF, SC),

considerados como variáveis explicativas. Utilizou-se a distribuição de erros Poisson (ou distribuição de erros Poisson corrigida para quasi-Poisson quando necessária) foi utilizada.

Posteriormente, a resposta da riqueza e abundância de formigas (variáveis resposta) aos fatores mensurados foi analisada. Assim, o peso da serapilheira, a porcentagem de cobertura do solo sobre o ponto, a porcentagem de sombra sobre o ponto, a macroporosidade, o pH e a umidade foram as variáveis explicativas. Para a análise da relação entre as variáveis resposta e as variáveis explicativas referentes aos aspectos do solo, quais sejam a macroporosidade, o pH e a umidade, foram utilizados somente os dados de coletas de formigas feitas a partir da extração das formigas presentes no solo, os dados referente às formigas coletadas a partir da serapilheira e dos pitfalls não foram utilizados nesta análise. Com isso, favorece-se a relação entre formigas edáficas e aspectos edáficos alterados pelo manejo. A distribuição de erros Poisson (ou distribuição corrigida para quasi-Poisson) foi novamente utilizada.

Para análise da hipótese 7, admitiu-se o peso da serapilheira, a porcentagem de cobertura do solo sobre o ponto, a porcentagem de sombreamento sobre o ponto, a macroporosidade, a acidez e a umidade como as variáveis resposta e os tipos de manejo (AGRO, SAF, SC) como as variáveis explicativas. Para os fatores porcentagem de cobertura do solo sobre o ponto e porcentagem de sombreamento sobre o ponto, utilizou-se distribuição de erros Binomial, corrigida para quase-Binomial quando necessário. Para os fatores acidez e umidade, utilizou-se distribuição Normal.

Ao final de todas as análises realizou-se análise de resíduo para a verificação da adequação do modelo e da distribuição de erros utilizada.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. *Espécies coletadas:*

Foram coletadas ao todo 38 espécies de formigas pertencentes às subfamílias Dolichoderinae, Ecitoninae, Ectatominae, Formicinae, Myrmicinae, Ponerinae e Pseudomyrmecinae, reunidas em 22 gêneros, totalizando 818 indivíduos. As subfamílias Myrmicinae e Formicinae apresentaram maior número de espécies dentre as subfamílias coletadas, com quinze e oito espécies respectivamente. As famílias Ecitoninae e Ectatominae foram encontradas no pitfall e no solo, não estando presentes nas amostras de serapilheira. Já a espécie *Pseudomyrmex sp.1*, única representante da família Pseudomyrmecinae, foi encontrada apenas em uma amostra de pitfall, em um sistema agroecológico (Tabela 1).

Estudos sobre a biologia de formigas ainda é escasso, dessa forma, considerações específicas sobre o comportamento e a exigência das espécies deve ser feito com cautela, contudo, uma análise geral da tabela 1 permite algumas inferências.

Das 38 espécies encontradas, somente duas delas possui ocorrência exclusiva no SAF, a *Gnamptogenys sp.1* e a *Hylomyrma sp.1*. Além de terem ocorrido somente no SAF, as duas espécies possuíam um indivíduo apenas em cada área encontrada. Isto nos leva a pensar que essas espécies podem ter maior exigência com relação ao habitat, já que ocorreram somente no SAF. Por outro lado, podem ser espécies difíceis de serem coletadas, devido à baixa abundância encontrada (coletou-se dois indivíduos da espécie *Gnamptogenys sp.1*, e um indivíduo da espécie *Hylomyrma sp.1*).

Ocorrência exclusiva a somente um tipo de manejo também tiveram as espécies *Tapinoma sp.1*, *Camponotus (Myrmothrix) rufipes*, *Camponotus sp. 3*, *Cyphomyrmex sp. 2*, *Solenopsis sp.4*, *Wasmannia sp. 1*, *Pachycondyla marginata* e *Pseudomyrmex sp.1*. Todas essas espécies ocorreram somente no sistema agroecológico, e, da mesma forma que as espécies presentes somente no SAF, apresentaram baixa abundância, não ultrapassando três indivíduos por espécie (Tabela 1).

Já as espécies mais abundantes como *Pheidole sp.1*, *Pheidole sp.2*, *Solenopsis sp.1*, *Solenopsis sp.2* e *Solenopsis sp.3*, foram também as espécies com ocorrência mais ampla entre os tipos de manejo. A espécie *Pheidole sp.2* teve alta abundância, sendo coletados mais de 200 indivíduos dessa espécie. Espécies com ampla distribuição possuem também alta abundância e isso pode ser observado pela dinâmica populacional dessa espécie. Vários fatores podem ser utilizados para explicar esse comportamento, como qualidade e abundância

do recurso, habitat da espécie e nicho ecológico. Dado que esses fatores são específicos de cada espécie, é difícil inferir sobre qual o motivo da distribuição ampla e alta abundância das espécies supracitadas. Nesse caso, até mesmo ambientes considerados de difícil colonização por espécies mais exigentes, como o agroecossistema sob manejo convencional, pode ser um habitat propício se possuir os recursos e condições necessário pela espécie. No caso, coletaram-se 86 indivíduos da espécie *Pheidole* sp.2 dentro do SC (Tabela 1).

As outras espécies tiveram uma ocorrência aleatória entre os tipos de manejo, sem demonstrar nenhum padrão.

**Tabela 1:** Abundância de formigas coletadas em cada uma das áreas estudadas.

| Subfamília             | Espécie                                   | Número de indivíduos por espécie por área |       |       |      |      |      |     |     |     |
|------------------------|---|---|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|
|                        |   | AGRO1                                     | AGRO2 | AGRO3 | SAF1 | SAF2 | SAF3 | SC1 | SC2 | SC3 |
| Dolichoderinae         | <i>Linepithema</i> sp. 1                  |   | 2     | 5     | 7    | 4    | 8    |     | 7   | 7   |
|                        | <i>Linepithema</i> sp. 2                  | 3   |       | 5     |      |      | 5    | 9   |     |     |
|                        | <i>Linepithema</i> sp. 3                  |   |       |       |      |      |      |     |     | 5   |
|                        | <i>Tapinoma</i> sp.1                      |   | 3     |       |      |      |      |     |     |     |
| Ecitoninae             | <i>Labidus praedator</i>                  |   |       |       |      |      |      | 1   |     |     |
|                        | <i>Labidus</i> sp.1                       |   |       |       | 3    |      |      | 2   |     |     |
| Ectatomminae           | <i>Gnamptogenys acuminata</i>             |   |       |       |      |      |      | 1   |     |     |
|                        | <i>Gnamptogenys striatula</i>             | 2   |       | 1     | 6    |      | 1    | 1   | 4   | 3   |
|                        | <i>Gnamptogenys</i> sp.1                  |   |       |       |      | 1    | 1    |     |     |     |
| Formicinae             | <i>Brachymyrmex</i> sp.1                  |   | 45    |       |      |      |      |     | 1   | 1   |
|                        | <i>Brachymyrmex</i> sp.2                  |   |       |       |      |      |      | 4   | 4   |     |
|                        | <i>Camponotus (Myrmaphaensis) genatus</i> |   |       |       |      |      |      |     | 1   |     |
|                        | <i>Camponotus (Myrmothrix) rufipes</i>    | 1   | 1     | 1     |      |      |      |     |     |     |
|                        | <i>Camponotus</i> sp. 1                   |   |       |       |      |      | 2    | 2   |     |     |
|                        | <i>Camponotus</i> sp. 2                   | 1   |       |       |      |      |      | 2   |     |     |
|                        | <i>Camponotus</i> sp. 3                   |   | 1     |       |      |      |      |     |     |     |
|                        | <i>Paratrechina</i> sp. 1                 |   |       |       |      |      | 2    | 2   | 2   |     |
| Myrmicinae             | <i>Apterostigma</i> sp. 1                 |   |       |       |      |      |      | 1   |     |     |
|                        | <i>Atta sexdens rubropilosa</i>           |   |       |       |      |      |      |     | 9   |     |
|                        | <i>Cyphomyrmex</i> sp.1                   | 2   |       | 5     |      |      | 4    |     | 2   |     |
|                        | <i>Cyphomyrmex</i> sp. 2                  |   |       | 1     |      |      |      |     |     |     |
|                        | <i>Hylomyrma</i> sp.1                     |   |       |       |      | 1    |      |     |     |     |
|                        | <i>Leptothorax</i> sp. 1                  |   |       |       |      |      |      |     | 1   |     |
|                        | <i>Megalomyrmex</i> sp. 1                 |   | 1     |       |      | 1    |      |     |     |     |
|                        | <i>Myocepurus</i> sp.1                    |   |       |       |      |      |      |     | 1   |     |
|                        | <i>Pheidole</i> sp.1                      | 19  | 4     | 27    |      |      | 12   | 4   |     |     |
|                        | <i>Pheidole</i> sp.2                      | 49  | 13    | 38    | 18   | 11   | 17   | 28  | 58  |     |
|                        | <i>Solenopsis</i> sp.1                    | 5   | 2     | 27    | 4    |      | 1    | 12  | 5   |     |
|                        | <i>Solenopsis</i> sp.2                    | 2   |       | 12    | 2    |      | 1    |     | 4   |     |
|                        | <i>Solenopsis</i> sp.3                    | 4   | 2     | 79    | 2    | 3    |      | 1   |     | 1   |
| <i>Solenopsis</i> sp.4 |   |   | 1     |       |      |      |      |     |     |     |

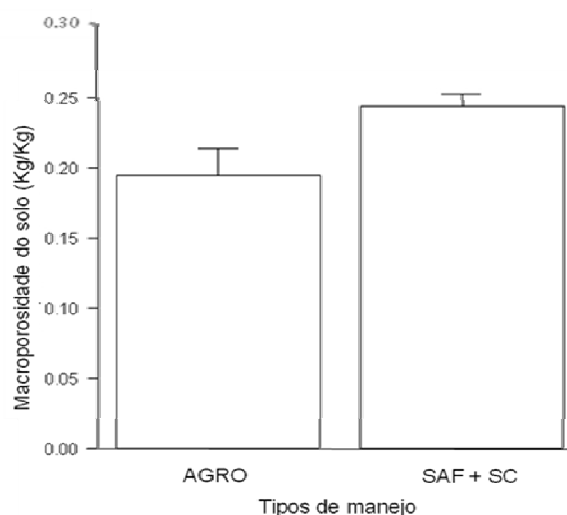
*Continuação da Tabela 1.*

| Subfamília                          | Espécie                       | Número de indivíduos por espécie por área |       |       |          |          |          |     |     |     |
|-------------------------------------|-------------------------------|---|-------|-------|----------|----------|----------|-----|-----|-----|
|                                     |                               | AGRO1                                     | AGRO2 | AGRO3 | SAF<br>1 | SAF<br>2 | SAF<br>3 | SC1 | SC2 | SC3 |
| <b>Myrmicinae</b>                   | <i>Wasmannia</i> sp. 1        |   | 1     |       |          |          |          |     |     |     |
| <b>Ponerinae</b>                    | <i>Pachycondyla marginata</i> | 2   |       |       |          |          |          |     |     |     |
|                                     | <i>Hypoponera</i> sp.1        | 1   | 1     | 1     |          | 16       |          |     |     |     |
|                                     | <i>Hypoponera</i> sp.2        |   |       | 3     |          | 7        |          |     |     | 25  |
|                                     | <i>Hypoponera</i> sp.3        |   |       |       |          |          |          | 1   |     |     |
|                                     | <i>Pachycondyla striata</i>   |   |       | 1     |          |          |          |     | 1   |     |
| <b>Pseudomyrmecinae</b>             | <i>Pseudomyrmex</i> sp.1      | 1   |       |       |          |          |          |     |     |     |
| <b>Total de indivíduos por área</b> |                               | 92  | 76    | 207   | 42       | 44       | 54       | 71  | 100 | 42  |

## 2. Análises físicas e químicas do solo

### 2.1. Macroporosidade:

Os valores de macroporosidade encontrados nos solos analisados variaram entre os tipos de manejo. A macroporosidade, que girou em torno de 0,23 kg/kg, foi maior no SAF, não diferindo do SC, ficando o AGRO com menor quantidade de macroporos no solo ( $\chi^2=9,18$ ,  $p=0,01$ ; Figura 1). Provavelmente, a alta macroporosidade presente nos solos dos sistemas agroflorestais são favorecidos pela presença das raízes de árvores, além da atividade de bioturbação dos artrópodes de solo. Porém, como o SAF não diferiu do SC, o tipo de solo pode estar influenciando essa semelhança. A determinação do tipo de solo das áreas estudadas pode elucidar essa questão.

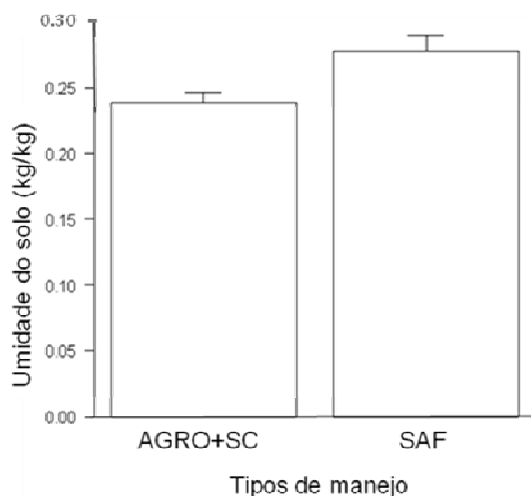


**Figura 1:** Macroporosidade do solo em função do tipo de manejo. AGRO = sistema agroecológico, SAF = sistema agroflorestal, SC = sistema convencional.

### 2.2. Umidade atual:

O solo mais úmido foi encontrado no sistema agroflorestal, e o com menor umidade foi encontrado no sistema convencional, porém este não diferiu da umidade do solo do sistema agroecológico ( $\chi^2=6,36$ ,  $p<0,01$ ; Figura 2). A umidade encontrada nas áreas girou em torno de 0,25 kg/kg e, provavelmente a umidade presente no solo do SAF é favorecida pela serapilheira constantemente cobrindo o solo além da influência da copa das árvores. A copa das árvores pode diminuir a incidência de sol direto sobre o solo, diminuindo a evaporação da água. Além disso, a alta macroporosidade encontrada

nesse sistema também pode favorecer a retenção de água no solo, repercutindo na umidade atual encontrada.



**Figura 2:** Variação da umidade do solo em relação aos tipos de manejo. AGRO+SC = sistemas agroecológico e agroflorestal (apresentando o mesmo valor de umidade do solo), SC = sistema convencional.

### 2.3. pH:

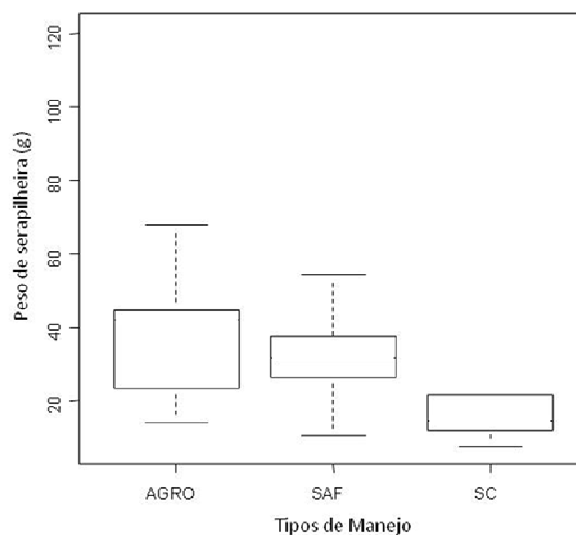
O pH encontrado no solo das áreas foi predominantemente básico, em torno de 6,1, e não variou em função dos sistemas de manejo ( $\chi^2=5,28$ ,  $p=0,07$ ). Como descrito na caracterização das áreas, em todas elas é feita a correção da acidez do solo, para favorecer a produção. Apesar do tipo de lavoura, da intensidade do manejo e do tipo de solo poder influenciar na acidez do mesmo, o uso de calcário em todas as áreas pode ter provocado a não observância de diferença na acidez do solo entre os três tipos de manejo.

## **3. Serapilheira, cobertura do solo e porcentagem de sombra sobre o ponto**

### 3.1. Serapilheira:

Observou-se uma variação na composição da serapilheira entre os sistemas de manejo. No sistema convencional a serapilheira era mais homogênea, compondo-se apenas de folhas secas e pequenos galhos de café, já no SAF havia maior variedade de folhas e a presença de outros componentes, como alguns frutos, sementes e galhos das

diversas árvores presentes. Ainda neste sistema de manejo, encontrava-se uma serapilheira mais espessa e úmida. Era de se esperar que a serapilheira encontrada no SAF fosse mais pesada, porém, o peso da serapilheira foi maior no sistema agroecológico, seguido pelo agroflorestal e apresentando valores menores no sistema convencional de manejo ( $\chi^2=13,75$ ,  $p=0,001$ ; Figura 3).



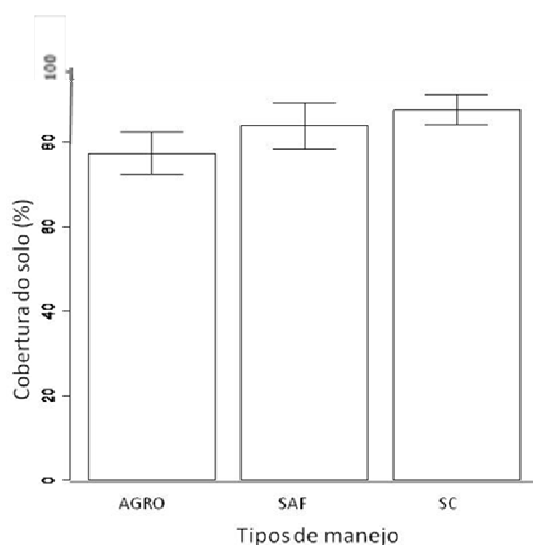
**Figura 3:** Variação do peso da serapilheira em cada um dos tipos de manejo. AGRO = sistema agroecológico, SAF = sistema agroflorestal, SC = sistema convencional.

Esse fato pode ser explicado em função do aumento no aporte de serapilheira do sistema agroecológico pela ocorrência de plantas herbáceas e algumas arbustivas, inseridas no agroecossistema e responsáveis não somente pela proteção do solo, mas também pelo incremento da serapilheira presente. Além disso, a velocidade de decomposição da serapilheira pode favorecer o acúmulo de serapilheira no AGRO quando comparado ao SAF. Mesmo que mais espessa, a serapilheira presente no SAF pode degradar-se mais rapidamente, pela ação da fauna de decompositores, favorecida pela alta umidade presente nesse tipo de manejo. Em contrapartida, a serapilheira presente no AGRO, pode levar mais tempo para se decompor, acumulando-se sobre o solo corroborando os resultados encontrados. Não só o tipo de serapilheira (em função das espécies vegetais que a compõem), mas também o ambiente onde se encontra podem influenciar na velocidade de decomposição (Louzada, et al., 1997). Dessa forma, como há o aporte de serapilheira no AGRO, esta pode permanecer mais tempo sobre o solo, acumulando-se. Já o baixo peso de serapilheira encontrado no SC, pode ser

relacionado ao tipo de serapilheira presente, formado, sobretudo, por folhas de café e pequenos galhos secos, mais leves que os componentes da serapilheira das outras áreas.

### 3.2. Cobertura do solo:

A cobertura do solo variou em sua composição, estado da vegetação e quantidade. No sistema convencional a maior parte da cobertura do solo estava morta e era composta apenas por folhas de café. No sistema agroecológico, a grande parte da vegetação estava viva e havia uma diversidade de plantas, dentre elas predominava a trapoeraba (*Commelina erecta*) e o mentrasto (*Ageratum conyzoides L.*). No SAF a cobertura do solo também era diversa, variando tanto na composição de plantas vivas, ocorrendo também as duas espécies supracitadas, quanto na composição da cobertura do solo morta, havendo dentre estas a presença de folhas de café, ingá (*Inga sp.*), banana (*Musa paradisiaca*), abacate (*Persea americana*) e mamão (*Carica sp.*). A cobertura do solo variou também na proporção encontrada em cada sistema de manejo, sendo que o sistema convencional apresentou a maior proporção de cobertura do solo (quase 100% de solo coberto), seguido do sistema agroflorestal (pouco mais que 05%) e por último o agroecológico ( $\chi^2=9,74$ ,  $p=0,007$ ; Figura 4).



**Figura 4:** Variação da cobertura do solo (%) em relação aos tipos de manejo. AGRO = sistema agroecológico, SAF = sistema agroflorestal, SC = sistema convencional.



Como colocado anteriormente, o sistema convencional apresentava a cobertura do solo composta por folhas de café mortas e pequenos galhos secos, somente. As folhas acumulavam-se abaixo dos pés de café. Em uma das áreas sob manejo convencional, o solo não era visto a menos que se retirasse a cobertura de folhas secas. No entanto, considerando os benefícios da cobertura do solo, a cobertura vegetal encontrada no SC exerce pouca influência na proteção do solo se comparada à cobertura vegetal presente no SAF. Neste tipo de manejo, à medida que se retirava a serapilheira, esta ia se tornando mais fragmentada e escura, confundindo-se com o solo, até que se tornava parte dele. Já no SC, a cobertura era facilmente distinguível do solo e não apresentava indícios de ação de decompositores. Essa cobertura morta presente no SC pode ser facilmente lavada pelas chuvas, já a cobertura do SAF protege o solo contra a lixiviação, erosão e outros processos degradantes.

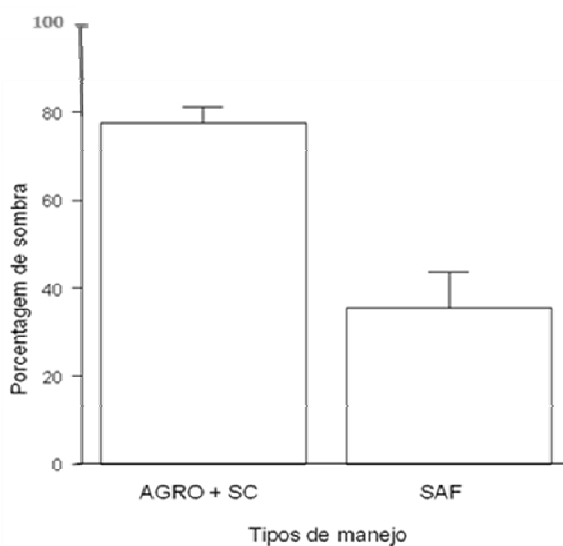
Como a mirmecofauna utiliza a serapilheira para nidificação e abrigo (Perfecto & Vandermeer, 1994) o estudo desse fator se torna importante neste trabalho, porém, para estudos futuros propõem-se também a análise da proporção de cobertura vegetal viva do solo. Esta análise pode favorecer inferências sobre outros processos determinantes da biodiversidade de agroecossistemas, já que outros artrópodes utilizam-se da cobertura vegetal como recurso alimentar, local para postura de ovos e abrigo.

### 3.3. Porcentagem de sombra sobre o ponto:

A porcentagem de sombra nos locais amostrados variou entre os sistemas de manejo, sendo maior no AGRO, que não diferiu do SC (aproximadamente 80%), e sendo menor no sistema agroflorestal, apresentando pouco mais que 40% de porcentagem de sombra ( $\chi^2=916,47$ ,  $p<0,001$ ; Figura 5).

Em relação ao padrão de sombra observado entre os sistemas de manejo, era esperado que no sistema agroflorestal houvesse maior porcentagem de sombra, pela presença de árvores. No entanto, não foi este resultado o encontrado. É importante ressaltar que a medição foi feita ao nível do solo, recebendo assim, grande interferência dos pés de café, mais intensamente que da copa das árvores. Nos SAF's o café sombreado pelas árvores pode possuir menor diâmetro quando comparado a um café sob sol pleno. Como a imagem digital usada para determinar a porcentagem de sombra foi feita ao nível do solo, pode ter havido maior interferência dos ramos dos pés de café com maior diâmetro da copa na imagem. Assim, a maior porcentagem de sombra sobre os pontos foi encontrada no sistema agroecológico e SC, os quais apesar de não terem a

presença de árvores, como no sistema agroflorestal, possuem uma alta porcentagem de sombra projetada sobre o solo. Além disso, no caso do SC, o adensamento das plantas favorece a formação de sombras. Os pés de café estão bem próximos uns dos outros, com as copas bem amplas, chegando a tocar umas nas outras. Isso favorece a formação de sombra sobre o solo. Essa porcentagem de sombra se correlaciona positivamente com a riqueza de espécies e a abundância de formigas (Figura 6 e 8), evidenciando a importância desse fator para as formigas, mesmo não sendo a sombra causada pelo dossel das árvores. Dessa forma, é importante considerar a dinâmica dos fatores influenciadores da biodiversidade de formigas em diferentes escalas, onde o microclima e mais diretamente a quantidade de sombra ao nível do solo, pode ser importante para a diversidade local.

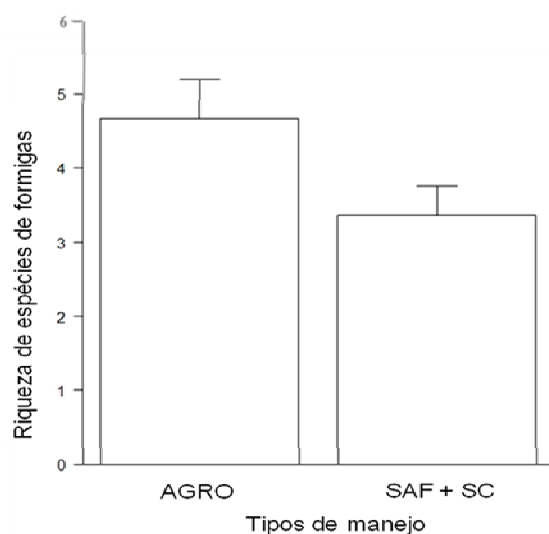


**Figura 5:** Variação da porcentagem de sombra sobre o ponto amostrado em cada um dos tipos de manejo. AGRO+SAF = sistemas agroecológico e agroflorestal, SC = sistema convencional.

#### 4. Riqueza de espécies e abundância de formigas, aspectos ambientais e edáficos

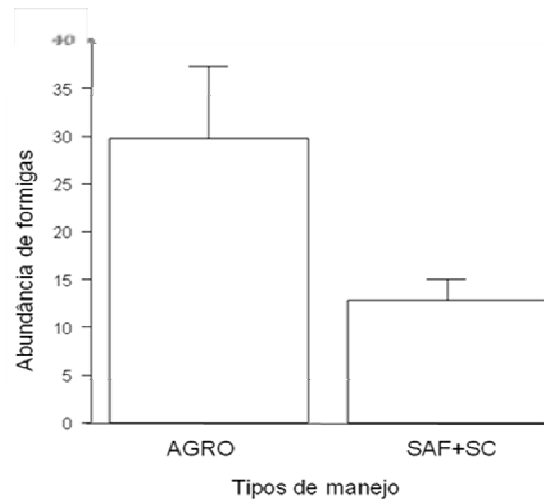
##### 4.1.1 Riqueza de espécies e abundância de formigas e tipos de manejo:

A riqueza, ou o número total de espécies de formigas coletadas foi maior no sistema agroecológico que no SAF, e o número de espécies encontrado neste sistema não diferiu em relação ao sistema convencional ( $\chi^2=5,29$ ,  $p=0,02$ ; Figura 6).



**Figura 6:** Relação entre a riqueza de espécies de formigas e o tipo de manejo. AGRO = sistema agroecológico, SAF+SC = sistemas agroflorestal e convencional.

Assim como para a riqueza de espécies, a abundância de formigas ou o número total de indivíduos coletados foi também maior no sistema agroecológico, não diferindo entre os outros dois sistemas ( $\chi^2=147,33$ ,  $p<0,001$ ; Figura 7).

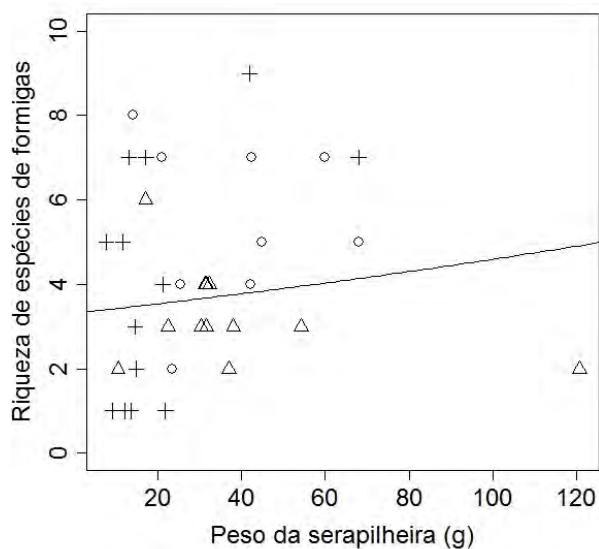


**Figura 7:** Relação entre a abundância de formigas e o tipo de manejo. AGRO = sistema agroecológico, SAF+ SC = sistemas agroflorestal e convencional.

Uma das explicações que se pode dar a estes resultados, é que o sistema AGRO apresentou alto valor no peso da serapilheira (Figura 3). A serapilheira é um fator de importância para a biodiversidade de formigas (Campos *et. al.* 2003), ela pode conter uma alta diversidade de fauna e flora, que favorece a ocorrência de interações entre espécies e processos ecológicos. Os resultados mostraram que as formigas responderam positivamente ao peso de serapilheira, inferindo a importância desse fator para a diversidade e abundância desses indivíduos. Assim, como o sistema agroecológico apresentou alta quantidade de serapilheira, pode-se inferir que esse sistema permite a coexistência de um maior número de espécies de formigas, bem como abundância de indivíduos, pela oferta de grande quantidade de recursos diminuindo a competição interespecífica. Além disso, o sistema AGRO apresentou também um alto valor de porcentagem de sombra sobre o solo, ultrapassando 80% de sombra (Figura 5). Este sistema deve possuir pequena variação da temperatura ao nível do solo, favorecendo a ocorrência de grande número de espécies de formigas e permitindo um bom desenvolvimento da prole, resultando também em alta abundância de indivíduos. Resultados semelhantes foram obtidos por Perfecto e Vandermeer (1996), os quais estudaram a perda da biodiversidade de formigas de solo resultante de mudanças microclimáticas em agroecossistemas sob diferentes níveis de sombreamento. Em seu trabalho, eles inferem que a perda da biodiversidade está ligada à diminuição da sombra em cafezais sombreados que foram substituídos por monoculturas sob sol pleno.

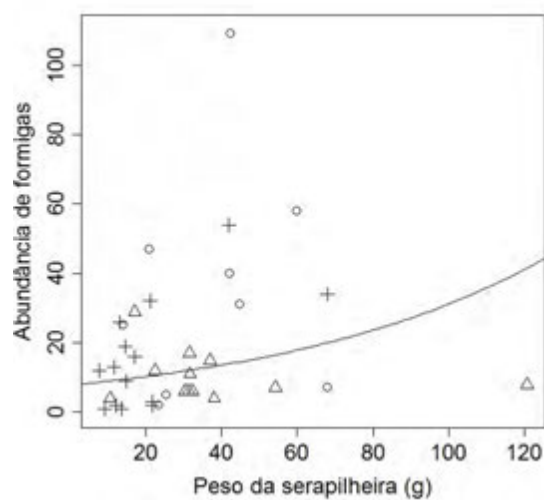
4.2.1 Riqueza de espécies e abundância de formigas e aspectos ambientais e edáficos:

A riqueza de espécies de formigas respondeu positivamente ao peso da serapilheira ( $\chi^2= 11,95$ ,  $p<0,001$ ; Figura 8).



**Figura 8:** Relação entre a riqueza de espécies de formigas e o peso da serapilheira (+ = SC, o = AGRO e Δ = SAF).

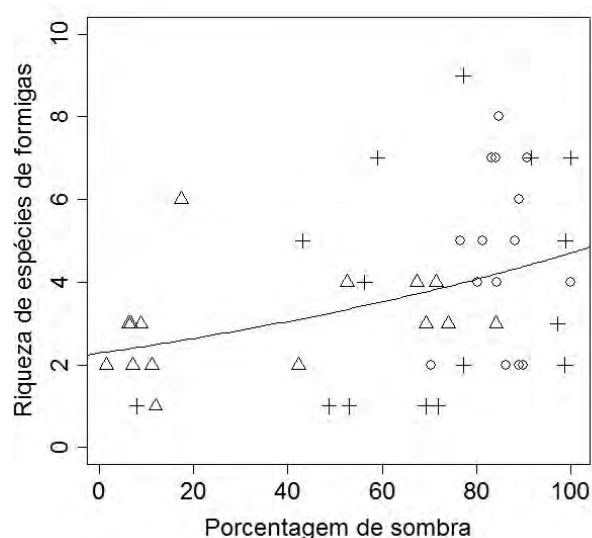
Assim como a riqueza de espécies, abundância de formigas também aumentou com o aumento do peso da serapilheira ( $\chi^2=213,50$ ,  $p<0,001$ ; Figura 9).



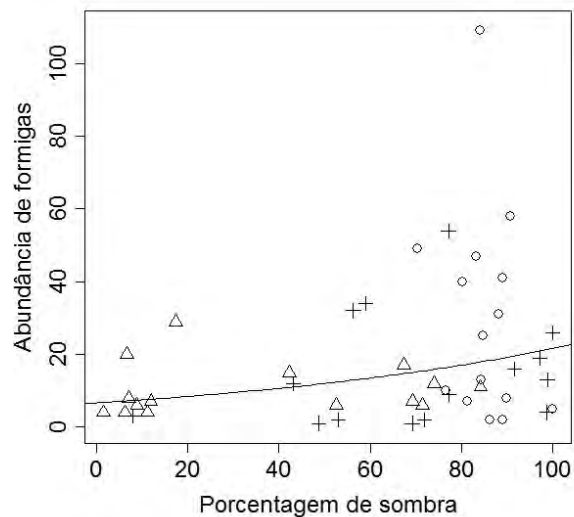
**Figura 9:** Relação entre abundância de formigas e o peso da serapilheira (+ = SC, o = AGRO e Δ = SAF).

A serapilheira possui importância para a família Formicidae, dado que representa a fonte de recursos utilizados pelas formigas edáficas e pode interferir na composição e riqueza de espécies e na abundância de indivíduos. Na serapilheira as formigas forrageiam em busca de alimento e encontram locais de nidificação e abrigo (Perfecto & Vandermeer, 1994). Uma serapilheira com maior diversidade de componentes pode diminuir a competição interespecífica e aumentar o número de espécies coexistentes. Considerando a especificidade de determinadas espécies de formigas na utilização de diferentes frações da serapilheira (folhas e galhos, por exemplo), pode-se esperar que uma serapilheira mais diversa comporte um número maior de espécies. A composição da serapilheira pode ser importante, pois uma serapilheira mais homogênea pode suportar menos espécies de formigas que uma serapilheira mais heterogênea, uma vez que a homogeneidade oferece menos oportunidade de condições e recursos utilizados pelas formigas (Campos *et. al.* 2003). Soares e Schoereder (2001) observaram que determinados componentes da serapilheira como galhos ou folhas, eram mais importantes que outros para a nidificação. Além disso, uma serapilheira mais abundante representa maior disponibilidade de recursos, da mesma forma afetando tanto a riqueza quanto a abundância de formigas (Soares e Schoereder, 2001).

A riqueza de espécies de formigas respondeu positivamente à porcentagem de sombra sobre o ponto ( $\chi^2= 5,51$ ,  $p=0,019$ ; Figura 10), assim como a abundância ( $\chi^2=57,31$ ,  $p<0,001$ ; Figura 11).



**Figura 10:** Relação entre a riqueza de espécies de formigas e a porcentagem de sombra (+ = SC, ○ = AGRO e Δ = SAF).



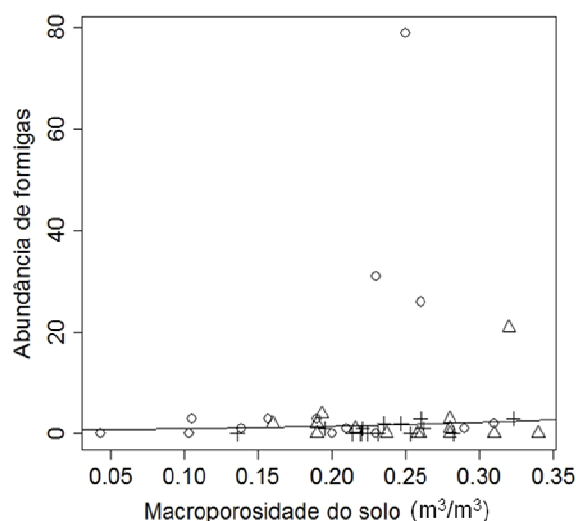
**Figura 11:** Abundância de formigas em função da porcentagem de sombra sobre os pontos amostrados. (+ = SC, o = AGRO e Δ = SAF).

A porcentagem de sombra está ligada à temperatura do ambiente. A temperatura do ambiente é um fator limitante à colonização pelas formigas. Mudanças da temperatura induzem uma série de comportamentos para viabilizar o melhor desenvolvimento da colônia (Hölldobler & Wilson, 1990; Vargas *et. al.*, 2007). As regiões de temperatura extrema, tanto frias quanto quentes, representam uma limitação para as formigas, que podem como resposta comportamental, trazer a prole à superfície do solo em momentos mais quentes do dia e levá-la de volta para dentro do ninho em horas mais frias, ou ainda em situações mais drásticas, toda a colônia pode migrar de acordo com as mudanças de temperatura. Para o bom desenvolvimento da prole, é necessária a fundação da colônia em ambientes com um microclima mais estável (Hölldobler & Wilson, 1990; Vargas *et. al.*, 2007). Além disso, aspectos da sombra no ambiente têm sido utilizados como parâmetro de heterogeneidade ambiental, considerando que porcentagens diferentes de sombra são projetadas de acordo com o tipo e quantidade de espécies arbóreo-arbustivas presentes no ambiente. Estudos de heterogeneidade ambiental inferem sobre a influência desse aspecto ambiental sobre a riqueza de espécies e a abundância de formigas (Muscardi *et al.*, 2008; Ribas & Schoereder, 2006), onde ambientes mais heterogêneos teriam maior diversidade de formigas.

Não houve resposta da riqueza de espécies e da abundância de formigas de formigas à cobertura do solo ( $\chi^2=0,06$ ,  $p=0,81$  e  $\chi^2=2$ ,  $p=0,16$  respectivamente).

A cobertura do solo foi utilizada como variável ligada ao microclima edáfico e também ao fornecimento de recursos para as formigas. Solos com maior porcentagem de área coberta por vegetação teriam menor variação microclimática (pela proteção do solo contra incidência de luz direta) e maior fornecimento de recursos que solos com maior porcentagem de área descoberta. E ainda, a cobertura do solo pode modificar indiretamente a umidade do solo, pois um solo com maior cobertura pode reter maior umidade.

Não houve resposta da riqueza de espécies de formigas à macroporosidade ( $\chi^2=0,54$ ,  $p=0,46$ ), porém a abundância correlacionou-se positivamente com esta variável ( $\chi^2=7,18$ ,  $p=0,007$ ; Figura 12).



**Figura 12:** Relação entre a abundância de formigas e a macroporosidade do solo nos pontos amostrados. (+ = SC, o = AGRO e Δ = SAF).

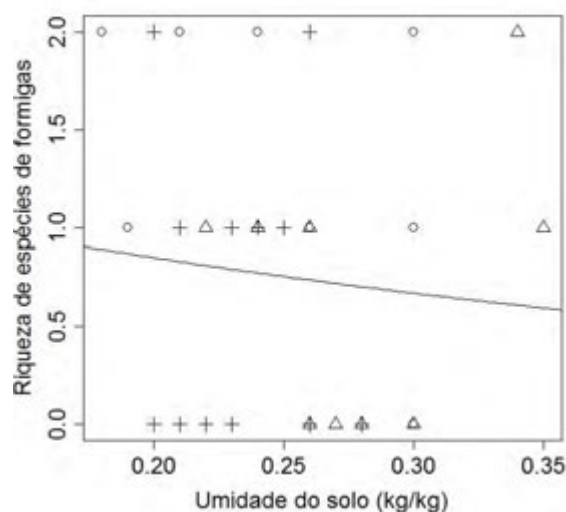
Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores (Cerdà & Jungensen, 2008; Dostal, 2005; NKem, 2000) que estudaram a ocorrência de ninhos de formigas e o aumento da porosidade e macroporosidade do solo. As atividades de bioturbação das formigas podem acarretar o aumento da macroporosidade do solo (Cerdà & Jungensen, 2008), assim, essas duas variáveis podem estar facilmente correlacionadas nos estudos que relacionem aspectos físicos do solo e a presença de formigas. Porém, é necessária cautela ao se inferir sobre uma relação causal entre as variáveis. A partir dos resultados percebe-se que há uma menor porcentagem de macroporosidade no solo do sistema AGRO quando comparado aos outros sistemas



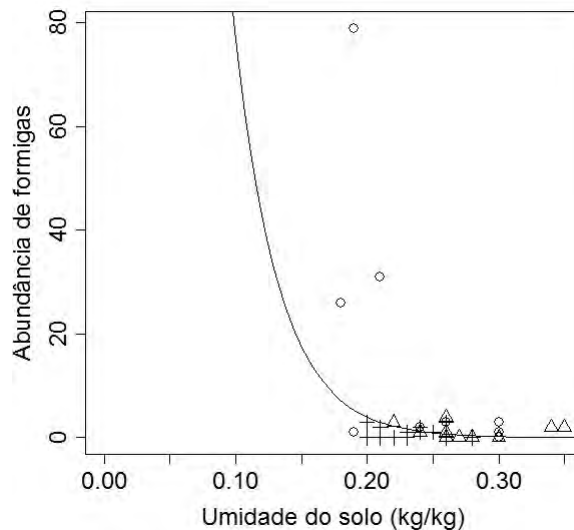
(Figura 1), apesar de ter ocorrido neste sistema a maior abundância de indivíduos. Provavelmente, a alta porcentagem de macroporosidade presente no solo do sistema agroflorestal, está ligada a outros fatores intrínsecos ao sistema, como por exemplo, a umidade do solo, a presença de serapilheira e outros processos que minimizam a compactação.

Alguns estudos relatam a relação entre macroporosidade e formigas, fazendo referência à presença de ninhos (Dostal, 2005; NKem, 2000), ou mais especificamente à atuação das formigas na formação de poros no solo através da bioturbação (Cerdà & Jungensen, 2008). Neste estudo, a macroporosidade foi incluída porque se correlaciona positivamente com a presença de formigas (Dostal, 2005; NKem, 2000; Cerdà & Jungensen, 2008) e pode ser modificada pelo tipo de manejo do solo (Bertol et al., 2001; Llanillo et al., 2006). Dessa forma, pode-se pensar que solos com menores quantidades de macroporos, teriam menor riqueza de espécies e abundância de formigas.

Já em relação à umidade, houve uma resposta negativa da riqueza de espécies de formigas ( $\chi^2=9,32$ ,  $p=0,002$ ; Figura 13) e da abundância de formigas ( $\chi^2=225,74$ ,  $p<0,001$ ; Figura 14).



**Figura 13:** Relação entre a riqueza de espécies de formigas e a umidade do solo (+ = SC, o = AGRO e Δ = SAF).

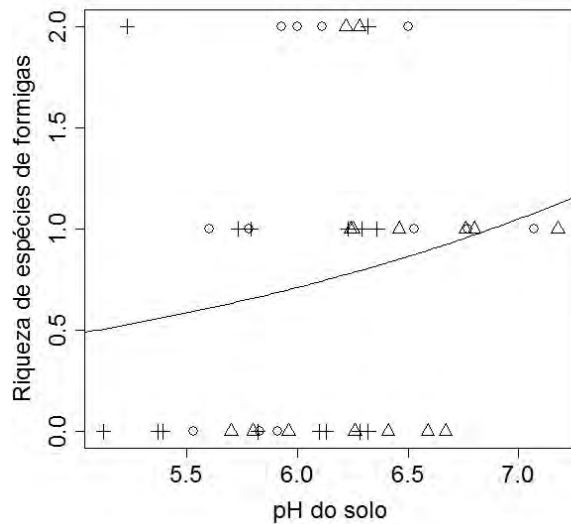


**Figura 14:** Relação entre abundância de formigas e a umidade do solo (+ = SC, o = AGRO e Δ = SAF).

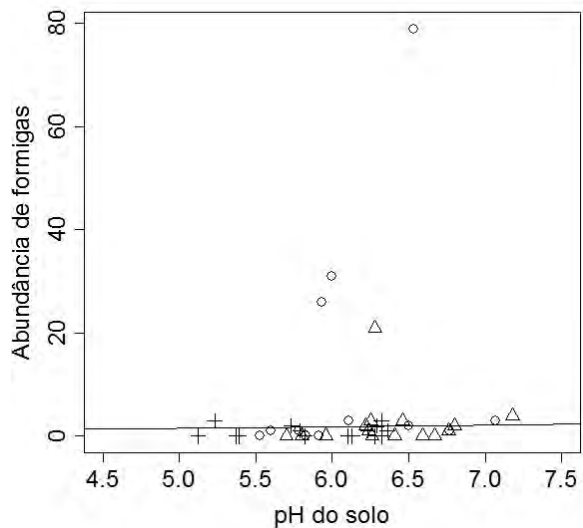
Esse padrão de resposta de artrópodes em função da umidade também foi encontrado por outros autores (Chikoski *et. al.*, 2006; Lassau & Hochuli, 2004). Chikoski *et. al.* (2006) desenvolveram um trabalho manipulativo em campo, onde mantinham determinados artrópodes em caixas contendo solo e verificavam, dentre outras relações, a resposta dos artrópodes à adição de água. Eles observaram um decréscimo do número de formigas nas caixas, em função da adição de água. Já Lassau e Hochuli (2004), desenvolveram seus estudos em áreas naturais de diferentes complexidades de hábitat, e verificaram que a riqueza de formigas correlacionou-se negativamente com a umidade do solo. Nenhuma relação causal foi exposta pelos autores em seus trabalhos, no entanto, pode-se inferir neste estudo, que a umidade do solo seria uma limitação para as formigas. Dado que a umidade do solo pode representar a ocupação dos poros por água com conseqüente modificação da aeração do solo, um alto teor de umidade pode diminuir a disponibilidade de oxigênio para as formigas.

A umidade do solo pode representar uma limitação à permanência das formigas no solo, observando-se que estes animais apresentam-se intolerantes à grandes umidades (Chikoski *et al.*, 2006).

Ao contrário que para umidade, a riqueza de espécies ( $\chi^2=3,99$ ,  $p=0,04$ ; Figura 15) e a abundância de formigas ( $\chi^2=9,21$ ,  $p=0,002$ ; Figura 16) responderam positivamente ao pH.



**Figura 15:** Relação entre a riqueza de espécies de formigas e o pH do solo (+ = SC, o = AGRO e Δ = SAF).



**Figura 16:** Aumento da abundância de formigas em função do pH (+ = SC, o = AGRO e Δ = SAF).

A escolha do pH como variável neste estudo, reside no fato dele representar limitações ao bom desenvolvimento das plantas e correlacionar-se com alguns nutrientes do solo (como Al, Ca e Mg) intimamente ligados à fertilidade do solo, e, subsequentemente, à sua qualidade. Há observações acerca da preferência de determinadas espécies de animais do solo, como alguns colêmbolas e ácaros (Straalen & Verhoef, 1997), por determinados valores de pH. No entanto, Straalen & Verhoef

(1997) discutem sobre a dificuldade de se estabelecer um padrão mais preciso, dado que as preferências dos animais pelos valores de pH observadas nos experimentos em laboratório diferem daquelas encontradas no campo, sugerindo que há outros fatores determinando o “nicho de pH realizado” pelos artrópodes. De acordo com Straalen & Verhoef (1997), o pH está sempre correlacionado com íons pH-dependentes como Ca, Al e diversos fosfatos e o aumento da concentração de alguns desses íons no solo, como por exemplo o Ca, pode ser favorecida pela ação das formigas (Dostal *et. al.*, 2005). Assim, a relação entre riqueza de espécies e abundância de formigas e o pH pode ser indireta, refletindo uma correlação entre íons pH-dependentes cujas concentrações no solo podem ser alteradas pela presença das formigas. Contudo, a resposta da abundância de formigas e da riqueza de espécies ao pH, permite a utilização desses artrópodes como indicadores biológicos de qualidade de solo.

## CONCLUSÃO

A partir desse estudo, conseguiu-se verificar a interferência do tipo de manejo em processos determinantes da comunidade de formigas do solo. Ao contrário do que se esperava, não foi no sistema agroflorestal onde se encontrou a riqueza de espécies e abundância de formigas foi maior. Além disso, a abundância de formigas não se correlacionou à alterações na cobertura vegetal, mas, responderam às outras variáveis positiva ou negativamente. Ademais, como esperado, os fatores analisados (atributos do solo e fatores ambientais), à exceção do pH, apresentaram-se diferentes em função do tipo de manejo.

Ao considerar que mudanças em atributos, como macroporosidade do solo, umidade do solo, bem como em fatores ambientais como disponibilidade de serapilheira, porcentagem de sombra, correlacionam-se com modificações na comunidade de formigas, pode-se inferir com mais propriedade na utilização desses animais como bioindicadores. No entanto, mais estudos são necessários para identificar a maneira como as formigas se comportam em relação a determinados fatores, para que, dessa forma, seja possível relacionar o aumento ou a diminuição da riqueza/abundância a determinados processos ocorrentes num agroecossistema.

Os resultados demonstraram que o manejo de um agroecossistema pode interferir em fatores como a quantidade de serapilheira, a porcentagem de sombra, a acidez, a umidade e outros aspectos que podem interferir na diversidade e na abundância de formigas edáficas. Dessa forma, o tipo de manejo pode modificar aspectos do solo afetando a fauna edáficas e toda a biodiversidade existente no solo.

O melhor entendimento dos processos ecológicos ocorrentes no solo permite a adoção de práticas mais conservacionistas que favoreçam a manutenção ou o aumento da qualidade do solo, repercutindo positivamente na sustentabilidade do agroecossistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agosti, D., Johnson, N.F., 2005. Antbase. World Wide Web Eletronic Publication. Antbase.org, version (05/2005). Acessado em 21 de julho de 2008.
- Altieri, M.A., 1992. Agroecological foundations of alternative agriculture in California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 39: 23-53.
- Altieri, M.A., 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. 2. ed. London: Intermediate Technology Publications, 433p.
- Altieri, M.A., 1999a. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19–31.
- Altieri, M.A., 1999b. El Agroecosistema: Determinantes, Recursos, Procesos, y Sustentabilidad. In: Altieri, M.A. (Ed.). *Agroecologia: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan–Comunidad, Montevideo. pp. 47-70.
- Bertol, I., Beutler, J.F., Leite, D., Batistela, O. 2001. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola* 58: 555-560.
- Begon, M., Townsend, C.R., Harper, J.L., 2006. *Ecology : from individuals to ecosystems* (4th ed.). Blackwell Publishing Ltd.
- Benito, N. P.; Brossard, M.; Pasini, A.; Guimarães, M. F.; Bobillier, B., 2004. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pastures cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of soil biology* 40: 147-154.
- Bewket, W., Stroosnijder, L., 2003. Effects of agroecological land use succession on soil properties in Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Geoderma* 111: 85–98.

- Bolton, B., 1994. Identification guide to the ant genera of the world (1st ed.). Cambridge: Harvard University Press.
- Boulton, A.M., Amberman, K.D., 2006. How ant nests increase soil biota richness and abundance: a field experiment. *Biodiversity and Conservation* 15: 69–82.
- Briese, D. T., 1982. The effect of ants on the soil of a semi-arid saltbush habitat. *Insectes Sociaux* 29: 375-382.
- Brussaard, L., 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology* 9: 123-135 .
- Bruyn L.A.L., 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 425–441.
- Campos, R.B.F., Schoederer, J.H., Sperber, C.F., 2003. Local determinants species richness in litter ant communities (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 41: 357-367.
- Cerdà, A., Jurgensen, M.F., 2008. The influence of ants on soil and water losses from an orange orchard in eastern Spain. *Journal of Applied Entomology* 132: 306–314.
- Chikoski, J.M., Ferguson, S.H., Meyer, L., 2006. Effects of water addition on soil arthropods and soil characteristics in a precipitation-limited environment. *Acta Oecologica* 30: 203-211.
- Crawley, M. J. 2005., *Statistics: an introduction using R*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, England. 327p.
- Decaëns, T.; Jiménez, J.J.; Barros , E.; Chauvel, A.; Blanchart, E.; Fragoso, C.; Lavelle, P. 2004. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical pastures or savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 301–312.

Dlamini, T.C., Haynes, R.J., 2004. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Applied Soil Ecology* 27: 77–88.

Doran, J. W., Zeiss, M.R., 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3-11.

Dostal, P., Breznova, M., Kozlickova, V., Herben, T., Kovar, P. 2005. Ant-induced soil modification and its effect on plant below-ground biomass. *Pedobiologia* 49: 127-137.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA., 1997. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. 202 p. (Documento, 55).

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE., 1979. Escala 1: 50.000, Projeção Universal Transversa de Mercator, Fervedouro, MG; SF-23-X-B-VI-1. (Folha Carta do Brasil).

Gap Light Analyser. Version 2, 1999. Forest Renewal BC. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada.

Gaston, K.J., 1996. What is biodiversity? In: Gaston, K.J. (Ed.). *Biodiversity: A biology of numbers and difference*. Blackwell, London. pp. 1-9.

Giller, K.E.; Beare, M. H.; Lavelle, P.; Izac, A. M. N.; Swift, M. J., 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6: 3-16.

Hairiah, K., Sulistyani H., Suprayogo D., Widiyanto, Purnomosidhi P., Widodo R. H., Van Noordwijk M. 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *Forest Ecology and Management* 224: 45–57.

Hawksworth, D.L. and Mound, 1991. Biodiversity databases: the crucial significance of collections. In: D.L. Hawksworth (Editor), *The Biodiversity of Microorganisms and*



Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture CAB International Wallingford, UK, p. 17-29.

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., Schuman, G. E., 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61: 4– 10.

Kiehl, E. J., 1979. Porosidade. In: Kiehl, E. J., (Ed.) *Manual de Edafologia: Relações solo-planta*. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, SP. pp. 102-104.

Lal, R., 1998. Basic concepts and global issues: soil quality and agricultural sustainability. In: Lal, R (Ed.), *Soil Quality and Agricultural Sustainability*. Ann Arbor Science, Chelsea, MI, USA, pp. 3–12.

Lassau, S.A., Hochuli, D.F., 2004. Effects of habitat complexity on ant assemblages. *Ecography* 27: 157-164.

Lavelle, P.; Dangerfield, M.; Fragoso, C.; Eschenbrenner, V.; Lopez-Hernandes, D.; Pashanasi, B.; Brussaard, L., 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: Woomer, P. L.; Swift, M. J.; eds. *The biological management of tropical soil fertility*. New York: Wiley-Sayce Publication, p. 137-169.

Lavelle P., Decaëns T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora P., Rossi J.-P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42: 3–15.

Lee, K.E., 1985. *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*. Academic Press, Sydney.

Llanillo, R.F., Richart, A., Filho, J.T., Guimarães, M.F., Ferreira, R.R.M., 2006. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina* 27: 205-220.

Loranger, G., Ponge J. F., Blanchart E., Lavelle P. 1999. Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). *Eur. J. Soil Biol.* 34: 157-165.

Louzada, J. N.C., Schoederer, J.H., De Marco, P. J., 1997 Litter decomposition in semideciduous forest and Eucalyptus spp. Crop in Brazil: a comparison. *Forest Ecology and Management* 94: 31-36.

Majer, J. D., 1983. Ants: Bio-Indicators of Minesite Rehabilitation, Land-Use, and Land Conservation. *Environmental Management* 7: 375-383.

Meira-Neto, J.A.A., Martins, F.R., 2002. Composição florística de uma floresta estacional semidecidual Montana no município de Viçosa-MG. *Revista Árvore* 26: 437-446.

Muscardi, D.C., Almeida, S.S.P., Schoederer, J.H., Marques, T., Sarcinelli, T. S., Corrêa, A.S., 2008. Response of Litter Ants (Hymenoptera: Formicidae) to Habitat Heterogeneity and Local Resource Availability in Native and Exotic Forests. *Sociobiology* (*in press*).

Neto, A.N.S., Silveira, P.M., Stone, L.F., Oliveira, L.F.C., 2006. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 36: 29-35.

Nkem, J.N., Bruyn, L.A.L., Grant, C.D., Hulugalle, N.R., 2000. The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties. *Pedobiologia* 44: 609-621 .

Oldeman, L.R., 1994. The global extent of soil degradation. In: Greenland, D.J., Szabolcs, I. (Eds.), *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, pp. 99–118.

Oliveira, T. S., 2003. Qualidade do Solo em Sistemas de Cultivo de Algodão Orgânico e Convencional no Município de Tauá – CE. Relatório de projeto integrado de pesquisa. Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará.

Perfecto, I., 1991. Ants (Hymenoptera, Formicidae) as natural control agents of pests in irrigated maize in Nicaragua. *Journal of Economic Entomology* 84: 65-70.

Perfecto, I., Sediles, A., 1992. Vegetational diversity, ants (Hymenoptera, Formicidae), and herbivorous pests in a neotropical agroecosystem. *Environmental Entomology* 21: 61-67.

Perfecto, I., Vandermeer, J., 1994. Understanding biodiversity loss in agroecosystems: reduction of ant diversity resulting from transformation of the coffee ecosystem in Costa Rica. *Entomology Trends in Agricultural Science* 2: 7-13.

Perfecto, I., Vandermeer, J., 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 108: 577–582.

Petal, J., Chmielewski, K., Kusinska, A., Kaczorowska, R., Stachurski, A., Zimka, J., 2003. Biological and chemical properties of fen soils affected by anthills of *Myrmica* spp. *Polish Journal of Ecology* 51: 67-78.

Philpott, S.M., Armbrrecht, I. 2006. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology* 31: 369–377.

Philpott, S.M., Uno, S., Maldonado, J., 2006. The importance of ants and high-shade management to coffee pollination and fruit weight in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 487–501.

R Development Core Team., 2006. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Ribas, C.R., Schoederer, J.H., 2007. Ant communities, environmental characteristics and their implications for conservation in the Brazilian Pantanal. *Biodiversity and conservation* 16: 1511-1520.

Schröder, P.; Huber, B.; Olazábal, U.; Kämmerer, A. and Munch, J. C. 2002. Land use and sustainability: FAM Research Network on Agroecosystems, *Geoderma* 105: 155-166.

Soares, S.M., Schoederer, J.H., 2001. Ant-nest distribution in a remnant of tropical rainforest in southeastern Brazil. *Insectes Sociaux* 48: 280–286.

Sousa-Souto, L., Schoederer, J.H., Schaefer, C.E.G.R., 2007. Leaf-cutting ants, seasonal burning and nutrient distribution in Cerrado vegetation. *Austral Ecology* 32: 758–765.

Straalen, N.M.V., Verhoef, H.A., 1997. The development of a bioindicator system for soil acidity based on arthropod pH preferences. *Journal of Applied Ecology* 34: 217-232.

Swift, M.J., Heal, W.O., Anderson, J.M. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Berkeley: University of California Press. 14p.

Vargas, A.B., Mayhé-Nunes, A.J., Queiroz, J.M., Souza, G.O., Ramos, E.F., 2007. Efeitos de Fatores Ambientais sobre a Mirmecofauna em Comunidade de Restinga no Rio de Janeiro, RJ. *Neotropical Entomology* 36 :028-037.

## ANEXOS

### **ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA REALIZADA COM OS AGRICULTORES**

1. Qual é o tamanho da sua propriedade?
2. O que havia antes do café?
3. Quantos pés de café há em sua propriedade?
4. Há quanto tempo cultiva café nesse local?
5. Qual a idade dos pés de café?
6. Há outras plantas no meio do café? Quais?
7. Há algum motivo para ter introduzido determinadas plantas no meio do café? As plantas têm alguma função?
8. Porque utiliza essa forma de manejo?
9. Utilizava outra forma de manejo antes? Se sim, porque mudou?
10. Você sabe o tipo de solo?