

**EMMELINE MACHADO FRANÇA**

**AGRICULTURA NATURAL EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL DE CAFÉ  
BENEFICIA A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E A BIODIVERSIDADE DA  
FAUNA EDÁFICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas - Biologia e Matéria Orgânica do Solo, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Emanuelle Mercês Barros Soares  
Co-orientadores: André Mundstock Xavier de Carvalho  
Irene Maria Cardoso

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F814a  
2024

França, Emmeline Machado, 1990-  
Agricultura natural em um sistema agroflorestal de café  
beneficia a matéria orgânica do solo e a biodiversidade da fauna  
edáfica / Emmeline Machado França. – Viçosa, MG, 2024.  
1 tese eletrônica (212 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Emanuelle Mercês Barros Soares.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Solos, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.610>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Fauna do solo - Zona da Mata (MG : Mesorregião).  
2. Solos - Manejo - Zona da Mata (MG : Mesorregião).  
3. Diversidade. 4. Zoologia - Classificação. I. Soares, Emanuelle  
Mercês, 1979-. II. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e  
Nutrição de Plantas. III. Título.

CDD 22. ed. 577.57

**EMMELINE MACHADO FRANÇA**

**AGRICULTURA NATURAL EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL DE CAFÉ  
BENEFICIA A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E A BIODIVERSIDADE DA  
FAUNA EDÁFICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas – Biologia e Matéria Orgânica do Solo, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA, 18 de junho de 2024.

Documento assinado digitalmente  
 **EMMELINE MACHADO FRANÇA**  
Data: 02/10/2024 11:20:27-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Emmeline Machado França**  
Autora

Documento assinado digitalmente  
 **EMANUELLE MERCES BARROS SOARES**  
Data: 02/10/2024 11:32:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Emanuelle Mercês Barros Soares**  
Orientadora

*À minha querida filha,  
luz, força e inspiração em todos os momentos.*

*Dedico!*

## AGRADECIMENTOS

Pela alegria de concluir este ciclo, agradeço a Deus, pela força, saúde e sabedoria durante a caminhada, pelos momentos de alegria e encantamento vividos através desta ciência. Aos meus mestres e ancestrais, que compartilharam conhecimento e sabedoria e guiaram os caminhos até aqui!

À minha família, meu pai, minha mãe e meu irmão, maiores incentivadores em todos os momentos, meus pilares de amor e perseverança. Um agradecimento especial à minha mãe, Eusinete, pelo apoio incondicional; sem você, essa jornada nunca seria possível. À minha amada e querida filha, Jazmín Luz, minha fonte de alegria, minha luz e inspiração para todos os dias.

À Emanuelle Soares, agradeço a orientação, a amizade e confiança mútua construída ao longo deste trabalho. Agradeço também pelo incentivo e abertura para a construção de novos caminhos.

À Irene Cardoso, expresse minha profunda gratidão e admiração. Sua visão e dedicação à agroecologia e à agricultura familiar são inspiração para mim. Sou grata pela acolhida, pelas valiosas orientações e por todo conhecimento e sabedoria compartilhados. Agradeço por nos incentivar a desafiar a Biologia do Solo e por seu apoio absoluto ao longo desta pesquisa.

Ao André Mundstock, agradeço pelas preciosas colaborações com esta tese, por toda paciência, alegria e boa vontade no compartilhar.

Aos agricultores do Sítio Pedra Redonda, Araponga-MG, Edmar (pai) e Pedro Lucas (filho), agradeço pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho e pela sabedoria, força e alegria compartilhada em nossos encontros.

Aos amigos que colaboraram com as divertidas jornadas de coletas de campo e triagem dos organismos, Nancy, Nina, Nayara, Miller, Lucas, Sebastian, Marlon, Edvaldo, Leandro, Jhonny, Tato e Arthur, foi um prazer estar com vocês e desbravar esse universo cheio de vida. Aos estimados estagiários da graduação, em especial, Carlos, Flávio, Ana Júlia e Juliane que confiaram na proposta de estágio, que dedicaram tempo e confiança, aprenderam e compartilharam conhecimento.

Aos colegas do Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos, em especial, Paloma e professor Teógenes, pelo apoio nas análises e pelas boas conversas. Ao Laboratório de Isótopos Estáveis, em especial, ao João Milagres, pelos empréstimos incansáveis, auxílios e conversas que facilitaram as análises da matéria orgânica. Aos colegas do Laboratório de Física do Solo, agradeço também pelo empréstimo de materiais e suporte nas análises.

Aos colaboradores do Departamento de Entomologia, UFV, agradeço ao professor e pesquisador Frederico Salles, pelas orientações ao longo deste trabalho, pela gentileza em mostrar caminhos para explorar o universo taxonômico e por auxiliar nas identificações. Ao Júlio Chaul, por contribuir com as identificações de Formicidae, outros Hymenoptera e Coleoptera e auxiliar com as fotografias. Ao Arthur Orsetti, por receber as fotos de Coleoptera e auxiliar nas identificações.

Ao professor e pesquisador George Brown, da Embrapa Florestas, sou grata pela abertura e gentileza desde o primeiro contato, pelas orientações e pelo convite para participação no Curso de Ecologia e Taxonomia de Oligochaetas, contribuindo significativamente para o desenvolvimento desta pesquisa. Ao pesquisador Samuel James, da University of Kansas, USA, agradeço pela identificação da nova espécie, *Rinodrillus* sp., pelo conhecimento compartilhado e orientações durante o curso.

Aos colaboradores do Instituto Butantan, agradeço ao professor e pesquisador Antônio Brescovit, pela gentileza em me receber no Instituto e pela identificação dos exemplares de aranhas. Aos demais taxonomistas também pelas identificações de exemplares: Luiz Iniesta (Myriapoda), Fernando de Castro Jacinavicius (Acari), Marília (Opiliones e Pseudoscorpiones) e Flávia Virginio (Diptera).

Aos professores Bruno Nery, Lucas Paolucci e Rafael Bragança pelas excelentes contribuições na banca de qualificação do doutorado. Aos professores, membros da banca de defesa, George Brown, Frederico Salles e Heitor Teixeira, expresse minha gratidão pelas contribuições recebidas e conhecimentos compartilhados neste momento tão importante da jornada acadêmica.

Às amigas e amigos queridos, que fizeram parte dos processos, que tornaram a caminhada mais leve e foram rede de apoio incondicional, em especial, Lucas, Clara e Luna, pela sintonia do encontro, Nat, Marcela, Luísa, Iara, Tommy, Clarinha, Amora, Vanessa, Paulinha, Talita e Thais, pela força da amizade construída. Aos amigos e amigas das Escolas de Capoeira Tribo do Morro e Senzala, em especial, ao querido Contramestre Daniel, agradeço pelas melhores energias e lembranças construídas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa e à Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar o doutorado, em especial ao Departamento de Solos.

*“A vida apresenta uma totalidade indivisível e indissolúvel, na qual todas as partes  
estão interligadas”*

Vladimir Vernadski

## RESUMO

FRANÇA, Emmeline Machado, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, *Campus Viçosa*, junho de 2024. **Agricultura Natural em um Sistema Agroflorestal de Café beneficia a Matéria Orgânica do Solo e a Biodiversidade da Fauna Edáfica**. Orientadora: Emanuelle Mercês Barros Soares. Coorientadores: André Mundstock Xavier de Carvalho e Irene Maria Cardoso

A fauna edáfica é um componente essencial das relações tróficas e funcionais em ecossistemas agrícolas e naturais, visto que desempenha um papel crucial na modificação das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo. Sua atuação contribui para a saúde e estabilidade dos ecossistemas, promovendo a sustentabilidade desses ambientes. No entanto, atualmente, os impactos dos usos e manejos da terra na biodiversidade da fauna do solo permanece pouco estudado, particularmente em regiões tropicais, como a região da Zona da Mata de Minas Gerais, parte do bioma Mata Atlântica. Nesta pesquisa, foi avaliado o impacto do uso e manejo da terra a fim de compreender i) a relação entre matéria orgânica do solo e a riqueza e abundância da macro e mesofauna, ii) o impacto dos sistemas de cultivo na multifuncionalidade da fauna do solo e iii) o impacto do uso/manejo da terra na diversidade de artrópodes do solo, nomeadamente Chilopoda, Diplopoda e Arachnida. No final da estação chuvosa, em abril de 2022, monólitos (25 x 25 x 20 cm) foram coletados e divididos em duas camadas de solo (0-10 e 10-20 cm) e uma camada de serapilheira. As amostragens foram realizadas sob mata nativa (MN), uma lavoura de café convencional em pleno solo (PSC) e uma lavoura de café em sistema agroflorestal manejado de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN). No momento da remoção dos monólitos, a umidade do solo e a temperatura foram avaliadas com um sensor portátil e amostras de solo foram coletadas para determinações de atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo. Todos os organismos visíveis nas camadas amostradas dos monólitos foram triados em até 48 horas após a remoção dos blocos. Em geral, a abundância (N) e a riqueza (S) da fauna na serapilheira foram maiores em SAFN comparado ao PSC. No solo, o PSC apresentou N e S semelhantes ao SAFN, possivelmente devido à abundância predominante da espécie de minhoca exótica e peregrina, *Pontoscolex corethrurus*, no sistema convencional. Na serapilheira, alguns grupos apresentaram N e S mais elevados no SAFN em comparação ao PSC, particularmente adultos e larvas de Coleoptera, Heteroptera e Auchenorrhyncha. No total, cerca de 3.200 indivíduos foram identificados, distribuídos em 26 táxons e 277 morfoespécies. Três espécies desconhecidas pela comunidade científica foram identificadas, sendo até o presente momento, uma delas descrita a partir do exemplar coletado na presente tese, indicando que o papel desses organismos no solo ainda é subestimado e ainda não foi totalmente explorado. No geral, a maior riqueza foi observada no solo sob MN, seguido pelo SAFN e PSC. A presente tese

destaca o paradoxo da exuberante riqueza da biodiversidade edáfica brasileira e o baixo conhecimento existente a cerca desta comunidade. As práticas da agricultura natural utilizadas no manejo do café em sistema agroflorestal demonstram potencial significativo para promover o armazenamento de carbono no solo, o aumento do pH, a retenção de água no solo e o beneficiamento de diversos grupos taxonômicos e funcionais da fauna edáfica, contribuindo para a redundância funcional (ou similaridade funcional) entre as espécies, o que pode levar ao aumento da resiliência do sistema frente as mudanças climáticas e antropogênicas.

**Palavras-chave:** Ecologia do solo; diversidade funcional; diversidade taxonômica; mesofauna edáfica; macrofauna edáfica.

## ABSTRACT

FRANÇA, Emmeline Machado, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, *Campus Viçosa*, junho de 2024. **Natural Farming in a Coffee Agroforestry System Benefits Soil Organic Matter and Soil Fauna Biodiversity**. Adviser: Emanuelle Mercês Barros Soares. Co-advisers: André Mundstock Xavier de Carvalho and Irene Maria Cardoso

Soil fauna is an essential component of trophic and functional relationships in agricultural and natural ecosystems, since it plays a crucial role in modifying soil physical, chemical and microbiological properties of the soil. Its action contributes to the health and stability of ecosystems, promoting the sustainability of these environments. However, currently, the impacts of land use and management on soil fauna biodiversity remain little studied, particularly in tropical regions, such as the Zona da Mata of Minas Gerais, part of the Atlantic Forest biome. In this research, the impact of land use and management was evaluated in order to understand i) the relationship between soil organic matter and the richness and abundance of macro and mesofauna, ii) the impact of cropping systems on the multifunctionality of soil fauna and iii) the impact of land use/management on the diversity of soil arthropods, namely Chilopoda, Diplopoda and Arachnida. At the end of the rainy season, in April 2022, monoliths (25 x 25 x 20 cm) were collected and divided into two soil layers (0-10 and 10-20 cm) and a litter layer. These samplings were carried out under native forest (MN), a conventional coffee plantation in full soil (PSC), and a coffee plantation in an agroforestry system managed according to the principles of natural agriculture (SAFN). At the time of removal of the monoliths, soil moisture and temperature were assessed with a portable sensor and soil samples were collected for determinations of soil physical, chemical, and microbiological attributes. All visible organisms in the sampled layers of the monoliths were screened within 48 h after removal of the blocks. In general, fauna abundance (N) and richness (S) in the litter were higher in SAFN compared to PSC. In the soil, the PSC presented similar N and S to the SAFN, possibly due to the predominant abundance of the exotic and peregrine earthworm species, *Pontoscolex corethrurus*, in the conventional system. In the litter, some groups presented higher N and S in the SAFN compared to the PSC, particularly adults and larvae of Coleoptera, Heteroptera and Auchenorrhyncha. In total, about 3,200 individuals were identified, distributed in 26 taxa and 277 morphospecies. Three species unknown to the scientific community were identified, one of which was described from the specimen collected in the present thesis, indicating that the role of these organisms in the soil is still underestimated and has not yet been fully explored. Overall, the greatest richness was observed in the soil under the MN, followed by the SAFN and the PSC. This thesis highlights the paradox of the exuberant richness of Brazilian soil

biodiversity and the limited knowledge about this community. Natural farming practices used in coffee management in agroforestry systems demonstrate significant potential to promote soil carbon storage, increase pH, soil water retention and the improvement of various taxonomic and functional groups of soil fauna, contributing to functional redundancy (or functional similarity) between species, which can lead to increased resilience of the system in the face of climate and anthropogenic changes.

**Keywords:** Soil ecology; functional diversity; taxonomic diversity; mesofauna; macrofauna

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
Sistemas Agroflorestais .....	16
Agricultura natural .....	19
Meso e macrofauna edáfica .....	21
Macrofauna e relações simbióticas .....	25
Taxonomia e morfoespécies.....	26
Objetivos e estrutura da tese .....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
<b>CAPÍTULO I – MANEJO DA AGRICULTURA NATURAL FAVORECE OS TEORES DE CARBONO DO SOLO, A ABUNDÂNCIA E A RIQUEZA DE GRUPOS DA FAUNA EDÁFICA E EPIEDÁFICA.....</b>	<b>36</b>
RESUMO.....	36
1. INTRODUÇÃO .....	38
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	41
2.1. Localização e descrição da área de estudo.....	41
2.2. Amostragem do solo .....	46
2.3. Análises da matéria orgânica do solo.....	47
2.3.1. Carbono orgânico do solo (COS) .....	47
2.3.2. Carbono lábil (C-lábil).....	47
2.3.3. Carbono da biomassa microbiana (C-BM) .....	48
2.4. Avaliação da umidade e temperatura .....	48
2.5. Caracterização química e física .....	48
2.6. Fauna edáfica visível .....	49
2.6.1. Triagem.....	49
2.6.2. Separação da fauna em grandes grupos taxonômicos.....	51
2.6.3. Separação da fauna em morfoespécies.....	52
2.6.4. Identificação em níveis taxonômicos mais avançados.....	56
2.6.5. Determinação da biomassa da minhoca <i>Pontoscolex corethrurus</i> .....	57
2.7. Desenho amostral e análises estatísticas .....	58
3. RESULTADOS .....	59
3.1. Carbono Orgânico do Solo, Carbono Lábil e Carbono da Biomassa Microbiana .....	59

3.2. Umidade e temperatura do solo .....	59
3.3. Abundância da meso e macrofauna edáfica.....	60
3.4. Riqueza da macro e mesofauna edáfica.....	63
4. DISCUSSÃO .....	65
4.1. Carbono Orgânico do Solo .....	65
4.2. Abundância e riqueza da fauna edáfica .....	68
5. CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
<b>CAPÍTULO II – MANEJO DA AGRICULTURA NATURAL BENEFICIA A MULTIFUNCIONALIDADE DA FAUNA EDÁFICA E EPIEDÁFICA .....</b>	<b>87</b>
RESUMO.....	87
1. INTRODUÇÃO .....	89
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	93
2.1. Localização e descrição da área de estudo.....	93
2.2. Fauna edáfica visível .....	95
2.2.1. Amostragem, triagem e identificação .....	95
2.2.2. Classificação em grupos funcionais.....	96
2.3. Atributos químicos e biológicos .....	97
2.4. Atributos físicos.....	97
2.5. Desenho amostral e análises estatísticas .....	98
3. RESULTADOS .....	99
3.1. Classificação dos animais do solo em grupos funcionais .....	99
3.2. Abundância da fauna edáfica de acordo com os grupos funcionais .....	110
3.3. Riqueza da fauna edáfica de acordo com os grupos funcionais.....	113
3.4. Correlações dos grupos funcionais da meso e macrofauna edáfica com variáveis edáficas na camada 0-10 cm.....	116
3.5. Correlações dos grupos funcionais da meso e macrofauna edáfica com variáveis edáficas na camada 10-20 cm .....	117
4. DISCUSSÃO .....	118
4.1. Classificação dos animais do solo em grupos funcionais .....	118
4.2. Efeito vertical e de mudanças no uso da terra na distribuição dos grupos funcionais da macro e mesofauna edáfica.....	120
4.3. Abundância e riqueza de engenheiros do ecossistema .....	121

4.4. Detritivoria e microbivoria .....	123
4.5. Abundância e riqueza de herbívoros .....	124
4.6. Abundância e riqueza de predadores .....	125
4.7. Abundância e riqueza de onívoros .....	126
4.8. Correlações dos atributos do solo com os grupos funcionais .....	126
4.9. Correlações entre os grupos funcionais .....	128
5. CONCLUSÕES.....	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
<b>CAPÍTULO III - DIVERSIDADE DE ARTRÓPODES EDÁFICOS EM ÁREA CULTIVADA COM CAFÉ EM SISTEMA AGROFLORESTAL MANEJADO SOB OS PRINCÍPIOS DA AGRICULTURA NATURAL .....</b>	<b>139</b>
RESUMO.....	139
1. INTRODUÇÃO .....	141
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	142
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	145
4. CONCLUSÕES .....	149
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	150
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	153
Anexo A - Morfoespécies, Ordem Coleoptera .....	156
Anexo B - Morfoespécies larvais, Ordem Coleoptera .....	157
Anexo C - Morfoespécies, Ordem Hymenoptera.....	161
Anexo D - Morfoespécies, Ordem Hymenoptera, Família Formicidae.....	163
Anexo E - Morfoespécies, Classe Diplopoda .....	167
Anexo F - Morfoespécies, Classe Chilopoda.....	168
Anexo G - Morfoespécies, Ordem Blattaria .....	169
Anexo H - Morfoespécies, Ordem Isopoda .....	171
Anexo I - Morfoespécies (ninfas), Ordem Hemiptera, Subordem Auchenorrhyncha .....	172
Anexo J - Morfoespécies (adultas), Ordem Hemiptera, Subordem Auchenorrhyncha.....	174
Anexo K - Morfoespécies fitófagas, Ordem Hemiptera, Subordem Heteroptera.....	175
Anexo L - Morfoespécies predadoras, Ordem Hemiptera, Subordem Heteroptera.....	177
Anexo M - Morfoespécies, Ordem Dermaptera .....	178
Anexo N - Morfoespécies, Classe Arachnida, Subclasse Acari .....	179
Anexo O - Morfoespécies, Classe Arachnida, Ordens: Pseudoscorpiones e Escorpiones.....	180

Anexo P - Morfoespécies, Classe Arachnida, Ordem Opiliones .....	181
Anexo Q - Morfoespécies, Classe Arachnida, Ordem Araneae.....	182
Anexo R - Morfoespécies larvais, Ordem Diptera.....	188
Anexo S - Morfoespécies (pupas), Ordem Lepidoptera .....	189
Anexo T - Morfoespécies (lagartas), Ordem Lepidoptera .....	190
Anexo U - Morfoespécies: Neuroptera, Psocoptera, Hirudinida .....	191
Anexo V - Morfoespécies, Subclasse Oligochaeta, Família Glossoscolecidae .....	192
Anexo W - Morfoespécies da mesofauna visível .....	194
Anexo X - Castas e morfoespécies, Ordem Isoptera .....	196
Anexo Y - Morfoespécie da megafauna .....	198
Anexo Z - Mosaicos para observações do tamanho corporal dos animais visíveis do solo ...	198

## INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um dos grandes reservatórios de biodiversidade do planeta, abrigando 40% do total das espécies da Terra (Orgiazzi et al., 2016; Lavelle et al., 2022). Da biodiversidade conhecida, cerca de 25 % das espécies, vivem ou passam uma parte significativa de seus ciclos de vida no solo (Decaëns et al., 2004). O solo é também o maior reservatório de C da crosta terrestre, estocando aproximadamente 1.500 petagrama de carbono (Pg C) (Lal et al., 2015). A biodiversidade do solo e a matéria orgânica do solo (MOS) estão intimamente associadas. Os organismos do solo são responsáveis por processos biológicos que promovem o funcionamento e a qualidade do solo, como a ciclagem de nutrientes, a formação da própria MOS pelos processos de decomposição dos resíduos, mineralização e humificação, a agregação do solo, bioturbação e o controle de pragas e doenças (Lavelle et al., 2006; Baretta et al., 2011). Estas funções contribuem com a manutenção da capacidade produtiva dos ecossistemas (Swift et al., 2010) e quando beneficiam os seres humanos são chamadas de serviços ecossistêmicos (Parron et al., 2015).

Apesar de sua importância, as informações sobre a diversidade e funcionamento dos grupos da biota do solo são muito mais escassas quando comparadas às informações sobre os organismos acima do solo (Mittelbach et al., 2001; Wardle, 2002; Eisenhauer et al., 2017).

A expansão do entendimento dessa biodiversidade levará ao fortalecimento do uso adequado do solo, reduzindo a perda de sua qualidade e dos impactos em seus processos biológicos que levam a consequências negativas também para a qualidade do ar, da água, das plantas e, portanto, dos alimentos (Wall et al., 2015). O manejo do solo na agricultura hegemônica recorrentemente negligencia os processos biológicos do solo. No entanto, o solo é vivo e dinâmico e funciona a partir da relação e interação de seus atributos físicos, químicos e biológicos. Embora estes atributos devam ser compreendidos de forma integrada (Mendes et al., 2009; Aragão et al., 2020), recorrentemente, nas pesquisas, os processos biológicos são preteridos (Wall et al., 2015; Domínguez et al., 2023) em detrimento dos atributos físicos e químicos dos solos (Bottinelli et al., 2014). Os processos biológicos são a base para a busca de uma agricultura mais sustentável, baseada nos princípios ecológicos (Mendes et al., 2015), alternativa ao modelo atual e convencional de produção agrícola.

Em ecossistemas naturais a rede trófica do solo encontra-se em equilíbrio, no entanto, a partir do momento em que ocorre a conversão de áreas de vegetação natural em áreas cultivadas, dá-se um desequilíbrio em toda essa cadeia, e nos processos vitais (Barnes et al., 2014). Diante disto, torna-se imprescindível conhecer as relações da biodiversidade da fauna do solo com os

atributos edáficos em sistemas cultivados. Sistemas agrícolas que favorecem entradas constantes de C, a manutenção da MOS e manutenção da biodiversidade do solo são propensos a recuperar/manter a capacidade produtiva e, conseqüentemente, o desempenho de suas múltiplas funções. Algumas formas de agricultura pautadas nos princípios da agroecologia, priorizam os processos biológicos do solo e configuram-se como formas de agriculturas restauradoras, adaptáveis, inclusivas, eficientes e eficazes no uso da água, do ar, do solo e da biodiversidade em escala global (Cardoso et al., 2001; Altieri, 2012).

Gestores das políticas públicas e agricultores estão percebendo que o conhecimento ecológico do solo é fundamental para a gestão ambiental sustentável, para a proteção e conservação dos solos e para a nutrição e saúde de um número cada vez mais crescente de população humana (Orgiazzi et al., 2016; Eisenhauer et al., 2017; FAO, 2020). No entanto, ainda existem muitas lacunas de conhecimento que impedem os cientistas de darem contribuições que auxiliem no manejo e que promovam os processos ecológicos do solo, responsáveis por importantes serviços ecossistêmicos, tão necessários sob crescente mudanças (Eisenhauer et al., 2017). Isso faz com que pesquisas em ecologia do solo continuem sendo necessárias para avanços extremamente importantes para a conservação dos solos, a qual todos os seres dependem.

### **Sistemas Agroflorestais**

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos em todo o mundo e 30,2% do território brasileiro é atualmente utilizado para a produção agropecuária e florestal (Embrapa Territorial, 2022). O país é também reconhecido por hospedar grande parte da biodiversidade terrestre (Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2023). Entretanto, a agricultura do Brasil é predominantemente realizada em monocultivo.

No modelo convencional e hegemônico de agricultura o objetivo principal é aumentar a produtividade dos monocultivos, através do uso de práticas que têm resultado em diversos problemas ambientais e sociais e na redução alarmante da biodiversidade do solo (Bongaarts, 2019; IPBES, 2018; IPCC, 2019). Dentre estas práticas encontram-se o desmatamento de áreas nativas para produção de monoculturas em larga escala, que diminui a diversificação de alimentos para os organismos do solo; as práticas de aração e gradagem, que modificam a estrutura do solo, reduzem a cobertura do solo e expõem o solo aos impactos do sol e chuva e; o uso de agrotóxicos e uso inadequado de adubos químicos que podem contaminar o solo e prejudicar a atividade biológica (FAO, 2020; Pulleman et al., 2012). O Brasil é o país que mais

consome agrotóxicos no mundo, prática a qual é associada à redução da biodiversidade acima do solo e no solo (FAO, 2023). Além do solo, esse modelo convencional de agricultura tem contaminado o ar, a água, as pessoas e os alimentos, com impactos negativos na saúde humana e de todos os seres (Wall et al. 2015).

Apesar de já ser um grande produtor agrícola, a pressão para aumentar a produção agrícola no Brasil continua, o que pode aguçar os problemas socioambientais existentes, inclusive com mais conversão de áreas com vegetação nativa em áreas de agricultura ou pecuária. Não só a conversão de novas áreas deve ser questionada, como também os sistemas em monocultivo, pois há outras formas de agriculturas restauradoras, adaptáveis, inclusivas, eficientes e eficazes no uso da água, do ar, do solo e da biodiversidade em escala global (Cardoso et al., 2001; Altieri, 2012) e baseadas nos princípios oferecidos pela agroecologia.

Para Francis et al. (2003), a agroecologia se traduz como a ecologia dos sistemas alimentares e objetiva transformar os sistemas alimentares hegemônicos e insustentáveis, respeitando as dimensões ecológicas, econômicas e sociais dos sistemas agroalimentares. Na agroecologia, os solos são entendidos não como substratos inertes onde artificialmente se cultivam as plantas, mas como um organismo vivo, cujos processos biológicos são responsáveis por inúmeras funções que beneficiam os seres humanos (Cardoso et al., 2018). O cuidado com a biodiversidade do solo exige manejo como práticas, dentre outras, livres de agrotóxicos e outros componentes tóxicos, plantas de coberturas e disponibilização de matéria orgânica para alimentar os organismos do solo e para ajudar a manter a umidade e a temperatura adequada a estes organismos (Cozim-Melges et al., 2024).

A agroecologia, no início com o nome de agricultura alternativa, tem sido desenvolvida no Brasil, desde a década de 1980, inclusive na Zona da Mata mineira. Nesta região (Cardoso et al., 2019) a agroecologia vem sendo desenvolvida, entre outras organizações, pelo Centro de Tecnologia Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) e organizações dos agricultores/as familiares em parceria com alguns professores e estudantes da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Estes parceiros desenvolveram em 1993 um Diagnóstico Rural Participativo no município de Araponga, quando foi indicado o enfraquecimento das terras como um dos principais problemas da agricultura. A partir deste diagnóstico, em 1994, para o fortalecimento das terras, sistemas agroflorestais diversificados (SAFs), em especial com café, foram implantados (Duarte et al., 2008), pois esta tecnologia está em acordo com os preceitos da agricultura agroecológica.

Nos SAFs há o consórcio de cultivos agrícolas com árvores e possibilita a produção agrícola com a conservação do ecossistema, pois as interações ecológicas e econômicas são

beneficiadas por este sistema (Burgess et al., 2019). SAF é uma tecnologia considerada conservacionista do solo (Aquino et al., 2008; Morais et al., 2009), pois aumenta a heterogeneidade dos substratos de C dos organismos acima do solo (Hooper et al., 2000), favorece os recursos hídricos e o armazenamento do C no sistema, contribuindo para a retirada de gases poluentes na atmosfera e melhoria do clima (Gomes et al., 2020). Por isso vem sendo amplamente recomendado para otimização da produção de café (Duarte et al., 2013; Gomes et al., 2020; Cassamo et al., 2023). O Brasil é o principal produtor e exportador de café do mundo, responsável por um terço da produção mundial (FAO, 2015). Na safra mais recente, o Brasil produziu 50.380,5 mil sacas de café beneficiado, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor nacional, responsável por 60% de toda área cultivada no país, o que equivale a 1.018,0 mil ha (CONAB, 2022). A Zona da Mata é a segunda maior produtora de café de Minas Gerais, com uma área equivalente a 312,8 mil ha (CONAB, 2022), a maior parte em monocultura.

O café é originário de florestas decíduas da Etiópia e do Sudão e, portanto, naturalmente adaptado a condições de sombreamento, como nos sistemas agroflorestais, desde que devidamente controlada. Sistema agroflorestal é uma tecnologia considerada conservacionista do solo (Aquino et al., 2008; Morais et al., 2009). A implementação de cafeeiros em SAFs, além de diversificar a fonte de renda da família agricultora, mantém um microambiente mais propício à vida no solo, com umidade, temperatura e alimentos em condições adequadas. Entretanto, a densidade das árvores deve ser bem planejada para que ocorra redução da incidência da radiação solar e da temperatura do ar, mas sem haver competição por luz, água e nutrientes com os cafezais (Manson et al., 2024). Os SAFs, se bem planejados, promovem o uso eficiente da água, mitigam o efeito do aquecimento global, aumentam e diversificam a oferta de alimentos e melhoram a qualidade dos grãos de café, sem diminuir sua produtividade (Gomes e Cardoso, 2021; Souza et al., 2010).

Na Zona da Mata mineira, após a implantação dos SAFs, várias pesquisas foram realizadas e indicaram que os SAFs contribuíram para o controle biológico, diversificaram a produção destas famílias, reduziram os gastos e o impacto da bienalidade do café e melhoraram a qualidade do solo (Souza et al., 2010; Duarte, 2008, Rezende et al., 2014), com impacto positivo nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Brown et al., 2009; Thomazini et al., 2015; Tumwebaze e Byakagaba, 2016; Mardsen et al., 2020). No entanto, há poucos estudos sobre a influência dos sistemas agroflorestais na fauna do solo e suas funções (Marden et al., 2020).

A maior diversidade de plantas nos sistemas agroflorestais é responsável por fornecer uma maior diversidade de habitat para a macrofauna e mesofauna (Wardle e Lavelle 1997;

Melo; Souza; Santos, 2019), pois promove diferentes condições de solo, com microclimas que favorecem diferentes espécies, além de funcionar como local de proteção contra os inimigos naturais (Hooper et al., 2000; Pimentel et al., 2011; Karungi et al., 2018; Navia et al., 2021). Tais relações melhoram as interações tróficas e podem afetar a produção e qualidade final dos grãos de café (Harvey et al., 2017), com consequente melhoria da qualidade sensorial da bebida (Hameed et al., 2020; Torrez et al., 2023).

Portanto, ao contrário do que ocorre atualmente no modelo hegemônico, a agricultura brasileira deve imitar a natureza e utilizar árvores, como nos sistemas agroflorestais (Perfecto; Vandermeer, 2008), seguindo os sistemas tradicionais indígenas (Posey, 1982). Além do uso de árvores, outras práticas agroecológicas devem ser utilizadas no manejo dos agroecossistemas, como preconizadas pela agricultura natural.

### **Agricultura natural**

A partir do desenvolvimento da agroecologia na região, em Araponga, uma das famílias que participou em 1994 do processo de implantação dos SAFs, iniciou em 2014, o manejo de suas lavouras, já em SAFs, seguindo os princípios da agricultura natural desenvolvida por Mokiti Okada no Japão (Ohlers, 1994). A agricultura natural foi desenvolvida por este estudioso e entusiasta das artes e filosofia a partir de 1935. Mokiti Okada, nesta época, fundou a Igreja Messiânica, como forma de propor através dessa religião, uma sociedade cuja harmonia entre os aspectos físicos e espirituais fossem estabelecidos (Gonçalves, 2016). Dessa forma, Okada propôs três pilares para a Igreja Messiânica, que segundo ele, são formas de elevar a espiritualidade da humanidade, sendo: a prática de transmissão de energia através da imposição das mãos, conhecida como Jhorei, a qual tem o potencial de purificação do espírito e desintoxicação do corpo; a contemplação do belo, através de expressões artísticas e da natureza e; a prática da agricultura natural, a qual considera o solo um corpo vivo, com energia vital e espiritual, assim como os seres humanos, as plantas e animais, e responsável pela transmissão de energia para os alimentos. Na agricultura natural, acredita-se que uma planta espiritualmente energizada, cultivada em um solo limpo, puro e espiritualmente energizado, gera alimento com elevada energia vital. Para alcançar e elevar a energia vital é essencial que o manejo seja feito sem adubos químicos, sem adubos orgânicos oriundos de resíduos animais, sem agrotóxico e com sentimento de respeito e gratidão, vindo dos agricultores, considerados tesouros para a agricultura natural (Gonçalves, 2016).

Segundo os princípios da agricultura natural, deve-se utilizar processos que ocorrem na natureza, com o menor gasto de energia possível. Desta forma, para fertilizar o solo deve-se estimular a ciclagem dos nutrientes e os processos biológicos, a partir de materiais exclusivamente vegetais e produzidos no local ou próximo (Demattê, 2014; Blanc; Moruzzi Marques, 2022). Os princípios de fertilização dos solos, segundo a agricultura natural, estão em sintonia com os princípios da agroecologia, pois trabalha-se com o uso de insumos internos, excluindo a dependência de recursos gerados fora da propriedade e da matriz energética do petróleo (Gliessman, 2015). Logo, a constante cobertura do solo, o uso de sementes locais, o plantio consorciado com diferentes espécies, podas com deposição dos resíduos no solo e o aporte de resíduos orgânicos de origem vegetal produzidos próximos às áreas cultivadas são a chave no estabelecimento e desenvolvimento de um agroecossistema equilibrado e autossuficiente. A diversificação de espécies favorece ainda o controle biológico, pois favorece o estabelecimento de diferentes artrópodes com diversificadas funções no ecossistema que tendem a estabelecer um equilíbrio trófico no agroecossistema (Deng et al., 2006; Cole et al., 2010; Blundell et al., 2020).

Não há trabalho, até onde é de conhecimento da autora, de indicadores de qualidade do solo manejados segundo os princípios da agricultura natural. Tais estudos podem contribuir para a maior utilização de formas de agricultura que não degradem os solos, conservem a biodiversidade e promovam agroecossistemas sustentáveis.

### **Qualidade do Solo**

Segundo Doran e Parkin (1994), qualidade do solo é definida como “a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, sustentar a produtividade das plantas e dos animais, manter ou aumentar a qualidade da água e do ar e promover a saúde humana”. Uma das formas de avaliar a qualidade do solo, a qual está relacionada com a capacidade do solo em desenvolver bem as funções ecossistêmicas, é a partir do uso de indicadores. Bons indicadores de qualidade devem, portanto, correlacionar-se com as funções do solo. Ainda, eles devem ser de fácil mensuração e de baixo custo, ser sensíveis às variações do manejo e possibilitar o entendimento dos processos do ecossistema de forma que sejam compreensíveis e úteis para o agricultor (Doran; Zeiss, 2000; Lehmann et al., 2020).

A qualidade depende das práticas de manejo adotadas (Tótola e Chaer, 2002). O manejo adequado cria condições ótimas para o desenvolvimento das plantas e preservação dos recursos

ambientais, como água, ar, solo e biodiversidade e, por isso, pode reverter a degradação atual dos solos e impedir que no futuro os solos não se tornem degradados.

O uso de indicadores permite monitorar as mudanças que ocorrem na qualidade dos solos ao longo do tempo e avaliar se as práticas de manejo adotadas foram e estão sendo sustentáveis. Considerando a multiplicidade de fatores que controlam os processos biogeoquímicos do solo, deve-se considerar que nenhum indicador individualmente é capaz de descrever e quantificar todos os parâmetros da qualidade do solo (Mendes et al., 2015), sendo necessário recorrer a um conjunto mínimo de indicadores, envolvendo atributos químicos, físicos e biológicos. Os indicadores químicos, como por exemplo, pH, capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes, matéria orgânica, são relativamente bem estudados e definidos na literatura. Os indicadores físicos também são mais constantes nos projetos de pesquisa e de grande importância na avaliação da qualidade do solo, já que, a depender do indicador utilizado, pode-se influir diretamente nas condições de adensamento do solo, compactação, encrostamento, retenção e transporte de água, densidade, aeração, entre outras situações que influenciam o desenvolvimento das plantas e o funcionamento do solo.

Ao contrário dos indicadores químicos e físicos, a base de informações para os indicadores biológicos, ainda é muito pequena e negligenciada (Tótola e Chaer., 2002; Mendes et al., 2015; Wall et al., 2015; Cassamo et al., 2023). Quando considerados, normalmente as pesquisas utilizam como indicadores a biomassa microbiana, a atividade de algumas enzimas e o quociente metabólico (Rocha et al., 2022). Entretanto, a fauna do solo, a riqueza e abundância de minhoca já são consideradas boas indicadoras da qualidade do solo por muitos cientistas (Brown e Domínguez, 2010; Zhang et al., 2018; Naldony et al., 2020; Demetrio et al., 2023). Embora nem sempre seja verdadeiro, muitos agricultores ao redor do mundo também reconhecem e relacionam a abundância de minhocas nas áreas agrícolas com solos mais férteis e produtivos (Santos et al., 2019). No entanto, ainda há pouca informação sobre a fauna do solo como indicadora da qualidade do solo, em especial sobre a meso e macrofauna

### **Meso e macrofauna edáfica**

A fauna do solo é composta por invertebrados que habitam permanentemente ou passam algum ciclo de vida no solo (Baretta et al., 2011). Ela representa um componente importante do ecossistema e são determinantes chave da auto-organização dos solos, devido à sua atuação em diversos processos que contribuem com a manutenção e produtividades dos ambientes terrestres (Swift et al., 2010), como manutenção do ciclo dos nutrientes, fertilidade biológica do solo,

decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), estabilidade do solo, bioturbação, controle de populações, dentre outros (Yan et al., 2012). Estas funções quando beneficiam os seres humanos são chamadas de serviços ecossistêmicos (Mea, 2005; Parron et al., 2015; Ferraz et al., 2019) ou benefícios da natureza (Díaz et al., 2018). No entanto, apesar de seus papéis funcionais significativos, as interações tróficas e não tróficas entre os organismos do solo ainda são pouco compreendidas (Bardgett e van der Putten, 2014).

No desenvolvimento destas funções, a fauna do solo se relaciona com as propriedades físicas, químicas, outras propriedades biológicas, incluindo as microbiológicas do solo e, portanto, são indicadoras de mudanças ecológicas, pois são sensíveis às mudanças no uso da terra e ao manejo do solo (Yan et al., 2012; Lubbers et al., 2017; Zagatto et al., 2019; Gongalsky, 2021). Por isto, a fauna do solo pode ser utilizada como indicadora da qualidade do solo (Lavelle et al., 2022). Entretanto, na avaliação da qualidade biológica do solo é impraticável considerar todos os organismos da fauna do solo (Lawton et al., 1998), devido à elevada diversidade de espécies e, por isto, alguns grupos são utilizados. A fauna do solo pode ser classificada de acordo com o tamanho dos organismos. Embora os microrganismos sejam de importância indiscutível e bem reconhecidos como importantes impulsionadores das funções dos ecossistemas, esse mesmo reconhecimento não ocorre com a fauna do solo (Filser et al., 2016; Deckyman et al., 2020; Gongalski et al., 2021). Isso é surpreendente, pois estas comunidades, dentre suas funções, são responsáveis também pelo “efeito gatilho” das dinâmicas do solo (Gilyarov, 1965; Gongalski et al., 2021), o qual melhora o funcionamento geral dos ecossistemas do solo, incluindo a atividade de microrganismos.

No geral, os organismos da fauna são classificados como microfauna (<0,2 mm), mesofauna (0,2-2 mm) e macrofauna (>2mm). (Lavelle et al., 2022). As dimensões dos organismos da macrofauna permitem que sejam vistos a olho nu, sendo o uso de lupa necessário apenas para melhor observação das estruturas morfológicas (Lavelle et al., 2001; Gongalsky, 2021). Entretanto, muitos avanços nos estudos da fauna edáfica precisam ser feitos. É possível encontrar muitas inconsistências na literatura sobre o que é macro e o que é meso, pois organismos da mesofauna também podem ser vistos a olho nu, visto que os intervalos de diâmetro corporal podem ser variáveis. Devido a esta variação, a classificação com base no tamanho corporal não é precisa e gera inconsistências, embora este tenha sido um dos primeiros critérios utilizados na classificação da fauna do solo (Swift et al., 1979; Briones et al., 2014; Jouquet et al., 2016; Gongalski, 2021).

Com tudo, a macrofauna pode ser caracterizada como representante da maior biomassa animal no solo e o grupo mais diverso do solo, pois incluem mais de 30 grupos taxonômicos,

como: Isopoda, Coleoptera (larvas e adultos), Oligochaeta, Araneae, Hymenoptera, Hemiptera, Chilopoda, Diplopoda, larvas de Diptera, larvas de Lepidoptera, Dermaptera, Escorpiones, entre diversos outros (Baretta et al, 2011; Lavelle et al., 2022). Em um metro quadrado de solo, pode-se encontrar indivíduos da macrofauna pertencentes a diferentes espécies (Gongalski, 2021). Essa grande diversidade taxonômica de espécies é considerada um dos principais desafios no estudo da macrofauna, e por isso, mesmo sendo o componente mais visível do solo, permanece pouco estudada (Gongalsky, 2021).

Em contraste à sua alta diversidade, esses indivíduos apresentam uma abundância média menor que as outras categorias dos animais do solo, como a mesofauna por exemplo. Este contraste acompanha as leis da natureza (Polishchuk e Blanchard, 2019), onde, um aumento no tamanho dos organismos está normalmente associado a uma menor abundância de espécies (Gongalski, 2021). Assim, talvez a macrofauna, com maior diversidade e menor abundância de espécies presente em sua composição espécies mais raras. Dúvidas como esta apontam a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a macrofauna do solo, o que pode ajudar a compreender as implicações da perda de espécies raras para a biodiversidade global e para a ecologia do solo.

Os organismos da mesofauna, no geral, são apresentados como os organismos numericamente mais representativos quando em comparação com a macrofauna. Dentre eles, destacam-se como grupos mais abundantes, principalmente, os ácaros e colêmbolos (FAO, 2020), e outros grupos taxonômicos como Enchytraeidae, Diplura, Protura, Symphyla. Devido a inconsistências, alguns autores (Freire et al., 2015; Moreira et al., 2013) consideram também como mesofauna, Araneae, Chilopoda, Diplopoda, Isoptera, Coleoptera, embora a maioria dos autores incluem os organismos destes grupos como macrofauna, o que justifica a classificação destes grupos como macrofauna nesta pesquisa.

Além da classificação taxonômica e de acordo com o tamanho corporal, os organismos da macro e mesofauna podem ser classificados de acordo com suas funções, como engenheiros do ecossistema, detritívoros, predadores, herbívoros e microbívoros (Lavelle; Spain, 2001; FAO, 2020).

A engenharia de ecossistemas refere-se à habilidade de certos organismos em modificar ativamente o ambiente que os cerca (Jones et al., 1994). Assim, no solo, os engenheiros do ecossistema são organismos da fauna edáfica que apresentam funções fundamentais na regulação das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, com capacidade para modificar e criar habitats por meios mecânicos ou usando suas próprias estruturas corporais (Jones et al., 1994). Por isso, são considerados espécies-chave, pois garantem a conservação e

a sobrevivência tanto da própria espécie, como de outras que não possuem habilidades para construir seus habitats (Mills et al., 1993). De forma direta ou indireta, engenheiros do ecossistema disponibilizam recursos para outras espécies e, além disso, favorecem a agregação do solo, a mistura das partículas minerais e orgânicas do solo, o transporte de MOS no perfil, a dispersão dos microrganismos pelos seus excrementos fecais, a abertura de câmaras e de galerias, o que leva a impactos na morfologia, no funcionamento e na sua capacidade em sustentar a biodiversidade (Coq et al., 2007; Brown et al., 2007; Vidal et al., 2019).

A categoria dos engenheiros do ecossistema geralmente é atribuída aos organismos da macrofauna, principalmente cupins, formigas e minhocas. Recentemente, as larvas de Coleoptera estão sendo incluídas nesta categoria funcional (Lavelle et al., 2016). Recentemente, alguns autores têm incluído os enquitreídeos (mesofauna) como engenheiros dos ecossistemas, devido atuação significativa deles na estrutura do solo, com aumento da distribuição dos poros do solo e do volume de ar (Orgiazzi et al., 2016; Porre et al., 2016).

O efeito gatilho dos macroorganismos está relacionado à atuação dos organismos detritívoros no processo inicial de degradação dos detritos orgânicos aportados no solo. Ao triturarem estes materiais, estes organismos convertem os pedaços grandes de detritos orgânicos em outros menores, aumentando a área de superfície específica para o ataque microbiano, ao mesmo tempo em que inoculam mais microrganismos no complexo detritico, os quais irão continuar o processo de decomposição. As entranhas da macro e mesofauna são como uma fonte de microrganismos (Lavelle et al., 1995) e, por isso, ao triturarem os detritos, atuam também inoculando e transportando microrganismos, contribuindo para a distribuição e atuação destes em detritos recentemente triturados.

Membros de Diplopoda, considerados detritívoros, por exemplo, são conhecidos por desempenharem esse papel ecológico crucial nos solos (Potapov *et al.*, 2022). Eles também influenciam o fluxo de água e ar em estratos do solo, tanto pela decomposição do material orgânico, estimulando processos físicos de agregação do solo, quanto pela deposição em altas quantidade de excrementos, que também são considerados agentes influenciadores da agregação (Vogel et al., 2020). No entanto, a magnitude desses efeitos depende das interações entre as biotas e o meio ambiente e, poucas publicações realmente medem as funções da fauna do solo ou caracterizam as suas interações no espaço dependendo do manejo dos sistemas agrícolas (Marsden, 2019).

Estudos têm destacado a introdução acidental de espécies de Diplopoda nos agroecossistemas em razão de atividades humanas, como cultivo de plantas e transporte de solo (Schubart, 1942, 1945; Iniesta *et al.* 2001). Para tanto, diversas dessas espécies têm sido

consideradas como pragas agrícolas em diversas monoculturas, sendo observadas se alimentando de mudas de soja, café, alface, tubérculo e de plantas ornamentais (Schubart, 1942).

### **Macrofauna e relações simbióticas**

Espécies da fauna edáfica, como: cupins, formigas, milípedes, minhocas e baratas, também já são bem conhecidas por apresentarem relações simbióticas com os microorganismos, mas tais relações ainda são subestimadas para as espécies do solo (Lee e Wood, 1971; Lavelle et al., 1995; Sapountzis et al., 2015) e pouco se sabe sobre como elas beneficiam as funções ecossistêmicas, necessitando de maiores estudos com abordagens interdisciplinares, colaborativas e holísticas (Klepzig et al., 2009). Nessas relações simbióticas são comuns os macrossimbiontes (coleópteros, por exemplo) receberem nutrição dos microsimbiontes (fungos e leveduras), ao mesmo tempo em que também nutrem, protegem e transportam os microrganismos, aumentando assim a dispersão dos microorganismos no solo (Klepzig et al., 2009).

Espécies simbiontes podem apresentar um papel ecossistêmico extremamente importante relacionado a biodegradação de material vegetal recalcitrante. Algumas espécies holobiontes, que vivem em simbiose com microrganismos (Klepzig et al., 2009; Shapheer et al., 2021), como por exemplo, os besouros das subfamílias Scolytinae e Platypodinae, apresentam associação simbióticas com fungos filamentosos e algumas leveduras (Ayres et al., 2000), os quais são capazes de degradar o xilema e posteriormente disponibilizar os únicos nutrientes essenciais que podem ser assimilados por estes besouros. Dessa forma, a sobrevivência destes besouros só é possível devido esta relação simbiótica (Klepzig et al., 2009).

Materiais de diferentes relações C/N encontram-se presentes na diversidade de resíduos vegetais aportados no solo no manejo da agricultura natural, o que favorece não só a abundância de organismos, mas também uma maior riqueza de espécies. Espécies simbiontes também apresentam papel importante na biodegradação de material vegetal mais lábil. Gerlach et al (2014) observaram que os materiais com menor relação C/N são preferidos por algumas espécies da fauna, por serem mais palatáveis a elas, citando espécies simbiontes de isópodes e algumas espécies de besouro. Morehouse et al., 2008, estudando o impacto de besouros nos ciclos biogeoquímicos do C e N em florestas de pinheiros, observou que a relação C/N variou

entre as parcelas de pinus com e sem besouro e que tal relação era menor nas áreas onde os besouros foram encontrados.

### **Taxonomia e morfoespécies**

Uma consequência da vasta diversidade de espécies no solo e da negligência dos estudos sobre elas é que muitas dessas espécies ainda não foram descritas taxonomicamente (Brown et al., 2006; Gongalski, 2021; Potapov et al., 2022). Além disso, mesmo quando a informação taxonômica está disponível, pouco se sabe sobre os papéis funcionais da grande maioria desses organismos no ecossistema ou agroecossistemas em que ocorrem (Janion-Scheepers et al., 2016). Por isto, quase sempre, quando o solo é amostrado, novas espécies são identificadas (Janion-Scheepers et al., 2016), assim como neste estudo. O amplo espectro de táxons no solo e o baixo número de taxonomistas prontos e capazes de dedicar seu tempo para identificação do material estão na lista dos principais desafios encontrados nos estudos dos processos biológicos do solo (Eisenhauer et al., 2017). O envio de material para especialistas além de retardar o processo de identificação pode elevar os custos dos estudos (Beattie e Oliver, 1994; Gongalski, 2021).

Para superar os problemas relacionados às restrições taxonômicas, os quais dificultam as pesquisas e os inventários de biodiversidade da fauna edáfica, pode-se utilizar da classificação dos invertebrados em morfoespécies como substitutos para espécies (Oliver et al., 1993). Esta identificação pode ser feita por não especialistas, sem comprometer a precisão científica, podendo tal procedimento facilitar e permitir estimar a biodiversidade através da riqueza de morfoespécies (Oliver et al., 1993).

Morfoespécies são definidas como táxons facilmente separáveis por diferenças morfológicas, pois, tais características, são óbvias para indivíduos sem amplo treinamento taxonômico (Beattie e Oliver, 1994; Oliver et al., 1996). Dentre as grandes vantagens desta classificação, destaca-se a minimização dos recursos necessários, o que pode favorecer o aumento do tamanho e da frequência das amostras (Beattie e Oliver, 1994). As características morfológicas constituem as características mais acessíveis e geralmente se relacionam com as características funcionais (Yates et al., 2014). Por exemplo, o formato das quelíceras em ácaros, indicam suas preferências alimentares (Orgiazzi et al., 2014), assim como, a morfologia do aparelho bucal em Heteroptera.

Dedicar-se ao estudo das características morfológicas mais acessíveis e funcionalmente importantes pode permitir um progresso mais rápido nos estudos das comunidades da fauna do

solo, com potencial para a identificação de um número significativo de espécies não descritas ou para o aprofundamento e visibilização de espécies pouco conhecidas (Oliver et., 1996). Pessoas com treinamento mínimo podem produzir rapidamente estimativas precisas sobre as espécies. Segundo Oliver et al. (1993), um técnico em biodiversidade, porém não especialista na taxonomia de cada grupo, após receber poucas horas de treinamento para cada grupo e, separar os espécimes em unidades taxonômicas reconhecíveis, também conhecidas como morfoespécies, conseguiu estimar a riqueza de espécies de algumas amostras com um erro baixo de 13% ou menos, quando comparado com a estimativa feita por especialistas taxonômicos, os quais classificaram os grupos por espécies. Para os grupos de animais avaliados (dentre eles, formigas e aranhas), o técnico em biodiversidade registrou 165 táxons e os especialistas 147. Esse procedimento foi repetido por 13 universitários utilizando uma subamostra de aranhas e, o erro médio foi de 14,4%. Os resultados deste estudo sugerem que estimativas de morfoespécies feitas por técnicos em biodiversidade podem estar suficientemente próximas das estimativas taxonômicas da riqueza de espécie e, por isso, além de rápidas, podem ser úteis e aplicadas com segurança em pesquisas e inventários de biodiversidade.

Tais estudos, que incluem o estudo da macrofauna e mesofauna do solo, podem ajudar no avanço do conhecimento sobre os fatores biológicos responsáveis por promover a qualidade do solo e auxiliar na promoção de formas de agricultura sustentáveis, como a agricultura natural, necessárias para a conservação dos solos e da biodiversidade. Compreender como as diferentes espécies da macro e mesofauna respondem ao manejo, à complexidade da vegetação e cobertura vegetal em termos de abundância, riqueza e estrutura funcional, é muito importante na determinação de melhores estratégias para o cultivo do café sustentável.

### **Objetivos e estrutura da tese**

A presente tese teve como objetivo compreender as respostas da abundância, riqueza, composição e estrutura funcional de espécies da macro e mesofauna do solo, bem como, da matéria orgânica do solo, dos atributos químicos e físicos do solo, ao manejo/uso da terra. O estudo foi realizado em três usos/manejo da terra: uma mata nativa com pouca intervenção antrópica, em um cafezal em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural e em um cafezal convencional cultivado em pleno solo, no município de Araponga, Minas Gerais.

Esta pesquisa está estruturada em uma introdução geral, três capítulos e as considerações finais. No capítulo 1, objetivou-se avaliar a relação entre a matéria orgânica do solo e a macro

e a mesofauna (riqueza e abundância) do solo cultivado com café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural.

No capítulo 2, objetivou-se avaliar como o cultivo do café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural afeta a multifuncionalidade da fauna edáfica. Especificamente, objetivou-se i) avaliar a abundância e a riqueza de grupos funcionais da meso e macrofauna edáfica; ii) classificar os espécimes em grupos funcionais, como engenheiros do ecossistema, detritívoros, microbívoros, herbívoros, predadores e onívoros e; ii) correlacionar os grupos funcionais com os atributos químicos e físicos do solo.

No capítulo 3, objetivou-se avaliar a influência do manejo e uso do solo na diversidade de artrópodes edáficos (Chilopoda, Diplopoda e Arachnida). Áreas de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural e convencional a pleno sol convencional e de mata nativa foram utilizadas na pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: Methods in applied soil microbiology and biochemistry. ALEF, K.; E NANNIPIERI, P. (Ed.), London, **Academic Press**, p.214-219, 1995.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2012.

ALVES, M. V. Propriedades físicas do solo e Oligochaetas em diferentes sistemas de uso da terra no Alto Solimões – AM. **Tese** (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras - MG, p. 118, 2010.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, J.; INGRAM, J. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2 ed. ed. Wallingford: CAB International, v. 1, 1993.

AQUINO, A. M. et al. Populações de minhocas em sistemas agroflorestais com café convencional e orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1184-1188, 2008

ARAGÃO, O. et al. Microbiological indicators of soil quality are related to greater coffee yield in the Brazilian Cerrado region. **Ecological Indicators**, v. 113, n. January, p. 106-205, 2020.

BARDETT, R. D.; VAN DER PUTTEN, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, v. 515, p. 505-511, 2014.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, n. 1, p. 119–170, 2011.

BEATTIE, A. J.; OLIVER, I. Taxonomic minimalism. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 488-490, 1994.

BLANC, J.; MORUZZI MARQUES, P. E. A Agricultura Natural de Mokiti Okada: uma experimentação moral e política como fonte de inovação de ordem ecológica. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 30, n. 1, 2022.

BLUNDELL, R.; SCHMIDT, J. E.; IGWE, A.; CHEUNG, A. L.; VANNETTE, R. L.; GAUDIN, A. C. M.; CASTEEL, C. L. Organic management promotes natural pest control through altered plant resistance to insects. **Nature Plants**, v. 6, n. 5, p. 483–491, 2020.

BOTTINELLI, N. et al. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 118–124, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gov.br**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade>. Acesso em: 13/02/2023.

BROWN, G.; DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas – o 3º Encontro Latino-Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO3). **Acta Zoológica Mexicana**, v. 26, n. 2, 2010.

BROWN, G. G.; MASCHIO, W.; FROUFE, L. C. M. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos Municípios de Barra do Turvo, SP, e Adrianópolis, PR. 2009.

BROWN, G. G., ROMBKE, J., HÖFER, H., VERHAAGH, M. A. N. E. R. E. D., SAUTTER, K. D., & SANTANA, D. D. Q. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In **Sistemas Agroflorestais: Bases Científicas para o desenvolvimento sustentável**. UENF, Campos dos Goytacazes, p. 217-242, 2006.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>.

CARDOSO, I. M., et al. Continual Learning for Agroforestry System Design: University, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. **Agricultural Systems**, Inglaterra, v. 69, p. 233-257, 2001

CASSAMO, C. T. et al. Impact of climate changes in the suitable areas for Coffea arabica L . production in Mozambique : Agroforestry as an alternative management system to strengthen crop sustainability. **Agriculture , Ecosystems and Environment**, v. 346, n. December 2022, p. 108341, 2023.

COLE, P. G., CUTLER, A. R., KOBELT, A. J., & HORNE, P. A. Acute and Long-Term Effects of Selective Insecticides on *Micromus Tasmaniae* Walker (Neuroptera: Hemerobiidae), *Coccinella Transversalis* F. (Coleoptera: Coccinellidae) and *Nabis Kinbergii* Reuter (Hemiptera: Miridae). **Australian Journal of Entomology**, v. 49, n .2, p. 160–165, 2010.

COQ, S. et al. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues-An experimental study (Madagascar). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 8, p. 2119–2128, 2007.

DECAËNS, T. et al. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, 42 (SUPPL. 1), S23-S38, 2006.

DEMATTE FILHO, Luiz Carlos. Sistema agroalimentar da avicultura fundada em princípios da Agricultura Natural: multifuncionalidade, desenvolvimento territorial e sustentabilidade. 2014. 248 f. **Tese** (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014

DEMETRIO, W. et al. Are exotic earthworms threatening soil biodiversity in the Brazilian Atlantic Forest? **Applied Soil Ecology**, v. 182, n. February, 2023.

DENG, L.; DAI, J.; CAO, H.; XU, M. Effects of an Organophosphorous Insecticide on Survival, Fecundity, and Development of *Hyllyphantes Graminicola* (Sundevall) (Araneae: Linyphiidae). **Environmental Toxicology and Chemistry** 25 (11): 3073– 77, 2006.

DÍAZ, B.S., et al. Assessing nature’s contributions to people. **Science**, v. 359, p. 270–272, 2018.

DOMÍNGUEZ, A. et al. Agroecology and organic farming foster soil health by promoting soil fauna. **Environment, Development and Sustainability**, 2023.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Madison, WI. **Soil Science**. Soc. Am., V. 35, p. 3-21, 1994.

DUARTE, E. M. G.; CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. Terra Forte. **Agriculturas**, v. 5, n. 3, p. 11–15, 2008

DUARTE, E. M. G.; et al. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. **Agroforestry Systems** (Print), v. 87, p. 835-847, 2013.

EISENHAUER, N., ANTUNES, P.M., BENNETT, A.E., BIRKOFER, K., BISSETT, A., BOWKER, M.A., et al. Priorities for research in soil ecology. **Pedobiologia**, v. 63, n. 1, p. 1–7, 2017.

FAO et al. **State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities**. Report 2020. FAO, Rome, 2020.

FAO. 2023. Pesticides use and trade, 1990–2021. FAOSTAT Analytical Briefs Series No. 70. Rome.

FERRAZ, R. P. D.; et al. Marco referencial em serviços ecossistêmicos. Brasília, DF: **Embrapa**, 121, 2019.

FREIRE, L. R., ARAÚJO, E. D. S., & BERBARA, R. L. L. Tempo de Captura de organismos da mesofauna do solo e seus reflexos na interpretação de índices da Comunidade edáfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p- 1282-1291, 2015.

GOMES, L.C., et al. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 294, p. 106858, 2020.

GONÇALVES, Márcia Oliveira. A agricultura natural como referência para o desenvolvimento sustentável: Centro de Pesquisa Mokiti Okada. **Dissertação** (Mestrado Profissional em Políticas Públicas) Universidade Estadual de Maringá - PR, p.107, 2016.

GONGALSKY, K. B. Soil macrofauna: Study problems and perspectives. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 159, p. 108281, 2021.

HAMEED, A., HUSSAIN, S. A, SULERIA, H. A. R. “Coffee Bean-Related” agroecological factors affecting the coffee. **Co-evolution of secondary metabolites**, p. 641-705, 2020.

HARVEY, C. A.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, M. R.; CÁRDENAS, J. M.; AVELINO, J.; RAPIDEL, B.; VIGNOLA, R.; DONATTI, C. I.; VILCHEZ-MENDOZA, S. The use of ecosystem-based adaptation practices by smallholder farmers in Central America. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 246, p. 279-290, 2017

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**: Levantamento sistemático da produção agrícola, 2017. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\_Agricola/Levantamento\_Sistematico\_da\_Producao\_Agricola\_[mensal]/Fasciculo/lspa, 2017

IPBES. 2018. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Bonn, Germany. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 744 pp

IPCC 2019. Climate change and land: Summary for Policymakers. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Cheltenham and Camberley, UK. Edward Elgar Publishing

JANION-SCHEEPERS, C., MEASEY, J., BRASCHLER, B., CHOWN, S.L., COETZEE, L., COLVILLE, J.F., DAMES, J., DAVIES, A.B., DAVIES, S.J., DAVIS, A.L. and DIPPENAAR-SCHOEMAN, A.S. Soil biota in a megadiverse country: Current knowledge and future research directions in South Africa. **Pedobiologia**, v. 59, p.129-174, 2016.

JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos**, v. 69, n. 3, p. 373-386, 1994.

LAL, R.; NEGASSA, W.; LORENZ, K. Carbon sequestration in soil. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 15, p. 79–86, 2015

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. Soil ecology. 1st. ed. Amsterdam: **Kluwer Scientific**, 678 p, 2001.

LAVELLE, P.; et al. Soil organic matter management in the tropics: why feeding the soil macrofauna? **Nutrition Cycl. Agroecosyst**, v. 61, p. 53-61, 2001.

LAVELLE. P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, 42(supp-S1), 2006.

LAVELLE, P. et al. Ecosystem engineers in a self-organized soil: A review of concepts and future research questions. **Soil Science**, v. 181, n. 3–4, p. 91–109, 2016.

LAVELLE, P. et al. Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 7, p. 1261–1276, 2022.

LEHMANN, J., et al. The concept and future prospects of soil health. **Nature Reviews Earth and Environment**, v. 1, p. 544–553, 2020.

LUBBERS, I. M. et al. Can earthworms simultaneously enhance decomposition and stabilization of plant residue carbon? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 105, p. 12–24, 2017.

MANSON, S., Nekaris, K. A. I., Nijman, V., & Campera, M. Effect of shade on biodiversity within coffee farms: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, p. 169882, 2024

MARDIANI, M. et al. Local ecological knowledge of coffee agroforestry farmers on earthworms and their relation to soil quality in East Java (Indonesia) MILA. **Biodiversitas**, v. 23, n. 7, p. 3338–3343, 2022.

MARSDEN, C., MARTIN-CHAVE, A., CORTET, J., HEDDE, M., & CAPOWIEZ, Y. How agroforestry systems influence soil fauna and their functions-a review. **Plant and Soil**, v.453, p. 29-44, 2020.

MENDES, I. C. et al. Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade? Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, v. 1, p. 32, 2009.

MENDES, I. C. et al. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 185–203, 2015.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC, 2005.

MILLS, L. S.; SOULÉ, M. E.; DOAK, D. F. The keystone-species concept in ecology and conservation. **Bioscience**, v. 43, n. 4, p. 219-224, 1993.

MITTELBAACH, G.G. et al. What is the observed relationship between species richness and productivity? **Ecology** 82, p. 2381–2396, 2001.

NADOLNY, H. S. Estado da arte das minhocas como bioindicadoras da qualidade dos solos Brasileiros. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)** Universidade Federal do Paraná - PR, p. 148, 2017.

NADOLNY, H. et al. Recommendations for assessing earthworm populations in Brazilian ecosystems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, n. 3, 2020.

NOVAK, E. et al. Biomass and microbial activity of soil under different vegetal surfaces in The Cerrado - Atlantic Rainforest. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 3, 2022.

OLIVER, I.; BEATTIE, A. J. A possible method for the rapid assessment of biodiversity. **Conservation Biology**, v. 7, p. 562-568, 1993.

OLIVER, I.; BEATTIE, A. J. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. **Conservation Biology**, v. 10, p. 99-109, 1996.

ORGIAZZI et al., 2016. **Global soil biodiversity atlas**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. 176 p.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF : **Embrapa**, 2015. 372 p.

PERFECTO I, VANDERMEER, J. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: a new conservation paradigm. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1134, p. 173–200, 2008.

PIMENTEL, M. S. et al. Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 545–552, 2011.

POLISHCHUK, L.V.; BLANCHARD, J.L. Uniting discoveries of abundance-size distributions from soils and seas. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 34, p. 2–5, 2019.

PORRE, R. J.; VAN GROENIGEN, J. W.; DE DEYN, G. B.; DE GOEDE, R. G.; & LUBBERS, I. M. Exploring the relationship between soil mesofauna, soil structure and N<sub>2</sub>O emissions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 96, p. 55-64, 2016.

POSEY, D. A. Etnoentomologia de tribos indígenas da Amazônia. In: RIBEIRO, D. (Ed.). **Suma Etnológica Brasileira Etnobiologia**. Petrópolis, RJ: Vozes/Finep, p. 251-272, 1986.

POTAPOV, A. et al. Global monitoring of soil animal communities using a common methodology. **Soil Organisms**, v. 94, n. 1, p. 55–68, 2022.

PULLEMAN, M. et al. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 529–538, 2012.

REZENDE, M.Q., et al. Extrafloral nectaries of associated trees can enhance natural pest control. **Agriculture, Ecosystems & Environment** (Print), v. 188, p. 198-203, 2014.

ROCHA, A. F. B. et al. Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas Agroecológicos no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, 2022.

ROUSSEAU, L. et al. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, v. 27, p. 71–82, 2013.

SANTOS, A. et al. Minhocas como bioindicadoras da qualidade do solo em ecossistemas na Embrapa Clima Temperado (CPACT). **Documentos 418 Embrapa**, p. 37, 2019.

SOARES, E. A. A. et al. Sistemas de produção de base ecológica: Uma alternativa para o desenvolvimento sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, 2021.

SOUZA, M. E. P. Oligochaetas em solos sob sistemas de manejos a pleno sol e agroflorestal e vermicompostagem associada com pós de rochas. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Viçosa -MG, p. 43, 2010.

STEFFEN, G. Diversidade de minhocas e sua relação com ecossistemas naturais e alterados no estado do Rio Grande do Sul. **Tese** (Doutorado em Ciência do Solos) Universidade Federal de Santa Maria - RS, p. 208, 2012.

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

SWIFT, M. J. et al. Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. **Soil Biota and Global Change**, v. 4, p. 729–743, 1998.

SWIFT, M. J. et al. O inventário da biodiversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: MOREIRA, F. M. S., HUISING, E. J., BIGNELL, D. E. (Eds.). **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: Editora da UFLA, 2010, v. 1, cap. 5, p. 23-41

TAHERI, S. et al. Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 116, n. July 2017, p. 277–289, 2018.

THOMAZINI, A.; MENDONÇA, E. S.; CARDOSO, I. M.; GARBIN, M. L. SOC Dynamics and Soil Quality Index of Agroforestry Systems in the Atlantic Rainforest of Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, p. 15–24, 2015.

TORREZ, V., BENAVIDES-FRIAS, C., JACOBI, J., SPERANZA, C. I. Ecological quality as a coffee quality enhancer. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, n. 1, p. 19, 2023

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, n. 2, p. 195–276, 2002.

TUMWEBAZE, S. B.; BYAKAGABA, P. Soil Organic Carbon Stocks under Coffee Agroforestry Systems and Coffee Monoculture in Uganda. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 216, p. 188–93, 2016

VIDAL, A. et al. Earthworm cast formation and development: A shift from plant litter to mineral associated organic matter. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, n. APR, p. 1–15, 2019.

WALL, D. H. et al. Soil biodiversity and human health. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 69–76, 2015.

WARDLE, D.A.; VAN DER PUTTEN, W.H. Biodiversity, ecosystem functioning and above-ground-below-ground linkages. In: **Biodiversity and Ecosystem Functioning** (eds. M. Loreau, S. Naeem, and P. Inchausti), Oxford University Press, Oxford, p 155–168, 2002.

YAN, S. et al. A soil fauna index for assessing soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 47, p. 158–165, 2012.

YATES, M. L.; ANDREW, N. R.; BINNS, M.; GIBB, H. Morphological traits: predictable responses to macrohabitats across a 300 km scale. **PeerJ**, v. 2, p. e271, 2014.

ZAGATTO, M. R. G. et al. Soil mesofauna in consolidated land use systems: How management affects soil and litter invertebrates. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 2, p. 165–171, 2019.

ZHANG, Q. et al. Agricultural land use change impacts soil CO<sub>2</sub> emission and its <sup>13</sup>C-isotopic signature in central China. **Soil and Tillage Research**, v. 177, n. June 2017, p. 105–112, 2018.

## CAPÍTULO I – MANEJO DA AGRICULTURA NATURAL FAVORECE OS TEORES DE CARBONO DO SOLO, A ABUNDÂNCIA E A RIQUEZA DE GRUPOS DA FAUNA EDÁFICA E EPIEDÁFICA

### RESUMO

O solo é um reservatório chave de biodiversidade global e o maior reservatório de carbono, no qual, todos os organismos, desde micro a macroorganismos, apresentam papel fundamental no desenvolvimento de processos e funcionalidades. Por refletirem alterações promovidas pelo manejo e por se relacionarem com as outras propriedades do solo, a meso e macrofauna edáfica são importantes bioindicadores da qualidade do solo. A biodiversidade do solo aumenta a decomposição e a formação da matéria orgânica do solo (MOS), contribuindo para a sustentabilidade dos agros e ecossistemas. O objetivo do trabalho foi avaliar a relação entre a MOS e a macro e a mesofauna do solo cultivado com café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural. A pesquisa foi conduzida em Araponga-MG, em uma propriedade familiar agroecológica, cujo manejo utilizado é baseado nos princípios da agricultura natural. Três usos da terra foram investigados: i) solo com café em sistema agroflorestal e manejado a partir de princípios da agricultura natural (SAFN), ii) solo com café em uma propriedade vizinha, manejado de forma convencional (PSC) e iii) solo com Mata Nativa (MN). Ao final da estação chuvosa, foram coletados monólitos que foram seccionados em serapilheira, camada de 0-10 e 10-20 cm de solo, com triagem de organismos visíveis com no máximo 48 horas. Durante a coleta foram medidas umidade e a temperatura do solo. Os organismos foram contados e identificados até o menor nível taxonômico possível para obtenção de N (nº de indivíduos/m<sup>2</sup>) e S (morfoespécies). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Holm apenas para o contraste  $\hat{C}_1 = \text{SAFN} - \text{PSC}$  se,  $\hat{C}_1 > 0$  (teste unilateral). Apenas as minhocas foram pesadas permitindo obter os dados de biomassa (g/m<sup>2</sup>) e apenas para esses organismos foi aplicado um teste bilateral ( $\hat{C}_2 = \text{PSC} - \text{SAFN}$ , se  $\hat{C}_2 > 0$ ). Foi realizada caracterização química e física do solo. Foram analisados os teores de COS (carbono orgânico do solo), C-lábil (carbono lábil) e C-BM (carbono da biomassa microbiana). A abundância (N) e riqueza (S) da fauna visível na serapilheira foi maior em SAFN comparada ao PSC. No solo, PSC apresentou N e S similares ao SAFN, possivelmente em razão da abundância predominante da espécie de minhoca *Pontoscolex corethrurus*. Na serapilheira, Coleoptera adultos e larvas, Heteroptera e Auchenorrhyncha apresentaram maior N e S em SAFN comparada a PSC. Na camada 0-10 cm, SAFN apresentou maior N e S para Araneae e Gastropoda, maior S para Heteroptera e menor N para Lumbricidae. Enquitreídeos

apresentaram maior N em SAFN comparado ao PSC, em ambas as camadas de solo. Os teores de umidade do solo, de COS e C-lábil foram maiores em SAFN do que em PSC. No manejo convencional observou-se menor capacidade de retenção de água no solo e o favorecimento do estabelecimento de uma espécie de minhoca exótica invasora, a qual pode estar sendo indicadora de uma condição ambiental em gradativa perda de qualidade do solo. A não observação de enquitreídeos em PSC, os quais são intolerantes à dessecação e, sua maior abundância em SAFN, pode estar indicando uma condição de manejo sustentável em SAFN e ao mesmo tempo, condições limitantes no PSC para o armazenamento de água e proteção da biodiversidade edáfica. SAFN apresentou maiores teores de MOS, abundância e riqueza da macro e mesofauna edáfica, o que indica maior sustentabilidade desse sistema, com maior capacidade de manter a qualidade do solo e as funções ecossistêmicas desempenhadas no solo.

**Palavras-chave:** Macrofauna; mesofauna; diversidade taxonômica; indicadores biológicos de qualidade do solo.

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um grande reservatório de biodiversidade e o maior reservatório de carbono (C) da crosta terrestre. A biodiversidade do solo e a matéria orgânica do solo (MOS) são fundamentais para a saúde dos agros e ecossistemas e delas dependem a superação de crises globais, como as crises sanitárias, econômicas, climáticas, de segurança alimentar e social (Wall., 2015; Shapheer et al., 2021; FAO, 2020). A saúde dos agros e ecossistemas terrestres têm se tornado pior, em um ritmo cada vez mais acelerado (IPBES, 2019). O manejo agrícola inadequado e o desmatamento de áreas nativas para produção de monoculturas em larga escala, têm sido considerados os principais responsáveis por colocar em risco grande parte da biodiversidade e dos benefícios ecossistêmicos da Terra. Coerentemente, o declínio dessa biodiversidade tem sido considerado o limite planetário mais gravemente comprometido (Steffen et al., 2015).

O atual modelo agrícola hegemônico, baseado na utilização de insumos químicos, aplicados em especial nos monocultivos, podem alterar e até mesmo levar à eliminação de vários organismos da cadeia trófica, com impactos negativos na biodiversidade e no funcionamento do solo, habitat de uma vasta diversidade de organismos. Os monocultivos limitam a sobrevivência da fauna do solo ao limitar a disponibilidade de alimento em qualidade para os organismos (Baretta et al., 2011); além disso, podem promover condições específicas propícias apenas para determinadas comunidades de organismos devido à baixa diversidade alimentar e; podem levar a proliferação e aumento da densidade populacional de representantes específicos, que se adaptam melhor a tais condições, desequilibrando a biodiversidade edáfica (Baretta et al., 2006).

O manejo sustentável do solo, deve potencializar a sua diversidade e o seu cultivo deve ser realizado em parceria com os organismos que vivem ali. Os organismos do solo precisam de alimento, em quantidade e em qualidade, precisam de abrigo e autonomia para que sua sobrevivência e as funções que lhes são atribuídas sejam garantidas (Cardoso et al., 2018). Entretanto, as condições para potencializar os organismos do solo não são favorecidas e, especialmente a fauna, é ainda muito negligenciada (Wall et al., 2015; Jouquet et al., 2016; Sing et al., 2019; Gongalski, 2021; Shapheer et al., 2021) e, em relação a meso e macrofauna, até mesmo, definidas de forma inconsistente na literatura (Singh et al., 2019).

As pesquisas, em sua maioria, priorizam o estudo dos atributos químicos e físicos (Bottinelli et al., 2014) e os processos biológicos são negligenciados. Estes precisam ser mais bem compreendidos e pesquisados pois são a base para a busca de uma agricultura mais sustentável e de base ecológica (Mendes et al., 2015), alternativa ao modelo atual e

convencional de produção agrícola. Portanto, o estudo dos organismos que habitam os sistemas agrícolas que promovem a manutenção da biodiversidade do solo através de práticas de manejo conservacionista é fundamental para a sobrevivência de todos os seres, incluindo os humanos.

Dentre os sistemas agrícolas, encontram-se aqueles manejados de acordo com os princípios da agricultura natural. Na agricultura natural a fertilização dos solos é feita exclusivamente com o aporte de material vegetal ao solo, de preferência produzidos *in situ*, excluindo o uso de adubação de origem animal e pelo menos minimizando o uso de fontes de adubação externas à propriedade. Para isto, o uso diversificado de plantas consorciadas com a cultura de interesse e o cultivo de plantas de cobertura são premissas fundamentais. Os princípios da agricultura natural coadunam com os princípios da agroecologia, pois baseiam-se na aplicação dos princípios da ecologia nos processos de produção. Dentre os princípios, encontram-se o uso de sistemas agrícolas diversos.

Os sistemas conservacionistas, com maior diversidade de plantas, como preconizados pela agricultura natural e agroecologia, apresentam as melhores condições para o desenvolvimento da vida do solo (Paul, 2016), para a manutenção e aumentos dos estoques de carbono do solo (França et al., 2022) e, conseqüentemente, para o funcionamento do solo. Por isso, atualmente, são considerados modelos inspiradores para o desenvolvimento de novas tecnologias, como os bioinsumos (Vidal et al., 2020). O manejo da biodiversidade de espécies é fundamental para promover as sinergias entre seres humanos, cultivos agrícolas, solos, plantas e animais, com o objetivo de manter a qualidade do solo e, com isto, a produtividade agrícola, incluindo a produção de alimentos em qualidade e quantidade ao longo prazo (Gliessman, 2015). Não há trabalhos de indicadores biológicos de qualidade de solos manejados segundo os princípios da agricultura natural.

A fauna edáfica é importante bioindicador da qualidade do solo (Pulleman et al., 2012; Lavelle et al., 2022), pois ela reflete as alterações promovidas pelo manejo e, por estarem envolvidos em muitas funções, se relacionam com outras propriedades do solo, como as propriedades físicas, químicas e biológicas. O estudo da diversidade e abundância da macro e mesofauna pode ajudar no avanço do conhecimento sobre os fatores biológicos responsáveis por promover a qualidade do solo, além de auxiliar na identificação de formas de agricultura sustentáveis que contribuam para a conservação dos solos e da biodiversidade. A meso e a macrofauna do solo é composta por invertebrados que habitam ou passam algum ciclo de vida no solo. Esses organismos apresentam dimensões variando entre 0,1 e 2 mm (às vezes inconsistente tal definição) e 2 a 30 mm.

A abundância da fauna do solo, a atividade, as características das espécies e as interações entre elas e os microrganismos têm implicações diretas para a dinâmica da MOS (Tisdall e Oades, 1982; Filser et al., 2016). Por exemplo, ao mover-se e retrabalhar o solo, alimentando-se de detritos, raízes vivas de plantas, de outros organismos e todos os tipos de microrganismos que crescem neles, a fauna do solo participa ativamente de cada etapa de rotatividade da MOS. As fezes da fauna edáfica, por exemplo, formam agregados no solo afetando simultaneamente a estrutura molecular, a heterogeneidade física, a formação de substâncias húmicas e os microrganismos do solo. A formação de húmus no solo se dá principalmente pelas fezes da fauna do solo (David, 2014) e essa humificação torna a MOS menos decomponível (Dickinson, 2012), sendo, portanto, os excrementos de macroartrópodes considerados um fator de estabilização parcial da MOS (Filser et al., 2016). Devido às preferências alimentares de cada organismo da fauna edáfica, suas fezes podem variar em tamanho, forma e qualidade, o que ocorre não apenas entre grupos da fauna, mas também entre espécies dentro de um mesmo grupo. Além disso, muitos animais do solo ingerem e processam a MOS (e os microrganismos que a acompanham) no seu sistema intestinal e, essa metabolização, altera a estrutura química da MOS ingerida e pode acelerar a mineralização devido o ambiente alcalino no intestino dos invertebrados (Li e Brune, 2007).

Um ciclo regulatório mediado pela fauna do solo conecta também as raízes das plantas e a MOS. As raízes representam importante via de entrada de carbono no solo e, por sua vez, crescem preferencialmente em cavidades existentes no solo formadas principalmente pela fauna do solo (Jiménez e Lal, 2006). A fauna herbívora de raiz, por exemplo, afeta a alocação de C nas raízes e regulam amplamente a aquisição de nutrientes e a produtividade das plantas (Wardle et al., 2004). A fauna saprófita e microbívora também podem obter uma proporção significativa de energia a partir das raízes das plantas (Pollierer et al., 2007). Além disso, a fauna edáfica também desempenha um papel fundamental na distribuição da MOS e dos microrganismos associados, além de desempenhar papel fundamental no desenvolvimento da profundidade do solo. Ao fragmentarem os resíduos orgânicos e realizarem a bioturbação, a fauna edáfica distribui matéria orgânica morta e gera hotspots de matéria orgânica cada vez maiores, seja pela formação de excrementos, formação de formigueiros e cupinzeiros, que formam sinais claros de heterogeneidade física (Filser et al., 2016). Tais estruturas afetam propriedades hidráulicas e a estabilidade agregada, com consequências na sorção, degradação e emissão de carbono (Wu et al., 2013).

A fauna edáfica mais biodiversa, também é responsável pelos incrementos de COS e de C-lábil no solo (Fox et al., 2006), seja de forma direta ou indireta. Diretamente, a fauna do solo

influencia os teores de carbono por meio da formação de estruturas orgânicas e da proteção física de partículas orgânicas, originadas principalmente pela liberação de suas fezes. Indiretamente, a fauna contribui para a disseminação dos propágulos e aumento da biomassa microbiana (Fox et al., 2006), a qual é fonte de C-lábil no solo (Jenkinson & Polwison, 1976). Isso é feito por meio de sua atividade de alimentação microbiana seletiva (Bardgett, 2005), ou até mesmo pela interação simbiótica que alguns organismos da macrofauna apresentam com bactérias presentes no intestino, como é o caso das minhocas (Bernard et al., 2012), dos cupins (Jouquet et al., 2016), dos besouros (Shapheer et al., 2021) e até das formigas por exemplo. O estudo de Sapountzis et al (2015) mostrou que a microbiota endossimbionte intestinal de formigas cortadeiras, que se alimentam de culturas fúngicas, é composta por rizóbios simbioses fixadores de N, assim como outras comunidades de formigas, que apresentam comunidades intestinais simbióticas capazes de reciclar os resíduos nitrogenados (Hu et al., 2018). O maior aporte de N no solo influencia o crescimento de plantas, consequentemente, aumentando as entradas de COS no solo.

Não só a biodiversidade da fauna edáfica, mas também, as espécies que compõem tal diversidade, estão relacionadas com a disponibilidade de COS e C-lábil. Em um experimento de microcosmos, em que 96 microcosmos preenchidos com substratos compostos por solo agrícola descoberto e solo agrícola coberto com serapilheira de milho, foram inoculados com nematóides, enquitreídeos, colêmbolos e lumbricídeos em três densidades. Os resultados mostraram que os enquitreídeos foram os únicos do grupo faunístico estudado, a aumentar significativamente a biomassa microbiana, reservatório de C-lábil no solo (Fox, 2006).

Objetivou-se avaliar a relação entre a matéria orgânica do solo e a macro e a mesofauna (riqueza e abundância) do solo cultivado com café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

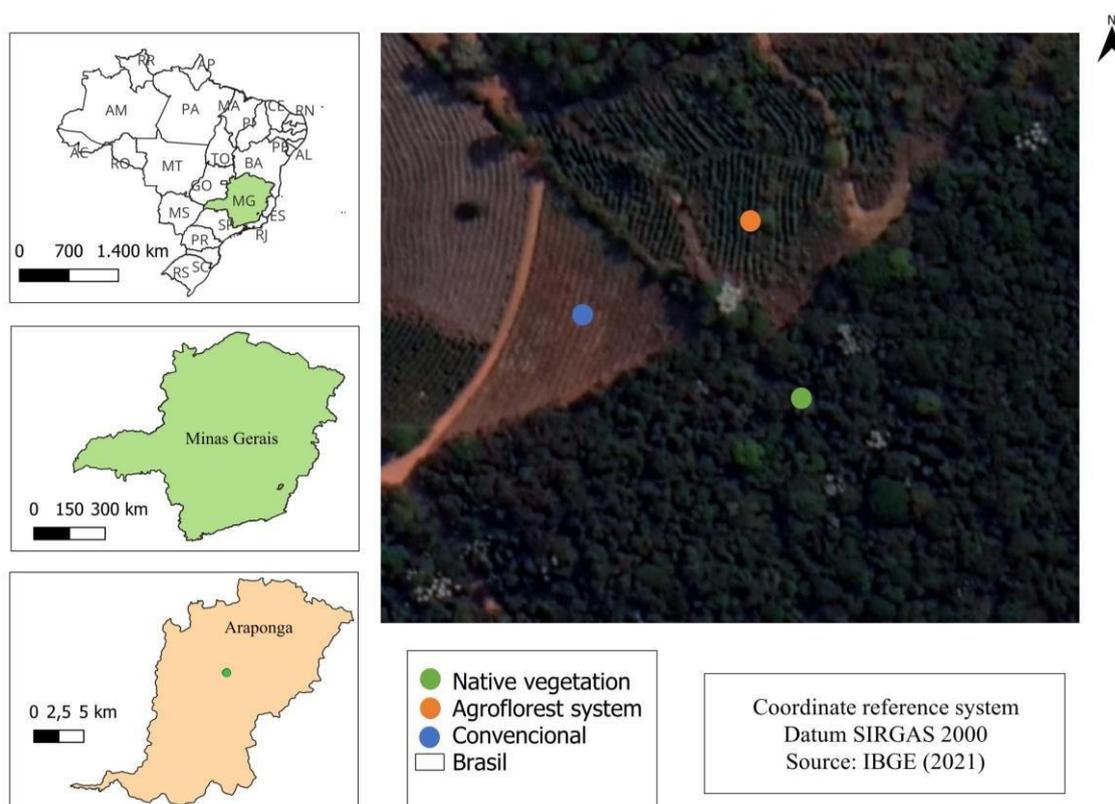
### **2.1. Localização e descrição da área de estudo**

O estudo foi realizado no Sítio Pedra Redonda, uma propriedade familiar agroecológica (-20,648, -42,499, com altitude média de 1200 m), localizada na zona rural do município de Araponga, região da Zona da Mata mineira, no domínio dos Mares de Morro Florestados (Ab'saber, 1970) no entorno do Parque Estadual Serra do Brigadeiro, uma reserva importante do bioma Mata Atlântica (Figura 1). O município, com predomínio da agricultura familiar, é

fortemente reconhecido pela tradição no cultivo de produção cafeeira, e fez parte de um longo processo participativo de transição agroecológica, iniciado em 1970.

O clima da região, segundo classificação de Koppen, é o subtropical úmido (Cwa) com temperatura média de 18 °C, ideal para o cultivo de Arábica (*Coffea arabica*), e precipitação média anual de 1.500 mm (Golfari, 1975). A região se encontra sob relevo montanhoso e com declividade variando entre 20 e 45%, onde há o predomínio da classe dos Latossolos (Embrapa, 2018).

**Figura 1.** Município de Araponga, localizado na Zona da Mata de Minas Gerais e à localização das áreas de amostragem de solo onde a pesquisa com fauna edáfica foi realizada



A propriedade estudada pertence à Edmar Lopes e sua família. Em 2003 a família iniciou a produção de café orgânico agroecológico e em 2014, iniciou a transição do primeiro talhão para o manejo seguindo os princípios da agricultura natural. Atualmente todos os nove talhões de café são cultivados seguindo tais princípios por Edmar e seu filho Pedro Lucas. No total são 12000 plantas de café consorciados com árvores espaçadas entre 10 e 20 metros. No manejo utilizado, os resíduos vegetais utilizados para a produção e fertilização do solo são produzidos *in situ*. Estes resíduos vegetais são oriundos das árvores, manejo da vegetação herbácea espontânea e ou cultivada como adubação verde e da serrapilheira da mata. O

resultado desse manejo é observado a partir da saúde e produtividade das plantas e da qualidade do café. O reconhecimento da qualidade do café é observado através de várias premiações expostas na parede da casa do agricultor. Em 2022, o agricultor teve o 1º lugar no concurso regional da COOPFAM e o 2º lugar no concurso regional da EMATER.

O talhão mais antigo com adoção do sistema de manejo natural foi selecionado para a pesquisa. Desde 2014, o talhão é certificado pela organização japonesa de Agricultura Natural Shumei. Atualmente, parte da comercialização do café é realizada via COOPFAM (Cooperativa da Agricultura Familiar), localizada em Poço Fundo -MG, como café orgânico, e outra parte pela Instituição Shumei, como Natural.

Para efeito de comparação, foram selecionadas também uma área de café convencional, localizado nas proximidades do Sítio Pedra Redonda e um fragmento de mata nativa, considerada floresta secundária, localizada no sítio. Portanto, três usos da terra compõem o estudo, sendo: (1) cafezais cultivados em sistema agroflorestal seguindo os princípios da agricultura natural (SAFN), (2) café a pleno sol convencional (PSC), (3) mata (MN- vegetação nativa).

As áreas ocupam a mesma encosta e encontram-se na mesma altitude (aproximadamente 1280 m). A área de mata forma um corredor entre as duas áreas com café com diferentes manejos (SAFN e PSC). As características e o histórico das áreas de estudo são apresentados a seguir.

### **Café em Sistema Agroflorestal manejado em acordo com os princípios da Agricultura Natural (SAFN)**

O café em SAFN (Figura 2) foi implantado no ano 2000 como café sob manejo orgânico utilizando esterco bovino até o ano de 2013. A área ocupada desta lavoura é de 0,8ha, composta por 800 plantas de café variedade Catuaí vermelho, com espaçamento de 2,3x 1,2 m. A transição da lavoura para agricultura natural ocorreu no ano de 2014, quando a adubação passou a ser realizada exclusivamente com material vegetal oriundos de fragmentos de mata e da própria lavoura. Os principais resíduos utilizados são: serrapilheira da mata, amendoim forrageiro, poda de bananeira, restos de folhas e madeira de podas das árvores, além de casca de café da própria lavoura, totalizando 30 Kg de material vegetal (verde) por planta de café por ano que é depositado na projeção da copa do café. O amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) cobre toda superfície do solo e a adubação é parcelada, sendo feita duas vezes no ano, uma em novembro e outra 45 dias depois. No momento da amostragem, as plantas apresentavam copa

baixa, pois a lavoura havia sido recepada em novembro após a colheita. O sistema apresenta o consórcio com diversas árvores, as quais encontram-se espaçadas entre 10 e 20 metros. Dentre as árvores presentes no sistema destacam-se: linhas de bananeiras (*Musa* sp.), Palmeira real (*Archontophoenix cunninghamiana*), abacateiro (*Persea americana*), capoeira branca (*Solanum argenteum*), embaúba (*Cecropia* sp.), ipê preto (*Zeyheria tuberculosa*), tambu (*Aspidosperma parvifolium*), entre outras. No controle das ervas espontâneas pratica-se a roçada e, casualmente, capinas, sendo o material disposto na projeção da copa do café para adubação. Como indicador da produção, o agricultor observa a produção dos internódios, sendo, 10 internódios por ramo, 10 frutos por internódios e folhas entre 15 e 20 cm, indicadores de boa produção

**Figura 2.** Café em sistema agroflorestal cultivado seguindo os princípios da agricultura natural (SAFN). Solo coberto com amendoim forrageiro em toda extensão do SAF; presença de árvores no sistema, Sítio Pedra Redonda, Araçuaia, Minas Gerais



Fonte: Autora

### **Café a Pleno Sol Convencional (PSC)**

Este sistema, manejado de forma convencional em monocultura de café a pleno sol (Figura 3), foi implantado no ano de 2018, com espaçamento de 2,4 x 1,0 m. A variedade plantada também é o Catuaí vermelho. Anteriormente, a área encontrava-se em pousio com predominância de samambaia. A adubação da lavoura é realizada anualmente aplicando-se

adubos químicos, aproximadamente 250 g de NPK (20-5-20) por planta por ano. O manejo das ervas espontâneas é feito com a aplicação de herbicida (RoudUp®) a cada dois anos. No momento da amostragem, as plantas apresentavam-se com copa vigorosa e estavam formando alguns grãos.

**Figura 3.** A) Café a pleno sol convencional; B) Amostragem de monólitos; C) Solo descoberto; D) Parte do solo coberto com plantas espontâneas. Araçuaia, MG

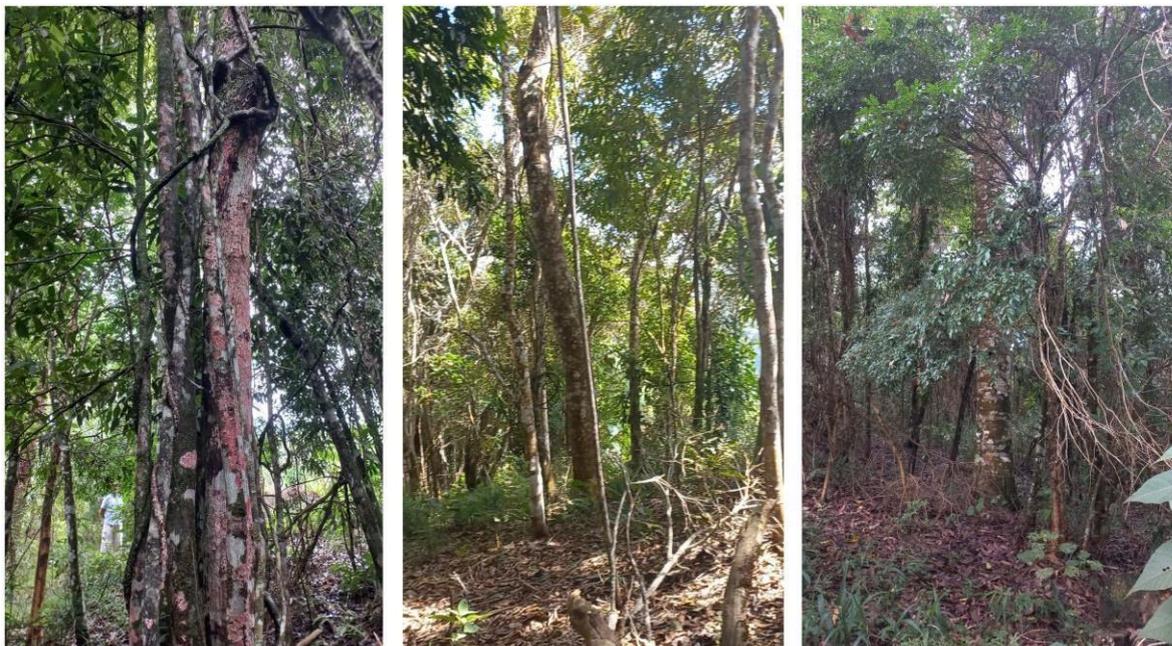


Fonte: Autora. (A) Foto cedida por Inácio Gonçalves de Souza.

### **Mata Nativa (MN)**

O fragmento de mata nativa (Mata Atlântica, Figura 4) é preservado e apresenta pouca interferência antrópica.

**Figura 4.** Área de Mata Nativa (MN). Sítio Pedra Redonda, Araçuaia, Minas Gerais.



Fonte: Autora

## 2.2. Amostragem do solo

A amostragem do solo para realização das análises do estudo foi realizada ao fim da estação chuvosa, durante o mês de abril de 2022. Com base na metodologia recomendada pelo Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), da Unesco (Anderson & Ingram, 1993) (Figura 5). Em cada uso da terra, doze monólitos ou blocos de solo (25 x 25 x 20 cm de profundidade) foram coletados. Dois transectos foram determinados em cada uso da terra, com uma distância determinada de 20 m entre eles. Em cada transecto foi realizada a amostragem de seis monólitos, sendo estes distanciados 5 metros um do outro.

Os monólitos foram retirados com o auxílio de um gabarito de ferro, pá reta, facão e enxadão e foram separados em serapilheira e duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), compreendendo 72 camadas de solo e 36 amostras de serapilheira coletadas nos três usos da terra (SAFN, PSC e MN). Após retirada de cada camada amostrada de solo e serapilheira, estas foram armazenadas em sacos plásticos e identificadas conforme a camada, repetição e uso da terra. Sub-amostras de cada camada de solo foram retiradas para determinações da MOS e para determinações químicas e físicas

**Figura 5.** Coleta de monólitos: (A) gabarito de marcação para retirada da serapilheira e dimensionamento do monólito (25 cm x 25 cm); (B) corte com facão; (C) monólito escavado até 20 cm de profundidade; (D) camada 0-10 cm do solo em SAFN. Sítio Pedra Redonda, Araponga, Minas Gerais.



Fonte: Autora

### 2.3. Análises da matéria orgânica do solo

Subamostras das camadas de solo retiradas com monólitos foram utilizadas para as análises de MOS.

#### 2.3.1. Carbono orgânico do solo (COS)

As análises de carbono orgânico do solo foram realizadas pelo método da combustão seca em analisador elementar CHNS/O Perkin Elmer Modelo 2400, onde é medido o CO<sub>2</sub> produzido após combustão da amostra de solo a 950°C.

#### 2.3.2. Carbono lábil (C-lábil)

A quantificação do carbono lábil foi realizada via oxidação com permanganato de potássio, segundo o método do “carbono ativo”, descrito por Weil et al. (2003) com modificações feitas pelos laboratórios Glover (Land Institute) e Barbercheck (universidade Estadual da Pensilvânia) e descrito por Culman et al. (2012).

### **2.3.3. Carbono da biomassa microbiana (C-BM)**

Após retirar os monólitos do solo, uma porção de aproximadamente 100 g de solo foi retirada de cada camada e armazenada em saco plástico para análise da biomassa microbiana do solo. As amostras foram rapidamente refrigeradas e transportadas para o laboratório, onde foi possível proceder com o armazenamento em freezer à temperatura (-20°C) até o momento de serem processadas para análise. A determinação da biomassa microbiana foi realizada pelo método de irradiação-extração, adaptado de Islam e Weil (1998) e a determinação do carbono da biomassa microbiana realizada de acordo com Tedesco et al. (1995).

### **2.4. Avaliação da umidade e temperatura**

A avaliação de umidade e temperatura do solo (Tabela 4) foi realizada em campo, no momento de retirada dos monólitos, com auxílio do SENSOR TDR portátil de umidade do solo (MODELO ProCheck, METER Group). Em cada uso da terra (SAFN, PSC, MN), foram feitas medidas de umidade e temperatura nas doze paredes de solo, abertas no momento de retirada dos monólitos de solo. A leitura foi feita em 4 profundidades (5, 10, 15 e 20 cm), e posteriormente, foi feita a média da leitura nas camadas 5 e 10 cm, e nas camadas 15 e 20 cm, considerando, portanto, dois valores de temperatura e umidade (camada 0-10 e 10-20 cm).

### **2.5. Caracterização química e física**

Para a caracterização química e física (Tabela 2), foi realizada uma amostragem composta das doze repetições do estudo, em cada uso da terra e para as duas profundidades do estudo (0-10 e 10-20 cm). A caracterização química foi determinada na TFSA (terra fina seca ao ar) de acordo com métodos compilados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Donagema et al., 2011) e a análise textural foi realizada de acordo com o método da pipeta, segundo Gee e Bauder (1986).

**Tabela 1.** Atributos químicos e caracterização física dos solos nos diferentes usos da terra (solos de cafezais cultivados em sistema agroflorestal seguindo os princípios da agricultura natural (SAFN), a pleno sol convencional (PSC) e mata nativa (MN)) em duas profundidades do solo (0-10 e 10-20 cm).

Atributos	SAFN	PSC	MN	SAFN	PSC	MN
	0-10 cm			10-20 cm		
pH	6,0	5,4	4,5	5,5	5,1	4,9
Al <sup>3+</sup>	0	0,1	2,07	0,26	0,44	0,69
H+Al	8,4	9,3	17,1	8,75	8,85	9,7
M	0	2,25	83,8	13,7	34,3	83,4
t	7,24	5,04	2,46	2,58	1,3	0,83
T	15,64	14,24	17,48	11,07	9,71	9,83
V	46,5	34,6	2,5	20,9	8,8	1,4
Ca <sup>2+</sup>	4,71	3,83	0,16	1,44	0,58	0,02
Mg <sup>2+</sup>	2,05	0,92	0,1	0,58	0,17	0,04
K <sup>+</sup>	187	72	50	118	41	29
SB	7,24	4,94	0,39	2,38	5,45	0,135
P	3,75	3,75	3,5	2	1,4	1,65
P-rem	17,3	17	9,5	11	10,8	8,1
MOS	10,51	8,21	12,38	7,6	6,3	6,7
Areia grossa	304	312	315	260	283	303
Areia fina	134	147	145	145	150	146
Silte	79	64	59	70	69	54
Argila	481	475	480	523	496	496
Classe textural	argilosa	argilosa	argilosa	argilosa	argilosa	argilosa

Unidades: pH em H<sub>2</sub>O, relação 1:2,5; Alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>); Acidez potencial (H+Al) (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>); Saturação por Al<sup>3+</sup> (m) (%); Saturação por bases (V) (%); Soma de bases trocáveis (SB) (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Capacidade de troca catiônica efetiva (t) (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Fósforo (P) (mg/dm<sup>3</sup>); Potássio (K<sup>+</sup>) (mg/dm<sup>3</sup>); Cálcio (Ca<sup>2+</sup>) (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>); Magnésio (Mg<sup>2+</sup>) (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Fósforo remanescente (P-rem) (mg/L); Matéria orgânica (MO) (dag/kg); Areia grossa (g/kg); Areia fina (g/kg); Silte (g/kg); Argila (g/Kg); Classe textural (SiBCS).

## 2.6. Fauna edáfica visível

### 2.6.1. Triagem

Durante a retirada dos monólitos, toda fauna visível no perfil foi coletada e armazenada para posterior identificação (Figura 6). Até 48 horas após a coleta dos monólitos toda a fauna visível aos olhos foi coletada com pinças de laboratório e armazenada em frascos com álcool 70%, os quais continham as informações relacionadas ao uso da terra, repetição e camada de solo (0-10, 10-20 cm) ou de serapilheira.

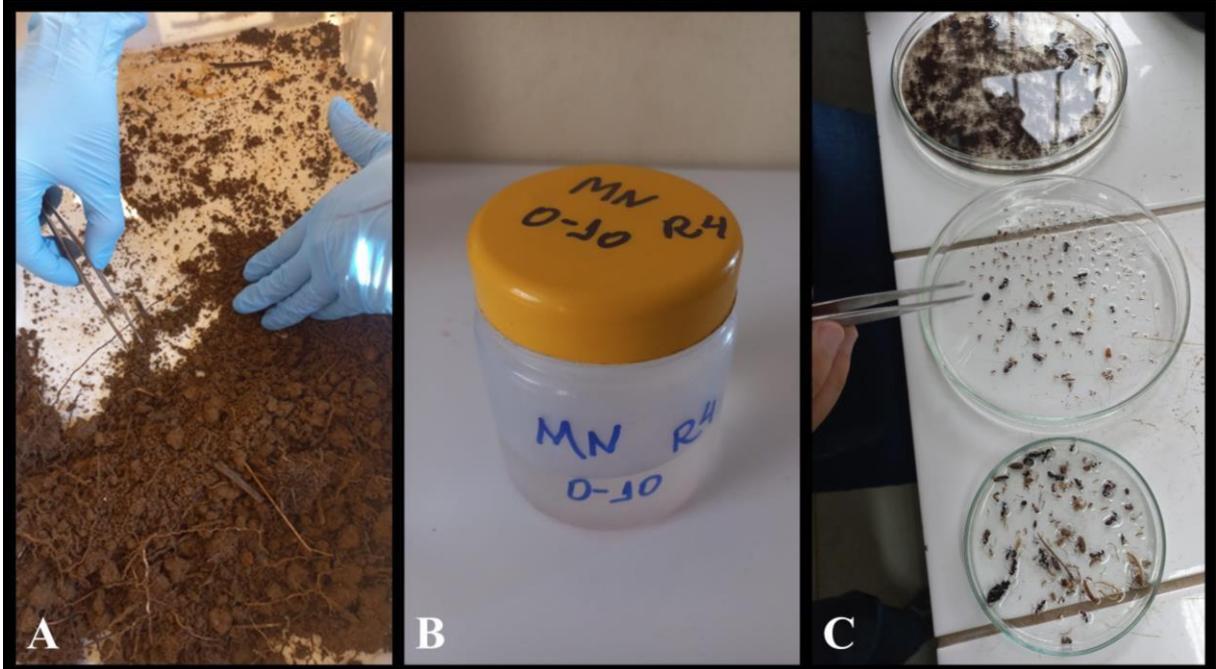
**Figura 6.** (A) Macrofauna (morfoespécie de Blattaria) coletada da trincheira no momento de retirada do monólito; (B) triagem de serrapilheira da MN; (C) macrofauna (morfoespécie de Coleoptera) coletada de camada de solo. Sítio Pedra Redonda, Araçuaia, Minas Gerais.



Fonte: Autora

Essas informações foram escritas a lápis em papel vegetal e colocadas dentro dos potes com álcool e a fauna e escritas também com marcador retroprojeter fora dos potes (Moreira et al., 2018) (Figura 7).

**Figura 7.** (A) Triagem de camada do solo em campo; (B) Frasco de armazenamento dos espécimes com álcool: Uso da terra (MN), camada (0-10), repetição (4); (C) Primeira separação em grandes grupos da amostra vinda do campo.



Fonte: Autora

### 2.6.2. Separação da fauna em grandes grupos taxonômicos

Após uma semana, as minhocas foram separadas do restante da fauna e fixadas em álcool 80% para melhor preservação. Posteriormente, as minhocas foram levadas para o Laboratório de Biologia do solo da Universidade Federal do Paraná (UFPR), e com o auxílio dos Drs: George Gardner Brown (Embrapa Florestas) e Samuel W. James (University of Kansas, USA) foram identificadas em nível de família, gênero e espécie.

Os demais organismos da fauna foram primeiramente classificados em grandes grupos taxonômicos (Classe, Subclasse, Ordem, Subordem ou Família). Os indivíduos passaram a ser agrupados por camada, em: Formicidae (esta família compõe a ordem dos Hymenoptera, mas foi avaliada separadamente devido sua abundante representatividade nos solos tropicais/ ou da região), Coleoptera (adultos e imaturos (larvas) avaliados separadamente), Lumbricidae (adultos ou juvenis e casulos avaliados separadamente), Araneae, Isoptera, Chilopoda, Diplopoda, Heteroptera, Auchenorrhyncha, Isopoda, Blattaria, Diptera (adultos e imaturos (larvas) avaliados separadamente), Gastropoda, Lepidoptera (adultos e imaturos (lagartas) avaliados separadamente), Hymenoptera (sem Formicidae), Enchytraeidae, Acari, Collembola, Pseudoescorpiones, Opiliones, Hirudinida, Neuroptera, Psocoptera, Dermaptera, Diplura, Scorpiones. Os espécimes foram separados em eppendorfs ou tubo Falcon (quando grandes) e

receberam etiquetas feitas com papel vegetal, contendo informações em relação ao uso da terra, a camada amostrada, a repetição e uma sigla para a morfoespécie.

**Figura 8.** Exemplos das unidades amostrais com os representantes de suas respectivas morfoespécies para posterior separação em grandes grupos.



Fonte: Autora

### 2.6.3. Separação da fauna em morfoespécies

A partir da classificação em grandes grupos taxonômicos, os indivíduos de cada grupo passaram a ser identificados, em lupa binocular, por suas diferenças morfológicas e a cada indivíduo identificado como diferente, fotografias foram sendo feitas para a construção do banco de dados das morfoespécies. O banco de dados fotográficos possibilitou reconhecer as morfoespécies, sendo possível fazer comparações à medida em que determinada morfoespécie já fotografada aparecia. Uma planilha de excel foi criada para anotação das abundâncias de cada morfoespécie em cada unidade amostral. Foram calculadas a abundância ( $n^{\circ}$  indivíduos/ $m^2$ ) e a riqueza ( $n^{\circ}$  de morfoespécies/área) dos grupos da fauna avaliados.

**Figura 9.** Exemplos da diversidade de espécies baseada em diferenças morfológicas: (A) larvas da Ordem Coleoptera; (B) adultos da Ordem Coleoptera; (C) Família Formicidae; (D) Família Araneae; (E) larvas da Ordem Diptera; (F) Subordem Heteroptera. Araponga, Minas Gerais.



Fonte: Autora

Continuação da **Figura 9**. Exemplos da diversidade de espécies baseada em diferenças morfológicas: (A) larvas da Ordem Coleoptera; (B) adultos da Ordem Coleoptera; (C) Família Formicidae; (D) Família Araneae; (E) larvas da Ordem Diptera; (F) Subordem Heteroptera. Araponga, Minas Gerais



Continuação da **Figura 9**. Exemplos da diversidade de espécies baseada em diferenças morfológicas: (A) larvas da Ordem Coleoptera; (B) adultos da Ordem Coleoptera; (C) Família Formicidae; (D) Família Araneae; (E) larvas da Ordem Diptera; (F) Subordem Heteroptera. Araponga, Minas.



Fonte: Autora

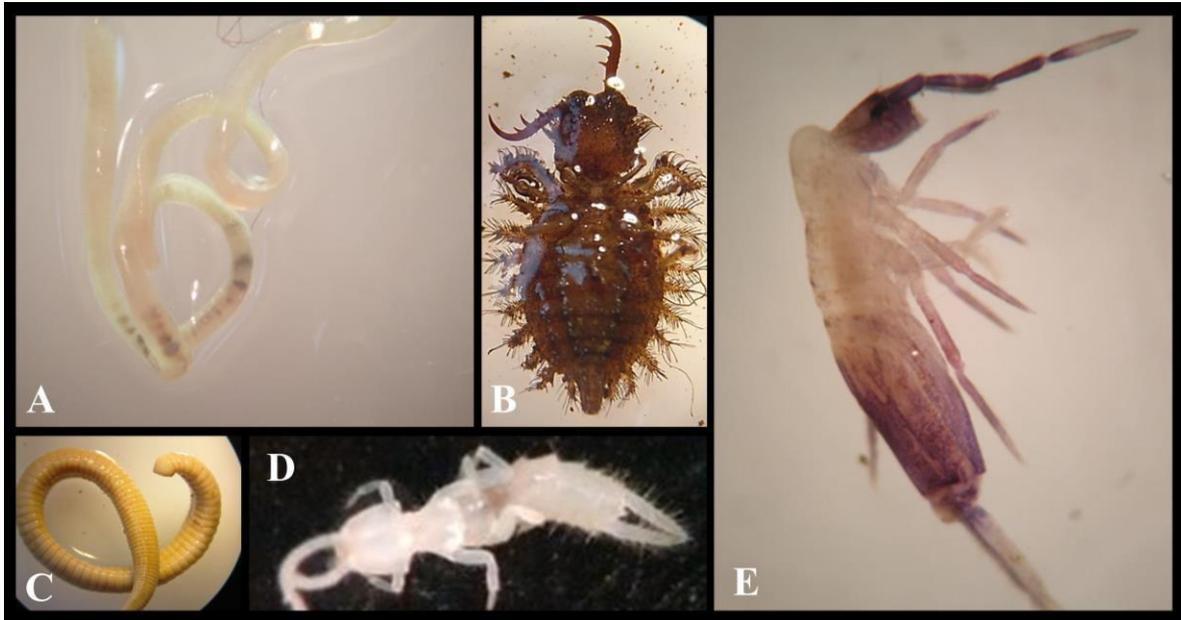
#### **2.6.4. Identificação em níveis taxonômicos mais avançados**

Para alguns táxons foi possível o auxílio de taxonomistas experientes que detalharam a classificação a níveis mais avançados. Para alguns grupos, a identificação pelos taxonomistas foi realizada através do banco de dados fotográfico criado com as morfoespécies.

As identificações via fotografias foram realizadas para Diptera, Coleoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Auchenorrhyncha. Os espécimes da classe Arachnida e superclasse Myriapoda, foram levados para o Museu de Coleções Zoológicas, do Instituto Butantã, e identificados por especialistas até os níveis mais avançados possíveis. No Laboratório de Entomologia da UFV, Formicidae e Hymenoptera foram identificados por especialistas. Os espécimes da família Lumbricidae foram levados para o Laboratório de Biologia do Solo, da Universidade Federal do Paraná e identificados pelos especialistas até o nível de espécie e gênero.

Para alguns grupos as classificações foram feitas pelo grupo de pesquisa apenas em morfoespécies, isso significa que a identificação de espécies diferentes, ou seja, a riqueza de espécies que compõe cada grupo taxonômico, foi feita baseada em diferenças morfológicas passíveis de serem observadas em lupa. Os grupos morfotipados (ou morfoespeciados) foram: Blattaria, Gastropoda, Coleoptera (apenas as larvas), Lepidoptera, Psocoptera, Dermaptera, Isopoda. Para outros grupos (Figura 10), a ausência de especialista impediu a observação de diferenças morfológicas e, por isso, não foi possível morfotipá-los, como: Collembola, Enchytraeidae, Neuroptera, Diplura e Hirudinida.

**Figura 10.** Exemplos de grupos taxonômicos não morfoespeciados: (A) Enchytraeidae, (B) Neuroptera, (C) Hirudinida, (D) Diplura e (E) Collembola.

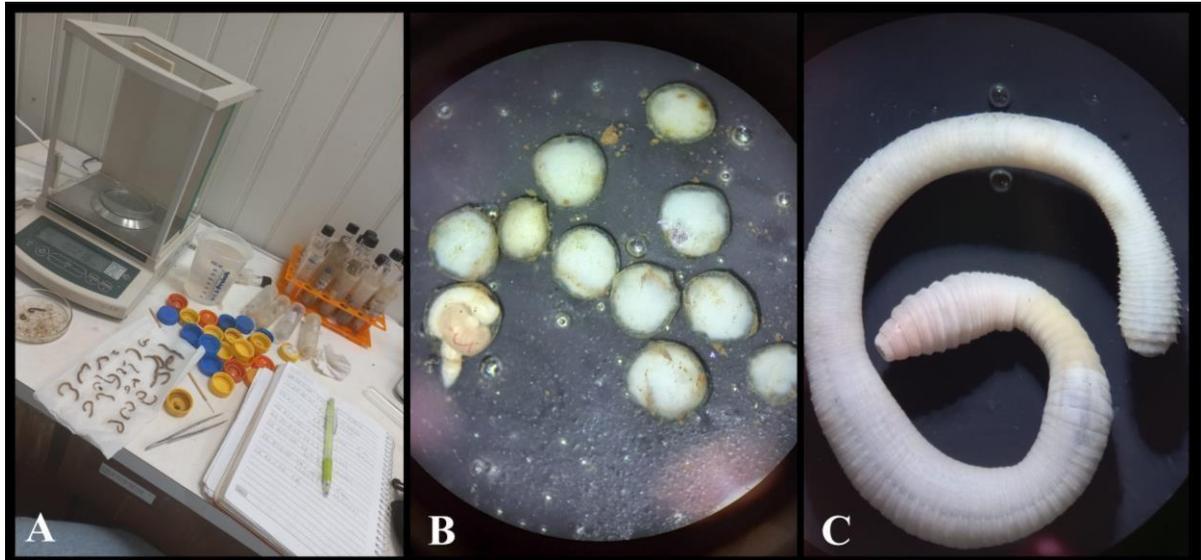


Fonte: Autora

#### 2.6.5. Determinação da biomassa da minhoca *Pontoscolex corethrurus*

Para cada tratamento, procedeu-se com a contagem dos indivíduos, permitindo obter os dados de abundância das minhocas, expresso em número de indivíduos por metro quadrado ( $\text{indiv/m}^2$ ). Realizou-se também a pesagem dos indivíduos para obtenção da biomassa, expressa em gramas de indivíduos por metro quadrado de solo ( $\text{g/m}^2$ ).

**Figura 11.** (A) Biomassa (peso) e abundância (contagem) das minhocas realizada no Laboratório de Biologia do Solo da Universidade Federal do Paraná. (B) Casulos de *Pontoscolex corethrurus*. (C) *Pontoscolex corethrurus* juvenil (conhecida como “cauda-de-escova”, (Müller, 1857)).



Fonte: Autora

## 2.7. Desenho amostral e análises estatísticas

Um estudo observacional de caráter exploratório foi utilizado (Nielsen et al., 2020). Optou-se pela adoção de um modelo estatístico inteiramente casualizado, com doze repetições e três preditores, correspondente aos usos e manejo do solo: SAFN, PSC e MN. As amostragens foram realizadas em três estratos do solo (serapilheira, camada 0-10 e camada 10-20 cm). As variáveis-respostas discretas foram submetidas à análise de variância não paramétrica (*on ranks*) (Conover, 2012) e as variáveis contínuas foram submetidas à análise de variância paramétrica, segundo o modelo descrito. As médias foram comparadas pelo teste de Holm unilateral apenas para o contraste  $\hat{C}_1 = \text{SAFN} - \text{PSC}$ , pois a hipótese central do trabalho era que a abundância e a riqueza de grupos da macro e mesofauna seria maior no SAFN do que no PSC, conforme sugere a literatura sobre sistemas agroflorestais. Apenas para minhocas, a hipótese inversa  $\text{SAFN} < \text{PSC}$  também foi testada (Holm bilateral), visando não comprometer o poder estatístico do teste para os demais grupos da fauna.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Carbono Orgânico do Solo, Carbono Lábil e Carbono da Biomassa Microbiana**

Os teores de COS e C-lábil foram maiores na camada superficial (0-10 cm) e decresceu com o aumento da profundidade (10-20 cm) nos três usos do solo avaliados (Tabela 3). Em ambas as profundidades, os teores diferiram ( $p < 0,05$ ) entre SAFN e PSC. De 0-10 cm, o teor de COS variou de 5,4% (PSC) a 8,2% (SAFN). Em relação à MN, em média, os teores de COS em SAFN foram 16,4% e em PSC 34,3% menores. Os teores de C-lábil variaram de 3,14 (PSC) a 3,95 g. Kg<sup>-1</sup> (SAFN). Em relação à MN, os teores de C-lábil foram em média 2,8% maior em SAFN e 18,22% menor em PSC.

Na profundidade de 10-20 cm, o teor de COS variou de 3,5 (PSC) a 4,5 % (SAFN). Em relação à MN, os teores de COS, em média, foram 2,85 maior em SAFN e 19,6% menor em PSC. Para o C-lábil, os teores estiveram entre 1,7 (PSC) e 2,51 g. kg<sup>-1</sup> (SAFN). Em relação à MN, os teores de COS foram 15% maiores em SAFN e 19,9% menores em PSC.

C-BM não diferiu ( $p < 0,05$ ). Na profundidade de 0-10 cm, os teores variaram de 124,65 (SAFN) a 245,80 µg C. kg<sup>-1</sup> de solo (MN) na camada 0-10 cm e na profundidade de 10-20 cm de 65 (MN) a 77,22 µg C. kg<sup>-1</sup> de solo (SAFN).

#### **3.2 Umidade e temperatura do solo**

Em ambas as profundidades (Tabela 2), a umidade do solo foi maior ( $p < 0,05$ ) em SAFN (média de 0,30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Em SAFN, na profundidade de 0-10 cm, a umidade do solo foi 23,3% maior do que em MN e 20% maior que em PSC. A temperatura do solo não diferiu ( $p < 0,05$ ) entre os diferentes usos da terra (Tabela 3).

**Tabela 2.** Carbono orgânico do solo (COS), carbono lábil (C-lábil), carbono da biomassa microbiana (C-BM), umidade e temperatura em solos de cafezais cultivados em sistema agroflorestal seguindo os princípios da agricultura natural (SAFN), a pleno sol convencional (PSC) e mata nativa (MN), em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). Araponga, Minas Gerais.

Teores de C e indicadores físicos	MN	PSC	SAFN	MN	PSC	SAFN
	0 -10 cm			10-20 cm		
COS (%)	8.18	5.39	6.85 *	4.42	3.56	4.55 *
C-lábil (g. kg <sup>-1</sup> )	3.84	3.15	3.95 *	2.11	1.69	2.52 *
C-BM (µg C. kg <sup>-1</sup> )	245.80	150.61	124.66 <sup>ns</sup>	65.00	77.13	77.22 <sup>ns</sup>
Umidade (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0.23	0.24	0.30*	0.30	0.25	0.31*
Temperatura (° C)	20.43	23.81	23.57 <sup>ns</sup>	20.32	23.58	23.09 <sup>ns</sup>

Médias seguidas por \* indicam que à média em SAFN foi estatisticamente superior à média em PSC de acordo com teste Holm unilateral (P < 0.05). <sup>ns</sup>= não significativo

### 3.3. Abundância da meso e macrofauna edáfica

Os diferentes táxons identificados nos diferentes usos da terra (Figura 12) foram apresentados segundo as famílias, ordens ou subordens. Um total de 3200 indivíduos, distribuídos em 26 táxons, sendo em 5 táxons da mesofauna e 21 táxons da macrofauna do solo, foram identificados. Formicidae, Coleoptera, Lumbricidae, Araneae, Isoptera, Chilopoda, Diplopoda, Heteroptera, Auchenorrhyncha, Isopoda, Blattaria, Diptera, Gastropoda, Lepidoptera, Hymenoptera, Pseudoscorpiones, Opiliones, Hirudinida, Neuroptera, Dermaptera e Scorpiones foram identificados como componentes da macrofauna do solo. Enchytraeidae, Acari, Collembola, Psocoptera e Diplura foram identificados como componentes da mesofauna.

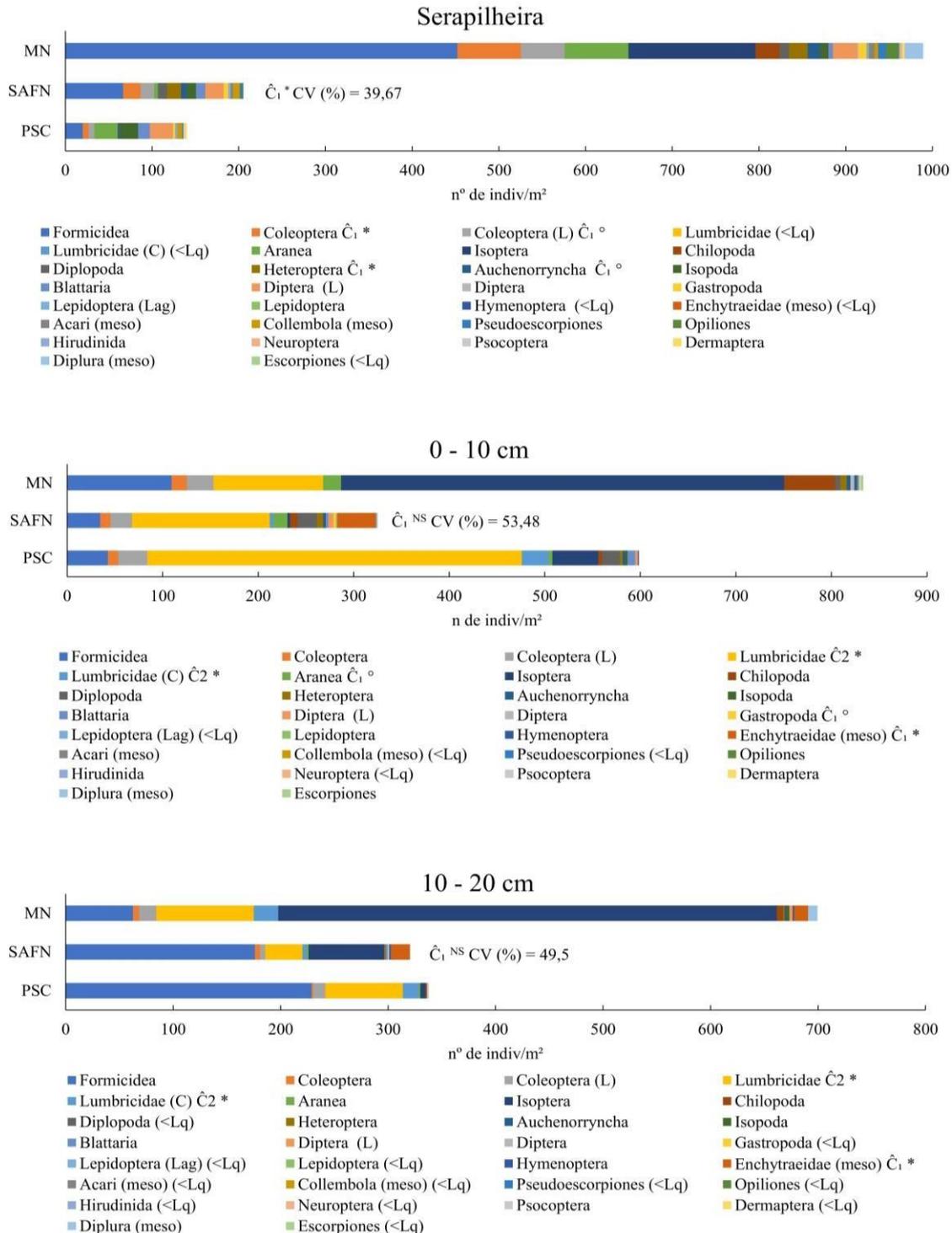
A abundância dos organismos da fauna edáfica (Figura 12) foi diferenciada nos usos da terra e profundidades avaliadas. Dentre os táxons mais abundantes, Lumbricidae, Enchytraeidae, Hymenoptera (sem Formicidae) não estiveram presentes na serapilheira. Na serapilheira, em MN, a abundância total foi de 989,33 indiv/m<sup>2</sup>, sendo os táxons mais abundantes Formicidae (452 indiv/m<sup>2</sup>), Isoptera (146,66 indiv/m<sup>2</sup>), Coleoptera (73,33 indiv/m<sup>2</sup>) e Araneae (73,33 indiv/m<sup>2</sup>). A abundância média total dos indivíduos foi maior (p < 0,05) em SAFN (205,33 indiv/m<sup>2</sup>) do que em PSC (140 indiv/m<sup>2</sup>). Em SAFN a família Formicidae também foi a mais abundante (66,66 indiv/m<sup>2</sup>), seguida de Coleoptera adultos (20 indiv/m<sup>2</sup>), Coleoptera larvas (16 indiv/m<sup>2</sup>) e Heteroptera (16 indiv/m<sup>2</sup>). Em PSC, os táxons mais abundantes foram Araneae (26,66 indiv/m<sup>2</sup>) e Isopoda (21,33 indiv/m<sup>2</sup>). Na serapilheira, a ordem Coleoptera (adultos), dos besouros, foi mais abundante (p < 0,05) em SAFN comparado a PSC, assim como a subordem Heteroptera, dos percevejos. Os organismos em estágio larval

da Ordem Coleoptera também foram ( $p < 0,10$ ) mais abundantes em SAFN do que em PSC, assim como a subordem Auchenorrhyncha, das cigarrinhas.

Na profundidade de 0-10 cm a abundância média em MN foi de 833,33 indiv/m<sup>2</sup> maior do que nos solos manejados. Na camada 0-10 cm, a abundância total de indivíduos não diferiu ( $p < 0,05$ ) entre SAFN (325,33 indiv/m<sup>2</sup>) e PSC (598,66 indiv/m<sup>2</sup>). Entretanto, a abundância de apenas uma espécie de minhoca (*Pontoscolex corethrurus*) foi responsável por 65% da abundância total em PSC. A abundância de *P. corethrurus* foi muito maior (teste Holm bilateral;  $\hat{C}_2 = *$ ) em PSC (392 indiv/m<sup>2</sup>) em relação ao SAFN (144 indiv/m<sup>2</sup>). Em relação ao PSC, em SAFN foram encontradas maior abundância de Enchytraeidae (40 indiv/m<sup>2</sup>/  $P < 0,05$ ), Araneae (14,66 indiv/m<sup>2</sup>/  $p < 0,10$ ), Heteroptera (6,66 indiv/m<sup>2</sup>/  $p < 0,10$ ) e Gastropoda (2,66 indiv/m<sup>2</sup>/  $p < 0,10$ ).

Na profundidade de 10-20 cm, a MN apresentou uma abundância de 699,51 indiv/m<sup>2</sup>. SAFN (320,26 indiv/m<sup>2</sup>) não diferiu ( $p < 0,05$ ) de PSC (337,86 indiv/m<sup>2</sup>). A abundância de Enchytraeidae (17,6 indiv/m<sup>2</sup>/  $P < 0,05$ ) foi maior em SAFN do que em PSC. Lumbricidae, composta exclusivamente por *Pontoscolex corethrurus*, foi mais abundante ( $p < 0,05$ ) em PSC (72 indiv/m<sup>2</sup>) em relação a SAFN (34,66 indiv/m<sup>2</sup>).

**Figura 12.** Abundância da macrofauna e mesofauna (meso) edáfica coletada em três extratos do solo (serapilheira, camadas 0-10 e 10-20 cm) e em três usos da terra (Mata Nativa - MN; café em pleno sol convencional - PSC; café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural – SAFN). Araponga, Minas Gerais.



$C_1 = *$  ou  $^\circ$  indica que a média dos postos do SAFN foi estatisticamente superior à média dos postos do PSC de acordo com o teste Holm unilateral ( $P < 0.05$  ou  $P < 0.10$ , respectivamente). Apenas para Lumbricidae o teste aplicado correspondeu ao teste bilateral, sendo indicado pelo  $C_2 = *$ , indicando que a média dos postos do PSC foi estatisticamente superior à média dos postos do SAFN. (L) larvas; (Lag) lagartas; (C) casulos; (<Lq) menor que o limite de quantificação.

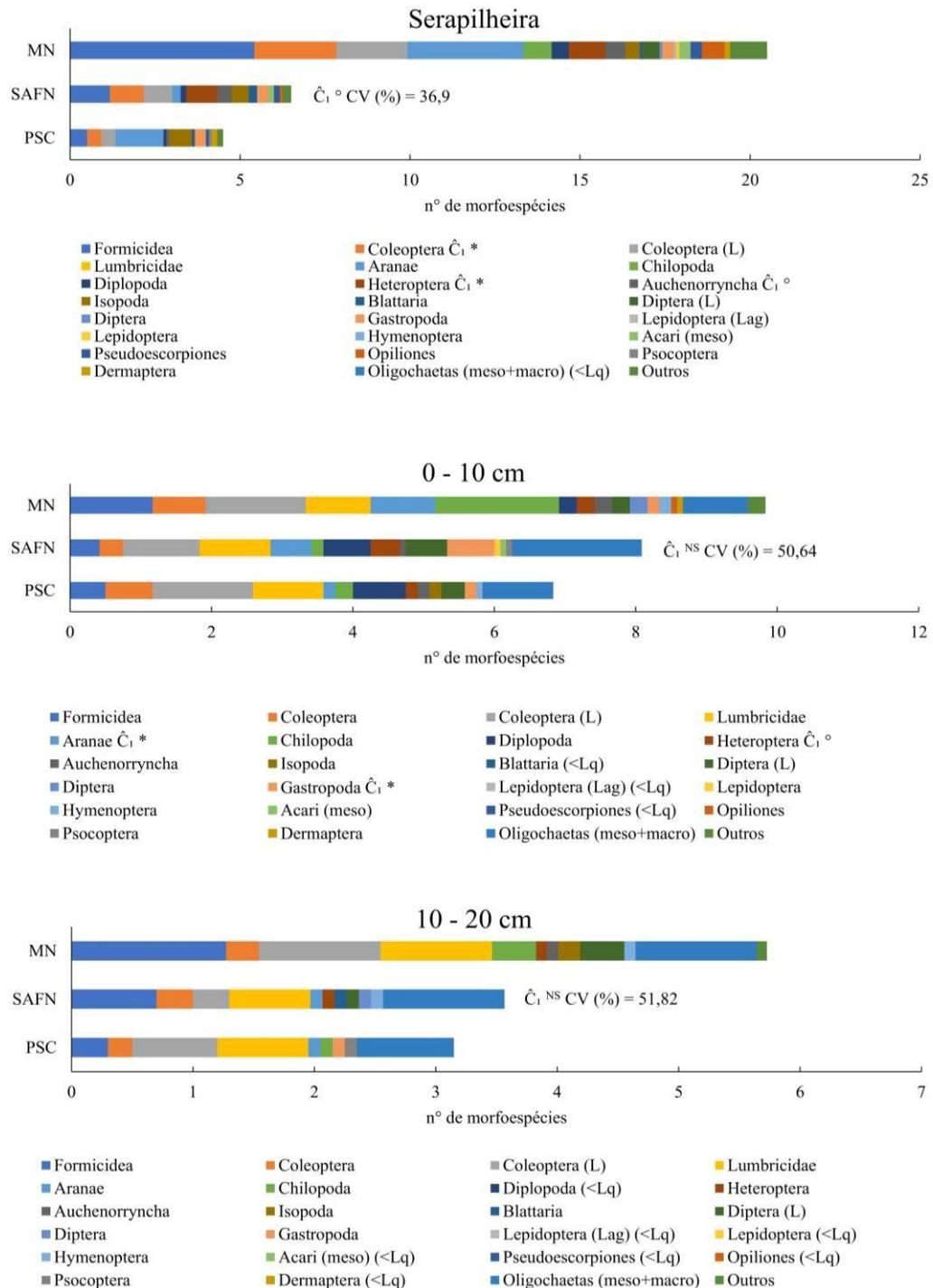
### 3.4. Riqueza da macro e mesofauna edáfica

A riqueza de organismos da macrofauna e mesofauna edáfica (Figura 13) diferiu com os usos e com as profundidades do solo. Todos os usos da terra apresentaram menor riqueza em profundidades maiores do solo. A MN apresentou uma riqueza média total de 20,5 morfoespécies na serapilheira, 9,58 morfoespécies na camada 0-10 cm e 5,72 morfoespécies na camada 10-20 cm. O SAFN apresentou, em média, 6,5 morfoespécies na serapilheira, 8,08 morfoespécies na camada 0-10 cm e 3,6 morfoespécies na camada 10-20 cm. No PSC, foi observado 4,5 morfoespécies na serapilheira, o que foi significativamente menor comparado ao SAFN ( $p < 0.10$ ), 6,83 morfoespécies na camada 0-10 cm e 3,2 morfoespécies na camada 10-20 cm.

Na serapilheira, em relação ao PSC, SAFN apresentou maiores ( $p < 0,05$ ) riquezas de Coleoptera (SAFN: 1 morfoespécies; PSC: 0,41 morfoespécies), Auchenorrhyncha (SAFN: 0,41 morfoespécies; PSC: 0,08 morfoespécies) e Heteroptera (SAFN: 0,91 morfoespécies e PSC: ausente).

Na profundidade de 0-10 cm, a riqueza total não diferiu ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas de cultivo, mas algumas famílias ou ordens diferiram e foram maiores ( $P < 0,05$ ) em SAFN, como: a família Araneae (SAFN: 0,58 morfoespécies; PSC: 0,16 morfoespécies), ordem Gastropoda (SAFN: 0,66 morfoespécies) e ordem Heteroptera (SAFN: 0,41 morfoespécies; PSC: 0,16 morfoespécies). Na profundidade de 10-20 cm, os sistemas de cultivo não diferiram ( $p < 0,05$ ) em relação à riqueza total de morfoespécies ou entre os grupos da fauna.

**Figura 13.** Riqueza da macrofauna e mesofauna (meso) edáfica coletada em três extratos do solo (serapilheira, camadas 0-10 e 10-20 cm) e em três usos da terra (Mata Nativa - MN; café em pleno sol convencional - PSC; café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural – SAFN). Araponga, Minas Gerais.



$\hat{C}_1 = *$  ou  $^\circ$  indicam que a média dos postos do SAFN foi estatisticamente superior à média dos postos do PSC de acordo com o teste Holm unilateral ( $P < 0.05$  ou  $P < 0.10$ , respectivamente). (L) larvas; (Lag) lagartas; (C) casulos; (<Lq) menor que o limite de quantificação.

### 3.5. Biomassa *Pontoscolex corethrurus*

Na profundidade de 0-10 cm, a biomassa de *P. corethrurus* foi de 16,32 g/m<sup>2</sup> em MN, 19,33 g/m<sup>2</sup> em SAFN e 58,54 g/m<sup>2</sup> em PSC, enquanto, de 10-20 cm, foi de 10,76 g/m<sup>2</sup> em MN, 4,96 g/m<sup>2</sup> em SAFN e 14,53 g/m<sup>2</sup> em PSC. Nas duas profundidades, a biomassa de *P. corethrurus* foi menor ( $p < 0,05$ ) em SAFN em relação ao PSC.

Um indivíduo de uma espécie não descrita na literatura foi encontrado nas áreas de MN e identificado ao nível de gênero (*Rhinodrilus sp.*) e, portanto, compôs os dados de abundância e riqueza da família Lumbricidae (Figura 12 e 13).

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Carbono Orgânico do Solo

O grande aporte de materiais de poda de árvores, de serapilheira e de corte de plantas de cobertura do solo, como amendoim forrageiro são importante fonte de C e energia para sustentar o processo de formação de matéria orgânica do solo, resultando nos maiores teores de COS e C-lábil em SAFN, em relação ao PSC (Tabela 2)

O C é o principal constituinte da MOS, tornando o solo um dos principais reservatórios de C do planeta e, é também importante para a agregação do solo, disponibilidade de nutrientes e atividade biológica do solo. O processo de formação da MOS envolve transferência de C e energia necessários à sobrevivência de todos os organismos do solo, os quais dependem da MOS (Baretta et al., 2011). O suprimento de COS e de nutrientes à fauna edáfica, como o N, por exemplo, ocorre através do aporte e da decomposição dos materiais orgânicos (Bardgett, 2005) de forma contínua, como ocorre em SAFN. Manter e elevar os teores de MOS dependem do aporte de C provenientes da serapilheira no solo, dos exsudatos e da biomassa radicular, da atividade biológica, das perdas de C devido à respiração do solo e à lixiviação (Benbi et al., 2015), ambos processos de entrada e perdas dependem das práticas de manejo dos cultivos agrícolas (Shang & Tiessen, 1997).

A MOS é um componente heterogêneo, com constituintes mais lábeis e mais recalcitrantes. O C-lábil pode ser uma representação dessa fração, correspondendo a compostos orgânicos mais prontamente acessíveis e mineralizados pelos microrganismos presentes no solo (Rangel et al., 2008). Os maiores teores de C-lábil em SAFN, em relação ao PSC e até mesmo em MN (Tabela 3), indicam que o manejo segundo os princípios da agricultura natural, ao propiciar o aporte de materiais orgânicos diversificados e de forma contínua, propicia entrada de nutrientes e fonte disponível de energia, para as plantas e para os microrganismos (Silva et al., 2011). Por ser rapidamente consumido pelos organismos, o C-lábil apresenta tempo breve

de permanência no solo. Com isto, ele é considerado um indicador importante para avaliar as diferentes práticas de uso do solo em curto prazo (Silva et al., 2011), pois espera-se que, práticas de manejo que aportam constantemente matéria orgânica e solos que tenham grande atividade de organismos tenham mais C-lábil no solo. SAFN, representa assim, um grande sumidouro de C em comparação com os solos sob cultivo convencional (PSC), pois o carbono que é aportado torna-se retido como MOS, reduzindo as perdas de C para a atmosfera.

O manejo de resíduos, uma prática agroecológica importante (Cardoso e Fávero, 2017; Domínguez et al., 2023), pode diminuir a susceptibilidade do C-lábil à decomposição pelo ataque microbiano (Oades, 1988; Shang & Tiessen, 1997), pois os resíduos influenciam a formação de agregados no solo, os quais são responsáveis pela proteção física do C-lábil, que se encontra no interior dos agregados. Esta proteção é importante para a dinâmica dos agro e ecossistemas, pois fornece uma fonte contínua de energia e nutrientes para os organismos edáficos, que irão acessar o C-lábil dentro dos agregados conforme ele é gradualmente liberado através dos processos de decomposição (Six e Paustian, 2014). Além disso, a presença do C-lábil dentro dos agregados pode sustentar uma comunidade edáfica mais diversificada (Wagg et al., 2014), visto que os agregados oferecem um ambiente protegido e estável para determinados grupos da fauna edáfica, além de regular processos importantes, como a regulação da aeração e umidade do solo. O C-lábil ajuda a estabilizar esses agregados. Por exemplo, os microrganismos do solo ao utilizarem o C-lábil como fonte de energia, liberam substâncias pegajosas que promovem a agregação do solo e, essa agregação, cria espaços porosos que facilitam a movimentação do ar e que atuam também absorvendo e retendo a água das chuvas (Oades, 1988).

Assim como o C-lábil retido nos agregados contribui para uma fauna edáfica mais biodiversa, o inverso também acontece. Uma fauna edáfica mais diversa também contribui para os incrementos de C-lábil e de COS (Fox et al., 2006), seja de forma direta ou indireta. Diretamente, através da deposição de suas fezes no solo, a fauna edáfica contribui formando estruturas orgânicas no solo, as quais conferem proteção física às partículas orgânicas. Indiretamente, através da sua atividade de alimentação microbiana seletiva ou até pelas relações simbióticas (Kleppzig, 2009; Lavelle, 1995) sustentadas pela fauna e os microrganismos, a fauna mais biodiversa contribui para a disseminação dos propágulos e aumento da biomassa microbiana, a qual é fonte de C-lábil no solo. No entanto, não só a biodiversidade da fauna edáfica, mas também as espécies que compõem tal diversidade, estão relacionadas com a disponibilidade de COS e C-lábil. Fox (2006) sugeriu em seus estudos que, alguns gêneros de enquitreídeos podem ser considerados grupos insubstituíveis para a formação de C-lábil no

solo, visto que, ao inocular diversos grupos da fauna em experimentos de mesocosmos, alguns gêneros de enquitreídeos foram os únicos a aumentar significativamente a biomassa microbiana.

A diversidade de espécies de plantas, em especial arbóreas, como em SAFN, influencia a quantidade e a qualidade da matéria orgânica aportada ao solo (Korboulewsky et al., 2016; Cozim-Melges et al., 2024). Através da queda de folhas, cascas, galhos e raízes mortas, as árvores contribuem para o início de formação da MOS a partir do processo de decomposição desses materiais, que, para além da decomposição, contribui para a ciclagem de nutrientes do solo (Paul, 2016). As raízes vivas, por sua vez, exsudam uma variedade de compostos orgânicos que são fonte de energia e nutrientes para os microrganismos do solo e para uma diversidade de organismos da fauna edáfica. Assim, as raízes estimulam o aumento da atividade microbiana no solo e, conseqüentemente, contribui para a formação de agregados, decomposição da MOS e formação de húmus, o que leva a uma maior estabilidade da MOS (Bonkowski et al., 2009). As raízes das árvores também favorecem a dinâmica da MOS ao penetrarem no solo criando canais e espaços porosos que facilitam a infiltração de água e a aeração do solo, isso cria condições adequadas para a decomposição da MOS (Filser et al., 2016). Sombras e abrigos para os organismos do solo também são fornecidos pelas árvores, o que favorece a formação de microambientes favoráveis para a decomposição e formação da MOS. A matéria orgânica influencia, por sua vez, a diversidade de espécies do solo e acima do solo (Hooper et al., 2000). Por sua vez, a diversidade do solo é responsável pelos efeitos nos teores de COS e C-lábil.

As transformações da MOS se iniciam a partir dos compostos mais lábeis, o que faz desta fração um indicador sensível da dinâmica do carbono no sistema e da qualidade do solo (Bendi et al., 2014). Algumas espécies de plantas, em especial as leguminosas como o amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) possuem compostos mais lábeis do que alguns resíduos originados das árvores ou mesmo da serrapilheira. Com isto, o amendoim forrageiro plantado nas entrelinhas do SAFN, de fato, está contribuindo para os maiores teores de COS e de C-lábil no sistema. A prática da adubação verde com leguminosas junto aos cultivos tem sido associada aos maiores teores de COS (Gentsch et al., 2020), confirmando que as estratégias de manejo dos resíduos em seu conjunto, como feito em SAFN, tem de fato contribuído para a melhoria da qualidade do solo. Ao contrário, práticas de manejo como em PSC, em monocultivo, com o solo descoberto e uso de adubos químicos e herbicidas podem promover a depreciação do carbono orgânico do solo, e conseqüentemente da qualidade do solo (Merlo et al., 2022).

A maior biomassa das plantas de café em PSC não foi suficiente para incrementar C no solo. No momento da amostragem do solo, observou-se que a copa do café convencional se

apresentava bem mais robusta que em SAFN, devido a poda que havia sido feita no SAFN no mês de novembro (média 4 a 5 meses anterior à amostragem). A copa do café mais alta em PSC foi suficiente apenas para manter a temperatura do solo em graus similares aos SAFN (Tabela 2), mas não favoreceu a umidade do solo (Tabela 2), os teores de nutrientes (Tabela 1) e os teores de carbono no solo (Tabela 2). Em SAFN, o agricultor, por meio de seu trabalho no manejo dos resíduos, oriundos de insumos gerados na propriedade, promoveu melhor qualidade do solo do que em PSC, manejado com insumos externos. Essa prática, ao fim, resulta em maior renda para o agricultor que não precisa comprar seus insumos, afinal, o que importa “é a sobra”, conforme ele mesmo declara (Fontes, 2023).

#### **4.2. Abundância e riqueza da fauna edáfica**

Em nosso estudo, os dados de abundância e da meso e macrofauna riqueza (Figura 12 e 13) indicaram que, de fato, a conversão de ecossistemas naturais para a agricultura diminuiu tanto a diversidade de plantas acima do solo como a diversidade de organismos da fauna edáfica abaixo dele, corroborando (Lavelle et al., 1994; Lavelle 1996; Wardle e Lavelle 1997). Na serapilheira da MN (Figura 12 e 13), a abundância e riqueza de espécies foi muito maior que em SAFN, cujas diferenças significativas foram observadas em relação ao PSC e cujo manejo se prova conservacionista (Souza, 2023), reproduzindo dentro dos limites possíveis os padrões da natureza, com uma alta diversidade de espécies de plantas no sistema.

A mesofauna e macrofauna do solo são sensíveis a mudanças de uso e manejo do solo (Lavelle et al., 2006). Uma comunidade edáfica mais desenvolvida e diversificada é geralmente observada em solos de alta qualidade, caracterizados por elevados níveis de matéria orgânica, sujeitos a mínimas perturbações, com adoção de técnicas de manejo sustentáveis (Gebremikael et al., 2016; Menta & Remelli., 2020). A diversidade acima do solo pode promover a diversidade no solo, ou vice-versa (Anderson 1994).

O manejo convencional, como em PSC, com preparo intensivo do solo, sem cobertura de solo, provoca alterações no microclima do solo (Tabela 2), desorganizando fisicamente os habitats da fauna pela redução da estabilidade dos agregados e da matéria orgânica do solo (Tabela 2). Aliado a isso, o uso de pesticidas pode ter contribuído diretamente para a redução da abundância (Figura 12) dos principais grupos da fauna (Sofa, Mininni & Ricciuti, 2020).

A maior abundância e riqueza de morfoespécies epigéicas em SAFN (Figura 12 e 13) é consequência da maior diversidade de material depositado na superfície como fonte de nutrição para as plantas e para os organismos do solo (Moreira et al., 2008; Zagatto et al., 2019; Dominguez et al., 2023). Em SAFN encontram-se os pseudocaulos de bananeiras, os resíduos

de amendoim forrageiro, as cascas de café, os resíduos de materiais de poda e a serapilheira recolhida da mata. Esses materiais apresentam diferentes graus de labilidade que induzem a palatabilidade para a fauna edáfica (Shapheer et al., 2021). Esta maior diversidade de plantas no sistema agrícola compôs uma maior diversidade de alimentos para a mesofauna e macrofauna do solo (Korboulewsky, Perez e Chauvat, 2016; Melo, Souza e Santos et al., 2019), que favorece os processos de ciclagem de nutrientes e os serviços ecossistêmicos desempenhados por essa comunidade. Dentre estes serviços encontra-se a produção de café em SAFN. Observou-se no campo boa sanidade do café e o agricultor informou que sua produtividade não difere do agricultor convencional, que utiliza insumos externos (Fontes, 2023)

A maior abundância e riqueza de coleópteros, inclusive na fase larval em SAFN (Figura 12 e 13) pode ser atribuída a maior diversidade de plantas e resíduos, inclusive com galhos e cascas de árvores depositadas ao solo, pois estes são os habitats principais de algumas espécies de larvas de besouro (Fahri et al., 2016). Determinadas larvas dos besouros desempenham um papel importante na decomposição da madeira, tornando esses organismos bons indicadores biológicos de manejo que aporta matéria orgânica ao solo, uma vez que dependem da disponibilidade de madeira morta (Menta e Remelli, 2020). As larvas dos besouros encontraram na diversificada camada de serapilheira nichos adicionais para o seu desenvolvimento (Demetrio et al., 2020). O não uso de agrotóxicos, como em SAFN, favorece as populações de besouros (Domínguez et al., 2023). Práticas da agricultura ecológica, como em SAFN, com maior diversidade vegetal, favorece a vida do solo de forma geral. McArthur et al (1988) correlacionou a maior riqueza de espécies de bactérias no solo com a maior diversidade de substratos orgânicos após observar maior diversidade genética de *Pseudomonas* com o aumento da heterogeneidade dos substratos orgânicos, indicando que, as bactérias que vivem numa comunidade vegetal com diversas espécies encontrariam uma maior diversidade relativa de possíveis substratos.

A maior abundância e riqueza das subordens Heteroptera e Auchenorrhyncha em SAFN também podem ser atribuídas ao manejo deste sistema. Estas subordens pertencem à ordem Hemiptera. As espécies da subordem Auchenorrhyncha são conhecidas como cigarrinhas e são fitófagas, enquanto as espécies da subordem Heteroptera são conhecidas como percevejos e podem ser fitófagas ou predadoras. As espécies fitófagas se alimentam do floema, xilema ou perfuram células vegetais (Paiva et al., 2020) e podem causar perdas na produtividade e qualidade dos grãos de café (Ahmed; Murungi; Babin, 2016), mas isto não foi observado em SAFN e não foi relatado pelo agricultor (Fontes, 2023). As interações entre organismos

decompositores podem influenciar o desempenho de grupos tróficos superiores que vivem acima do solo, como no caso dos herbívoros, que podem ser beneficiados por uma nutrição melhorada das plantas devido à atuação dos organismos detritívoros (Bargett, 2005). Lavelle et al (1995) propôs a hipótese do “primeiro elo de uma cascata de efeitos”, onde a diversidade de plantas leva a produção de diversos exsudatos de raízes, levando ao aumento da diversidade da microflora mutualística do solo gerando efeitos no aumento da diversidade de outros grupos de animais do solo. Esta diversidade não necessariamente atinge o nível que causa danos às plantas (Barzman et al., 2015; Brévault e Clouvel, 2019; Deguine et al., 2022).

Portanto, a maior presença de organismos fitófagos em SAFN não necessariamente é evidência de dano ao café e prejuízo ao agricultor (Barzman et al., 2015; Deguine et al., 2022), mas sim um indicador de que o manejo da agricultura natural está proporcionando maior disponibilidade de nutrientes no solo e nos tecidos das plantas, o que favorece a diversidade (Lawton, 1983). Por exemplo, a microfauna que se alimenta de bactérias, aumenta indiretamente a abundância e biomassa de pulgões em brotos de cevada, devido aos seus efeitos positivos na ciclagem de N do solo e no estado nutricional da planta (Bonkowski et al., 2000), sem necessariamente causar danos à cevada.

O efeito de diferentes cultivos (plantio direto e integração lavoura-pecuária) sobre as propriedades químicas do solo, a composição da fauna edáfica e a qualidade do solo foi estudado por Silva et al (2022). Seu estudo mostrou que elevados valores de índice de qualidade do solo são observados em sistemas de plantio onde a manutenção de habitat e energia para fauna do solo são considerados, pois contribuem para o estabelecimento de uma teia trófica diversificada (com presença de indivíduos herbívoros, transformadores de serapilheira, predadores e engenheiros do ecossistema) e para a provisão dos serviços ecossistêmicos, favorecendo a ciclagem dos nutrientes. Tal estudo evidencia que há importantes ligações indiretas que operam entre os organismos consumidores das cadeias alimentares acima e abaixo do solo e que estudos são necessários para analisar as relações ecológicas entre as teias tróficas e os organismos dos solos.

Em SAFN, as maiores abundância e riqueza de Araneae e Gastropoda nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Figura 12 e 13) são consequência de microhabitats propícios para estes organismos neste sistema de cultivo. As aranhas são um grupo mega diverso encontradas em quase todos os habitats e são conhecidas pela sua sensibilidade às mudanças nas condições do habitat, sendo úteis nos estudos de qualidade ambiental (Ibarra-Nuñez, 2014). Os sistemas de cultivo, como em SAFN, que proporcionam sombra as plantações de café desempenham um papel importante nas estruturas das comunidades de aranhas, permitindo que as comunidades

de aranha tenham uma estrutura semelhante à de Floresta Tropical (García-García et al., 2022). Em SAFN, a complexidade da estrutura vegetal, com diferenças nos microclimas, na disponibilidade de refúgios e locais de caça, sombra e profundidade da serapilheira, são consideradas fatores importantes que influenciam a densidade e a diversidade das comunidades de aranhas nos agroecossistemas (Rypstra et al., 1999; Downie et al., 1999; Pinkus et al., 2006). As aranhas são predadoras generalistas e, por isso, consideradas de alto potencial como inimigos naturais de insetos-praga (Pekár & Kocourek, 2004; Armendano & González, 2011). Elas inclusive são predadoras de insetos das sub-ordens Heteroptera e Auchenorrhyncha (Ravi et al., 2022), o que possivelmente contribui para o não alcance do nível de dano pelos organismos destas subordens em SAFN.

A ação do ambiente fresco e úmido criado pelo rico aporte de material vegetal em SAFN, possivelmente favoreceu a maior diversidade de gastrópodes (Dedov et al., 2018). Fatores físico-químicos também influenciam a diversidade de caracóis (Zaidi et al., 2021). Dentre os fatores, a matéria orgânica do solo, a capacidade de campo, a porosidade e a permeabilidade são importantes na determinação da riqueza de gastrópodes. Fatores climáticos (Ameur et al., 2021), os distúrbios antropogênicos (Belhiouani et al., 2019) e a vegetação (Damerджи, 2013) influenciam a biodiversidade e a distribuição de gastrópodes (Zaidi et al., 2021).

Além do ambiente propício ao seu desenvolvimento, a riqueza de gastrópodes também se correlaciona com o aumento da diversidade florística e da diversidade de aporte de carbono no solo (Barker e Mayhill 1999), importante para alimentação dos animais. As lesmas e caracóis (Gastropoda) se alimentam de uma ampla gama de organismos vivos ou mortos ou partes deles, como pólen, sementes, plantas vivas, serapilheira, fungos, líquens, algas e até solo. Elas são consideradas herbívoras, onívoras, detritívoras e carnívoras, mas na grande maioria, são microbívoras e alimentam-se de micróbios associados a plantas e animais em decomposição (Speiser, 2001, Potapov et al., 2022). Além disso, são consideradas presas importantes para as espécies de Carabidae (Barker, 2004).

Apesar da importância dos gastrópodes terrestres, as publicações sobre o papel destes organismos nas cadeias tróficas do solo são escassas (Potapov et al., 2022). Os autores Regnier et al (2009), Barker (2004), Belhiouani et al (2019) Zaidi et al (2021) apontam a necessidade de proteção dos moluscos em escala global. Regnier et al (2009) afirma que os moluscos são o grupo mais afetado pela extinção e que esta perda é pouco documentada. Isso está relacionado com o fato de que as espécies de invertebrados são muito mais negligenciadas do que as espécies de vertebrados, sendo poucos os taxonomistas especializados em táxons de

invertebrados (Lydeard et al., 2004, Gongalski, 2021). Os gastrópodes constituem uma parte significativa da biodiversidade global, muitas das quais ainda não foram completamente compreendidas ou estudadas (Potapov et al., 2022). O declínio populacional dessas espécies pode resultar em uma diminuição da diversidade e riqueza dos ecossistemas, além da perda de serviços ecossistêmicos, como, a ciclagem de nutrientes, a dispersão de sementes, o controle de pragas e a manutenção da qualidade da água, que podem resultar em impactos negativos em cascata em toda a cadeia alimentar.

A semelhança na abundância e riqueza total de morfoespécies nas camadas de solo (0-10 e 10-20 cm) em SAFN e PSC ocorreu devido à alta abundância (Figura 13) e biomassa (19,33 g/m<sup>2</sup> em SAFN e 58,54 g/m<sup>2</sup> em PSC) de uma única espécie de minhoca, a *P. corethrurus*. Esta é uma espécie de minhoca exótica peregrina (Brown et al., 2006; Taheri et al., 2018) que se adapta bem em diversos ambientes. Embora geófaga, a espécie não apresenta uma alta especialização alimentar, o que permite a esta espécie a capacidade de viver em diversos tipos de solo, desde arenosos a argilosos, com condições ácidas e básicas e com diferentes níveis de matéria orgânica (Lavelle et al., 1988), o que facilita sua proliferação e a permite colonizar diversos ambientes (Taheri et al., 2018).

Os benefícios que as minhocas oferecem quanto a melhoria da qualidade física do solo são inquestionáveis (Brown e Fragoso, 2007; Alves, 2010), sendo consideradas organismos chave na conservação da estrutura do ambiente. No entanto, quando se trata da dominância e multiplicação em larga escala de espécies exóticas, impactos negativos podem ser esperados (Blouin et al., 2013). A introdução de espécies exóticas é considerada a segunda maior causa de extinção de espécies, sendo a primeira causa, a perda de habitat (Chame, 2009).

A maior abundância e biomassa de minhocas geralmente é encontrada na camada 0-10 cm, a camada mais superficial do solo (Brown & James., 2007), pois é aí onde se encontram os maiores teores de matéria orgânica em decomposição, fonte de alimento para elas. No entanto, não foi a matéria orgânica que determinou a abundância da *P. corethrurus*. já que maiores teores de COS foram encontrados em SAFN e não em PSC (Tabela 2), que apresentou maior abundância e biomassa da espécie. Teores satisfatórios de matéria orgânica são indispensáveis para a qualidade dos processos do solo. Isso também significa dizer que, a maior abundância e biomassa dessa espécie em PSC não necessariamente implica em solos com bons atributos físicos, químicos e biológicos.

Por exemplo, *P. corethrurus* é resistente a desidratação. Assim, a menor umidade do solo (Tabela 2) em PSC, pode ter influenciado a presença desta espécie, ao contrário de outras espécies tropicais, muito influenciadas pelo teor de umidade no solo (Ayres e Guerra, 1981).

Segundo Demetrio et al. (2023), a ampla ocorrência de minhocas invasoras (especialmente *P. corethrurus*) na Mata Atlântica Nativa é preocupante, pois pode haver competição com a fauna nativa do solo, incluindo as minhocas nativas, que foram encontradas em MN. A espécie do gênero *Rinodrillus sp.* encontrada era até então desconhecida pela comunidade científica e até então não foi descrita ao nível de espécie.

Os mecanismos por trás da invasão e estabelecimento desta espécie peregrina ainda não são totalmente claros (Demétrio et al., 2023), mas para além das questões ambientais, a importância da influência humana neste processo é bastante considerada. Manejos que alteram o ambiente e provocam diminuição da fauna do solo favorecem a presença desta minhoca (MARICHAL et al., 2010), podendo gerar impactos drásticos aos serviços ecossistêmicos ligados ao solo, especialmente aqueles relacionados à regulação do clima e armazenamento de água.

Embora *P. corethrurus* tenha também sido encontrada em SAFN, neste sistema de cultivo foram identificados os enquitreídeos (Figura 12) e estes não foram encontrados PSC. Enquitreídeos, são representantes da mesofauna conhecidos como pequenos oligoquetas (Niva et al., 2010) que se alimentam de matéria orgânica ligeiramente ou fortemente decomposta e de microorganismos (bactérias e fungos) (Jänsch et al., 2005). A dieta deles é composta por 80% de microorganismos e 20% de matéria orgânica morta (Didden, 1993), mas algumas espécies preferem se alimentar de serapilheira não decomposta. Dessa forma, eles pertencem a mesofauna saprófaga da serapilheira e do solo mineral superior. Outros fatores importantes também são mencionados na literatura como condicionantes da distribuição espacial e temporal dos enquitreídeos, como: a temperatura do solo, o pH e o uso do solo (Jänsch et al., 2005; Postma-Blaauw et al., 2012; Pelosi & Rombke, 2016). Essas características fazem com que os enquitreídeos sejam considerados bioindicadores de solos agrícolas (Pelosi & Römcke 2016; Demétrio et al., 2020).

Enquitreídeos são pouco tolerantes à falta de umidade do solo, devido às características de sua pele lisa, permeável à água e sem proteção contra a dessecação (Jänsch et al., 2005). PSC, com teores de umidade menores, não apresentou ambiente propício aos Enquitreídeos, diferentemente de SAFN com mais umidade (Tabela 2) e muita serrapilheira diversa. Logo, o manejo dos resíduos na agricultura natural, está favorecendo a retenção da umidade no solo e estimulando a população de enquitreídeos. Os enquitreídeos são profundamente afetados pelo manejo intensivo do solo e pelo uso de pesticidas tendo sido observado em menores abundâncias e riquezas em cultivo convencional, comparado a área de mata nativa, horticultura orgânica e manejo de cultivo convencional reduzido (Demetrio et al., 2020). O uso de

fertilizante mineral com alto teor de N, como no manejo realizado em PSC, pode ser tóxico para os enquitreídeos, visto que altera o pH e a condutividade do solo (Lagerlof et al., 1989).

Dentre outros benefícios, os enquitreídeos possuem uma certa capacidade de escavação, que é considerada pequena quando comparado com a maioria das minhocas, mas que pode influenciar no fluxo de água e ar do solo (Laakso & Setälä, 1999). Nos estudos de Laakso e Setälä (1999), os efeitos da composição das espécies da fauna do solo dentro dos grupos tróficos foram avaliados em teias alimentares artificiais criadas em microcosmos e, em particular, os enquitreídeos da espécie *Cognettia sphagnetorum*, foram considerados organismos funcionalmente insubstituíveis no sistema decompositor. Isto porque, nenhuma outra combinação de espécies da mesofauna alcançou os mesmos efeitos estimulatórios no crescimento das plantas. Pelosi & Rombke (2016) ressaltam que o nível de gênero ou espécie (ou estrutura da comunidade em geral) parece ser mais sensível ao uso da terra do que à abundância, indicando que um estudo mais aprofundado nessas áreas em relação a riqueza de enquitreídeos é promissor e necessário.

Contudo, as interações da abundância, biodiversidade e interações das espécies da meso e macrofauna do solo são cruciais para a dinâmica da MOS (Filser et al., 2016). Através das atividades destes organismos, como: deposição de excrementos no solo, trituração dos resíduos vegetais aportados na superfície, passagem de solo mineral ou de resíduos orgânicos pelo trato intestinal, interações simbióticas e estímulo às atividades dos microrganismos, controle de populações e atividades de escavação e nidificação, papéis complementares a decomposição e formação de MOS são desempenhados por essa comunidade edáfica. Ao mesmo tempo, a MOS, é responsável por fornecer a base nutricional para o desenvolvimento da meso e macrofauna no solo. Manejar os agroecossistemas de forma a conservar esses componentes do solo é a chave para garantir a produtividade agrícola, a saúde do solo e a saúde ambiental a longo prazo. Apesar desta relevância, devido às limitações metodológicas e a alta complexidade de interações (Cayuela et al., 2020), a meso e macrofauna do solo tem recebido menos atenção científica do que outros organismos do solo, como fungos e bactérias. Segure-se que esforços multidisciplinares sejam aplicados de forma a desenvolver novos campos de investigação extremamente relevantes, possibilitando refletir os feedbacks interativos dos manejos agrícolas com a meso e macrofauna edáfica e a dinâmica da MOS.

## 5. CONCLUSÕES

Os princípios da agricultura natural utilizados no manejo agroecológico do café em sistema agroflorestal, com o uso de insumos vegetais produzidos localmente, com alto aporte de material vegetal, diversidade de árvores no sistema e plantas de cobertura nas entrelinhas do café apresenta potencial em promover incrementos na matéria orgânica do solo e na abundância e riqueza da macro e mesofauna edáfica, indicando que o sistema de produção aplicado é sustentável e promove a melhoria da qualidade do solo e das funções ecossistêmicas desempenhadas pelos organismos do solo. A maior diversidade de substratos depositado na superfície como fonte de nutrição para as plantas favoreceu o armazenamento de COS e C-lábil no solo, além de favorecer à retenção de água no solo e a abundância e riqueza total de organismos da macro e mesofauna epigéicas.

Diversos grupos da macro e mesofauna associados às camadas mais superficiais do solo (0-10 e 10-20 cm) também foram favorecidos pelo manejo da agricultura natural, dentre eles, a ordem Coleoptera (besouros), a subordem Heteroptera (percevejos) e Auchenorrhyncha (cigarrinhas), a ordem Gastropoda (lesmas e caracóis), a Família Araneae e a Família Enchytraeidae. Estes grupos são compostos por organismos que desempenham diversas funções no ambiente, como fitofagia, detritivoria, predação, microbívoria e onivoria. Assim, a maior abundância e riqueza destes organismos pode estar indicando um efeito positivo da diversidade de espécies de plantas e resíduos vegetais no manejo da agricultura natural para a preservação e atuação de uma diversidade de organismos da macro e mesofauna edáfica. Diante disso, esses grupos precisam ser mais bem compreendidos, pois podem estar evidenciando serem bons indicadores da qualidade do manejo sustentável. Sugere-se, portanto, que outros estudos investiguem a relação entre a diversidade dos grupos funcionais da macrofauna edáfica e a qualidade dos manejos, fortalecendo assim uma melhor construção deste conhecimento.

O solo exposto, os menores teores de COS, a adubação exclusiva com insumos químicos e o uso de herbicidas em PCS associado a redução na capacidade de retenção de água no solo, podem ter favorecido o estabelecimento de uma espécie exótica invasora, que apresenta como uma de suas características, a resistência à desidratação e a capacidade de se alimentar e sobreviver em diferentes tipos de solo. A maior abundância e biomassa desta espécie (*Pontoscolex corethrurus*) pode estar indicando uma condição ambiental em gradativa piora neste cafezal. Além disso, enquitreídeos não estiveram presentes na amostragem dos solos sob PSC, mas foram abundantes em SAFN. Do contrário à espécie *P. corethrurus*, enquitreídeos são pouco tolerantes à desidratação e podem ser bons indicadores da qualidade do manejo em SAFN, cujos teores de umidade estiveram acima de PSC.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Províncias Geológicas e Domínios Morfoclimáticos No Brasil. **Geomorfologia**, v. 20, p. 1–26, 1970.
- AHMED, A. G.; MURUNGI, L. K.; BABIN, R. Developmental biology and demographic parameters of antestia bug *Antestiopsis thunbergii* (Hemiptera: Pentatomidae), on *Coffea arabica* (Rubiaceae) at different constant temperatures. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 36, n. 3, p. 119-127, 2016.
- ALVAREZ V., V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 359 p, 1999.
- AMEUR, N., ADJROUDI, R., BACHIR, A. S., & MEBARKIA, N. Diversity and distribution patterns of land snails in the arid region of Batna (Northeast Algeria). **Ecology, Environment and Conservation**, v. 25, p. 1517–1523, 2019.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 221p, 1993.
- ANDERSON, J. M. Soil organisms as engineers: Microscale modulation of macroscale processes. In: JONES, C. G.; LAWTON, J. H. (Eds.). **Linking Species and Ecosystems**. New York: Chapman & Hall, p. 94–106, 1994.
- ARMENDANO, A., & GONZÁLEZ, A. Efecto de las arañas (Arachnida: Araneae) como depredadoras de insectos plaga en cultivos de alfalfa (*Medicago sativa*) (Fabaceae) en Argentina. **Revista de Biología Tropical**, v. 59, p. 1651–1662, 2011.
- AYRES, I.; GUERRA, R. T. Água como fator limitante para minhocas (Annelida, Oligochaeta) da Amazonia Central. **Acta Amazonica**, v. 11, n. 1, p. 77–86, 1981.
- AYRES, M. P., WILKENS, R. T., RUEL, J. J., LOMBARDERO, M. J., & VALLERY, E. Nitrogen budgets of phloem-feeding bark beetles with and without symbiotic fungi (Coleoptera: Scolytidae). **Ecology**, v. 81, p. 2198-2210, 2000.
- BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Soil organic carbon/soil organic matter. In: Soil Analysis: an Interpretation Manual. (Eds. K. I. Peverill, L. A. Sparrow, and D. J. Reuter). **CSIRO Publishing**, Melbourne, p. 159-170, 1999.
- BARDGETT, R.D. **The Biology of Soil: A community and ecosystem approach**. Oxford: Oxford University Press, 242p, 2005.
- BARETTA, D. et al. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1675-1679, 2006.
- BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, n. 1, p. 119–170, 2011.

BARKER, G. M.; MAYHILL, P. C. Patterns of diversity and habitat relationships in terrestrial mollusc communities of the pukeamaru ecological district, northeastern New Zealand. **Journal of Biogeography**, v. 26, n. 2, p. 215–238, 1999

BARKER, G. M. **Natural Enemies of Terrestrial Molluscs**. Wallingford: CABI Publishing, 2004.

BELHIOUANI, H., EL-OKKI, M. H., AFRI-MEHENNAOUI, F. Z., & SAHLI, L. Terrestrial gastropod diversity, distribution and abundance in areas with and without anthropogenic disturbances, Northeast Algeria. **Biodiversitas**, v. 20, n. 1, 2019.

CHEVALLIER, H. **L'Élevage des escargots: Production et préparation du petitgris**. 2. ed. Edit. Point Veterinaries, 1992.

BIGNELL, D.E. Termites as soil engineers and soil processors. In *Intestinal microorganisms of termites and other invertebrates*. **Springer Berlin Heidelberg**. p 183-220, 2006.

BLOUIN, M. et al. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. **European Journal of Soil Science**, v. 64, n. 2, p. 161–182, 2013.

BOTTINELLI, N. et al. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 118–124, 2015.

BONKOWSKI, M., GRIFFITHS, B., SCRIMGEOUR, C. Substrate heterogeneity and microfauna in soil organic 'hotspots' as determinants of nitrogen capture and growth of ryegrass. **Applied Soil Ecology**, v. 14, p. 37–53, 2000.

BONKOWSKI, M., VILLENAVE, C., GRIFFITHS, B. Rhizosphere fauna: the functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. **Plant Soil**, v. 321, p. 213-233, 2009.

BRÉVAULT, T., & CLOUVEL, P. Pest management: Reconciling farming practices and natural regulations. **Crop Protection**, v. 115, p. 1-6, 2019.

SINGH, D. et al. Tropical forest conversion to rubber plantation affects soil micro- & mesofaunal community & diversity. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019.

BARZMAN, M., BÀRBERI, P., BIRCH, A. N. E., BOONEKAMP, P., DACHBRODT-SAAAYDEH, S., GRAF, B., SATTIN, M. Eight principles of integrated pest management. **Agronomy for sustainable development**, v. 35, p. 1199-1215, 2015.

BOTTINELLI, N., JOUQUET, P., CAPOWIEZ, Y., PODWOJEWSKI, P., GRIMALDI, M., & PENG, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil Tillage Research**. v. 146, p. 118-124, 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Aeração e temperatura do solo. In: BRADY, N. C. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. - Porto Alegre: Ed. Bookman, p. 222-260, 2013.

BROWN, G.G.; JAMES, S.W.; PASINI, A.; NUNES, D.H.; BENITO, N.P.; MARTINS, P.T. & SAUTTER, K.D. Exotic, peregrine, and invasive earthworms in Brazil: Diversity,

distribution, and effects on soils and plants. **Caribbean Journal of Science**, v. 42, p. 339-358, 2006.

BROWN, G.G; FRAGOSO, C. *Minhocas na América Latina: Biodiversidade e Ecologia*. Londrina: **Embrapa**, 2007, 545p.

CARDOSO, I. M., et al. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, Holanda, v. 58, p. 33-43, 2003.

CARDOSO, I. M., et al. Resignificar nossas percepções sobre o solo. IN CARDOSO I.M. E FÁVERO C. **Solos e Agroecologia**, Embrapa/ABA. Brasília, pp. 33- 56, 2018.

CARVALHO, G. D., et al. Impacto do manejo da adubação nitrogenada sobre a emissão de gás de efeito estufa óxido nitroso e a produtividade de arroz irrigado no Cerrado. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, n. 52, p. 23, 2018.

CAYUELA, M. L., CLAUSE, J., FROUZ, J., & BAVEYE, P. C. Interactive feedback between soil fauna and soil processes. **Frontiers in Environmental Science**, 8, 14, 2020.

CHAME, Marcia. Espécies exóticas invasoras que afetam a saúde humana. **Ciência e Cultura**, v. 61, n. 1, p. 30-34, 2009.

Conover, W.J. The rank transformation - an easy and intuitive way to connect many nonparametric methods to their parametric counterparts for seamless teaching introductory statistics courses. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 4, n. 5, p. 432-438, 2012.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; FREEMAN, M. A.; SCHIPANSKI, M. E.; LAL, R.; BENISTON, J.; DRINKWATER, L. E.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLOVER, J. D.; GRANDY, A. S.; SIX, J.; LEE, J.; MAUL, J. E.; MIRKSY, S. B.; SPARGO, J. T.; WANDER, M. M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n 2, p. 494-504, 2012.

DAMERDJI, A. Malacological diversity on some Lamiaceae in the region of Tlemcen (Northwest Algeria). **Journal of Life Science**, v. 7, n. 8, p. 856–861, 2013.

DEDOD, I. K., FEHÉR, Z., SZEKERES, M., SCHNEPPAT, U. E., & U. E. Diversity of Terrestrial Gastropods (Mollusca, Gastropoda) in the Prespa National Park, Albania. **Acta Zoologica Bulgarica**, v. 70, n. 4, p. 469–477, 2018.

DEGUINE, J. P., AUBERTOT, J. N., FLOR, R. J., LESCOURRET, F., WYCKHUYS, K. A., & RATNADASS, A. Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 3, p. 38, 2021.

DEMETRIO, W. et al. Comparison of soil invertebrate communities in organic and conventional production systems in Southern Brazil. **Soil Organisms**, v. 92, n. 2, p. 143–156, 2020.

- DEMETRIO, W. et al. Are exotic earthworms threatening soil biodiversity in the Brazilian Atlantic Forest? **Applied Soil Ecology**, v. 182, n. February 2023.
- DÍAZ, B. S. et al. Assessing nature's contributions to people. **Science** v. 359, p. 270–272, 2018.
- DICKINSON, C. H.; PUGH, G. J. F. **Biology of plant litter decomposition**, Vol. 2. Academic Press, London, New York, 2012.
- DIDDEN, W. A. M. Ecology of terrestrial Enchytraeidae. **Pedobiologia**, v. 37, p. 2–29, 1993.
- DONAGEMMA, G.K., et al. (Orgs.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- DOMÍNGUEZ, A. et al. Agroecology and organic farming foster soil health by promoting soil fauna. *Environment, Development and Sustainability*, n. 0123456789, 2023
- DOWNIE, I. S.; WILSON, W. L.; ABERNETHY, V. J.; McCracken, D. I.; FOSTER, G. N.; RIBERA, I.; MURPHY, K. J.; WATERHOUSE, A. The impact of different agricultural land-uses on epigeal spider diversity in Scotland. **Journal of Insect Conservation**, v. 3, p. 273–286, 1999.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - **SiBCS**. 5th ed. Brasília, 2018.
- FAHRI, F.; ATMOWIDI, T.; NOERDJITO, W. A. Diversity and Abundance of Cerambycid Beetles in the Four Major Land-use Types Found in Jambi Province, Indonesia. **Hayati Journal of Biosciences**, v. 23, p. 56–61, 2016.
- FILSER, J., FABER, J. H., TIUNOV, A. V., BRUSSAARD, L., FROUZ, J., DE DEYN, G., ... & JIMÉNEZ, J. J. Soil fauna: key to new carbon models. **Soil Journal**, v. 2, n. 4, p. 565-582, 2016.
- FONTES, L. S. Edmar – legendado (1 de 9). YouTube, 23 de maio de 2023. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=3Ex5Zy1\\_ods&list=PL1sDDCXw6ji9UiHrJiWuHbWJP1k509zrH&index=1](https://www.youtube.com/watch?v=3Ex5Zy1_ods&list=PL1sDDCXw6ji9UiHrJiWuHbWJP1k509zrH&index=1). Acessado em: 29 de junho de 2023
- FOX, O. et al. Soil fauna modifies the recalcitrance-persistence relationship of soil carbon pools. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 6, p. 1353–1363, 2006
- FRANÇA, E. M.; et al. Coffee plantations can strongly sequester soil organic carbon at high altitudes in Brazil. **Soil Research**, v. 61, n.2, p; 198-207, 2022.
- GARCÍA-GARCÍA, M. Á., IBARRA-NÚÑEZ, G., MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, L., SANTOS-MORENO, A., & SÁNCHEZ-GARCÍA, J. A. Spider diversity (Arachnida: Araneae) in two different coffee management systems and surrounding tropical forest during two contrasting seasons in Oaxaca, Mexico. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 39, 2023.
- GEBREMIKAEL, M. T. et al Nematodes enhance plant growth and nutrient uptake under C and N-rich conditions. **Scientific Reports**, v. 6, p. 328-62, set. 2016. DOI: 10.1038/srep32862.

GEE, G.W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. v. 1, 2nd. Madison: SSSA, 1986. p. 383-411.

GENTSCH, N. et al. Catch crop diversity increases rhizosphere carbon input and soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, 2020.

GERLACH, A.; RUSSELL, D. J.; JAESCHKE, B.; RÖMBKE, J. Feeding preferences of native terrestrial isopod species (Oniscoidea, Isopoda) for native and introduced leaf litter. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 95–100, 2014.

GOLFARI, L. **Zoneamento Ecológico Do Estado de Minas Gerais Para Reflorestamento**. Rio de Janeiro: IBDF/FAO, 1975

GOMES, L.C.; et al. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 294, p. 106858, 2020.

GONGALSKY, K. B. Soil macrofauna: Study problems and perspectives. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 159, p. 108281, 2021.

HOLT, J. A.; LEPAGE, M. Termites and soil properties. In: ABE, T.; HIGASHI, M.; BIGNELL, D. E. (Eds). **Termites: evolution, sociality, symbiosis, ecology**. Dordrecht, Kluwer Academic Press, p.389-407. 2000

HOFFMANN, R. B. et al. Effect of soil management on microbial biomass carbon. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168–178, 2018.

HOOPER, D. U. et al. Aboveground and Belowground Biodiversity in Terrestrial Ecosystems : Patterns , Mechanisms , and. **BioScience**, v. 50, n. 12, p. 1049–1061, 2000.

IBARRA-NÚÑEZ, G. Arañas como bioindicadores. In: GONZÁLEZ, C. A. et al. (Eds.). **Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental**. San Cristóbal de las Casas, México: El Colegio de la Frontera Sur-Instituto de Ecología y Cambio Climático, p. 273–290, 2014.

INGHAM, E. R. et al. Comparison of soil biota between organic and conventional agroecosystems in Oregon, USA. **Pedosphere**, v. 15, n. 3, p. 395-403, 2005.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**. Japan: IGES, 2006, chapter 11.

IPBES. Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Edited by S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, et al. Bonn: IPBES Secretariat, 2019. 56 p..

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.

JÄNSCH, S.; RÖMBKE, J.; DIDDEN, W. The use of enchytraeidae in ecological soil classification and assessment concepts. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, vol. 62, pp. 266-277, 2005.

JENKINSON, David S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil biochemistry**, v. 5, n. 1, p. 415-471, 1981

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976.

JIMÉNEZ, J. J.; LAL, R. Mechanisms of C Sequestration in Soils of Latin America. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, p. 337-365, 2006.

JONGMANS, A. G. et al. Rock-eating fungi. **Nature**, v. 389, n. 6652, p. 682-683, 1997.

JOUQUET, P.; BOTTINELLI, N.; SHANBHAG, R. R.; BOURGUIGNON, T.; TRAORÉ, S.; ABBASI, S. A. Termites: the neglected soil engineers of tropical soils. **Soil Science**, v. 181, p. 157-165, 2016.

JOUQUET, P.; DAUBER, J.; LAGERLOF, J.; LAVELLE, P.; LEPAGE, M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. **Applied Soil Ecology**, v. 32, p. 153-164, 2006.

KARUNGI, J.; CHERUKUT, S.; IJALA, A. R.; TUMUHAIRWE, J. B.; BONABANAWABBI, J.; NUPPENAU, E. A.; OTTE, A. Elevation and cropping system as drivers of microclimate and abundance of soil macrofauna in coffee farmlands in mountainous ecologies. **Applied Soil Ecology**, v. 132, p. 126-134, 2018.

KLEPZIG, K. D. et al. Symbioses: A key driver of insect physiological processes, ecological interactions, evolutionary diversification, and impacts on humans. **Environmental Entomology**, v. 38, n. 1, p. 67-77, 2009

KORBOULEWSKY, N.; PEREZ, G.; CHAUVAT, M. How tree diversity affects soil fauna diversity: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 94, p. 94-106, 2016.

KRULL, E. S.; SKJEMSTAD, J. O.; BALDOCK, J. A. Functions of Soil Organic Matter and the Effect on Soil Properties. **Residue Management**, Soil Organic Carbon and Crop Performance, 2004.

LAAKSO, J.; SETALA, H. Sensitivity of primary production to changes in the architecture of belowground food webs. **OIKOS**, v. 87, p. 57-64, 1999.

LAGERLOF, J.; ANDRÉN, O.; PAUSTIAN, K. Dinâmica e contribuição para fluxos de carbono de Enchytraeidae (Oligochaeta) sob quatro sistemas de cultivo. **Journal of Applied Ecology**, v. 26, p. 183-199, 1989.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v. 33, p. 3-16, 1996.

LAVELLE, P.; DANGERFIELD, J. M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENER, V.; LOPEZ–HERNANDEZ, D.; PASHANASI, B.; BRUSSAARD, L. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Eds.). **The Biological Management of Tropical Soil Fertility**. Chichester (UK): Wiley, 1994. p. 137–169.

LAVELLE, P. Earthworm activities and the soil system. **Biology and Fertility of Soils**, 6, 3: 237-251, 1988.

LAVELLE, P., DECAËNS, T., AUBERT, M., BAROT, S., BLOUIN, M., BUREAU, F., MARGERIE, P., MORA, P., ROSSI, J.-P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 3-15, 2006

LAVELLE, P.; LATTAUD, C.; TRIGO, D.; BAROIS, I. Mutualism and biodiversity in soils. **Plant & Soil** v. 170, p. 23–33, 1995.

LAVELLE, P. et al. Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. *Global Ecology and Biogeography*. **Global Ecology and Biogeography**. v. 31, n. 7, p. 1261–1276, 2022

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. Springer Science & Business Media, 654 p, 2001.

LEE, K. E.; WOOD, T. G. Termites and soils. London: **Academic Press**, 1971.

LEE, K.E. Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use. Sidney, **Academic Press**, 411p, 1985.

LI, X.; BRUNE, A. Transformation and mineralization of soil organic nitrogen by the humivorous larva of *Pachnoda ephippiata* (Coleoptera: Scarabaeidae). **Plant and Soil**, v. 301, p. 233–244, 2007.

Lydeard, C., et al. The global decline of nonmarine mollusks. **BioScience**, v. 54, p. 321–330, 2004.

SINGH, D. et al. Tropical forest conversion to rubber plantation affects soil micro- & mesofaunal community & diversity. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019.

MCARTHUR, J. V.; KOVACIC, D. A.; SMITH, M. H. Genetic diversity in natural populations of a soil bacterium across a landscape gradient. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 85, n. 24, p. 9621-9624, 1988.

MELO, L. N.; SOUZA, T. A. F.; SANTOS, D. Cover crop farming system affects macroarthropods community diversity in Regosol of Caatinga, Brazil. **Biologia**, v. 74, n. 12, p. 1653-1660, 2019.

MENDES, I. C. et al. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 185–203, 2015.

MENTA, C.; REMELLI, S. Soil health and arthropods: From complex system to worthwhile investigation. **Insects**, v. 11, n. 1, 2020.

MERLO, M. N. et al. Microbiological Properties in Cropping Systems and Their Relationship with Water Erosion in the Brazilian Cerrado. **Water (Switzerland)**, v. 14, n. 4, p. 1–15, 2022.

MOREHOUSE, K., JOHNS, T., KAYE, J., KAYE, M. Carbon and nitrogen cycling immediately following bark beetle outbreaks in southwestern ponderosa pine forests. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2698–2708, 2008.

MOREIRA, F.M.S.; HUISING, J.; BIGNELL, D.E. Manual de Biologia dos Solos Tropicais. Amostragem e Caracterização da Biodiversidade. **Lavras: UFLA**, 368p, 2018.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. **Soil Biodiversity in Brazilian Ecosystems**. Lavras, MG, Brazil: Editora UFLA, 2008.

NAVIA, J. F.; DELGADO-GUALMATAN, W. L.; LAGOS-BURBANO, T. C. Macrofauna evaluation in two coffee agroforestry systems. **Revista de Ciências Agrícolas**, v. 38, n. 2, p. 89–98, 2021.

NIVA, C. C.; RÖMBKE, J.; SCHMELZ, R. M.; BROWN, G. G. Enquiteídeos (Enchytraeidae, Oligochaeta, Annelida). In: **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, p. 351-365, 2010.

NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa, MG; **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1117 p. 2007

NOVAK, E. et al. Biomass and microbial activity of soil under different vegetal surfaces in the Cerrado - Atlantic Rainforest. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 3, 2022.

OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v. 5, n. 1, p. 35–70, 1988.

PAIVA, I. G. et al. Differences in the insect fauna associated to a monocultural pasture and a silvopasture in Southeastern Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, 2020.

PAUL, E. A. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 98, p. 109–126, 2016.

PEKÁR, S.; KOCOUREK, F. Spiders (Araneae) in the biological and integrated pest management of apple in the Czech Republic. **Journal of Applied Entomology**, v. 128, n. 8, p. 561–566, 2004.

PELOSI, C.; RÖMBKE, J. Are Enchytraeidae (Oligochaeta, Annelida) good indicators of agricultural management practices? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 100, p. 255–263, 2016.

PEREIRA, J. de M. et al. Edaphic fauna and its relations with chemical, physical and microbiological attributes in Araucaria forest. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 242–257, 2020

PIMENTEL, M. S.; DE-POLLI, H.; AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; ROUWS, J. R. C. Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 545-552, 2011.

POTAPOV, A. M., et al. Feeding habits and multifunctional classification of soil-associated consumers from protists to vertebrates. **Biological Reviews**, v. 97, n.3, p. 1057-1117, 2022.

PINKUS, M., IBARRA-NÚÑEZ, G., PARRA-TABLA, V., GARCÍA-BALLINAS, J., HÉNAUT, Y. Spider diversity in coffee plantations with different management in Southeast Mexico. **The Journal of Arachnology**, v. 34, p. 104–112, 2006.

POLLIERER, M., LANGEL, R., KÖRNER, C., MARAUN, M., e SCHEU, S. The underestimated importance of belowground carbon input for forest soil animal food webs. **Ecology Letters**, v. 10, p. 729–736, 2007.

POSTMA-BLAAUW, M. B., de GOEDE, R. G. M., BLOEM, J., FABER, J. H., BRUSSAARD, L. Agricultural intensification and de-intensification differentially affect taxonomic diversity of predatory mites, earthworms, enchytraeids, nematodes and bacteria. **Applied Soil Ecology**, v. 57, pp. 39-49, 2012.

PULLEMAN, M. et al. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 529–538, 2012.

RAVI, G., MOHAPATRA, L. N., REVANTH, T., RAHMAN, S. M., & KUMAR, V. S. Ecological guild and predatory behavior of spider fauna (Arachnida: Araneae) in rice agro ecosystem. **Environment and Ecology**, v. 40, n. 2C, p. 1021-1027, 2022.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. Sistema radicular do cafeeiro: Estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: **EPAMIG**, Documentos, 37, 80p, 2000.

RESENDE, Á. V. et al. Solos de fertilidade contruída: cracterísticas, funionamento e manejo. **Informações Agronômicas N° 156**, dezembro, 2016. Intenational Plant Nutrition Institute - Brasil, n. 19, p. 1–19, 2016.

RULL, E. S.; SKJEMSTAD, J. O.; BALDOCK, J. A. Functions of Soil Organic Matter and the Effect on Soil Properties. **Residue Management, Soil Organic Carbon and Crop Performance**, 2004.

RYPSTRA, A. L.; CARTER, P. E. The web spider community of soybean agroecosystems in south-western Ohio. **Journal of Arachnology**, v. 23, p. 135–144, 1995.

SAPOUNTZIS, P., ZHUKOVA, M., HANSEN, L. H., SØRENSEN, S. J., SCHIØTT, M., e BOOMSMA, J. J. Acromyrmex leaf-cutting ants have simple gut microbiota with nitrogen-fixing potential. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 81, p. 5527–5537, 2015.

SCHAEPHER, C., PELLENS, R., SCHERSON, R. Arthropod-Microbiota Integration: Its Importance for Ecosystem Conservation. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 1-18, 2021.

SHANG, C. & TIESSEN, H. Organic matter lability in tropical Oxisol: Evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v.162, p. 795-807, 1997.

SINGH, D. et al. Tropical forest conversion to rubber plantation affects soil micro- & mesofaunal community & diversity. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019.

SIX, J.; PAUSTIAN, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. **Soil Biology and Biochemistry**, 68, A4–A9, 2014.

STEFFEN, W., RICHARDSON, K., ROCKSTRÖM, J., CORNELL, S. E., FETZER, I., BENNETT, E. M., et al. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, p. 1259855, 2015.

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Focus Issue on Phosphorus Plant Physiology: Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. **Plant Physiology** 156 (3): 997, 2011.

SINGH, D. et al. Tropical forest conversion to rubber plantation affects soil micro- & mesofaunal community & diversity. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019.

SOFO, A.; MININNI, A. N.; RICCIUTI, P. Soil Macrofauna: A key Factor for Increasing Soil Fertility and Promoting Sustainable Soil Use in Fruit Orchard Agrosystems. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 456, 2020.

SOUZA, I. G. Microbiota solubilizadora de fósforo em solo de cafezal agroflorestal cultivado sob os princípios da agricultura natural. **Dissertação** (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, MG, p. 94, 2023.

TAHERI, S.; PELOSI, C.; DUPONT, L. Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 116, n. July 2017, p. 277–289, 2018.

TEDESCO, M. J.; et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos. UFRGS, 1995. 174p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141–163, 1982.

VIDAL, M. C.; SALDANHA, R.; VERISSIMO, M. A. A. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. IN: Sanidade vegetal: uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável. **Florianópolis: CIDASC**, p. 382-409, 2020.

ZAGATTO, M. R. G.; ZANÃO, L. A.; PEREIRA, A. P. D. A.; ESTRADA-BONILLA, G.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil mesofauna in consolidated land use systems: how management affects soil and litter invertebrates. **Scientia Agricola**, v. 76, p. 165-171, 2019.

WAGG, C., BENDER, S. F., WIDMER, F., VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 14, p. 5266–5270, 2014.

WALL, D. H. et al. Soil biodiversity and human health. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 69–76, 2015.

WARDLE, D. A.; LAVELLE, P. Linkages between soil biota, plant litter quality and decomposition. In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. (Eds.). **Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition**. Wallingford, Reino Unido: CAB International, 1997. pp. 107–125.

WARDLE, D.A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. **Advances in Ecological Research**, New York, v. 26, n. 2, p. 105-182, 1995.

WARDLE, D. A., BARDGETT, R. D., KLIRONOMOS, J. N., SETALA, H., VAN DER PUTTEN, W. H., and WALL, D. H.: Ecological Linkages Between Aboveground and Belowground Biota, **Science**, v. 304, p. 1629–1633, 2004.

WU, H., LU, X., WU, D., SONG, L., YAN, X., LIU, J.: Ant mounds alter spatial and temporal patterns of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from a marsh soil, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 884–889, 2013.

## CAPÍTULO II – MANEJO DA AGRICULTURA NATURAL BENEFICIA A MULTIFUNCIONALIDADE DA FAUNA EDÁFICA E EPIEDÁFICA

### RESUMO

A macro e mesofauna do solo são responsáveis pela maior parte da biomassa viva total do solo e estão interligadas em complexas interações tróficas e ecológicas que influenciam a estrutura e as funcionalidades dos ecossistemas terrestres. Compreender como o manejo influencia na conservação dos diferentes grupos funcionais da fauna edáfica e, conseqüentemente, na promoção dos diversos serviços ecossistêmicos, é essencial para a identificação de formas de agricultura sustentáveis. O objetivo geral da pesquisa foi avaliar como o cultivo do café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural afeta a multifuncionalidade da fauna edáfica. Especificamente, objetivou-se i) avaliar a abundância e a riqueza de grupos funcionais da meso e macrofauna edáfica; ii) classificar os espécimes em grupos funcionais, como engenheiros do ecossistema, detritívoros, microbívoros, herbívoros, predadores e onívoros e; iii) correlacionar os grupos funcionais com os atributos químicos e físicos do solo. A pesquisa foi conduzida em Araponga -MG, em propriedade familiar agroecológica, cujo manejo utilizado é baseado nos princípios da agricultura natural. Três usos da terra foram investigados: i) solo com café em sistema agroflorestal e manejado a partir de princípios da agricultura natural (SAFN), ii) solo com café convencional em propriedade vizinha (PSC) e iii) solo sob Mata Nativa (MN). Ao final da estação chuvosa, no mês de abril de 2022, foram coletados monólitos (25 x 25 x 20 cm), divididos em duas camadas de solo (0-10 e 10-20 cm) e uma camada de serapilheira, seguida da triagem dos organismos até 48 horas. Foi realizada a contagem e identificação até o menor nível taxonômico possível e, posteriormente, foram classificados em grupos funcionais. Obteve-se a abundância (N) e a riqueza (S) de cada grupo. Sub amostras de solo foram utilizadas para determinações de carbono orgânico do solo (COS), carbono lábil (C-lábil), carbono da biomassa microbiana (CBM), pH e textura do solo. Foram coletados anéis volumétricos (0-10 cm) para determinação da densidade do solo e medidos em campo umidade, temperatura do solo e resistência à penetração. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Holm apenas para o contraste  $\hat{C}_1 = \text{SAFN} - \text{PSC}$  se,  $\hat{C}_1 > 0$  (teste unilateral). As variáveis respostas (atributos químicos, físicos, abundância e riqueza dos grupos funcionais) foram submetidas a análise de correlação de Pearson ( $p < 0.05$ ). 3200 indivíduos foram identificados, apresentando alta riqueza de classes, famílias, gêneros, espécies e morfoespécies. Três espécies não descritas pela comunidade científica foram identificadas, indicando o alto potencial para a descoberta de

novas espécies da macrofauna. Algumas espécies se mostraram mais vulneráveis a mudanças no uso da terra, enquanto outras foram mais vulneráveis ao manejo. N e S dos grupos funcionais variaram com a profundidade do solo e com o uso da terra. Na serapilheira, engenheiros do ecossistema apresentaram maior N em SAFN, comparado a PSC, enquanto os onívoros apresentaram maior N e S. Organismos microbívoros, apresentaram maior N e S em SAF, comparado ao PSC, tanto na serapilheira como nas camadas de solo. Os detritívoros apresentaram maior N e S nas camadas de solo (0-10 e 10-20 cm) do SAFN, em relação ao PSC. Herbívoros e predadores foram mais abundantes em SAFN, em relação ao PSC, no entanto, maior S na camada 0-10 cm foi observado apenas para herbívoros. Estes resultados foram relacionados à maior complexidade do manejo em SAFN comparado ao PSC, o qual proporciona maior diversidade de alimentos, de habitats e de funções ecológicas, favorecendo a conservação da biodiversidade da meso e macrofauna edáfica, com efeitos em cascata trófica. Foram observadas correlações negativas da N e S de predadores com o pH do solo e com a temperatura, e correlações positivas da N e S de predadores com o COS, C-lábil e C-BM, indicando que predadores parecem ser os mais sensíveis às variações na qualidade do solo. A riqueza de detritívoros apresentou correlação positiva com o pH do solo e com a umidade, indicando a importância dos recursos da serapilheira com maiores concentrações de nutrientes e considerados de maior qualidade para a palatabilidade da comunidade detritívora e para o aumento do pH. Microbívoros se correlacionaram positivamente com a umidade do solo, fator fundamental para o estabelecimento de microrganismos. Os dados apresentaram alta correlação entre microbívoros e detritívoros e entre eles com herbívoros do solo, indicando a indissociabilidade das relações, onde a detritivoria favorece a estimulação dos microrganismos, favorecendo os microbívoros que, conseqüentemente favorecem a ciclagem de nutrientes, a nutrição das plantas e por conseqüência os herbívoros. A maior abundância destes grupos constitui maior abundância de presas, o que levou a maior abundância de predadores. Além disso, foram observadas correlações significativas da N engenheiros do ecossistema com N de onívoros, e com N e S de predadores, indicando a importância deste grupo na conservação de outras espécies, devido às modificações físicas, químicas e biológicas no solo. Os princípios da agricultura natural utilizados no sistema agroflorestal de café além de favorecer uma comunidade da macro e mesofauna multifuncional, gera benefícios ambientais e ecossistêmicos.

**Palavras-chave:** Funções ecológicas do solo; engenheiros do ecossistema; detritivoria; microbivoria; onivoria; herbivoria; predação.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma exuberante e a maior biodiversidade do planeta, a qual inclui inúmeras espécies da fauna do solo (FAO, 2020; Lavelle et al., 2022). O solo, por sua vez, é um dos ecossistemas mais biodiversos da Terra e hospeda cerca de 50% da biomassa animal terrestre (Potapov et al., 2022). Estes organismos, que vivem no solo e na serapilheira, vão desde micro até macroorganismos (Fierer et al., 2009).

Uma das principais características que tornam os solos reservatório de alta biodiversidade está relacionada com a complexidade estrutural, incluindo poros de diferentes tamanhos, agregados, canais e fissuras, os quais podem ser preenchidos com água e ou ar, que fornecem variados nichos e habitats para diversos tipos e tamanhos de organismos que neles vivem e se reproduzem (Wardle, 2002; Bardgett, 2005). Além disso, nos solos há uma quase infinidade de alimentos, com uma variedade de nutrientes para o desenvolvimento de organismos. Estes nutrientes são constituintes dos minerais e de materiais de origem orgânica, compostos entre outros por detritos vegetais, excrementos de animais, microrganismos, plantas, e as diversas interações complexas como, por exemplo, a predação e a decomposição, sustentam a alta diversidade da comunidade biológica do solo (Coleman, 1996; Cardinale et al., 2006; Filser et al., 2016; Johnston; Sibly, 2020).

Os animais que vivem no solo e na serapilheira, ao respirarem, realizam trocas gasosas com a atmosfera, contribuindo para o ciclo do carbono. Suas excreções no solo também influenciam as trocas gasosas e facilitam a dispersão de microrganismos. Além disso, eles também se alimentam no solo e, ao se movimentarem, esses animais escavam e constroem túneis, ninhos e galerias, promovendo a aeração do solo e a criação de habitats, bem como facilitando a busca de alimento e de abrigos (Aquino; Correia, 2005). Nesse sistema (o solo) dinâmico de biodiversidade, diversas interações entre microrganismos, animais e plantas ocorrem, estabelecendo complexas redes multitróficas e ecológicas, as quais se correlacionam com as propriedades químicas, físicas e morfológicas (Hooper et al., 2000).

As atividades desenvolvidas por organismos da fauna edáfica são em grande parte responsáveis pelo funcionamento dos ecossistemas e agroecossistemas (Wall; Nielsen; Six, 2015). Além de participar ativamente da ciclagem de nutrientes, esses organismos estão intimamente ligados a uma variedade de processos, tais como o revolvimento do solo, a movimentação e retenção de água ao longo do perfil edáfico, o controle biológico de pragas e doenças do solo e a decomposição e dinâmica dos materiais orgânicos, e conseqüentemente impactam a matéria orgânica do solo (MOS). Suas atividades não apenas afetam a fertilidade

do solo, mas também influenciam diretamente sua estrutura física e química, bem como sua capacidade de sustentar a vida vegetal. Portanto, a fauna edáfica desempenha um papel multifuncional e essencial na manutenção da saúde e produtividade dos sistemas terrestres.

Funções desempenhadas por solos vivos resultam em inúmeros benefícios, em especial aqueles relacionados à saúde dos agroecossistemas, incluindo a saúde dos seres humanos. A biodiversidade do solo e suas complexas interações influenciam diretamente na saúde humana, através da supressão de organismos causadores de doenças seja nas plantas ou nos humanos (Wall et al., 2015) e no fornecimento de organismos benéficos, como os decompositores (Blum et al., 2019), e influenciam indiretamente a partir da produção de alimentos e fornecimento de água de qualidade e da purificação do ar. A Organização Mundial de Saúde (OMS) inclui como premissa fundamental para a saúde integral as conexões humanas com outras espécies e ecossistemas (Who, 2015).

As funções dos organismos do solo podem ser potencializadas por uma melhor gestão no uso da terra, a qual vem sendo frequentemente afetada por mudanças climáticas globais induzidas pelos próprios seres humanos (Cassamo et al., 2023). As atividades que causam perdas de biodiversidade subterrânea, tais como perda de táxons e de níveis tróficos, contribuem para uma redução da complexidade da cadeia alimentar e, portanto, da capacidade dos solos para desempenharem funções ecossistêmicas.

Devido às inúmeras funções exercidas pelos organismos, mudanças no uso da terra e o manejo de agroecossistemas podem apresentar efeitos cascata, tanto de baixo para cima quanto de cima para baixo nos organismos do solo. Por exemplo, os engenheiros do ecossistema modificam fisicamente, quimicamente e biologicamente o solo e impactam (efeito de baixo para cima) os níveis tróficos superiores (Sanders; Van Veen, 2011) e; os predadores de topo impactam (efeito de cima para baixo) os níveis tróficos inferiores (Lavelle et al., 1995).

Como preconizado na Agricultura Natural, para que os organismos do solo exerçam suas funções a contento, o solo deve ser considerado um organismo vivo (Miyasaka, 1993; Primavesi, 2016) e o manejo agrícola deve ser feito de forma a fornecer alimento em quantidade e em qualidade. Segundo a Teoria da Trofobiose, a existência de vida se dá em função da existência de alimentos (Chaboussou, 2006), mas também de condições adequadas de sobrevivência para todos os organismos que utilizam o solo como seu habitat (Cardoso et al., 2018).

A elevada abundância e riqueza de espécies do solo, com grande número de organismos troficamente equivalentes (Setälä et al., 2005), faz com que haja muitas espécies funcionalmente redundantes, isto é, a mesma função no solo pode ser desempenhada por

diversos organismos. Com isto, há a compreensão por alguns autores de que talvez algumas espécies possam ser substituíveis por outras espécies, sem influenciar as funções gerais do solo (Srivastava, 2002). Entretanto, outros autores defendem a ideia de que a redundância funcional deve ser mantida, pois ela é responsável pela estabilidade e pela resiliência do agro e do ecossistema (Laakso e Setälä, 1999) diante de perturbações ecológicas, como as mudanças climáticas e o manejo agrícola. As diferenças entre as espécies, mesmo compondo grupos tróficos equivalentes, podem ainda produzir impactos específicos no funcionamento do ecossistema (Griffiths et al., 2000). Isto porque a redundância funcional em relação a um processo específico não exclui necessariamente outras contribuições específicas da espécie para outros processos não avaliados (Morin, 1995). Portanto, os estudos devem enfatizar não apenas a redundância funcional, mas também a complementaridade funcional, também chamada de dissimilaridade (Setälä et al., 2005), a qual indica que cada organismo tem também características únicas e desempenham funções específicas que se complementam.

Apesar da importância dos organismos do solo, surpreendentemente, os esforços têm se concentrado em se conhecer a biodiversidade acima do solo. Com isto, muitos organismos do solo não foram descritos pela comunidade científica (Hooper et al., 2000; Decaens, 2010; Briones, 2014) e é severamente limitada a compreensão de suas efetivas contribuições para os processos de funcionamento do solo e para a resiliência dos agros e ecossistemas (Briones, 2014).

Conhecer essa complexidade inerente (tipos, características e funções dos organismos do solo) é vital para que a biodiversidade do solo possa ser conservada e restaurada e para que seus benefícios sejam mais bem explorados, incluindo aqueles relacionados à saúde integral do ambiente. Evidências emergentes sugerem que a relação entre a biodiversidade, o abastecimento e a estabilidade de múltiplos benefícios só podem ser compreendidas se os múltiplos níveis tróficos e as interações entre eles forem considerados (Cardinale et al., 2006; Duff et al., 2007; Barnes et al., 2018). As relações entre a biodiversidade do solo e as funções ecossistêmicas tendem a depender mais da diversidade estrutural e funcional do que da riqueza de espécies ou de parâmetros taxonômicos (Pulleman et al., 2012).

Para compreender melhor a diversidade dos muitos táxons da meso e macrofauna, as espécies podem ser classificadas em “grupos funcionais”, sendo estes grupos caracterizados por organismos que partilham estratégias, histórias de vida, modos de alimentação ou ecofisiologias semelhantes (Lavelle, 1996; Brown et al., 2001; Potapov et al., 2022). Engenheiros do ecossistema, detritívoros, microbívoros, predadores, herbívoros e onívoros constituem diferentes grupos funcionais que compõem a meso e macrofauna edáfica. As funções

desenvolvidas por estes grupos associadas a diversos processos que ocorrem no solo permitem fazer inferências e entender melhor a estabilidade da comunidade subterrânea e seus potenciais efeitos no meio edáfico e na produtividade das plantas (Potapov et al., 2022), levando a identificação de práticas de manejo que favorecem a biodiversidade edáfica e, conseqüentemente, sejam reconhecidas como práticas do manejo sustentável, a exemplo do que ocorre com as práticas da agricultura natural.

Os sistemas agroflorestais manejados em acordo com os princípios da agricultura natural são exemplos de sistemas de cultivo que aumentam a biodiversidade acima do solo em comparação com as monoculturas, com efeitos esperados na biodiversidade associada ao solo, ou a sua interface, serapilheira-solo (Altieri, 1999; Mardsen et al., 2019). O princípio básico da agricultura natural é o manejo da biodiversidade e da complexidade ecológica e sua premissa fundamental é o uso de resíduos exclusivamente vegetais como fonte de fertilização dos solos e das plantas, portanto, sem o uso de adubos químicos ou de origem animal, sem o uso de agrotóxicos e aditivos químicos. Além disso, a valorização do conhecimento e das experiências dos agricultores locais é comum na agricultura natural. Os princípios da agricultura natural, coadunam com os princípios da agroecologia, pois baseiam-se na busca do equilíbrio das interações entre todas as formas de vida, visando manter a qualidade do solo e sua capacidade produtiva (Ehlers, 1994; Gonçalves, 2016). O cultivo de plantas de cobertura, o uso de leguminosas e os sistemas agroflorestais são práticas comuns na agricultura natural e na agroecologia (Gonçalves, 2016).

O estudo dos sistemas de cultivos diversos, como os sistemas agroflorestais, manejados conforme os princípios da agricultura natural é um cenário que possibilita avançar no conhecimento das relações e interações que ocorrem entre os organismos da fauna edáfica, a saúde do solo e a sustentabilidade agrícola, pois são manejados de forma sistêmica, com conservação e reprodução dos processos da natureza. A diversidade presente nesses sistemas agroflorestais garante a produtividade e a conservação ambiental, pois ambientes com maior diversidade de espécies beneficiam os processos que promovem o funcionamento do ecossistema (Tilman, 2001), contribuindo para a identificação e descrição das espécies edáficas (Cardinale et al., 2006), para o entendimento dos processos e interações que governam as relações entre tais espécies e, para o entendimento dos princípios a serem utilizados no manejo de sistemas agrícolas resilientes, pois conservam os solos e a biodiversidade.

Não há trabalhos sobre a diversidade taxonômica associada a diversidade funcional ou multifuncionalidade dos organismos da meso e macrofauna em solos manejados segundo os princípios da agricultura natural. Portanto, o objetivo geral da pesquisa foi avaliar como o

cultivo do café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural afeta a multifuncionalidade da fauna edáfica. Especificamente, objetivou-se i) avaliar a abundância e a riqueza de grupos funcionais da meso e macrofauna edáfica; ii) classificar os espécimes em grupos funcionais: engenheiros do ecossistema, detritívoros, microbívoros, herbívoros, predadores e onívoros e; iii) correlacionar os grupos funcionais com os atributos químicos e físicos do solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no Sítio Pedra Redonda, uma propriedade familiar agroecológica (latitude -20,648, longitude -42,499, com altitude média de 1200 m), localizada na zona rural do município de Araponga, região da Zona da Mata mineira, no domínio dos Mares de Morro Florestados (AB'SABER, 1970), no entorno do Parque Estadual Serra do Brigadeiro, uma reserva importante do bioma Mata Atlântica. A classe de solo predominante é de Latossolos e os cafezais encontram-se em pedoforma convexa. A propriedade possui 12 hectares e pertence a uma família composta por pai, mãe, uma filha e um filho. Em 2003, a família iniciou a produção de café agroflorestal orgânico e, em 2014, passaram a utilizar os princípios da agricultura natural. Ao todo, sete hectares são dedicados ao cultivo de café, dispostos em talhões consorciados com árvores nativas e frutíferas e, com espécies anuais para o consumo familiar e comercialização (Souza, 2023; França et al, 2023; Figueiredo, 2024). O solo permanece coberto o ano todo com vegetação espontânea manejada e em algumas partes com amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*).

Os agricultores familiares Edmar Lopes (pai) (Figura 1) e Pedro Lucas (filho) manejam os resíduos vegetais para beneficiar a vida da terra. Eles utilizam a serapilheira da mata, casca de café da própria lavoura e resíduos vegetais oriundos de podas de arbustos e árvores e do manejo da vegetação herbácea (de bananeiras, vegetação espontânea e amendoim forrageiro). Além da roçagem, casualmente eles utilizam a capina para manejar a vegetação espontânea. Insumos externos não são utilizados para a produção do café, o que, segundo o agricultor, garante maior soberania e expansão enquanto ser humano, ressaltando que a lógica econômica não é indicada pelo que vende, mas pelo que sobra e pela produção de alimentos em qualidade para a família e outras pessoas (Souza, 2023; França et al., 2023; Figueiredo, 2024).

**Figura 1.** Edmar Lopes (agricultor) manejando a serapilheira recolhida da mata. Sítio Pedra Redonda, Araçuaia, Minas Gerais.



Fonte: Autora

A lavoura escolhida para compor o estudo foi denominada de Sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e foi implantada no ano 2000 sob manejo orgânico, com uso de esterco bovino. O início da transição para o manejo exclusivamente feito com materiais vegetais, premissa da agricultura natural, ocorreu em 2013 e, em 2014, a lavoura foi certificada como natural por uma organização japonesa denominada Agricultura Natural Shumei. Esta área possui 0,8 ha, com plantas de café espaçadas em 2,3 x 1,2 m. No total 30 kg de material vegetal (verde) é disposto por eles na projeção da copa de cada planta de café, por mês, duas vezes ao ano, uma em novembro e outra após 45 dias.

Área de um cafezal na propriedade vizinha, em condições ambientais similares (mesmo tipo de solo, condições topográficas semelhantes etc.), foi selecionada para compor o estudo. Este sistema, denominado como cafezal convencional (PSC), foi implantado em 2018 com espaçamento de 2,4 x 1,0 m. Anteriormente ao plantio, a área estava em pousio e havia predominância de samambaias. O cafezal é cultivado a pleno sol, com uso anual de adubos químicos (250 g de NPK 20-5-20 por planta) e aplicação bianual de herbicida (RoudUp®) para eliminação das plantas espontâneas.

Um fragmento de mata nativa (MN) (Mata Atlântica) vizinho e em condições ambientais similares com pouca intervenção antrópica, também foi amostrado como local de referência para nosso estudo.

## **2.2. Fauna edáfica visível**

### **2.2.1. Amostragem, triagem e identificação**

A amostragem da fauna edáfica foi realizada no fim da estação chuvosa, durante o mês de abril de 2022. Com base na metodologia recomendada pelo Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), da Unesco (Anderson & Ingram, 1993), em cada uso da terra (SAFN, PSC, MN), doze monólitos de solo (25 x 25 x 20 cm de profundidade) foram coletados, utilizando dois transectos distanciados verticalmente entre si em 20 m. Em cada transecto, seis pontos foram amostrados distanciados entre si em 5 m e cada monólito foi separado em duas camadas (0-10 e 10-20 cm). Em cada monólito, todos os invertebrados visíveis a olho nu foram separados manualmente da serapilheira e das duas camadas de solo, no máximo 48 horas após coleta e imediatamente fixados em álcool 80% para minhocas e 70% para os outros táxons da fauna (Moreira et al., 2018).

Após triagem de todos os organismos e com o auxílio de lupa binocular, realizou-se a primeira etapa de classificação em grandes grupos taxonômicos (Classe, Subclasse, Ordem Subordem, Família). Em alguns dos grupos taxonômicos não somente os adultos, mas também os imaturos (larvas e lagartas) e os casulos foram avaliados. Aparentemente, não há estudos sobre a abundância estimada de táxon da macrofauna do solo incluindo a separação dos estágios larvais (Gongalski, 2021).

Na segunda etapa, com o uso de lupa binocular, os indivíduos de cada grupo passaram a ser identificados em morfoespécies utilizando como base as diferenças morfológicas encontradas em cada grupo. Morfoespécies são definidas como táxons facilmente separáveis por diferenças morfológicas, pois, tais características, são óbvias para indivíduos sem amplo treinamento taxonômico (Beattie e Oliver, 1994; Oliver et al., 1996). As morfoespécies foram fotografadas e encaminhadas para taxonomistas experientes para confirmações e, quando possível, classificações em níveis taxonômicos mais avançados foram realizadas por especialistas do Instituto Butantan, Universidade Federal do Paraná e Departamento de Entomologia-UFV. As classificações mais avançadas foram feitas para os táxons Formicidae, Lumbricidae, Araneae, Diplopoda, Chilopoda, Pseudoescorpiones, Opiliones, Escorpiones e Acari. Para os táxons Enchytraeidae, Collembola, Neuroptera, Diplura e Hirudinida a distinção

em morfoespécies não foi possível, o que comprometeu o conhecimento da riqueza desses táxons.

### **2.2.2. Classificação em grupos funcionais**

A fim de avaliar a multifuncionalidade das comunidades da macro e mesofauna edáfica, com base na literatura, os organismos foram classificados em grupos funcionais (Lavelle, 1996; Brown et al., 2001; Potapov et al., 2022). Estes são definidos como grupos de organismos que realizam processos ecológicos de forma similar, partilham hábitos, histórias de vida, microhabitats, tipos de alimentação e ecofisiologias semelhantes (Brussaard, 1998; Potapov et al., 2022). Os grupos funcionais determinados foram os engenheiros do ecossistema e aqueles com determinadas preferências alimentares. A classificação de grandes grupos em seus grupos funcionais encontra-se na Tabela 1.

As espécies classificadas como engenheiras do ecossistema atuam através da ingestão de solo, escavação de túneis e galerias e, formação de excrementos no solo que modificam a estrutura do solo determinando a persistência de outras espécies dentro da comunidade; melhoram a distribuição de água no perfil do solo e estimulam a atividade microbiana (Jones et al., 1997). A classificação baseada em relação às preferências alimentares (Potapov et al., 2022) foram: detritívoros, microbívoros, predadores, herbívoros e onívoros. Detritívoros ou decompositores, são aqueles organismos que contribuem para a decomposição da matéria orgânica; atuam na fragmentação dos detritos vegetais modificando sua composição química e estrutura e, atuam no controle de populações de bactérias e fungos. Microbívoros são os organismos que liberam nutrientes da biomassa microbiana e controlam diretamente as populações microbianas. Herbívoros ou fitófagos são organismos que se alimentam de plantas vivas. Predadores são consumidores que se alimentam de outros consumidores e atuam no controle de populações. Onívoros são consumidores que se alimentam de outros consumidores e de material vegetal vivo ou detritos.

Devido ao baixo avanço taxonômico para os animais imaturos, como larvas de Diptera e de Coleoptera, optou-se por classificar estes organismos no grupo dos onívoros, a exceção das larvas de Coleoptera pertencentes a família Scarabaeidae, que foram incluídas no grupo de herbívoros (Ávila, 2009). Os organismos imaturos apresentam diferentes necessidades alimentares básicas e, portanto, sua classificação de acordo com seus comportamentos alimentares exige conhecimento taxonômico em níveis mais avançados (Potapov et al., 2022).

A maioria das minhocas encontradas são geófagas, se alimentam de solo e não de detritos. Por isto elas foram classificadas apenas na categoria dos engenheiros do ecossistema.

Os cupins, devido ao baixo conhecimento taxonômico e às suas diversas possibilidades de alimentação (Lima e Costa-Leonardo, 2007), foram classificados apenas como engenheiros do ecossistema e não em relação aos hábitos alimentares.

**Tabela 1.** Grupos funcionais dos grandes grupos taxonômicos da macro e mesofauna edáfica.

<b>Grupo funcional</b>	<b>Grupo taxonômico</b>
Engenheiros do ecossistema	Formicidae, Lumbricidae, Isoptera
Detritívoros	Formicidae, Coleoptera, Gastropoda, Isopoda, Blattaria, Diplopoda, Collembola, Enchytraeidae.
Microbívoros	Coleoptera, Gastropoda, Collembola, Enchytraeidae, Acari.
Herbívoros	Coleoptera, Heteroptera, Auchenorrhyncha, Lepidoptera (lagartas), Larva de Scarabaeidae (Coleoptera)
Predadores	Araneae, Coleoptera, Heteroptera, Chilopoda, Pseudoscorpiones, Opiliones, Acari, Dermaptera, Escorpiones, Hirudinida, Neuroptera, Hymenoptera (sem formigas)
Onívoros	Opiliones, Formicidae, Diplura, Coleoptera, larvas (Coleoptera e Diptera)

A abundância e a riqueza dos grupos funcionais dos animais do solo foram calculadas. A abundância refere-se ao número de indivíduos/m<sup>2</sup> e a riqueza ao número de morfoespécies encontrados.

### 2.3. Atributos químicos e biológicos

Foram determinados os teores de carbono orgânico do solo (COS) pelo método da combustão seca em analisador elementar. A quantificação do carbono lábil (C-lábil) foi realizada segundo o método descrito por Weil et al. (2003) com modificações feitas pelos laboratórios Glover (Land Institute) e Barbercheck (Universidade Estadual da Pensilvânia) e descrito por Culman et al. (2012). A biomassa microbiana foi extraída pelo método de irradiação-extração, adaptado de Islam e Weil (1998) e então, determinado o carbono da biomassa microbiana (C-BM) conforme Tedesco et al. (1995). O pH do solo foi determinado em água conforme Teixeira et al., 2017 (Tabela 2).

### 2.4. Atributos físicos

A umidade e temperatura do solo (Tabela 2) foram determinadas a campo, no momento de retirada dos monólitos, com auxílio do SENSOR TDR portátil de umidade do solo

(MODELO ProCheck, METER Group). A textura do solo (Tabela 2) foi determinada conforme Gee e bauder (1986), a densidade do solo (Tabela 2) na camada 0-10 cm, foi determinada conforme Grossman e Reinsch (2002) e a resistência do solo à penetração conforme Stolf et al, 1983.

**Tabela 2.** Propriedades químicas e físicas do solo em solos de cafezais cultivados em sistema agroflorestal seguindo os princípios da agricultura natural (SAFN), a pleno sol convencional (PSC) e mata nativa (MN), em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), Araponga, Minas Gerais.

Teores de C e indicadores físicos	SAFN	PSC	MN	SAFN	PSC	MN
	0-10 cm			10-20 cm		
COS (g/kg) <sup>1</sup>	68,5	53,9	81,8	45,5	35,6	44,2
C-lábil (g/kg) <sup>2</sup>	3,95	3,15	3,84	2,52	1,69	2,11
C-BM (µg/kg) <sup>3</sup>	124,66	150,61	245,8	77,22	77,13	65
pH (H <sub>2</sub> O)	6,0	5,4	4,5	5,5	5,1	4,9
Umidade (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0,30	0,24	0,23	0,31	0,25	0,3
Temperatura (° C)	23,57	23,81	20,43	23,09	23,58	20,32
Areia fina (g/kg)	134	147	145	145	150	146
Areia grossa (g/kg)	304	312	315	260	283	303
Argila (g/kg)	481	475	480	523	496	486
Silte (g/kg)	79	64	59	70	69	54
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,59	1,49	1,36	-	-	-

<sup>1</sup>COS- carbono orgânico do solo; <sup>2</sup>C-lábil – carbono lábil; <sup>3</sup>C-BM – carbono da biomassa microbiana

## 2.5. Desenho amostral e análises estatísticas

O estudo observacional de caráter exploratório foi utilizado (Nielsen et al., 2020). Adotou-se um modelo estatístico inteiramente casualizado, com doze repetições e três preditores (usos/manejo do solo), assim denominados: SAFN (café em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural), PSC (café em pleno sol convencional) e MN (Mata nativa). As amostragens foram realizadas na serapilheira e em duas camadas do solo (0-10 e camada 10-20 cm).

As variáveis-respostas discretas foram submetidas à análise de variância não paramétrica (*on ranks*) (Conover, 2012) e as variáveis contínuas foram submetidas à análise de variância paramétrica, segundo o modelo descrito. As médias foram comparadas pelo teste de Holm unilateral apenas para o contraste  $\hat{C}_1 = \text{SAFN} - \text{PSC}$ , pois a hipótese central do trabalho era que a abundância e a riqueza de grupos funcionais da macro e mesofauna seriam maiores no SAFN do que no PSC, conforme sugere a literatura sobre sistemas agroflorestais. Adicionalmente, algumas variáveis respostas foram submetidas a análise de correlação de Pearson ( $P < 0.05$ ).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Classificação dos animais do solo em grupos funcionais

Um total de 3200 indivíduos, entre táxons da meso e da macrofauna, foram identificados em morfoespécies e classificados em grupos funcionais. Os indivíduos foram classificadas em uma super-classe, nove classes, duas subclasses, uma superordem, 22 ordens, cinco subordens, uma superfamília, 76 famílias, uma subfamília, 51 gêneros, 16 espécies e 277 morfoespécies, as quais foram classificadas em seis grupos funcionais (Tabela 3). Três espécies ainda não descritas pela comunidade científica foram encontradas em MN, sendo elas: uma minhoca detritívora *Rinodrilus* sp., uma formiga predadora *Typhlomyrmex* sp. e um besouro predador da subfamília Pselaphinae. A partir da identificação neste estudo, a espécie nova brasileira de Coleoptera foi taxonomicamente descrita como *Metopiellus emavieirae* Chaul & Lopes-Andrade 2024, conforme artigo científico publicado por Chaul & Lopes-Andrade (2024).

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC		
Aranha	Arachnida (Classe)	Araneae (Ordem)	Anyphaenidae		sp1.	pred	x				
			Araneidae		sp1.	pred	x				
			Araneidae	<i>Alpaida</i>	sp1.	pred	x				
			Corinnidae		sp1.	pred	x	x			
			Cycosidae		sp1.	pred	x				
			Ctenidae		sp1.	pred	x				
			Hahniidae		sp1.	pred	x				
			Hahniidae	<i>Neohania</i>	sp1.	pred				x	
			Linyphiidae		sp1.	pred			x	x	
			Linyphiidae	<i>Neomaso</i>	sp1.	pred	x	x	x		
			Linyphiidae	<i>Sphecozone</i>	<i>castanea</i>	pred	x			x	
			Lycosidae	<i>Lycosa</i>	sp1.	pred				x	
			Miturgidae		sp1.	pred				x	
			Oonopidae		sp1.	pred	x			x	
			Oonopidae	<i>Hexapoha</i>	sp1.	pred	x	x			
			Oonopidae	<i>Neotrops</i>	sp1.	pred	x				
			Oonopidae	<i>Predatoroonops</i>	sp1.	pred			x		
			Pholcidae		sp1.	pred	x				
			Pholcidae	<i>Tupigea</i>	sp1.	pred	x				
			Pycnothelidae		sp1.	pred	x	x		x	
			Salticidae		sp1.	pred					x
			Salticidae		sp2.	pred					x
			Theraphosidae		sp1.	pred	x				
Theridiidae		sp1.	pred	x				x			
Theridiidae	<i>Thymoltes</i>	sp1.	pred	x							

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC
			Trachelidae		sp1.	pred	x		x
			Xenoctenidae		sp1.	pred	x		
			Zoodariidae		sp1.	pred	x		x
			Morfoespécies		sp22., sp23., sp25	pred	x		x
Opiliões	Arachnida (Classe)	Opiliones (Ordem)	Tricommatinae		sp1.	oní	x	x	
			Cryptogobiidae		sp1.	oní	x		
		Laniator (Subordem)	Gonyleptinae		sp1.	oní	x		
		Laniator (Subordem)	Gonyleptinae	<i>Eusarcus</i>	sp1.	oní	x		
Ácaros	Arachnida (Classe)	Acari	Microtrombidiidae		sp1.	micro/ pred	x	x	
			Microtrombidiidae		sp2.	micro/ pred	x		
			Trombiculidae		sp1.	micro/ pred		x	
			Laelapidae		sp1.	micro/ pred		x	
			Calyptostomatidae		sp1.	micro/ pred	x		
			Macrochelidae		sp1.	micro/ pred	x		
Pseudoescorpiões	Arachnida (Classe)	Pseudoescorpiones	Chernetidea		sp1.	pred		x	
			Chthonioideae		sp1.	pred	x		
			Neobisiidae		sp1.	pred			x
Escorpião	Arachnida (Classe)	Scorpiones	Buthidae	<i>Tityus</i>	<i>serrulatus</i>	pred	x		

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC
Gongolo / Piolho-de-cobra	Myriapoda (Superclasse) Diplopoda (Classe)	Juliformia (Superordem) Spirobolida (Ordem)	Rhinocricidae	<i>Rhinocricus</i>	sp1.	detri		x	x
		Juliformia (Superordem) Spirostreptida (Ordem)	Spirostreptidae		sp1.	detri	x	x	x
			Spirostreptidae		sp2.	detri		x	x
			Pseudonannolenidae	<i>Pseudonannolene</i>	sp1.	detri	x		
		Juliformia (Superordem) Polydesmida (Ordem)	Paradoxomatidae / Catharosomatinae (Subfamília)		sp1.	detri	x	x	
			Pyrgodesmidae		sp1.	detri	x		
			Trichopolydesmidae		sp1.	detri	x		
Lacraias	Myriapoda (Super classe) Chilopoda (Classe)	Geophilomorpha	Schendylidae		sp1.	pred	x	x	x
		Lithobiomorpha			sp1.	pred	x		x
		Scolopendromorfa	Scolopocryptopidae /Newportiinae		sp1.	pred	x		
Minhocas	Oligochaeta (Subclasse)	Haplotaxida	Lumbricidae / Glossoscolecidae (Grande família)	<i>Pontoscolex</i>	<i>coretrhurus</i>	eng ecos	x	x	x
			Lumbricidae / Glossoscolecidae (Grande família)	<i>Rinodrillus*</i>	sp1.	eng ecoss/ detri	x		

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC
			Lumbricidae / Glossoscolecidae (Grande família)	<i>Fimoscolex</i>	sp1.	eng ecoss/ detri	x		
Formigas	Insecta (Classe)	Hymenoptera	Formicidae	<i>Hypoponera</i>	sp1., sp2., sp3., sp4., sp5.	eng ecoss /pred	x	x	x
				<i>Camponotus</i>	sp1., sp2., <i>renggeri</i>	eng ecoss / oni	x		x
				<i>Solenopsis</i>	sp1., sp2., sp3., sp4., sp5.	eng ecoss / oni	x	x	x
				<i>Pheidole</i>	sp1., sp2., sp3., sp4., sp5., sp6., sp7., sp8., sp9.	eng ecoss / oni	x	x	x
				<i>Anochetus</i>	sp1., <i>altisquamis</i>	eng ecoss / pred	x		
				<i>Brachymyrmex</i>	sp1., sp2., sp3.	eng ecoss / oni	x		x
				<i>Megalomyrmex</i>	myops	eng ecoss / oni	x		
				<i>Linepithema</i>	sp1.	eng ecoss / oni		x	x
				<i>Crematogaster</i>	sp1., sp2.	eng ecoss / oni	x		
				<i>Thyplomyrmex</i> *	sp1.	eng ecoss / pred	x		
<i>Pachycondyla</i>	<i>harpax</i>	eng ecoss / pred	x						

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC
				<i>Cyphomyrmex</i>	sp1., sp2.	eng ecoss / detr	x	x	x
				<i>Hylomyrma</i>	sp1., <i>balsani</i>	eng ecoss / oni	x	x	
				<i>Mycetophylax</i>	sp1.	eng ecoss / detr	x		
				<i>Holcaponera</i>	<i>striatula</i>	eng ecoss / pred		x	
				<i>Strumigenys</i>	sp1., sp2., <i>ufv-05</i> , <i>eggersi</i>	eng ecoss / pred	x	x	
				<i>Lachnomyrmex</i>	sp1.	eng ecoss / oni	x		
				<i>Apterostigma</i>	sp1.	eng ecoss / detr	x		
				<i>Tapinoma</i>	<i>melanocephalum</i>	eng ecoss / oni	x		
				<i>Ectatomma</i>	<i>edentatum</i>	eng ecoss / oni	x		
				<i>Heteroponera</i>	<i>dentinodis</i>	eng ecoss / pred	x		
				<i>Octostruma</i>	<i>rugifera</i>	eng ecoss / pred	x		
				<i>Neoponera</i>	sp1.	eng ecoss / pred	x		
Formigas/ Falsa- formiga / Vespas	Insecta (Classe)	Hymenoptera	Bethylidae		sp1., sp2., sp3.	pred	x		
			Mutillidae		sp1., sp2.	pred		x	

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC
			Vespidae	<i>Evanidae</i>	sp1.	pred			x
			Vespidae		sp1., sp2., sp3.	pred		x	x
Besouros	Insecta (Classe)	Coleoptera	Curculionidae		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5.	herb	x	x	x
			Curculionidae	<i>Scolitinae</i>	sp1., sp2.	herb	x		
			Carabidae		sp1., sp2.	pred	x	x	
			Carabidae	<i>Bembidiini</i>	sp1.	pred		x	x
			Carabidae	<i>Euchroa</i>	sp1.	pred		x	
			Carabidae	<i>Galerita</i>	sp1.	pred	x		
			Crysmelidae		sp1., sp2.	herb	x		x
			Elateridae		sp1., sp2.	herb		x	x
			Histeridae		sp1., sp2.	detri	x		x
			Laemophloeidae		sp.	micro			x
			Lagriidae	<i>Lagria</i>	<i>vilosa</i>		x		
			Latridiidae		sp1., sp2.	micro			x
			Scarabaeidae	<i>Dichotomius</i>	sp.	detri		x	
			Scarabaeidae	<i>Scarabeini</i>	sp1., sp2., sp3., sp4.	detri	x	x	x
			Staphylinidae		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5., sp6., sp7., sp8., sp9., sp10., sp11., sp12., sp13., sp14.	micro/ pred	x	x	x
			Staphylinidae / Pselaphinae (Subfamília)		sp1.,	pred	x		

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC
			Staphylinidae / Pselaphinae (subfamília)	<i>Metopiellus</i>	<i>emavieirae</i> <sup>*(1)</sup>	pred	x		
			Tenebrionidae	<i>Ulomini</i>	sp1., sp2.	detri	x		x
			Tenebrionidae		sp1., sp2	detri			
			Nitidulidae		sp1., sp2., sp3., sp4.	oní	x		
			Crysolmelidae	<i>Elmopinae</i>		her		x	
Larvas		Coleoptera	Scarabeidae		sp1.	herb	x	x	x
			Elateridae		sp2.	oní			
			Morfoespécies (sp1. ao sp 31.)				x	x	x
Larvas		Diptera	Stratiomyidae		sp1., sp2., sp3.	oní	x	x	x
			Ceratopogonidae		sp1.	oní	x		x
			Tipulidae		sp1.	oní	x		x
Cigarrinhas	Insecta (Classe)	Hemiptera / Auchenorrhyncha (Subordem)	Cicadellidae (ninfas)		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5., sp6., sp7., sp8., sp9., sp10., sp11., sp12.	herb	x	x	x
			Cicadellidae (adultas)		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5., sp6., sp7., sp8., sp9., sp10.	herb	x	x	x
			Fulgoridea		sp.	herb		x	
			Derbidae		sp.	herb		x	
			Membracidae		sp.	herb		x	

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

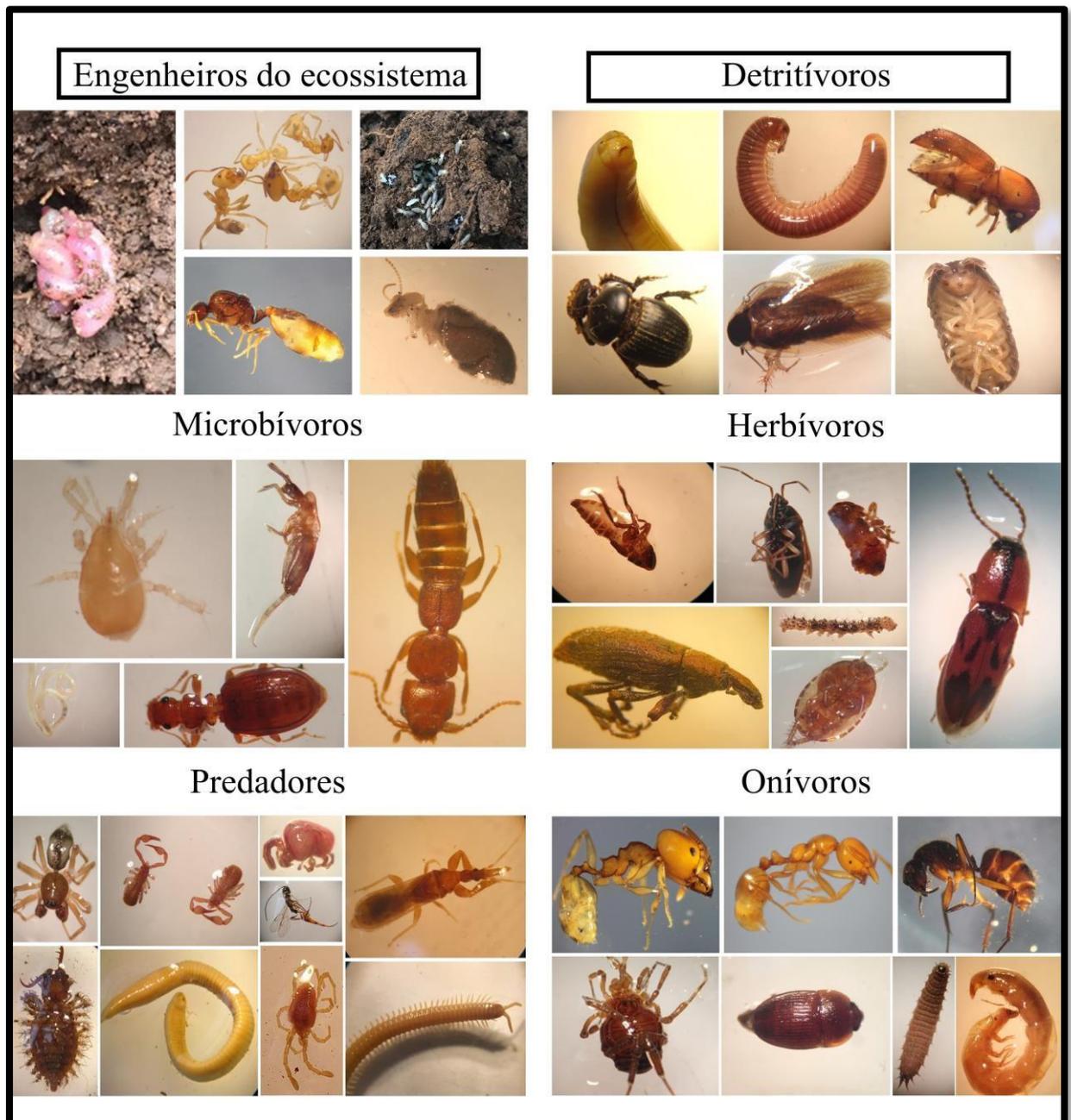
Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC
Percevejos	Insecta (Classe)	Hemiptera / Heteroptera (Subordem)	Anthocoridae		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5.	herb		x	
			Aradidae		sp.	micro	x	x	
			Alydidae		sp.	herb	x		x
			Cydnidae		sp1., sp2., sp3., sp4.	herb	x	x	x
			Enicocephalidae		sp.	pred	x		
			Gelastocoridae	<i>Nethra</i>	sp.	pred		x	x
			Geocoridae		sp.	pred		x	
			Miridae		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5.	herb	x		
			Reduviidae		sp1., sp2.	pred	x		
			Tingidae		sp.	herb		x	
			Morfoespécies		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5	pred	x	x	
Morfoespécie		sp1.	herb		x				
Baratas	Insecta (Classe)	Blattodea / Blattaria (Subordem)	Morfoespécies		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5. sp6.	detri/ oní	x	x	x
Tatuzinho de jardim	Malacostraca (Classe)	Isopoda	Morfoespécies		sp1., sp2., sp3., sp4., sp5., sp6.	detri	x	x	x

**Tabela 3.** Grupos taxonômicos e funcionais de morfoespécies encontradas em solos de mata nativa (MN) e de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e convencional a pleno sol (PSC), no município de Araponga, Minas Gerais.

Nome popular	Superclasse / Classe / Subclasse	Ordem/ Subordem / Superordem	Família	Gênero	Espécies/ morfoespécie	Grupo funcional	MN	SAFN	PSC
Lesmas e caracóis	Gastropoda (Classe)		Morfoespécies		sp1., sp2., sp3.	detri/ micro	x	x	x
		Psocoptera	Morfoespécies		sp1., sp2., sp3.	micro		x	x
Tesourinha	Insecta (Classe)	Dermaptera	Morfoespécies		sp1., sp2., sp3., sp4	pred	x		x
Borboletas, mariposas e lagartas	Insecta (Classe)	Lepidoptera	Morfoespécies (Lagartas)		sp1., sp2.	herb	x	x	x
			Morfoespécies (Adultas)		sp1., sp2., sp3.		x	x	
Crisopídeos, bicho-lixeiro	Insecta (Classe)	Neuroptera	Ascalaphidae			pred	x		
Cupim	Insecta (Classe)	Blattodea / Isoptera (Subordem)				eng ecoss	x	x	x
Caudas duplas	Entognatha	Diplura				oní	x		
	Collembola (Classe)					micro/detri	x	x	x
Mini-minhocas	Clitellata / Oligochaeta (Subclasse)	Haplotaxida	Enchytraeidae			micro/ detri	x	x	
Sangue-suga	Clitellata / Hirudinida (Subclasse)				sp1.	pred	x		

Exemplos de organismos dos grupos funcionais engenheiros do ecossistema, detritívoros, microbívoros, herbívoros, predadores e onívoros são mostrados na Figura 2.

**Figura 2.** Exemplos de morfoespécies classificadas em: engenheiros do ecossistema, detritívoros, microbívoros, herbívoros, predadores e onívoros.



Fonte: Autora

### 3.2. Abundância da fauna edáfica de acordo com os grupos funcionais

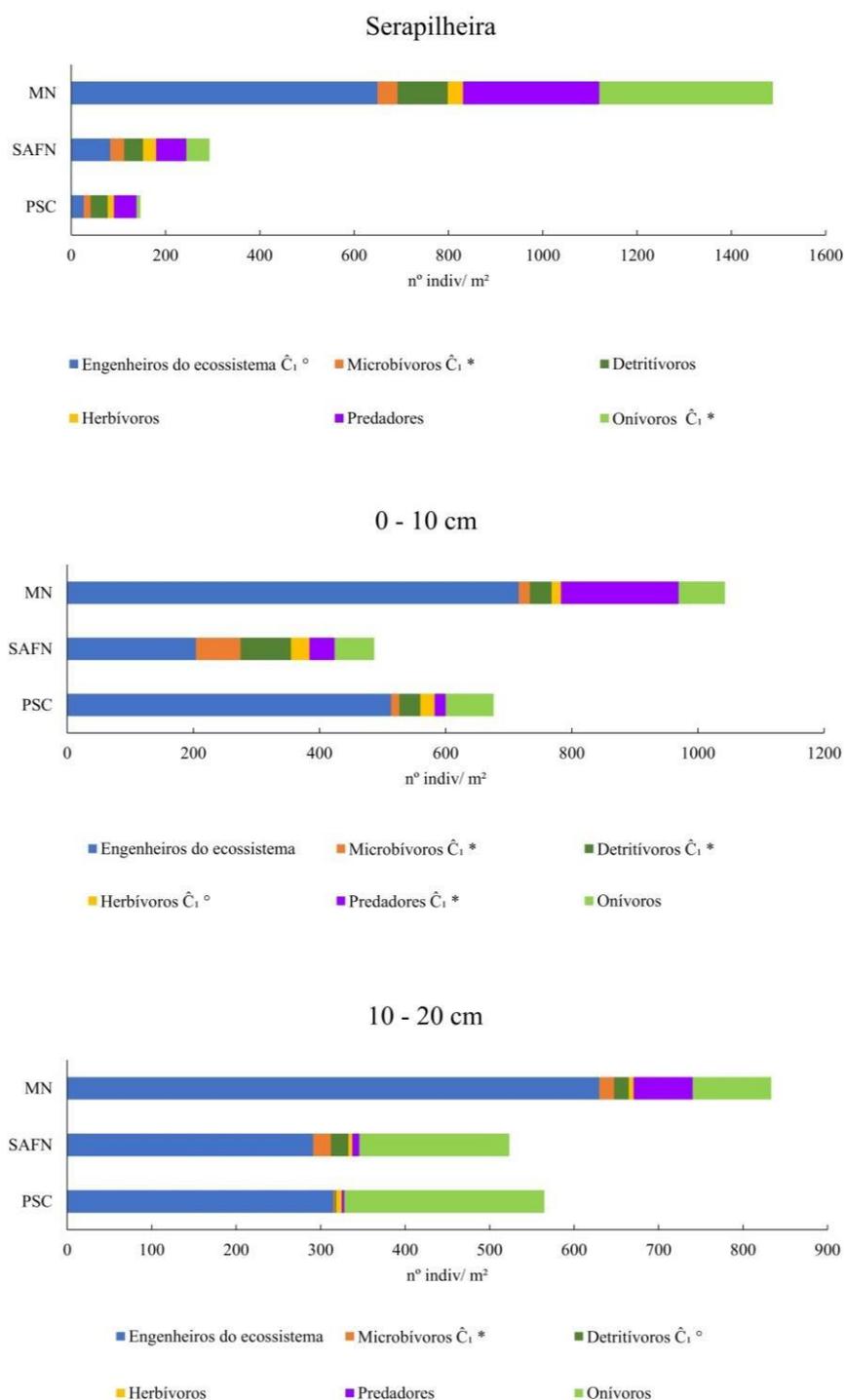
A abundância dos grupos funcionais da fauna edáfica encontra-se na Figura 3. O uso da terra e a profundidade do solo influenciou a abundância dos grupos funcionais (Figura 3). Na serapilheira, na MN foi observado uma abundância total de 1489,31 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 649,33 indiv/m<sup>2</sup> (engenheiros dos ecossistemas) a 32 indiv/m<sup>2</sup> (herbívoros). A abundância do grupo dos engenheiros do ecossistema foi maior que a do grupo dos onívoros, seguida de predadores, detritívoros, microbívoros e herbívoros (Figura 3). Em SAFN a abundância total foi de 293,33 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 82,66 indiv/m<sup>2</sup> (engenheiros do ecossistema) a 28 indiv/m<sup>2</sup> (herbívoros). Em PSC a abundância total foi de 146,66 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 36 indiv/m<sup>2</sup> (detritívoros) a 8 indiv/m<sup>2</sup> (onívoros). Quando comparada ao PSC, as abundâncias dos engenheiros do ecossistema, dos microbívoros e dos onívoros foram maiores ( $p < 0,10$ ) em SAFN. Detritívoros, predadores e herbívoros não apresentaram diferença entre os sistemas de cultivo (Figura 3).

Na camada de 0-10 cm, na MN foi observado um total de 1042,67 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 716 indiv/m<sup>2</sup> (engenheiro dos ecossistemas) a 14,66 indiv/m<sup>2</sup> (herbívoros). A abundância do grupo de engenheiros do ecossistema foi seguida do grupo predadores, onívoros, detritívoros, microbívoros e herbívoros (Figura 3). Em SAFN a abundância total foi de 486,66 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 204 indiv/m<sup>2</sup> (engenheiros do ecossistema) a 29,33 (herbívoros). Em PSC a abundância total foi de 676 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 513,33 indiv/m<sup>2</sup> (engenheiros do ecossistema) a 13,33 indiv/m<sup>2</sup> (microbívoros). Dentro do grupo engenheiros do ecossistema, a abundância de uma única espécie de minhoca invasora e peregrina, a *Pontoscolex corethrurus*, correspondeu a 76% da abundância total. Quando comparada ao PSC, as abundâncias dos detritívoros, predadores e microbívoros foram maiores ( $p < 0,05$ ) em SAFN. A abundância dos herbívoros também foi maior ( $p < 0,10$ ) em SAFN comparado a PSC. Em SAFN e PSC, as abundâncias dos grupos dos engenheiros do ecossistema e dos onívoros foram similares ( $p < 0,05$ ; Figura 3).

Na camada 10-20 cm, na MN a abundância total observada foi de 833,45 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 629,82 indiv/m<sup>2</sup> (engenheiros dos ecossistemas) a 5,82 indiv/m<sup>2</sup> (herbívoros). A abundância do grupo de engenheiros do ecossistema foi seguida do grupo dos onívoros, predadores, detritívoros e microbívoros (iguais) e herbívoros (Figura 3). Em SAFN a abundância total foi de 523,2 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 291,2 indiv/m<sup>2</sup> (engenheiros do ecossistema) a 177,6 indiv/m<sup>2</sup> (onívoros). Em PSC a abundância total foi de 564,8 indiv/m<sup>2</sup>, variando de 315,2 indiv/m<sup>2</sup> (engenheiros do ecossistema) a 236,8 indiv/m<sup>2</sup> (onívoros). Quando comparada ao PSC, as abundâncias dos detritívoros e microbívoros foram maiores ( $p < 0,05$ )

em SAFN. Nesta camada, as abundâncias de engenheiros do ecossistema, herbívoros, predadores e onívoros foram similares ( $p < 0,05$ ; Figura 3).

**Figura 3.** Abundância dos grupos funcionais da macro e mesofauna edáfica coletada na serapilheira e nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na Mata Nativa (MN), cafezais em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e cafezais convencional a pleno sol (PSC). Araponga, Minas Gerais



$C_1 = ^* \text{ ou } ^\circ$  médias de SAFN superiores às médias de PSC de acordo com o teste Holm unilateral ( $P < 0.05$  ou  $P < 0.10$ , respectivamente).

### 3.3. Riqueza da fauna edáfica de acordo com os grupos funcionais

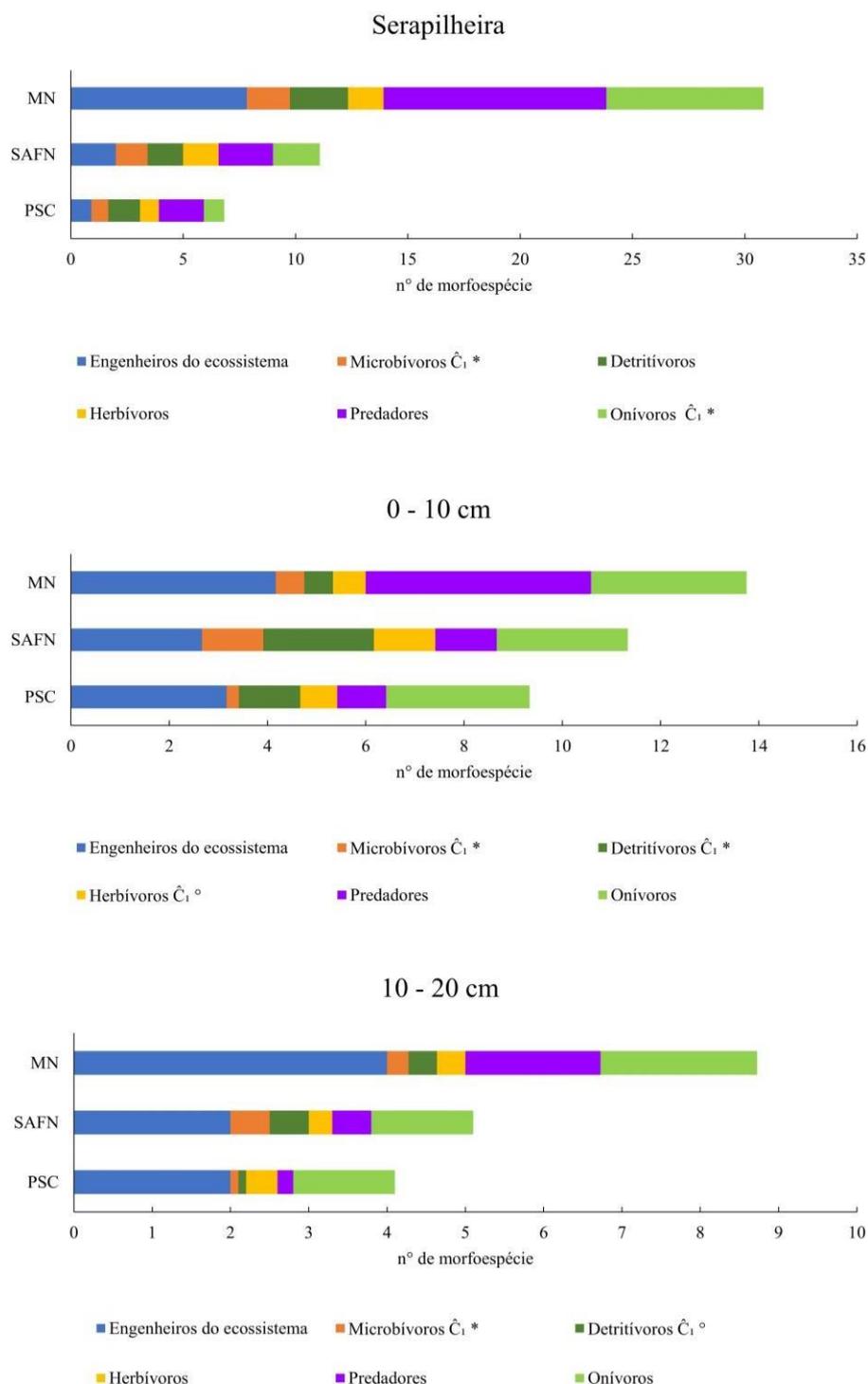
Todos os usos da terra apresentaram menor riqueza dos grupos funcionais com o aumento da profundidade do solo. A riqueza dos grupos funcionais da meso e macrofauna edáfica também foi alterada pelo uso da terra (Figura 4). Na serapilheira, na MN a riqueza total foi de 30,83 morfoespécies, variando de 10 (predadores) a 1,6 morfoespécies (herbívoros). A riqueza do grupo dos predadores foi seguida por engenheiros do ecossistema, onívoros, detritívoros, microbívoros e herbívoros (Figura 4). Em SAFN a riqueza total foi de 11,08 morfoespécies, variando de 2,41 morfoespécies (predadores) a 1,41 morfoespécies (microbívoros). Em PSC a riqueza total foi de 6,83, variando de 2 morfoespécies (predadores) a 0,75 morfoespécies (microbívoros). Quando comparada ao PSC, as riquezas de morfoespécies de microbívoros e onívoros foram maiores ( $p < 0,10$ ) em SAFN. As riquezas de engenheiros do ecossistema, detritívoros, herbívoros e predadores foram similares em SAFN e PSC (Figura 4).

Na camada 0-10 cm, a riqueza total, na MN, foi de 13,75 morfoespécies, variando de 4,6 morfoespécies (predadores) a 0,58 morfoespécie (microbívoros e detritívoros). A riqueza do grupo dos predadores foi seguida do grupo dos engenheiros do ecossistema, onívoros, herbívoros, microbívoros e detritívoros (Figura 4). Em SAFN a riqueza total foi de 11,33 morfoespécies, variando de 2,66 morfoespécies (engenheiros do ecossistema e onívoros, iguais) a 1,25 morfoespécies (microbívoros, herbívoros e predadores). Em PSC a riqueza total foi de 9,33 morfoespécies, variando de 3,16 morfoespécies (engenheiros do ecossistema) a 0,25 morfoespécies (microbívoros). Quando comparada ao PSC, as riquezas do grupo dos microbívoros e dos detritívoros foram maiores em SAFN. A riqueza de herbívoros também foi maior ( $p < 0,10$ ) em SAFN. A riqueza dos grupos engenheiros do ecossistema, predadores e onívoros foram similares em SAFN e PSC (Figura 4).

Na camada 10-20 cm, em MN, a riqueza total foi de 8,73 morfoespécies, variando de 4 (engenheiro do ecossistema) a 0,27 (microbívoros) morfoespécies. A maior riqueza do grupo dos engenheiros do ecossistema foi seguida pelo grupo dos onívoros, predadores, detritívoros e herbívoros (iguais) e microbívoros (Figura 4). Em SAFN a riqueza total foi de 5,1 morfoespécies, variando de 2 morfoespécies (engenheiros do ecossistema) a 0,3 morfoespécies (herbívoros). Em PSC a riqueza total foi de 4,1 morfoespécies, variando de 2 morfoespécies (engenheiros do ecossistema) a 0,1 morfoespécies (microbívoros e detritívoros). Quando comparada ao PSC, a riqueza do grupo de microbívoros foi maior ( $p < 0,05$ ) em SAFN. Em SAFN, as riquezas dos grupos dos detritívoros e onívoros foram também maiores ( $p < 0,10$ ).

Os grupos dos engenheiros do ecossistema, herbívoros e predadores foram similares em SAFN e PSC (Figura 4).

**Figura 4.** Riqueza dos grupos funcionais da macro e mesofauna edáfica coletada na serapilheira e nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na Mata Nativa (MN), cafezais em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da agricultura natural (SAFN) e cafezais convencional a pleno sol (PSC). Araponga, Minas Gerais.



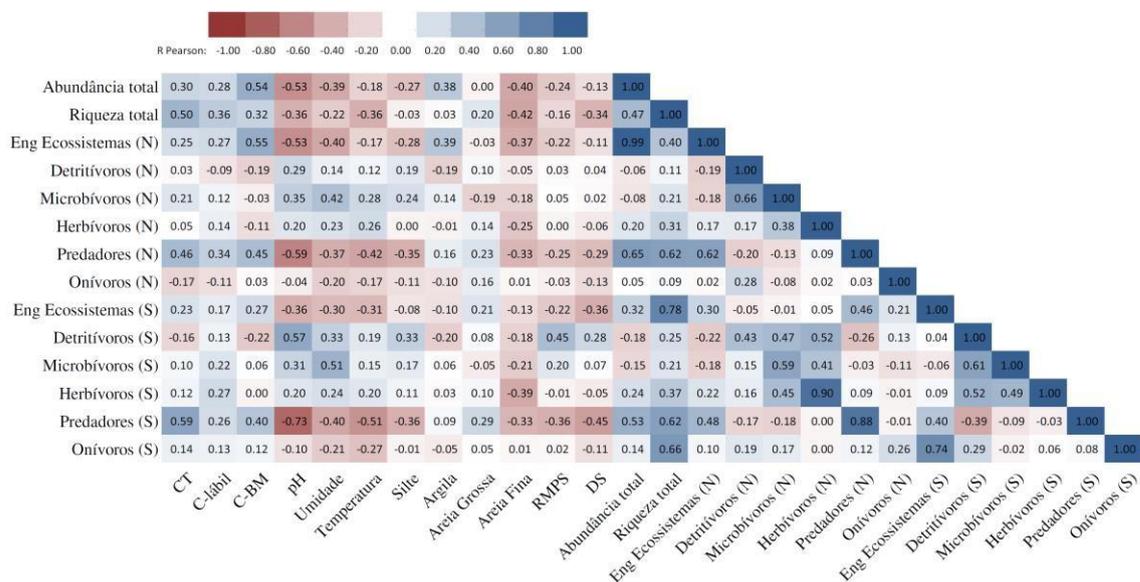
$C_1 = * \text{ ou } \circ$  médias de SAFN superiores às médias de PSC de acordo com o teste Holm unilateral ( $P < 0.05$  ou  $P < 0.10$ , respectivamente).

### 3.4. Correlações dos grupos funcionais da meso e macrofauna edáfica com variáveis edáficas na camada 0-10 cm

Na camada 0-10 cm, as principais correlações ( $p < 0,05$ ) dos atributos do solo com a abundância e riqueza das morfoespécies classificados de acordo com os grupos funcionais foi negativa entre a abundância de predadores e o pH do solo ( $R = -0.59$ ), entre a riqueza de predadores e o pH do solo ( $R = -0.73$ ), entre a abundância de predadores e a temperatura do solo ( $R = -0.42$ ) e entre a riqueza de predadores e temperatura do solo ( $R = -0.51$ ). Correlações positivas foram observadas entre abundância de predadores com o COS ( $R = 0.46$ ), C-lábil ( $R = 0.34$ ) e C-BM ( $R = 0.45$ ) e riqueza de predadores com o COS ( $R = 0.59$ ) e C-BM ( $R = 0.40$ ). A riqueza de detritívoros também se correlacionou ( $p < 0,05$ ) positivamente com o pH do solo ( $R = 0.57$ ) e com a umidade do solo ( $R = 0.33$ ). A abundância de microbívoro ( $R = 0.42$ ) e a riqueza de microbívoro ( $R = 0.51$ ) também se correlacionaram positivamente com a umidade do solo (Figura 5).

As correlações ( $p < 0,05$ ) foram positivas entre riqueza de detritívoros com: abundância ( $R = 0.47$ ) e riqueza ( $R = 0.61$ ) de microbívoro e abundância de herbívoro ( $R = 0.52$ ). A riqueza de microbívoro também se correlacionou positivamente ( $p < 0,05$ ) com a riqueza de herbívoro ( $R = 0.49$ ). A abundância de engenheiros do ecossistema se correlacionou positivamente ( $p < 0,05$ ) com a abundância ( $R = 0.62$ ) e riqueza ( $R = 0.48$ ) de predadores, ao passo que a riqueza de engenheiros do ecossistema se correlacionou ( $p < 0,05$ ) e positivamente com a riqueza de onívoro ( $R = 0.74$ ) (Figura 5).

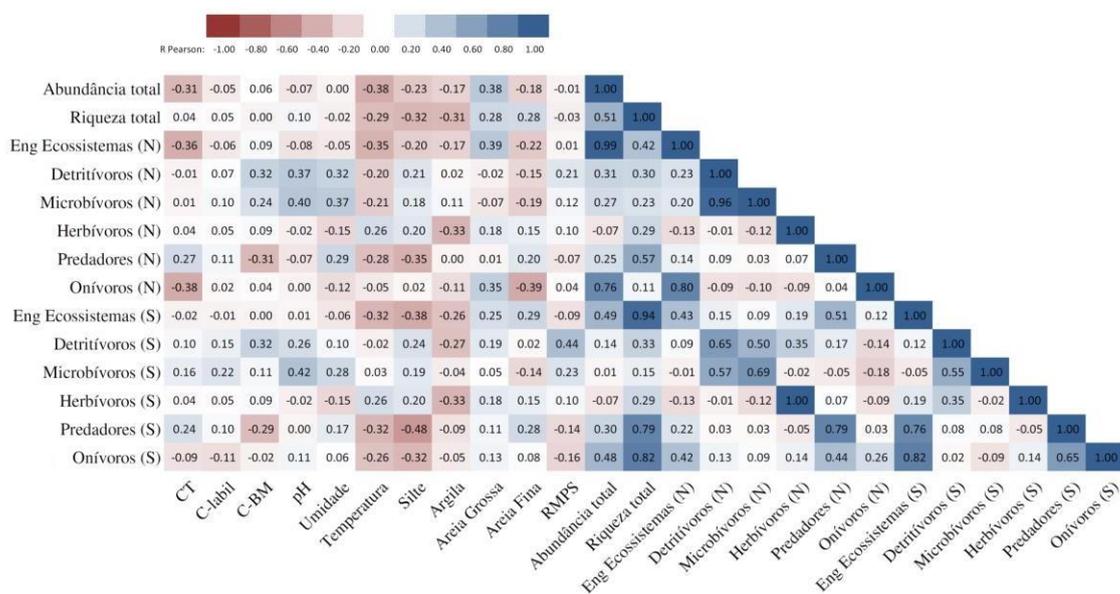
**Figura 5.** Correlograma entre as variáveis edáficas e a abundância e riqueza dos principais grupos funcionais da fauna na camada de 0 a 10 cm do solo. Índices de correlação de Pearson  $> |0.33|$  são estatisticamente significativos ( $p < 0.05$ ;  $n = 36$ ).



### 3.5. Correlações dos grupos funcionais da meso e macrofauna edáfica com variáveis edáficas na camada 10-20 cm

Na camada 10-20 cm, as principais correlações dos atributos do solo com a abundância e riqueza das morfoespécies classificados de acordo com os grupos funcionais (Figura 6) foi positiva ( $p < 0,05$ ) entre a abundância dos detritívoros e o pH do solo ( $R=0.37$ ), a abundância dos microbívoros e o pH do solo ( $R=0.40$ ), a abundância dos microbívoros e a umidade ( $R=0.37$ ). Correlação negativa foi observada entre a riqueza dos predadores e a temperatura do solo ( $R=-0.32$ ). As correlações (Figura 6) foram positivas ( $p < 0,05$ ) entre a abundância de microbívoros e a abundância de detritívoros ( $R=0.96$ ), assim como, entre a riqueza de microbívoros com: a riqueza ( $R=0.55$ ) e a abundância ( $0.57$ ) de detritívoros. A abundância de onívoros também se correlacionou positivamente com a abundância total ( $R=0.76$ ) e com a abundância de engenheiros do ecossistema ( $R=0.80$ ), assim como, a riqueza de onívoros se correlacionou com a riqueza total ( $R=0.82$ ), com a riqueza de engenheiros do ecossistema ( $R=0.82$ ) e com a riqueza de predadores ( $R=0.65$ ).

**Figura 6.** Correlograma entre as variáveis edáficas e a abundância e riqueza dos principais grupos funcionais da fauna na camada de 10 a 20 cm do solo. Índices de correlação de Pearson  $> |0.33|$  são estatisticamente significativos ( $P < 0.05$ ;  $n = 36$ ).



## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Classificação dos animais do solo em grupos funcionais

O grande número de morfoespécies (277; Tabela 3) da meso e macrofauna edáfica identificada nesse ambiente está relacionado a exuberante biodiversidade característica da fauna edáfica brasileira (FAO, 2020; Lavelle et al., 2022). A classificação dos animais do solo em grupos funcionais, ao invés de apenas taxonômicos (Tabela 3), permitiu uma compreensão mais profunda dos papéis ecológicos que eles desempenham (Potapov et al., 2022) e, além disso, forneceu elementos práticos para orientar o manejo do solo de forma a conservar a biodiversidade e, em consequência, os solos. Os diferentes grupos funcionais contribuem para diferentes processos, como por exemplo, decomposição, ciclagem de nutrientes, bioturbação e predação, determinando assim, a saúde do solo, com consequências para a qualidade ambiental, a saúde vegetal e animal (Bardgett e van der Putten, 2014).

As observações de morfoespécies presentes apenas na área de Mata Nativa (Tabela 3), a exemplo dos dipluras, Neuroptera, Hirudinida, diversas espécies de formigas e aranhas, é um indicativo de que esses grupos podem ser mais vulneráveis a mudanças no uso da terra (Baretta et al., 2011). Contudo, pode-se esperar que estas espécies migrem para SAFN (Perfecto, Vandermeer, & Wright, A., 2019), pois o manejo em SAFN leva a uma imitação dos processos ecológicos que ocorrem MN, inclusive transportando serapilheira de MN para SAFN, o que

pode ser propiciada pela proximidade das áreas. Em áreas tropicais naturais, altamente fragmentadas, as migrações das populações de invertebrados ocorrem para agroecossistemas de alta qualidade, como em SAFN, que conservam a biodiversidade, mas não ocorrem para agroecossistemas de baixa qualidade, hostil a biodiversidade (Perfecto, Vandermeer, & Wright, A., 2019), como em PSC. PSC possui altas populações de uma espécie invasora e apresenta uma rede trófica mais simplificada, indicada pelas menores abundâncias (Figura 3) e riquezas (Figura 4) de diversos grupos.

A presença de algumas morfoespécies apenas no SAFN (Tabela 3), indicou a qualidade deste sistema, propiciando a presença de organismos muito sensíveis ao manejo agrícola como os enquitreídeos (Pelosi e Rombke, 2016). Enquitreídeos, classificados como microbívoros e detritívoros, são espécies sensíveis a umidade do solo, pois apresentam baixa resistência à desidratação devido às características de sua pele lisa e permeável a água (Jänsch et al., 2005). O menor teor de umidade em PSC, em relação ao SAFN (Tabela 2), provavelmente não criou condições ambientais propícias à presença desse grupo em PSC, ao mesmo tempo que criou condições de sobrevivência de uma espécie de minhoca exótica resistente a desidratação (Ayres e Guerra, 1981). Logo, a presença de organismos classificados como microbívoros e detritívoros (enquitreídeos) e engenheiro do ecossistema (minhoca) indicaram a qualidade do solo.

Embora tenha sido observado uma riqueza impressionante de classes, famílias, gêneros, espécies e morfoespécies (Tabela 3) não foi possível encontrar muitos dados sobre estes organismos na literatura, pois, a informação disponível está fortemente restrita aos grandes grupos taxonômicos (Briones et al., 2014) e, além disso, alguns organismos ainda nem haviam sido descritos. Por isto, pode-se dizer, como já observado por outros autores, que a fauna edáfica, principalmente a macrofauna, é frequentemente negligenciada na ciência (Decaens et al., 2006; Gongalski, 2021) e o papel destes organismos do solo ainda é subestimado não só pelos cientistas, como também pelos gestores das políticas públicas (FAO, 2020). A descoberta de espécies novas para a Ciência mostra, ainda, a enorme necessidade de estudar os organismos da fauna edáfica em áreas geográficas e nichos ecológicos ainda não explorados, o que deve ser feito de forma colaborativa entre taxonomistas, ecologistas e cientistas do solo (Eisenhauer et al., 2017), como feito no estudo aqui apresentado. A identificação dos táxons nos menores níveis taxonômicos possíveis facilita a compreensão de suas funções ecológicas (Decaens et al., 2006)

#### **4.2. Efeito vertical e de mudanças no uso da terra na distribuição dos grupos funcionais da macro e mesofauna edáfica**

Os dados de abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) dos grupos funcionais da meso e macrofauna indicaram que a conversão de ecossistemas naturais (como no fragmento de mata aqui referenciado) para sistemas agrícolas (SAFN e PSC) diminui a diversidade de plantas acima do solo e a diversidade de organismos promotores da multifuncionalidade dos processos ecológicos no solo (Lavelle, 1996; Hooper et al., 2000; Decaens et al., 2006). Entretanto, esta diminuição foi menor em SAFN, porque este sistema se assemelha ao ecossistema natural. A camada de solo mais superficial (0-10 cm) apresentou-se como a camada de maior atividade biológica dos organismos da meso e macrofauna edáfica (Figura 3 e 4).

Na serapilheira, a abundância (Figura 3) e a riqueza (Figura 4) maiores de alguns grupos funcionais em SAFN em relação à MN e ao PSC, indicam que o manejo em SAFN é conservacionista (Souza, 2023; Figueiredo, 2024) e, dentro dos limites possíveis, imita os padrões da natureza, devido sua alta diversidade de espécies de plantas e uso da serapilheira da MN. A eficiência do manejo da serapilheira como prática da agricultura natural favoreceu atributos importantes no solo, como teores de CT, C-lábil, umidade e temperatura (Tabela 2) e uma comunidade edáfica multifuncional, estabelecida por uma teia trófica diversificada, com a maior abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) de organismos herbívoros, microbívoros, detritívoros, predadores e onívoros, principalmente na camada 0-10 cm, embora com abundância e riqueza, nesta camada, menor que na serrapilheira. A abundância (Figura 3) e a riqueza (Figura 4) dos grupos funcionais variaram com a profundidade porque os recursos básicos variam com as diferentes camadas do solo e diminuem com a profundidade, conforme já indicado por outros autores (Berg e Bengtsson, 2007; Briones, 2014; Potapov, 2022). Na camada de 0-10 cm, a ciclagem de nutrientes, a decomposição e a estabilização da MOS devem ser impulsionadas, pois ela sustenta a vida tanto abaixo como acima do solo (Potapov et al., 2021).

Em SAFN, na serrapilheira e nas duas camadas de solos, a mais bem desenvolvida e multifuncional comunidade edáfica quando comparada com PSC, demonstradas pela abundância e riqueza de grupos funcionais, indica que as práticas de agricultura natural promovidas em SAFN favoreceu os diferentes processos ecossistêmicos. Em SAFN a maior presença e diversidade de árvores e outras plantas disponibilizaram resíduos diversos que alimentaram os organismos do solo. Os organismos da meso e macrofauna edáfica ao se alimentarem de diferentes fontes de alimentos devido suas diferentes características, colaboram para a maior diversidade de grupos funcionais, que por sua vez atuam em diferentes processos

ecossistêmicos (Potapov, 2022). Estes diferentes processos incluem a decomposição da MOS, a ciclagem de nutrientes e a liberação de nutrientes para a nutrição das plantas, a regulação do equilíbrio hídrico e o arejamento através da manutenção da estrutura do solo e, o controle de populações (Wardle e Van Der Putten, 2002). Estes processos, mediado pela vida, garantem o crescimento e produtividade do café, como atestado pelo agricultor, que, mesmo sem a adição de insumos externos, como adubos químicos e ou orgânicos de origem animal, garantiu maior valor agregado ao café, comprovado pela sua alta qualidade (Souza, 2023; Figueiredo, 2024, Fontes, 2023). Estes processos garantem ainda a maior resiliência do sistema.

A resiliência do solo pode ser medida pela redundância de espécies. A redundância é representada pela diversidade de respostas do solo dada principalmente pela biota do solo (Ludwig; Wilmes; Schrader, 2018). Assim, em SAFN, a maior abundância (Figura 3) e maior riqueza (Figura 4) de grupos funcionais, quando comparados com PSC, podem ser associados a maior redundância funcional das comunidades de organismos da macro e mesofauna edáfica de agroecossistemas. Com isto, o sistema de uso da terra utilizado em SAFN promove maior qualidade ecológica, pois possui maiores e diferentes interações tróficas e, portanto, promove maior resiliência do agroecossistema, i.e., SAFN possui maior capacidade de se adaptar às mudanças ambientais.

Sistemas de uso da terra, como em SAFN, devem ser incentivados, pois além de economicamente viável, aproximam-se mais da natureza (Barnet et al., 2014), promovem maior resiliência e estabilidade da comunidade biológica, responsável por promover valiosos serviços ecossistêmicos (Díaz et al., 2018). Ao contrário, a conversão de mata nativa para áreas de agricultura em padrões convencionais deve ser evitada, pois leva a menor resiliência do ecossistema (Nielsen et al (2011).

Construir o conceito de resiliência em sistemas agrícolas requer uma visão de longo prazo, como em SAFN, onde o manejo neste sistema foi iniciado a 14 anos e que ainda está em processo de transformações, por isto outros estudos devem ser realizados para mensurar melhor resiliência de SAFN (Ludwig; Wilmes; Schrader, 2018).

### **4.3. Abundância e riqueza de engenheiros do ecossistema**

A maior abundância (Figura 3) dos engenheiros do ecossistema na serapilheira em SAFN, comparado ao PSC, deve-se a maior heterogeneidade da serapilheira em SAFN, composta por grande diversidade de material orgânico, em vários estágios de decomposição, além de materiais celulósicos, como madeira (viva ou morta), gramíneas, plantas herbáceas, serapilheira da mata, restos de cultura como a casca de café, excrementos e carcaças de animais,

líquens, fungos, dentre outros organismos. A serapilheira em constante deposição fornece maior diversidade de habitats, funciona como área de alimentação para as diferentes morfoespécies (Tabela 3), mantém a umidade do solo (Tabela 2) e favorece, então, o desenvolvimento dos engenheiros dos ecossistemas e de outros grupos da fauna edáfica. Mesmo algumas espécies subterrâneas, como os cupins, se alimentam diretamente da cobertura de serapilheira (Lima e Costa-Leonardo, 2007; Jouquet et al., 2016). A vasta gama de alimentos utilizados pelos cupins, permitiu essas espécies ocuparem quase todas as regiões quentes e temperadas da Terra, ocorrendo em praticamente todos os ambientes terrestres, naturais ou modificados pela espécie humana.

Na serapilheira de SAFN, o substrato vegetal em decomposição e os restos de fungos e secreções de insetos são ricos em nutrientes disponíveis e favorecem o estabelecimento de algumas morfoespécies de formigas, que atuam também na engenharia dos ecossistemas (Tabela 3). Isto porque, diversas destas espécies atuam cortando e transportando materiais vegetais para seus ninhos, onde são degradados por um fungo simbiótico, o qual constitui a principal fonte de alimento de determinadas espécies de formigas (Meyer et al., 2013). Os ninhos das formigas apresentam impactos significativos no sistema decompositor e na ciclagem de nutrientes, com efeitos subsequentes na biodiversidade edáfica, devido benefícios para dinâmica multitrófica dos artrópodes do solo e na vegetação (Sanders; Van Veen, 2011).

Quando comparada ao PSC, a maior abundância (Figura 3) dos engenheiros do ecossistema em SAFN apenas na serapilheira foi consequência tanto da maior complexidade e diversidade de material depositado na superfície de SAFN como serapilheira quanto da alta abundância e da dominância de uma única espécie nas camadas de 0-10 e 10-20 cm do solo em PSC. A serapilheira é fonte de nutrição para as plantas e para as diferentes morfoespécies (Tabela 3) que compõem o grupo dos engenheiros do ecossistema (Lavelle et al., 2020) e favoreceu os engenheiros dos ecossistemas. A *Pontoscolex corethrurus* foi a espécie de minhoca invasora e dominante nas camadas de solo em PSC. Esta espécie além de mais resistente às condições de baixa umidade observadas em PSC (Tabela 2), é fortemente influenciada pelo uso e manejo da terra (Taheri et al., 2018) e apresenta também certa tolerância a contaminantes do solo (Zavala-Cruz et al., 2012). Quando invasora, nem sempre a espécie engenheira promove benefícios ao ecossistema (Bohlen et al., 2004). Engenheiros do ecossistema são considerados organismos chave na conservação da estrutura do ambiente e na manutenção do habitat para outras espécies (Jouquet et al., 2006) e, no geral, a bioturbação efetivada por estes organismos é vista como mais benéfica do que prejudicial ao solo (Lavelle et al., 1997). Entretanto, a alta abundância de *Pontoscolex corethrurus* em PSC, indica que

efeitos negativos na engenharia deste agroecossistema pode ser esperado (Bohlen et al., 2004; Jouquet et al., 2006; Brown et al., 2015; He et al., 2020). Esta espécie, além de reduzir a macroporosidade do solo, atua na formação de uma crosta na superfície do solo feita de coprólitos compactadores (Hendrix et al., 2006; He et al., 2020). Seus efeitos nas propriedades do solo podem também ter influenciado o menor conteúdo de MOS (Tabela 2), o que pode levar a impactos drásticos relacionados à regulação do clima, armazenamento de água e outras propriedades do solo relacionadas à MOS.

A menor abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) de determinados grupos em PSC, principalmente na camada 0-10 cm, também pode estar relacionada ao domínio desta espécie que compete com as espécies da fauna nativa. A atividade desta espécie pode alterar negativamente a estrutura da comunidade de outros organismos do solo, devido ao efeito cascata (de baixo para cima), o qual altera a abundância dos invertebrados acima do solo (He et al., 2020). As perturbações antropogênicas, como induzidas pelo manejo convencional em PSC, são um pré-requisito para o estabelecimento e domínio de minhocas exóticas (Demétrio et al., 2023).

#### **4.4. Detritivoria e microbivoria**

A maior abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) de organismos detritívoros nas camadas de solo de SAFN em relação ao PSC foi determinada pela maior complexidade da estrutura vegetal em SAFN, com maior riqueza de espécies arbóreas e alto aporte de materiais de poda destas árvores, de serapilheira e de corte de plantas de cobertura do solo, como o amendoim forrageiro, os quais favoreceram incrementos nos teores de umidade, CT e C-lábil (Tabela 1) e, determinaram a abundância e diversidade dos grupos de organismos da fauna edáfica, como o grupo dos detritívoros (Wardle, 2004; Ganault et al., 2021). Maior abundância e riqueza de organismos detritívoros indicam que o manejo da biomassa vegetal em SAFN foi eficiente para o crescimento das plantas e para a conservação da vida do solo em geral, pois, os organismos que executam a detritivoria mediam todo o funcionamento dos ecossistemas e afetam organismos em todo o espectro trófico (Coleman, 1996; Steffan et al., 2017).

SAFN portanto, está favorecendo o consumo de complexos detritícos pela macro e mesofauna, mas, certamente, também pelos microrganismos. A comunidade microbiana tende a ocupar a grande parte da biomassa detritívora, formando um complexo detritíco que podem ser chamados de cadeias marrons (Steffan et al., 2017). A ação da detritivoria portanto, é acompanhada do complexo microbiano, pois, os organismos detritívoros consomem não apenas a matéria orgânica em decomposição, mas também os microrganismos presentes nela e, por

isso, a detritivoria pura, com dieta desprovida de proteína microbiana é provavelmente rara ou inexistente na natureza (Steffan et al., 2017). Portanto, o manejo em SAFN, através do fornecimento de energia e matéria, como produtos vegetais vivos e mortos, folhas e raízes, madeira morta e rizodeposição está influenciando não só os organismos detritívoros da meso e macrofauna (Coleman, 1996), mas também promovendo a atividade microbiana, já que, a microbiota detritívora e a microbiota são análogas tróficas uma das outras. Os microrganismos realizam os processos básicos do ecossistema do solo, no entanto, os consumidores de microrganismos e materiais vegetais têm fortes efeitos indiretos sobre esses processos por pastoreio microbiano, trituração de lixo, transformação de matéria orgânica e translocação (Lavelle et al., 1997; Briones, 2014; Potapov, 2021).

Por sua vez, a menor abundância de detritívoros observada em PSC, em relação ao SAFN, é um padrão que pode ser explicado pela ausência ou má qualidade da serapilheira, associada à menor atividade microbiana, indicada também pela menor abundância de microbívoros na serapilheira de PSC (Figura 3).

A maior abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) dos microbívoros em SAFN, comparado ao PSC, em todas as camadas avaliadas, ocorreu também devido ao manejo dos resíduos e constante cobertura do solo em SAFN, práticas estas que favorecem o acúmulo de MOS (Tabela 2) e os atributos químicos e físicos do solo (Tabela 2). Além disso, tais práticas forneceram alimento e habitat para os organismos detritívoros e microbianos e, conseqüentemente, para os microbívoros (Figura 3), de forma que toda a biodiversidade da fauna edáfica foi favorecida, pois, a microbivoria também é responsável por elevar de forma mensurável as posições tróficas da fauna (Steffan et al., 2017). Por isso, a microbivoria promove aumento na diversidade de espécies e na complexidade das interações tróficas no solo, conseqüentemente, uma série de benefícios para o agroecossistema é fornecida, como controle natural de pragas, ciclagem de nutrientes, melhoria da estrutura do solo e maior resiliência do agroecossistema devido à alta diversidade trófica.

#### **4.5. Abundância e riqueza de herbívoros**

A maior abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) de herbívoros na camada superficial do solo de SAFN, em relação ao PSC, é resultado da boa nutrição das plantas neste sistema (Brévault e Clouvel, 2019). Por um lado, o manejo em SAFN sem uso de fontes químicas e orgânicas de origem animal, resultou em diversos benefícios que favoreceram a fauna do solo, como por exemplo: mudanças menos drásticas na temperatura, maior teor de água no solo (Tabela 2), aumento do teor de CT e C-lábil (Tabela 2), nutrientes no solo e mais exsudatos

radiculares (Domínguez et al., 2023). Estas condições são favoráveis não só para a vida dos invertebrados, como também para o desenvolvimento das plantas, que em processos sinérgicos se retroalimentam (Bardgett, 2005). Por outro lado, o uso de herbicidas em PSC também pode ter influenciado a menor abundância de herbívoros neste sistema comparado ao SAFN (Coulis, 2021).

A maior abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) de herbívoros no solo de SAFN, em relação ao PSC, também é resultado da eficiência dos organismos detritívoros e microbívoro em nesta teia trófica mais complexa e equilibrada (Eisenhauer et al., 2010). Além dos herbívoros, as atividades dos organismos detritívoros e microbívoro no solo favorecem a decomposição da MOS e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes, favorecendo assim a nutrição e desenvolvimento de plantas (Carrillo et al., 2011; Joly et al., 2020). As plantas por sua vez liberam diferentes tipos de exsudatos radiculares, proporcionam uma ampla gama de recursos alimentares capazes de atrair uma maior riqueza de organismos herbívoros (Barnes et al., 2018). Uma maior comunidade de herbívoros sustenta também maiores populações de predadores (Bardgett, 2002), os quais ajudam a controlar suas populações e a manter o equilíbrio do ecossistema como um todo. Isso induz a maior resiliência e sustentabilidade a longo prazo, com benefícios tanto para o ambiente quanto para o agricultor (Ludwig; Wilmes; Schrader, 2018), tanto é que não se observou herbivoria nas plantas de SAFN. Com isto, a herbivoria, ao invés de indicar problema, indica que SAFN está promovendo um ambiente com maior equilíbrio ecológico quando comparado ao PSC.

#### **4.6. Abundância e riqueza de predadores**

Na camada de 0-10 cm, em SAFN encontrou-se a maior abundância e riqueza de predadores, em relação ao PSC. O que se deve aos incrementos nos teores de MOS em SAFN (Tabela 2), o qual influencia os grupos funcionais da fauna edáfica, incluindo os herbívoros, que de forma sinérgica leva a maior densidade e atividade dos predadores do solo (Hooper et al., 2000; Lavelle et al., 1995). Além disso, SAFN proporciona uma ampla gama de habitats e refúgios para os predadores do solo, devido a manutenção da cobertura do solo, manejo de resíduos e a diversidade de espécies arbóreas (Schmidt et al., 2005; García-García et al., 2022).

Por sua vez, o manejo convencional em PSC, com uso de adubos químicos e herbicidas, provoca alterações no microclima do solo (Tabela 2) e reduz a complexidade do habitat através da eliminação das plantas espontâneas como cobertura vegetal. Tais práticas agrícolas, têm sido consideradas fortes influenciadoras da diminuição da abundância dos invertebrados do solo (Coulis, 2021; Potapov et al., 2020). Os herbicidas, por exemplo, além de influenciarem os

organismos do solo através da toxicidade direta, alteram a estrutura do habitat, como a altura das plantas, alteram a temperatura e a umidade do solo e diminuem a abundância de vários predadores, como aranhas e besouros da família Carabidae (Brust, 1990; Haughton et al., 2003; Coulis, 2021).

#### **4.7. Abundância e riqueza de onívoros**

Da mesma forma que para os outros organismos da fauna edáfica, a maior abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) da meso e macrofauna onívora na serapilheira de SAFN, comparada a PSC, foi favorecida pela maior variedade de alimentos e micro habitats disponíveis para os organismos, incluindo espécies onívoras de formigas que encontraram locais de nidificação. A simplicidade do sistema PSC, com pouca ou quase nenhuma cobertura do solo, indica nível mais alto de perturbação, com menor acúmulo de MOS (Tabela 2), menor abundância de organismos detritívoros e microbívoros (Figura 3), menor acúmulo de umidade (Tabela 2), alta abundância de espécie de minhoca invasora no solo, condições estas desfavoráveis para o estabelecimento de uma fauna biodiversa. No entanto, a onivoría é determinada por uma alimentação mais generalista, o que é uma característica comum nas cadeias alimentares do solo (Potapov et al., 2022). Assim sendo, algumas espécies de organismos, como algumas formigas onívoras, encontram condições favoráveis para a reprodução e desenvolvimento favorecidos em sistemas cafeeiros abertos, perturbados e com poucas espécies de plantas (Rivera e Armbrrecht, 2005), como em PSC. Entretanto, SAFN apresentou maior riqueza e abundância do grupo onívoro, o que pode estar indicando o baixo potencial de conservação da biodiversidade edáfica em PSC, visto que, até mesmo o estabelecimento de grupos comuns para este sistema de cultivo simplificado está sendo desfavorecido.

#### **4.8. Correlações dos atributos do solo com os grupos funcionais**

Na camada de 0-10 cm (Figura 5), as correlações positivas da abundância e a riqueza de predadores com o COS, C-lábil, C-BM e correlação negativa da abundância e riqueza total de morfoespécies com o pH do solo e a temperatura são indicações de que a comunidade de predadores parece ser mais sensível às variações na qualidade do solo do que outros grupos (Ganault et al., 2021). O ambiente pouco perturbado e de maior complexidade estrutural, como em MN e SAFN, foram responsáveis por essas correlações. Em SAFN, o aporte de serapilheira com componentes mais recalcitrantes, associada a adição de materiais de diversas qualidades, e de forma contínua, potencializa os processos de formação da MOS (Ganault et al., 2021).

A diversificação de micro habitats, proporcionam esconderijos na superfície do solo e aumentam a disponibilidade de presas (Schmidt et al., 2005; Nuria et al., 2011) e; o aumento da abundância e riqueza de outras espécies, indicado pela correlação dos predadores com a abundância e riqueza total de espécies, também beneficia a comunidade predadora pelo aumento do número de presas.

A correlação positiva dos predadores com o C-BM parece implicações do funcionamento da cadeia trófica. Os animais dos níveis tróficos mais elevados, como os predadores, se alimentam de organismos das comunidades de níveis tróficos mais baixos (Pokarzhevskii et al., 2003), o implica em dependência de todos os animais, incluindo dos predadores, pelos microrganismos, para o seu fornecimento de proteínas (Coleman, 1996; Steffan et al., 2016).

A correlação positiva da comunidade detritívora com o pH do solo, inverso a comunidade predadora (Figura 5), indica a importância dos resíduos vegetais com maiores concentrações de nutrientes e considerados de maior qualidade, para a palatabilidade dos detritívoros (Ganault et al., 2021). Em SAFN, espécies de árvores com serapilheira de alta qualidade, associada ao cultivo de plantas de cobertura, como a leguminosa *Arachis pintoi*, favoreceram as concentrações de nutrientes e os altos conteúdos de compostos recalcitrantes (Figueiredo, 2024), como observado em outros estudos (Korboulewsky; Perez; Chavaut, 2016), ao mesmo tempo em que favoreceram a abundância dos organismos detritívoros (Figura 3) e elevaram o pH do solo. Ao contrário, Ganault et al (2021) observaram que a adição de serrapilheira de baixa qualidade, oriundas de espécies perenes, acidificou o solo, favoreceu os predadores e afetou negativamente os detritívoros.

A correlação positiva entre a abundância e riqueza de engenheiros do ecossistema e a abundância e riqueza total de morfoespécies, indica também a alta dependência da conservação da biodiversidade do solo aos espaços criados pelos engenheiros (Jouquet et al., 2006). O grupo engenheiros do ecossistema é formado por espécies com hábitos e comportamentos sociais, estruturados em colônias, como as formigas e cupins com atividades de bioturbação que formam nichos e habitats para outras espécies que não possuem habilidade para criar seus próprios habitats (Bardgett, 2002).

Para os organismos microbívoros, principalmente na camada 0-10 cm, tanto a riqueza quanto a abundância deste grupo se correlacionaram com a umidade do solo (Figura 5), indicando a sensibilidade deste grupo taxonômico à umidade do solo. Este grupo se alimenta de microrganismos e solos com níveis mais adequados de umidade apresentam atividade mais intensa de microrganismos, o que pode resultar em maior disponibilidade de alimentos para os

microbívoros (Wardle, 2006). A umidade do solo também afeta a mobilidade dos microbívoros (Coleman, 1996). Em condições de solo muito secos, muitos desses organismos podem se deslocar para camadas mais profundas em busca de umidade e nutrientes, reduzindo sua disponibilidade na camada superficial do solo (Schutz et al., 2020), como no caso de PSC, cujos valores de umidade foram mais baixos (Tabela 2), assim como a abundância (Figura 3) e riqueza (Figura 4) de microbívoros.

#### **4.9. Correlações entre os grupos funcionais**

A correlação entre a abundância de detritívoros e a abundância de microbívoros (Figura 5 e 6), principalmente na camada 10-20 cm do solo (Figura 6), indica a interdependência das funções ecológicas. Os organismos detritívoros, responsáveis pela fragmentação e desintegração dos resíduos orgânicos grosseiros no solo, apresentam em suas entranhas simbioses com microrganismos (Schapheer; Pellens; Scherson, 2021) e, ao atuarem neste processo de fragmentação, inoculam também microrganismos no material fragmentado (Gongalski, 2021), ao mesmo tempo em que o material a ser fragmentado pelos detritívoros também é acompanhado por um complexo microbiano, portanto, a alimentação dos detritívoros não é desprovida de microrganismos (Ganault et al., 2021). Contudo, o complexo detritico, formado pela fragmentação dos detritívoros e microrganismos, aumenta a disponibilidade de alimento para os microbívoros, coexistindo, portanto, uma alta dependência da atividade dos detritívoros para que os microbívoros consigam acessar seus recursos alimentares (Steffan et al., 2017). Portanto, os organismos de diferentes grupos funcionais têm efeitos complementares e sinérgicos no funcionamento do solo (Lavelle, 1996; Coulis, 2021).

Há, então, um ciclo contínuo de decomposição e alimentação entre tais organismos. Os detritívoros, ao fragmentarem os resíduos orgânicos, podem misturar também estes resíduos no solo, o que acelera a decomposição e liberação de nutrientes contidos nos materiais orgânicos favorecendo a atividade metabólica dos microrganismos, conseqüentemente contribuindo para maiores recursos alimentares aos microbívoros (Wardle, 2006).

A correlação positiva entre a riqueza de herbívoros e a riqueza de microbívoros e detritívoros (Figura 5), explica o desempenho crucial dos detritívoros e microbívoros na ciclagem de nutrientes, o que beneficia a nutrição das plantas e, em consequência, os herbívoros (Wardle, 2004; Joly et al., 2020). Através da decomposição da serapilheira, os detritívoros e microbívoros melhoram a ciclagem de nutrientes e as taxas de mineralização de N, e, portanto, favorecem a produtividade do ecossistema e abundância de herbívoros (Eisenhauer et al., 2010; Carrillo et al., 2011; FAO, 2020).

A correlação entre abundância e riqueza de predadores com a abundância e riqueza de engenheiros do ecossistema (Figura 5 e 6) se deve aos hábitos generalistas dos predadores em relação às suas presas (Potapov et al., 2022). O grupo dos engenheiros do ecossistema representam a maior biomassa animal no solo (Jouquet et al., 2005), i.e., a maior biomassa animal dos engenheiros do ecossistema eleva a quantidade de presas para os predadores, que, com mais alimento, aumenta sua abundância e riqueza.

Os engenheiros do ecossistema podem ainda favorecer os predadores indiretamente. As formigas, por exemplo, como engenheiras do ecossistema, modificam a estrutura do habitat e alteram o conteúdo de nutrientes do solo, o que pode aumentar a densidade de decompositores importantes e, portanto, possivelmente afetar indiretamente os seus predadores (Schuch, Platner & Sanders 2008). Este efeito indireto é exemplificado pelo efeito multitrófico na teia alimentar dos artrópodes, através de processos que ocorrem em cascata trófica de baixo para cima. Tais processos incluem a modificação dos parâmetros físicos e químicos do solo pela bioturbação e o acúmulo de material orgânico, P, N e K nos ninhos, devido ao armazenamento de alimentos, cultivo de pulgões, acúmulo de fezes e restos de formigas (Lavelle et al., 1997).

Sanders e Van Veen (2011), estudando o impacto de duas espécies de formigas na comunidade de artrópodes, demonstraram que os efeitos de engenharia é uma força estruturante importante que afeta todos os níveis tróficos do sistema solo, pois observaram aumentos na densidade de decompositores, herbívoros e predadores generalistas na presença de colônias de formigas (Sanders; Van Veen, 2011). Ainda neste estudo, a riqueza média de espécies de aranhas foi afetada positivamente pela presença das colônias de formigas, o que, segundo os autores, foi resultado da maior disponibilidade de alimentos do sistema decompositor, o que favoreceu a maior sobrevivência de espécies predadoras. Logo, as maiores densidades de formigas foram importantes para determinar o efeito positivo na riqueza de aranhas.

A correlação positiva entre riqueza e abundância de onívoros com a riqueza e abundância de engenheiros do ecossistema e com a abundância total de morfoespécies, principalmente na camada 10-20 cm (Figura 6) pode também ter sido resultado dos efeitos ecológicos dos engenheiros sobre muitas outras espécies, conforme já indicado por outros autores (Jones et al., 1997; Wilby et al., 2001; Boulton & Anberman, 2006; Sanders; Van Veen, 2011).

## 5. CONCLUSÕES

Os princípios da agricultura natural utilizados no manejo agroecológico do café em sistema agroflorestal, com o uso de insumos vegetais produzidos localmente, com alto aporte

de material vegetal, diversidade de árvores no sistema e plantas de cobertura nas entrelinhas do café promoveu uma comunidade da macro e mesofauna edáfica mais bem desenvolvida e multifuncional, indicada pela maior abundância e riqueza de diversos grupos funcionais. A maior heterogeneidade e complexidade de serapilheira e do sistema de cultivo em SAFN resultou em maior diversidade de alimentos e de abrigos para os diferentes grupos funcionais estudados.

Os grupos funcionais determinados com base nos hábitos alimentares forneceram abordagens que permitiram relacionar a biodiversidade multitrófica ao funcionamento dos ecossistemas. A maior abundância de microbívoros e detritívoros em SAFN, favorecida pelo manejo da biomassa vegetal em SAFN, favoreceu o crescimento das plantas e a conservação da vida do solo em geral, pois, influenciou os organismos em todo o espectro trófico, com consequências no aumento da abundância e riqueza de morfoespécies herbívoras. Com mais presas disponíveis no agroecossistema, houve uma maior presença de morfoespécies predadoras. A abundância e riqueza de engenheiros do ecossistema na serapilheira de SAFN favoreceram a conservação de diversos grupos devido, provavelmente, aos efeitos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A indissociabilidade dos grupos funcionais da macro e mesofauna edáfica e a sustentabilidade do agroecossistema foi observada através das fortes correlações significativas entre os grupos e entre os grupos e os atributos químicos e físicos do solo, os quais atuam diretamente na sustentabilidade dos agroecossistemas de café.

O SAFN beneficiou ainda a redundância dos grupos funcionais, a qual leva a maior resiliência do sistema frente às mudanças climáticas e antropogênicas. Este sistema promoveu também resiliência econômica, ao reduzir os custos do agricultor com insumos externos, pois o agricultor não fica à mercê dos preços destes insumos no mercado. Além disto, houve maior valor agregado ao café, devido à sua alta qualidade.

Ao favorecer diferentes grupos funcionais, como engenheiros do ecossistema, detritívoros, microbívoros, herbívoros, predadores e onívoros, vários processos ecossistêmicos podem ter sido beneficiados relacionados aos atributos químicos e físicos do solo, incluindo a decomposição da MOS, o carbono total e lábil, a umidade do solo, a fertilidade do solo, a ciclagem de nutrientes, além de outros benefícios, como o controle biológico e o crescimento e produtividade das plantas de café e a qualidade da bebida do café. Entretanto, esses benefícios precisam ser mais bem estudados.

A elevada riqueza de morfoespécies descrita associada ao solo e a serapilheira, mostrou a exuberância da biodiversidade da fauna edáfica brasileira e o potencial de avanço dos estudos biológicos do solo ao amostrar a meso e macrofauna edáfica

A identificação de três espécies ainda não descritas pela comunidade científica em relativamente pequeno número de amostras, indicou como a fauna do solo é negligenciada pela comunidade científica. Entretanto, a descrição destas espécies só foi possível devido a colaboração entre taxonomistas, ecologistas e cientistas do solo, indispensáveis para o avanço do conhecimento sobre os fatores biológicos responsáveis por promover a qualidade do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, n. 1–3, p. 19–31, 1999.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221p.
- AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F. Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo. **Embrapa Agrobiologia. Documentos**, **201**, p. 1–52, 2005.
- AVILA, C. J.; SANTOS, V. Corós associados ao sistema plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul. **EMBRAPA**. 2009.
- AYRES, I.; GUERRA, R. T. Água como fator limitante para minhocas (Annelida, Oligochaeta) da Amazonia Central. **Acta Amazonica**, v. 11, n. 1, p. 77–86, 1981.
- BARDGETT, R. D. **The Biology of Soil: A community and ecosystem approach**. Oxford: Oxford University Press, 2005. 242p
- BARDGETT, R. D. Causes and consequences of biological diversity in soil. **Zoology**, v. 105, n. 4, p. 367–375, 2002.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 119–170, 2011.
- BARDGETT, R.; VAN DER PUTTEN, W. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature** 515, 505–511, 2014.
- BARNES, A. D. et al. Energy Flux: The Link between Multitrophic Biodiversity and Ecosystem Functioning. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 33, n. 3, p. 186–197, 2018.
- BERG, M.P. & BENGTTSSON, J. Temporal and spatial variability in soil food web structure. **Oikos** 116, 1789–1804, 2007.
- BOHLEN, P. J.; SCHEU, S.; HALE, C.; MCLEAN, M. A.; MIGGE, S.; GROFFMAN. P.; PARKINSON, D. Non-native invasive earthworms as agents of change in northern temperate forests. **Frontiers in Ecology and Environment**, Washington, DC, v. 2, p. 427-435, 2004
- BOULTON, A.M. & AMBERMAN, K.D. How ant nests increase soil biota richness and abundance: a field experiment. **Biodiversity and Conservation**, v. 15, p. 69–82, 2006.
- BRÉVAULT, T., & CLOUVEL, P. Pest management: Reconciling farming practices and natural regulations. **Crop Protection**, v. 115, p. 1-6, 2019.
- BRIONES, M. J. I. Soil fauna and soil functions: A jigsaw puzzle. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, n. APR, p. 1–22, 2014.
- BROWN, G. G.; FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; ROJAS, P.; PATRON, J. C.; BUENO-VILLEGAS, J.; MORENO, A. G.; LAVELLE, P.; ORDAZ, V. Diversidad y rol funcional dela macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. **Acta Zoológica Mexicana: Nueva Série**, n. especial, p. 79-110, 2001.

BROWN, G. G., Niva, C. C., Zagatto, M. R. G., Ferreira, S. D. A., Nadolny, H. S., Cardoso, G. B. X., Carvalho, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais, 2015.

BRUSSAARD, L. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. **Applied Soil Ecology**, v. 9, p. 123–135, 1998.

BRUST, G. E. Direct and indirect effects of four herbicides on the activity of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae). **Pesticide Science**, v. 30, p. 309–320, 1990.

CARDINALE, B. J., et al. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. **Nature**, v. 443, p. 989–992, 2006.

CARDOSO, I. M., et al. Ressignificar nossas percepções sobre o solo. IN CARDOSO I.M. E FÁVERO C. **Solos e Agroecologia**, pp. 33- 56, 2018. Embrapa/ABA. Brasília

CARRILLO, Y., BRADFORD, M. A., JORDAN, C. F., & MOLINA, M. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p. 1440–1449, 2011.

CHABOUSSOU, Francis. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: novas bases de uma prevenção contra doenças e parasitas: A Teoria da Trofobiose**. Tradução: Maria José Guazzelli. São Paulo: Expressão Popular, 2006. 320 p.

CHAU, J. C. M., & LOPES-ANDRADE, C. (2024). A new species of *Metopiellus* Raffray (Coleoptera: Staphylinidae: Pselaphinae) from the Atlantic Forest of Brazil, with keys to species of the genus and to the genera of Metopiasini. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 1-15.

COLEMAN, D. C. Energetics of detritivory and microbivory in soil in theory and practice. In: POLIS, G. A.; WINEMILLER, K. O. (Eds.). **Food webs: Integration of patterns and dynamics**. New York, NY: Chapman & Hall, pp. 39–50, 1996.

COULIS, M. Abundance, biomass and community composition of soil saprophagous macrofauna in conventional and organic sugarcane fields. **Applied Soil Ecology**, v. 164, n. January, p. 103923, 2021.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; FREEMAN, M. A.; SCHIPANSKI, M. E.; LAL, R.; BENISTON, J.; DRINKWATER, L. E.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLOVER, J. D.; GRANDY, A. S.; SIX, J.; LEE, J.; MAUL, J. E.; MIRKSY, S. B.; SPARGO, J. T.; WANDER, M. M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 2, p. 494-504, 2012.

DECAËNS, T. Macroecological patterns in soil communities. **Global Ecology & Biogeography**, v. 19, p. 287–302, 2010.

DEMETRIO, W. et al. Are exotic earthworms threatening soil biodiversity in the Brazilian Atlantic Forest? **Applied Soil Ecology**, v. 182, n. February 2023.

DOMÍNGUEZ, A. et al. Agroecology and organic farming foster soil health by promoting soil fauna. **Environment, Development and Sustainability**, n. 0123456789, 2023.

DECAËNS, T., JIMÉNEZ, J. J., GIOIA, C., MEASEY, G. J., LAVELLE, P. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S23-S38, 2006.

DUFFY, J. E. et al. The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. **Ecology Letters**, v. 10, p. 522–538, 2007.

EHLERS, E. A agricultura alternativa: uma visão histórica. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, v. 24, n. **Especial**, p. 231-262, 1994.

EISENHAUER, N., HÖRSCH, V., MOESER, J., & SCHEU, S. Synergistic effects of microbial and animal decomposers on plant and herbivore performance. **Basic and Applied Ecology**, v. 11, p. 23-34, 2010.

EISENHAUER, N., ANTUNES, P. M., BENNETT, A. E., BIRKHOFFER, K., BISSETT, A., BOWKER, M. A., et al. Priorities for research in soil ecology. **Pedobiologia**, v. 63, p. 1–7, 2017..

FAO, ITPS, GSBI, CBD; EC. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentials, Report 2020. Rome: FAO, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb1928en>.

FIERER, N., STRICKLAND, M. S., LIPTZIN, D., BRADFORD, M. A. & CLEVELAND, C. C. Global patterns in belowground communities. **Ecology Letters**, v. 12, p. 1238–1249, 2009.

FILSER, J. et al. Soil fauna: Key to new carbon models. **Soil**, v. 2, n. 4, p. 565–582, 2016.

FRANÇA, E. M.; CELESTINO, C. E. Q ; FIGUEIREDO, N. O. ; CASAS, N. A. C. ; SOARES, E. M. B. ; CARDOSO, I. M. . Manejo da agricultura natural favorece atributos físicos e biológicos do solo. In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2024, Rio de Janeiro. **Cadernos de Agroecologia**, 2023. v. 19.

FONTES, L. S. Edmar – legendado (1 de 9). YouTube, 23 de maio de 2023. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=3Ex5Zy1\\_ods&list=PL1sDDCXw6ji9UiHrJiWuHbWJP1k509zrH&index=1](https://www.youtube.com/watch?v=3Ex5Zy1_ods&list=PL1sDDCXw6ji9UiHrJiWuHbWJP1k509zrH&index=1). Acessado em: 29 de junho de 2023

GANAULT, P. et al. Relative importance of tree species richness, tree functional type, and microenvironment for soil macrofauna communities in European forests. **Oecologia**, v. 196, n. 2, p. 455–468, 2021.

GARCÍA-GARCÍA, M. Á., IBARRA-NÚÑEZ, G., MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, L., SANTOS-MORENO, A., & SÁNCHEZ-GARCÍA, J. A. Spider diversity (Arachnida: Araneae) in two different coffee management systems and surrounding tropical forest during two contrasting seasons in Oaxaca, Mexico. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 39, 2023.

GEE, G.W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. v. 1, 2nd. Madison: SSSA, 1986. p. 383-411

GONÇALVES, M. O. A Agricultura Natural Como Referência Para o Desenvolvimento Sustentável: Centro de Pesquisa Mokiti Okada. **Dissertação**, Maringá: Universidade Estadual

de Maringá, 2016.

GONGALSKY, K. B. Soil macrofauna: Study problems and perspectives. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 159, n. November 2020, p. 108281, 2021.

GRIFFITHS, B. S., RITZ, K., BARDGETT, R. D., et al. Ecosystem response of pasture soil communities to fumigation-induced microbial diversity reductions: an examination of the biodiversity ecosystem function relationship. **Oikos**, v. 90, p. 279–294, 2000.

GROSSMAN R. B., REINSCH T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: Part 4 Physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, v. 5, cap. 2.1, p. 201-228, 2002.

HAUGHTON, A.J., BELL, J.R., BOATMAN, N.D., WILCOX, A. The effect of the herbicide glyphosate on non-target spiders: part II. Indirect effects on *Lepthyphantes tenuis* in field margins. **Pest Management Science**, v. 57, p. 1037–1042, 2001.

HAWES, C. Haughton, A.J., Osborne, J.L., Roy, D.B., Clark, S.J., Perry, J.N., Rothery, P., Bohan, D.A., Brooks, D.R., Champion, G.T. Responses of plants and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the farm scale evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 358, p. 1899, 2003.

HE, X. et al. Disturbance intensity overwhelms propagule pressure and litter resource in controlling the success of *Pontosclex corethrurus* invasion in the tropics. **Biological Invasions**, v. 22, n. 5, p. 1705–1721, 2020.

HENDRIX, P. F. et al. Invasion of exotic earthworms into ecosystems inhabited by native earthworms. **Biological Invasions**, v. 8, n. 6, p. 1287–1300, 2006.

HOOPER, D. U. et al. Aboveground and Belowground Biodiversity in Terrestrial Ecosystems : Patterns , Mechanisms , and. **BioScience**, v. 50, n. 12, p. 1049–1061, 2000.

INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES (IPBES); UNITED NATIONS. Media Release: Nature's Dangerous Decline 'Unprecedented'; Species Extinction Rates 'Accelerating'. New York, NY: United Nations, 2020.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.

JOHNSTON, A. S. A.; SIBLY, R. M. Multiple environmental controls explain global patterns in soil animal communities. **Oecologia**, v. 192, n. 4, p. 1047–1056, 2020.

JOLY, F. et al. Detritivore conversion of litter into faeces accelerates organic matter turnover. **Communications Biology**, v. 3, p. 1–9, 2020.

JONES, C.G., LAWTON, J.H. & SHACHAK, M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. **Ecology**, v. 78, p. 1946–1957, 1997.

JOUQUET, P. et al. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. **Applied Soil Ecology**, v. 32, n. 2, p. 153–164, 2006.

- JOUQUET, P. et al. Termites: The neglected soil engineers of tropical soils. **Soil Science**, v. 181, n. 3–4, p. 157–165, 2016.
- KORBOULEWSKY, N.; PEREZ, G.; CHAUVAT, M. How tree diversity affects soil fauna diversity: A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 94, n. December, p. 94–106, 2016.
- Lavelle P, Lattaud C, Trigo D, Barois I. Mutualism and biodiversity in soils. **Plant & Soil** 170: 23–33, 1995.
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v. 33, p. 3-16, 1996.
- LAVELLE, P. et al. Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. **Acta Oecologica**, v. 105, n. December 2019, p. 103561, 2020.
- LAVELLE, P. et al. Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 7, p. 1261–1276, 2022
- LIMA, J. T.; COSTA-LEONARDO, A. M. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). **Biota Neotropica**, v. 7, n. 2, p. 243–250, 2007.
- LUDWIG, M.; WILMES, P.; SCHRADER, S. Measuring soil sustainability via soil resilience. **Science of the Total Environment**, v. 626, p. 1484–1493, 2018.
- MARSDEN, Claire; MARTIN-CHAVE, Ambroise; CORTET, Jérôme; HEDDE, Mickaël; CAPOWIEZ, Yvan. How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. **Plant and Soil**, 2019.
- MIYASAKA, Shiro. Agricultura natural: um caminho para a sustentabilidade. **Associação Mokiti Okada do Brasil**, 1993.
- MEYER, S. T. et al. Leaf-cutting ants as ecosystem engineers: Topsoil and litter perturbations around *Atta cephalotes* nests reduce nutrient availability. **Ecological Entomology**, v. 38, n. 5, p. 497–504, 2013.
- MOREIRA, F.M.S.; HUISING, J.; BIGNELL, D.E. **Manual de Biologia dos Solos Tropicais. Amostragem e Caracterização da Biodiversidade**. Lavras: UFLA, 2018. 368p.
- NIELSEN UN, AYRES E, WALL DH, BARDGETT RD. Soil biodiversity and carbon cycling: a review and synthesis of studies examining diversity function relationships. **European Journal of Soil Science**, v. 62, p. 105-116, 2011.
- MORIN, P. J. Functional redundancy, non-additive interactions, and supply-side dynamics in experimental pond communities. **Ecology**, v. 76, p. 133–149, 1995.
- NURIA, R., JÉRÔME, M., LÉONIDE, C., CHRISTINE, R., GÉRARD, H., ETIENNE, I., & PATRICK, L. IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrate communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 10, p. 2032-2045, 2011.

POKARZHEVSKII, A. D., VAN STRAALLEN, N. M., ZABOEV, D. P., & ZAITSEV, A. S. Microbial links and element flows in nested detrital food-webs. **Pedobiologia**, v. 47, n. 3, p. 213-224, 2003.

POTAPOV, A. M., DUPÉRRÉ, N., JOCHUM, M., DRECKO, K., KLARNER, B., BARNES, A. D., et al. Functional losses in ground spider communities due to habitat structure degradation under tropical land-use change. **Ecology**, v. 101, n. 3, p. e02957, 2020.

POTAPOV, A. M. Multifunctionality of belowground food webs: resource, size and spatial energy channels. **Biological Reviews**, v. 97, n. 4, p. 1691-1711, 2022.

PRIMAVESI, Ana. Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio. São Paulo: **Expressão Popular**, 2016.

PULLEMAN, M., CREAMER, R., HAMER, U., HELDER, J., PELOSI, C., PERES, G., & RUTGERS, M. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services—an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 529-538, 2012.

RIVERA, L.; ARMBRECHT, I. Diversidad de tres gremios de hormigas en cafetales de sombra, de sol y bosques de Risaralda. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 31, n. 1, p. 89-96, 2005.6.

SANDERS, D.; VAN VEEN, F. J. F. Ecosystem engineering and predation: The multi-trophic impact of two ant species. **Journal of Animal Ecology**, v. 80, n. 3, p. 569–576, 2011.

SCHAPHEER, C.; PELLENS, R.; SCHERSON, R. Arthropod-Microbiota Integration: Its Importance for Ecosystem Conservation. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, n. August, p. 1–18, 2021.

SETALA, H.; BERG, M.; JONES, T. Trophic structure and functional redundancy in soil communities. In: BARDGETT, R.; USHER, M.; HOPKINS, D. (Eds.). **Biological Diversity and Function in Soils**. Cambridge University Press, 2005.

SCHMIDT, M.H.; ROSCHEWITZ, I.; THIES, C.; TSCHARNKE, T. Differential effects of landscape and management on diversity and density of ground-dwelling farmland spiders. **Journal of Applied Ecology**, v. 42, p. 281-287, 2005.

SCHUCH, S.; PLATNER, C.; SANDERS, D. Potential positive effect of the ant species *Lasius niger* on linyphiid spiders. **Journal of Applied Entomology**, v. 132, p. 375–381, 2018.

SCHÜTZ, K.; BERNER, L. T.; HÄTTENSCHWILER, S. Microbial Community Responses to Experimental Warming and Drought and Their Feedback to Soil Functioning in a Temperate Forest. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, p. 105, 2020.

SRIVASTAVA, D. S. The role of conservation in expanding biodiversity research. **Oikos**, v. 98, p. 351–360, 2002.

STEFFAN, S. A. et al. Unpacking brown food-webs: Animal trophic identity reflects rampant microbivory. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 10, p. 3532–3541, 2017.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI, U.L. Recomendações para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF. p.1-9. (Série Penetrômetro de Impacto. **Boletim Técnico**. 1983.

TAHERI, S.; PELOSI, C.; DUPONT, L. Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 116, n. July 2017, p. 277–289, 2018.

TEDESCO, M.J.; et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos. UFRGS, 1995. 174p.

WALL, D. H.; NIELSEN, U. N.; SIX, J. Soil biodiversity and human health. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 69–76, 2015.

WARDLE, D. A. *Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2002.

WARDLE, D.A; VAN DER PUTTEN, W.H. Biodiversity, ecosystem functioning and above-ground-below-ground linkages. In: **Biodiversity and Ecosystem Functioning** (eds. M. Loreau, S. Naeem, and P. Inchausti), Oxford University Press, Oxford, pp 155–168, 2002.

WARDLE, D.A. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. **Science** v. 304, p. 1629–1633, 2004.

WARDLE, D. A. The influence of biotic interactions on soil biodiversity. **Ecology Letters**, v. 9, n. 7, p. 870-886, jul. 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. *Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health. A State of Knowledge Review* (WHO, 2015)

WILBY, A.; SHACHAK, M.; BOEKEN, B. Integration of ecosystem engineering and trophic effects of herbivores. **Oikos**, v. 92, p. 436-444, 2001

### **CAPÍTULO III - DIVERSIDADE DE ARTRÓPODES EDÁFICOS EM ÁREA CULTIVADA COM CAFÉ EM SISTEMA AGROFLORESTAL MANEJADO SOB OS PRINCÍPIOS DA AGRICULTURA NATURAL<sup>1</sup>**

#### **RESUMO**

Artrópodes edáficos desempenham papel crucial como bioindicadores da qualidade do solo e da sustentabilidade. O presente estudo teve como objetivo investigar parâmetros ecológicos dos artrópodes edáficos das classes Chilopoda, Diplopoda e Arachnida (exceto Araneae) em diferentes usos/ manejo do solo. Foram analisados espécimes do solo, provenientes de três tipos de uso/manejo: café em sistema agroflorestal manejado sob os princípios da agricultura natural (SAFN), café cultivado em pleno sol convencional (PSC) e solo sob mata nativa (MN). Os espécimes foram coletados e identificados até o menor nível taxonômico possível, sendo agrupados em morfoespécies para cálculos de riqueza, abundância, dominância e diversidade. Foram amostrados 149 indivíduos com 22 morfoespécies identificadas. A maior riqueza foi observada no solo de MN (16 morfoespécies), seguida por SAFN (10) e pelo PSC (6). Diplopoda e Acari apresentaram maior riqueza (6 morfoespécies cada). Diplopoda foi mais abundante (98 espécimes), enquanto Acari foi o menos abundante (7 espécimes). Valores próximos de dominância e diversidade foram observados entre os usos da terra estudados, com uma tendência de similaridade faunística entre SAFN e PSC, porém não significativa. No entanto, diferentemente dos solos sob MN e SAFN, não foi observado a presença das morfoespécies de Opiliones e Acari em PSC.

**Palavras-chave:** Arachnida; Diplopoda; fauna do solo; Myriapoda

#### **ABSTRACT**

Edaphic arthropods play a crucial role as bioindicators of soil quality and sustainability. The present study aimed to investigate ecological parameters of edaphic arthropods from the classes Chilopoda, Diplopoda and Arachnida (except Araneae) in different soil uses and management. Soil specimens were analyzed from three types of use/management: coffee in an agroforestry system managed in accordance with the principles of natural agriculture (SAFN), coffee grown in conventional full sun (PSC) and soil under native forest (MN). The specimens were collected

---

<sup>1</sup> Modificado do artigo submetido na revista Acta Biológica Catarinense. Autoria: FRANÇA, Emmeline. M., INIESTA, Luiz. F. M., BRESCOVIT, Antônio. D., BOUZAN, Rodrigo. S., FARIAS, Flávio. S. M., SOARES, Emanuelle. M. B.

and identified to the lowest possible taxonomic level, being grouped into morphospecies for calculations of richness, abundance, dominance, and diversity. 149 individuals were sampled, with 22 morphospecies identified. The greatest richness was observed in the soil of MN (16 morphospecies), followed by SAFN (10) and PSC (6). Diplopoda and Acari showed greater richness (6 morphospecies each). Diplopoda was the most abundant (98 specimens), while Acari was the least abundant (7 specimens). Close values of dominance and diversity were observed among the land uses studied, with a trend of faunal similarity between SAFN and PSC, although not significant. However, unlike the soils under MN and SAFN, the presence of the morphospecies of Opiliones and Acari was not observed in PSC.

**Keywords:** Arachnida; Diplopoda; Myriapoda; Soil fauna.

## 1. INTRODUÇÃO

Funções do solo, tais como controle de populações, ciclagem de água, nutrientes, decomposição da matéria orgânica do solo e regulação climática são importantes para diversas questões ambientais e sociais (Steffen et al., 2015). Estas funções quando beneficiam os seres humanos são denominadas por alguns autores de serviços ecossistêmicos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Mangabeira et al., 2011; Parron et al., 2015). Para que o solo possa sustentar os diversos serviços ecossistêmicos relacionados às suas funções, é necessário manejá-lo de forma adequada, de forma a assegurar a viabilidade dos processos biológicos que nele ocorrem (Lavelle et al., 2006). Estes processos, mediados pelos organismos do solo, incluindo os artrópodes edáficos, são fundamentais para a busca de uma agricultura mais sustentável e de base ecológica (Cardoso et al., 2018), como a natural (Gonçalves, 2016). Ao contrário, o modelo hegemônico de produção agrícola, denominado de convencional e baseado na utilização de insumos químicos aplicados em monocultivos levam a perda de biodiversidade (Baretta et al., 2011; Wall et al., 2015) e não é sustentável.

Mudanças na abundância e diversidade dos artrópodes edáficos podem indicar mudanças ecológicas importantes na ciclagem de nutrientes, controle de população, armazenamento de água, sequestro de carbono, fertilidade do solo, dentre outras. Por isso, a abundância e a diversidade de artrópodes vêm sendo consideradas bioindicadores da qualidade do solo e da degradação ambiental (Pulleman et al., 2012; Lavelle et al., 2022). Os artrópodes são sensíveis às variações de manejo e possibilitam o entendimento dos processos que ocorrem no solo e, logo, eles podem contribuir para identificar se as formas de manejo agrícolas estão sendo restauradoras, eficientes e eficazes no uso dos recursos naturais (Altieri, 2012).

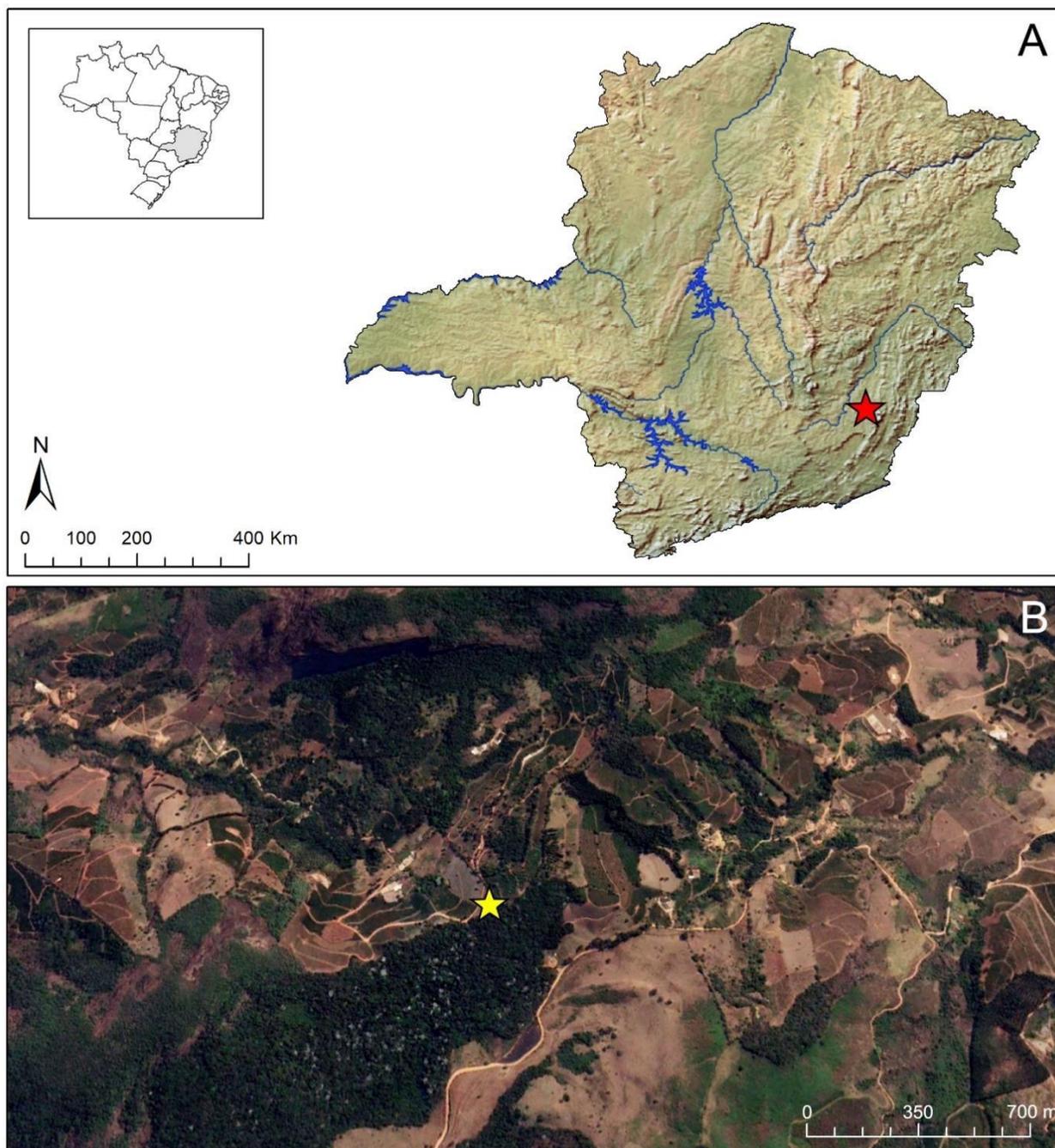
Artrópodes das classes Chilopoda, Diplopoda e Arachnida são comuns tanto no interior do solo quanto na interface serapilheira-solo (Potapov et al., 2022). Membros de Diplopoda, conhecidos como embuás, gongolos ou piolho-de-cobra (Iniesta et al., 2023), são considerados de importância ecológica, pois atuam no “efeito-gatilho” da decomposição da matéria orgânica do solo (Gongalski, 2020) ao participarem do processo inicial de trituração de detritos orgânicos para posterior atuação de microrganismos no processo de decomposição. Chilopoda, conhecidos como centopéias e lacraias, e espécies da classe Arachnida, como ácaros, pseudoescorpiões e opiliões são, de modo geral, organismos predadores que atuam no controle de populações. No entanto, opiliões, podem apresentar comportamento de onivoria no solo, pois podem obter recursos de variadas fontes alimentares (Halaj & Cady, 2000; Lavelle et al., 2022; Potapov et al., 2022).

A pesquisa objetivou avaliar a influência do manejo e uso do solo na diversidade de artrópodes edáficos (Chilopoda, Diplopoda e Arachnida). Áreas de cafezais em sistema agroflorestal manejados de acordo com os princípios da agricultura natural e convencional a pleno sol e de mata nativa foram utilizadas na pesquisa.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi conduzida em propriedade agroecológica familiar (latitude: -20.648°; longitude: -42,499°), no município de Araponga, região da Zona da Mata, Minas Gerais (Fig. 1). A região se situa a aproximadamente 1.280 m de altitude, de relevo montanhoso, clima subtropical úmido (Cwa) e temperatura média de 18 °C (Alvares et al., 2013) e possui Latossolo como principal classe de solos (Embrapa, 2018).

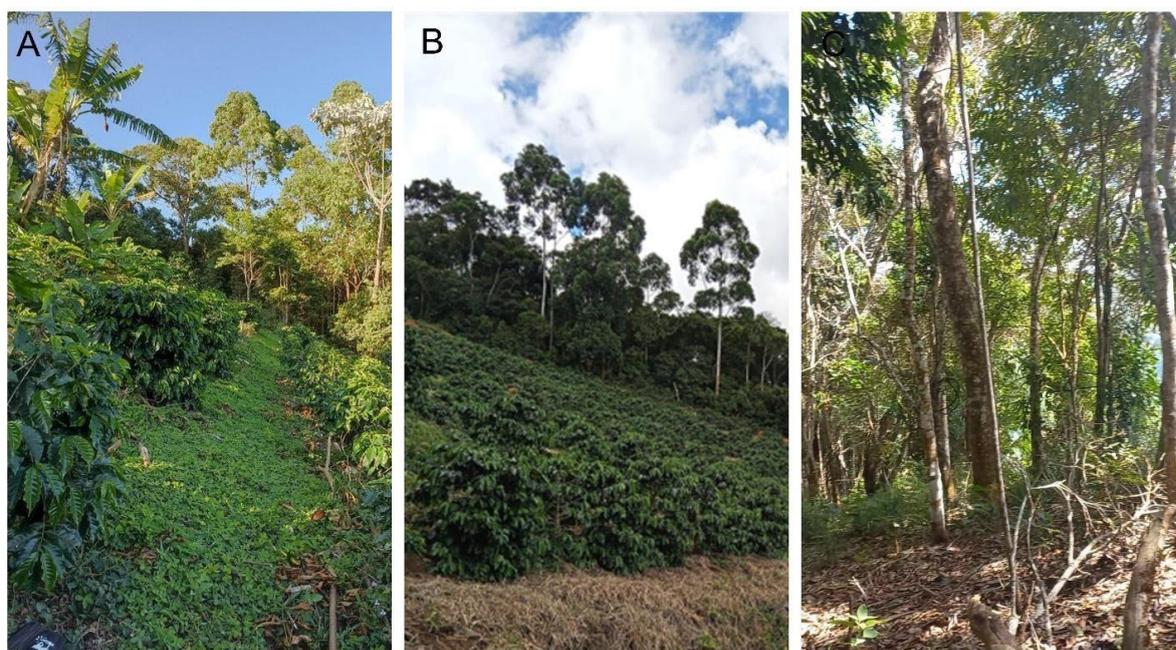
**Figura 1.** Município de Araçuaia (estrela vermelha), Minas Gerais, e propriedade agroecológica familiar (-20.648°; -42,499°; estrela amarela) onde estudo com artrópodes foi realizado.



Os artrópodes foram coletados em três áreas sob diferentes tipos de manejo ou uso do solo (Fig. 2): SAFN, cafezais cultivados em sistema agroflorestal sob manejo da agricultura natural (apenas com resíduos vegetais oriundos da propriedade, sem uso de adubos químicos e de resíduos animais); PSC, cafezal cultivado a pleno sol convencional com uso de herbicidas e adubação com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK); MN, mata nativa com baixa interferência antrópica. Todas as áreas encontram-se sob mesma altitude, mesma encosta e mesma classe

(Latossolo) de solo. Em cada área foram feitas sete coletas independentes durante a primeira quinzena de abril, no ano de 2022.

**Figura 2.** Áreas de amostragem: A) Cafezal cultivado em sistema agroflorestal manejado em acordo com os princípios da Agricultura natural (SAFN) e com o solo coberto com amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg.); B) Cafezal em pleno sol convencional (PSC) e; C) Mata Nativa (MN).



As amostras de artrópodes foram fixadas em etanol 70% e enviadas para especialistas no Instituto Butantan, São Paulo (IBSP) para determinações taxonômicas e incluídas no acervo das coleções. Os artrópodes examinados correspondem aos táxons Diplopoda, Chilopoda, Acari, Opiliones e Pseudoscorpiones. Todos os indivíduos foram identificados até o menor nível taxonômico possível de identificar e separados em morfoespécies para os cálculos de riqueza, abundância, dominância e diversidade entre os usos e ou manejo do solo (Oliver & Beattie, 1996). Os valores de diversidade das comunidades de artrópodes edáficos foram calculados através do índice de Shannon-Weaver e a dominância a partir da fórmula: [1 – índice de Simpson] (Magurran, 2004).

Os valores de riqueza correspondem à quantidade total de morfoespécies entre os táxons e, a abundância ao número total de indivíduos por m<sup>2</sup>. Análise de escalonamento multidimensional não métrico (n-MDS) foi realizada utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis para verificar a similaridade entre as comunidades presentes em cada um dos usos

do solo. Em conjunto, a análise de similaridade (ANOSIM) foi conduzida para investigar a similaridade na composição das comunidades entre os usos da terra a partir de Bray-Curtis com 9999 permutações. Para as análises, todos os valores das amostras foram tratados subtraindo o valor bruto a partir da média por cada uso do solo, evitando assim o enviesamento dos dados sobre táxons muito abundantes. Todas as análises foram feitas usando o PAST 3.12 (Hammer et al., 2001) e o mapa feito usando DIVA-GIS ver. 7.5.0. (Hijmans et al., 2001).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram amostrados 149 indivíduos (MN = 93; SAFN = 35; PSC = 21), com Diplopoda sendo o táxon mais abundante (98 indivíduos) e Acari o menos abundante (sete indivíduos; Tabela 1). Os táxons de maior riqueza foram Diplopoda e Acari com seis morfoespécies cada, enquanto para Chilopoda e Pseudoscorpiones apenas três morfoespécies foram identificadas.

**Tabela 1.** Artrópodes edáficos em diferentes sistemas de uso e manejo do solo, Araponga, Minas Gerais.

Táxons			Uso da terra <sup>1</sup>		
			MN	SAFN	PSC
<b>Superclasse - Myriapoda</b>					
<b>Diplopoda</b>	Rhinocricidae	Rhinocricus sp. 1	0	16	4
	Paradoxomatidae	Catharosomatinae sp. 1	4	1	0
	Pseudonannolenidae	Pseudonannolene sp. 1	1	0	0
	Spirostreptidae	Spirostreptidae sp. 1	1	3	8
	Spirostreptidae	Spirostreptidae sp. 2	0	3	4
	Pyrgodesmidae	Pyrgodesmidae sp. 1	1	0	0
<b>Chilopoda</b>	Schendylidae	Schendylidae sp. 1	44	6	2
	-	Lithobiomorpha sp. 1	4	0	2
	Scolopocryptopidae	Newportiinae sp. 1	17	0	0
<b>Classe Arachnida</b>					
<b>Opiliones</b>	Cryptogoobiidae	Cryptogoobiidae sp. 1	2	0	0
	Gonyleptidae	Gonyleptinae sp. 1	1	0	0
	Gonyleptidae	<i>Eusarcus</i> sp. 1	3	0	0
	Gonyleptidae	Tricommatinae sp. 1	4	1	0
<b>Acari</b>	Calyptostomatidae	Calyptostomatidae sp. 1	1	0	0
	Laelapidae	Laelapidae sp. 1	0	1	0
	Macrochelidae	Macrochelidae sp. 1	1	0	0
	Microtrombidiidae	Microtrombidiidae sp.1	1	1	0
	Microtrombidiidae	Microtrombidiidae sp.2	1	0	0
	Trombiculidae	Trombiculidae sp. 1	0	1	0
<b>Pseudoscorpiones</b>	Chernetidae	Chernetidae sp. 1	0	2	0
	Chthonioideae	Chthonioideae sp. 1	7	0	0
	Neobisiidae	Neobisiidae sp. 1	0	0	1

<sup>1</sup>/SAFN: café cultivado em sistema agroflorestal sob manejo da agricultura natural; PSC: café cultivado a pleno sol convencional com uso de herbicidas e adubação NPK; MN: mata nativa com pouca interferência antrópica.

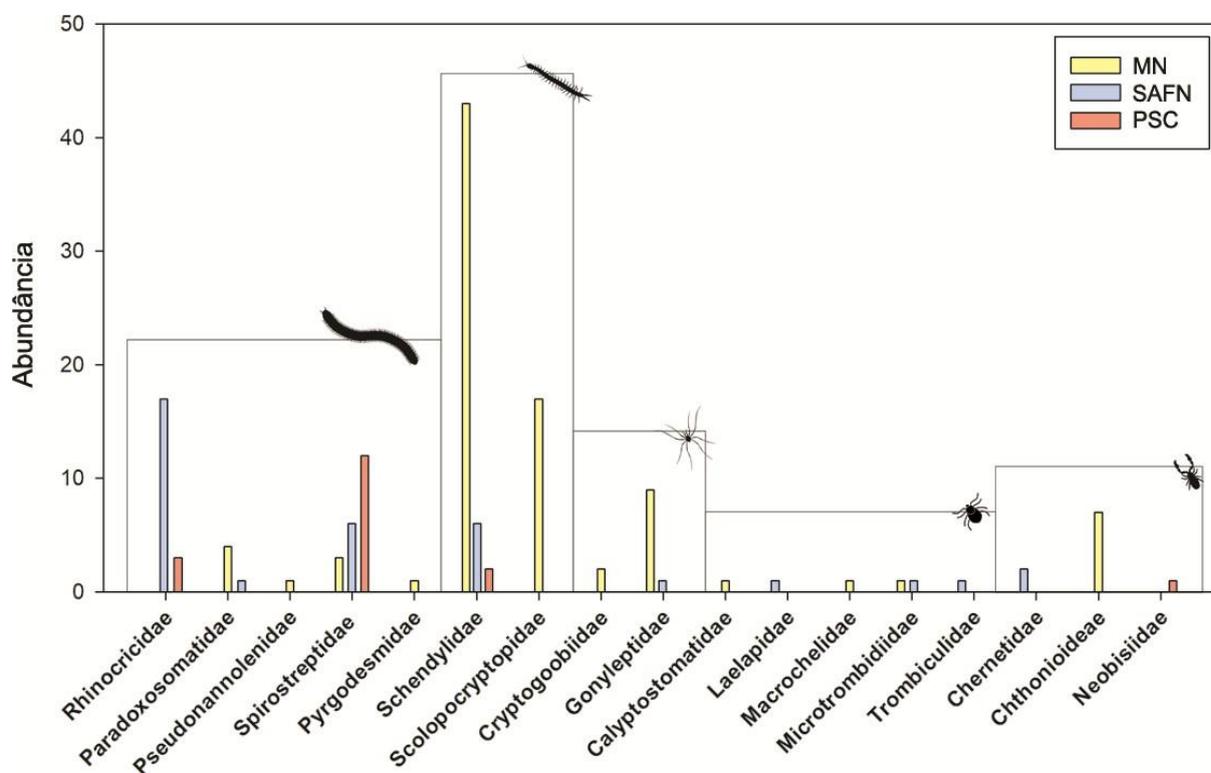
Ao todo foram coletadas e identificadas 22 morfoespécies de artrópodes edáficos. A maior riqueza foi observada na mata nativa com pouca interferência antrópica (MN), com 16 morfoespécies, seguida por manejo de agricultura natural (SAFN) com 10 morfoespécies e pelo cafezal cultivado a pleno sol (PSC) com seis morfoespécies (Tabela 2).

**Tabela 2** - Riqueza, abundância, dominância e diversidade de artrópodes edáficos em diferentes sistemas de manejo do solo. SAFN: café cultivado em sistema agroflorestal sob manejo da agricultura natural; PSC: café cultivado a pleno sol convencional com uso de herbicidas e adubação via NPK; MN: mata nativa com baixa interferência antrópica em Araçuaia, Minas Gerais.

	MN	SAFN	PSC
<b>Riqueza total</b>	16	10	6
<b>Abundância</b>	93	35	21
<b>Dominância</b>	0.2709	0.2604	0.2381
<b>Diversidade</b>	1.849	1.753	1.592

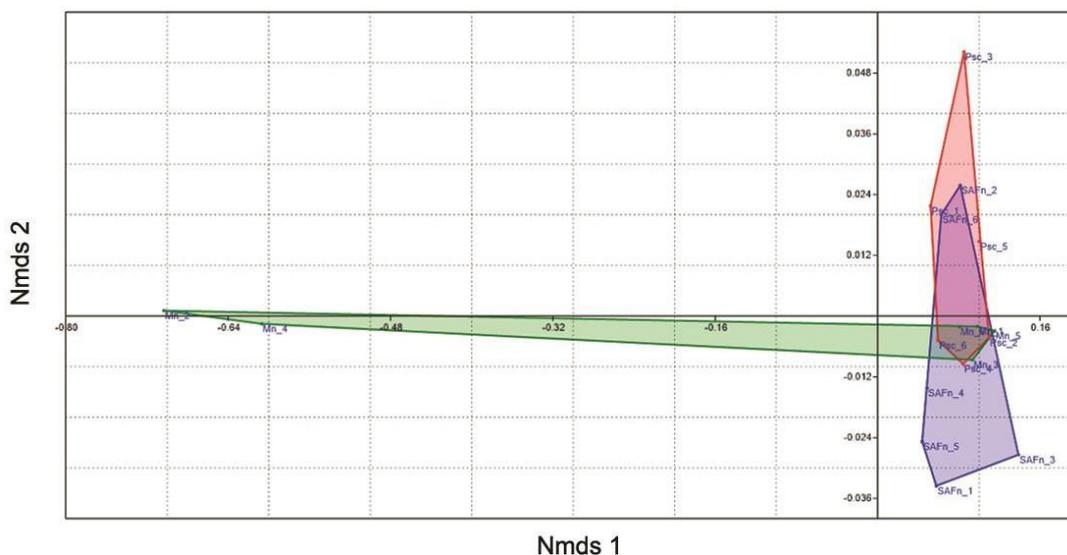
As classes Chilopoda e Diplopoda foram observadas nos três tipos de uso da terra e as morfoespécies, da classe Arachnida, Opiliones e Acari foram observadas apenas em SAFN e MN.

**Figura 3.** Abundância de artrópodos edáficos (Diplopoda, Chilopoda, Opiliones, Acari e Pseudoscorpiones) identificados em solos de mata nativa (MN) e cafezais em sistema agroflorestal sob manejo da agricultura natural (SAFN) e a pleno sol convencional (PSC).



Comparativamente, os índices de dominância e diversidade entre as comunidades edáficas apresentaram valores similares nos três usos de solos (Tabela 2). Por outro lado, a dissimilaridade entre as comunidades se mostrou mais próxima as amostras de SAFN e PSC (Stress = 0.4354, Fig. 4) mesmo embora a diferença não tenha sido significativa (ANOSIM,  $R = -0.2819$ ,  $p = 0.9$ )

**Figura 4.** Análise de escalonamento multidimensional não métrico (n-MDS) das comunidades em solos de mata nativa (MN; em verde) cafezais em sistema agroflorestal sob manejo da agricultura natural (SAFN; em azul) e em pleno sol convencional (PSC; em vermelho).



A maior riqueza de Diplopoda era esperada principalmente nos solos sob SAFN e MN, devido a maior quantidade de serapilheira e aporte de resíduos e a maior presença de morfoespécies entre os artrópodes edáficos nesses ambientes, considerados mais conservacionistas quanto ao manejo do solo (Lavelle e Spain, 2001). Entretanto, em MN encontrou-se o menor número de Diplopoda, possivelmente devido ao menor pH, às menores concentrações de nutrientes no solo de MN (Capítulo 2) e a presença de serapilheira de baixa qualidade oriundas de espécies perenes, que possivelmente acidifica o solo e afetou negativamente a comunidade detritívora e a comunidade predadora (Ganault et al., 2021). Alguns organismos detritívoros, como os diplópodes, apresentam preferências palatáveis e são favorecidos quando há disponibilidade de resíduos com maiores concentrações de nutrientes (Ganault et al., 2021), como encontrados em SAFN. Em SAFN, os resíduos de alta qualidade advindos do manejo das árvores e da vegetação herbácea, como a leguminosa *Arachis pintoi* favoreceram maiores concentrações de nutrientes e maior pH (Figueiredo, 2024).

Em MN, houve maior abundância de Chilopoda (Geophilomorpha, Schendylidae), o que também indica a influência da mudança de uso da terra nos organismos edáficos. Entretanto, em SAFN houve menor diminuição em relação ao PSC indicando que os manejos influenciam de forma diferente. A diminuição da diversidade com a conversão de ecossistemas naturais para a agricultura leva também à diminuição da diversidade de espécies no solo (Singh et al., 2019; Baretta et al., 2011; Pulleman et al., 2012). Em relação ao PSC, a conversão em

SAFN conservou mais a diversidade acima do solo, o que levou também a uma maior diversidade edáfica em SAFN. A ordem de Geophilomorpha (Chilopoda) é composta por predadores de pequenos invertebrados, principalmente em ambientes de solo e detritos orgânicos presentes na interface serapilheira-solo (Adis et al., 2022). Assim, a maior abundância desse grupo em MN foi, possivelmente devido a maior abundância de presas estabelecidas em MN, como os ácaros e outros organismos da fauna edáfica não considerados neste estudo. Já em SAFN, a cobertura constante do solo, o manejo dos resíduos vegetais e a maior diversidade de plantas foi eficiente em estabelecer condições edáficas que beneficiaram os artrópodes edáficos (Domínguez et al., 2023), o que levou também a maior abundância em SAFN de presas como ácaros e opiliões, ausentes em PSC.

Dentre a diversidade observada para os três usos do solo, a maior similaridade faunística entre SAFN e PSC foi encontrada entre os táxons de Arachnida, com baixo número de táxons encontrados nos dois sistemas de manejo. Entretanto, no manejo convencional com uso de herbicida e adubação química, apenas representantes de Diplopoda, Chilopoda e Neobisiidae sp. 1 (Pseudoscorpiones) foram observados (Tabela 2), enquanto em SAFN o manejo propiciou maior abundância e riqueza de espécies (Tabela 2) e pode ser considerado um manejo conservacionista.

Assim, embora alguns artrópodes edáficos observados tenham sido comuns nos diferentes usos e manejos dos solos, a diferença nos atributos biológicos, em função da complexidade das interações que estruturam cada comunidade justificariam a maior diversidade observada em MN, seguida de SAFN, em relação ao PSC.

#### **4. CONCLUSÕES**

Agroecossistemas convencionais cultivados em monocultivos, levam a perda de biodiversidade do solo, pois aumenta a susceptibilidade do sistema à perturbação, afeta o funcionamento dos agroecossistemas e a perda de sustentabilidade. A ausência de morfoespécies de Acari e Opiliones no solo sob manejo convencional foi uma indicação dessa perda de biodiversidade.

Os artrópodes edáficos foram beneficiados no café cultivado em sistema agroflorestal sob manejo da agricultura natural, o qual aporta no solo altas quantidades de material vegetal como fonte de nutrição para as plantas e para os organismos do solo. Consequentemente, os processos biológicos desempenhados por artrópodes certamente foram também favorecidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIS, J., FODDAI, D., GOLOVATCH, S. I., HOFFMAN, R. L., MINELLI, A. DE M., JOSE, W., PEREIRA, L. A., SCHELLER, U., SCHILEYKO, A. A., & WÜRMLI, M. Myriapoda at 'Reserva Ducke', Central Amazonial Brazil. *Amazoniana*, v. 17, p. 15-25, 2002.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2012.

ALVARES, C. A., J. Z. STAPE, P. C. SENTELO, J. L. MORAES-GONÇALVES, & G. SPAROVEK. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728.

BARETTA, D., SANTOS, J. C. J., SEGAT, C. J., GEREMIA, E. V., FILHO, L. C. I. de O., & ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*, n. 1, p. 119–170, 2011.

CARDOSO, I. M., MUGLLER, C. C., FÁVERO, C., SÁ MENDONÇA, E., DE OLIVEIRA, T. S., DE LIMA, A. C. R., CASALINHO, H. D., FERNANDES, R. B. A. Resignificar nossas percepções sobre o solo. In: CARDOSO I. M. e FÁVERO C. *Solos e Agroecologia*, pp. 33-56, 2018. Embrapa/ABA. Brasília.

DOMÍNGUEZ, A., ESCUDERO, H. J., RODRÍGUEZ, M. P., ORTIZ, C. E., AROLFO, R. V., & BEDANO, J. C. Agroecology and organic farming foster soil health by promoting soil fauna. *Environment, Development and Sustainability*, 1-24, 2023.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS**. 5th ed. Brasília, 2018.

GONÇALVES, Márcia Oliveira. A agricultura natural como referência para o desenvolvimento sustentável: Centro de Pesquisa Mokiti Okada. **Dissertação** (Mestrado Profissional em Políticas Públicas) Universidade Estadual de Maringá - PR, p.107, 2016.

GONGALSKI, K. B. Soil macrofauna: Study problems and perspectives. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 159, p. 108281, 2021.

HALAJ, J. & CADY, A. B. Diet composition and significance of earthworms as food of harvestmen (Arachnida: Opiliones). *The American Midland Naturalist*, v. 143, p. 487–491, 2000.

HAMMER, Ø.; HAPPER, D.; RYAN, P. PAST: Paleontological Statistics Software: Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, p. 1-9, 2001.

HIJMANS, R. J.; CRUZ, M.; ROJAS, E.; GUARINO, L. DIVA-GIS, Version 1.4. A geographic information system for the management and analysis of genetic resources data. **Manual International Potato Center**, Lima, Peru, 2001.

INIESTA, L. F. M.; BOUZAN, R. S.; RODRIGUES, P. E. S.; ALMEIDA, T. M.; OTT, R.; BRESCOVIT, A. D. A preliminary survey and range extension of millipedes species introduced in Brazil (Myriapoda, Diplopoda). *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 61, p. 1-18, 2021.

INIESTA, L. F. M.; BOUZAN, R. S.; BRESCOVIT, A. D. Muitos nomes, muitas pernas: regionalização de vernáculos populares usados para espécies de Diplopoda (Arthropoda, Myriapoda) no Brasil. **Revista Etnobiologia**, v. 21, n. 2, p. 104-116, 2023.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.-P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 3-15, 2006.

LAVELLE, P.; et al. Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 7, p. 1261–1276, 2022.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer, 654 p, 2001.

MAGURRAN, A. E. Measuring biological diversity. **Blackwell Science**, 2004.

MANGABEIRA, J. A. de C.; TOSTO, S. G.; ROMEIRO, A. R. Valoração de serviços ecossistêmicos: estado da arte dos sistemas agroflorestais (SAFs). Campinas, **Embrapa Monitoramento por Satélite**, 47 p, 2011.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: current state and trends**. Washington, DC: Island Press, 155p. 2005.

OLIVER, I. & A. J. BEATTIE. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. **Conservation Biology**, v. 10, n. 1, p. 99–109, 1996.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF : **Embrapa**, 372 p, 2015.

POTAPOV, A. M., et al. Feeding habits and multifunctional classification of soil-associated consumers from protists to vertebrates. **Biological Reviews**, v. 97, n.3, p. 1057-1117, 2022.

PULLEMAN, M., CREAMER, R., HAMER, U., HELDER, J., PELOSI, C., PÉRÈS, G., et al. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 529–538, 2012.

SCHUBART, O. Os Myriápodes e suas relações com a agricultura - Com uma bibliografia completa sobre o assunto. **Papéis Avulsos do Departamento de Zoologia**, v. 2, n. 16, p. 205-234, 1942.

SCHUBART, O. Os Proterospermophora do Distrito Federal (Myriapoda, Diplopoda). **Arquivos do Museu Nacional**, v. 38, p. 1-156, 1945.

SINGH, D., SLIK, J. W. F., JEON, Y-S., TOMLINSON, K. W., YANG, X., WANG, J., KERFAHI, D., PORAZINSKA, D. L., ADAMS, J. M. Tropical Forest conversion to rubber plantation affects soil micro- & mesofaunal community & diversity. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019.

STEFFEN, W., RICHARDSON, K., ROCKSTRÖM, J., CORNELL, S. E., FETZER, I., BENNETT, E. M., et al. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, p. 1259855, 2015.

VOGEL, H. J.; BALSEIRO ROMERO, M.; KRAVCHENKO, A.; OTTE, W.; POT, V.; SCHLUTER, S.; WELLER, U.; BAVEYE, P. A holistic perspective on soil architecture is needed as a key to soil functions. **Soil Science**, v. 73, 2021.

WALL, D. H.; NIELSEN, U. N.; SIX, J. Soil biodiversity and human health. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 69–76, 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo do solo na agricultura hegemônica recorrentemente negligencia os processos biológicos do solo. No entanto, o solo é vivo e dinâmico e funciona a partir da relação e interação de seus atributos físicos, químicos e biológicos.

É urgente que haja uma expansão dos estudos na área da biodiversidade do solo, dentro da Ciência do Solo, em especial, com a fauna edáfica visível, posto que, nas pesquisas, os processos biológicos também são preteridos em detrimento dos atributos físicos e químicos do solo. Poucos são os ecologistas do solo que trabalham com os táxons da meso e macrofauna do solo e avançam o conhecimento no sentido de compreender como as diferentes espécies da macro e mesofauna respondem ao manejo, à complexidade da vegetação e cobertura vegetal em termos de abundância, riqueza e estrutura funcional e, quais as consequências funcionais da perda ou dominância de espécies para o ecossistema. Os processos biológicos são a base para a busca de uma agricultura mais sustentável, baseada nos princípios ecológicos, alternativa ao modelo atual e convencional de produção agrícola. Os estudos que incluem a meso e macrofauna edáfica podem ajudar no avanço do conhecimento sobre os fatores biológicos responsáveis por promover a qualidade do solo e auxiliar na promoção de formas de agricultura sustentáveis, como a agricultura natural, necessárias para a conservação dos solos e da biodiversidade.

A falta de abordagens ecológicas que envolvam estas comunidades dificulta o desenvolvimento de estratégias que permitam dimensionar quanta biodiversidade do solo é suficiente para manter a integridade do funcionamento do ecossistema e, como podemos identificar espécies que são mais vulneráveis e importantes para a manutenção da biodiversidade local.

A identificação criteriosa das espécies e a compreensão de suas funções ecológicas permitem avaliações mais precisas e confiáveis sobre a qualidade do solo e que ofereçam respostas práticas para o manejo do solo. A avaliação da qualidade do solo, a partir de indicadores biológicos, pode auxiliar técnicos, agricultores e formuladores de políticas públicas na adoção de práticas e de gestão que promovam a conservação e as funções dos organismos edáficos e, conseqüentemente, do solo.

Esta pesquisa buscou compreender as respostas da abundância, riqueza, composição e estrutura funcional das espécies da macro e mesofauna do solo, assim como os atributos químicos, como a matéria orgânica, e os atributos físicos do solo. Assim, objetivou-se avaliar a relação entre a matéria orgânica do solo e a macro e mesofauna no cultivo de café em sistema

agroflorestal manejado de acordo com os princípios da agricultura natural, além de investigar se este sistema de cultivo favorece a multifuncionalidade desses organismos. Adicionalmente, a pesquisa objetivou identificar as principais correlações entre os grupos funcionais da fauna edáfica e entre esses grupos e os atributos químicos e físicos do solo. Também buscou-se avaliar a influência do manejo e uso do solo na diversidade de artrópodes edáficos, especificamente Chilopoda, Diplopoda e Arachnida.

Para isso, foram avaliados solos sob três condições: cafezal em sistema agroflorestal manejado segundo os princípios da agricultura natural, cafezal convencional cultivado a pleno sol e mata nativa com pouca intervenção antrópica. Determinou-se a abundância e a riqueza dos grupos taxonômicos da meso e macrofauna edáfica. Esses organismos foram classificados em grupos funcionais, como engenheiros do ecossistema, detritívoros, microbívoros, herbívoros, predadores e onívoros, e, posteriormente, obteve-se também a abundância e a riqueza desses grupos. Análises de correlação foram realizadas para identificar e compreender as principais inter-relações entre os grupos funcionais e entre esses grupos e os atributos químicos e físicos do solo. Com a identificação de alguns grupos específicos (Diplopoda, Chilopoda, Acari, Opiliones e Pseudoescorpiones), determinou-se a riqueza, abundância, dominância e diversidade entre os diferentes usos e manejos do solo e; realizou-se uma análise de escalonamento multidimensional não métrico utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis para verificar a similaridade entre as comunidades de organismos nos diferentes tipos de solo.

Os resultados deste estudo apontaram que os organismos da meso e macrofauna edáfica, como já apontado por outros estudos, são sensíveis a mudanças no uso da terra e as práticas de manejo e, por isso, precisam ser mais bem compreendidos para que possam ser utilizados como bioindicadores. Além disso, os resultados indicaram a indissociabilidade dos grupos funcionais da macro e mesofauna edáfica e a sustentabilidade do agroecossistema, o que foi observado através de fortes correlações significativas entre os grupos funcionais e entre os grupos e os atributos químicos e físicos do solo.

As práticas da agricultura natural utilizadas no manejo agroecológico do café em sistema agroflorestal demonstraram um potencial significativo para promover o armazenamento de carbono orgânico do solo e de carbono lábil, além de favorecer o aumento do pH e a retenção de água no solo. Essas práticas também beneficiaram diversos grupos taxonômicos da fauna edáfica, contribuindo para a redundância funcional (ou similaridade funcional) entre as espécies, o que aumenta a resiliência do sistema frente às mudanças climáticas e antropogênicas. Além disso, o sistema agroecológico favoreceu a

multifuncionalidade do agroecossistema, como evidenciado pela maior abundância e riqueza de diversos grupos funcionais. Isso indica um efeito positivo da diversidade de espécies de plantas e resíduos vegetais na preservação e funcionamento da biodiversidade da meso e macrofauna edáfica e, conseqüentemente, do solo. Assim, o sistema de produção aplicado mostra-se sustentável, promovendo a melhoria da qualidade do solo e das funções ecossistêmicas desempenhadas pelos organismos do solo.

Em contrapartida, as práticas de manejo convencional não só desfavoreceram os teores de COS, C-lábil e a retenção de umidade no solo, como também favoreceram o estabelecimento de uma espécie de minhoca exótica e invasora, evidenciando problemas associados ao monocultivo, solo descoberto, uso de adubos altamente solúveis e herbicidas. A presença de minhocas no solo deve ser analisada com cuidado, pois embora sempre vista como benéfica e indicadora de boa qualidade do solo alguns problemas podem decorrer de sua dominância no solo. De forma geral, há necessidade de um conhecimento mais detalhado e taxonomicamente avançado das espécies presentes, para que se possa fazer inferências precisas sobre suas atividades e impactos nos ecossistemas avaliados. Além disso, o cultivo convencional demonstrou causar a perda de biodiversidade do solo devido à ausência de morfoespécies como enquitreídeos, ácaros e opiliões, aumentando a susceptibilidade do sistema a perturbações e mudanças climáticas.

Três espécies não descritas pela comunidade científica, coletadas relativamente em baixo número de amostras, destacou o paradoxo da exuberante riqueza da biodiversidade edáfica brasileira e o baixo conhecimento existente (e esforço em se conhecer) acerca desta comunidade.

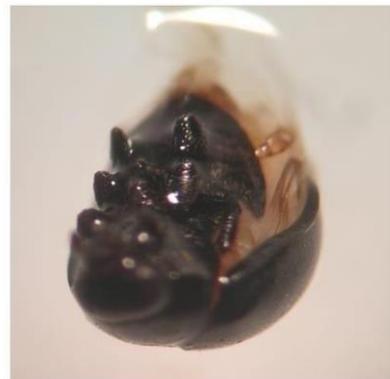
Para que se tenha este detalhamento, há necessidade de colaboração entre os diversos membros da comunidade de pesquisa em ecologia do solo, como também a necessidade de financiamento para pesquisa, de forma que se possa garantir que os recursos necessários estejam disponíveis para que os devidos avanços possam ser feitos.

Novas estratégias podem e devem ser desenvolvidas para facilitar o conhecimento taxonômico e para aumentar o número de taxonomistas que trabalhem com os abundantes táxons do solo e, a partir disso, melhorar a compreensão das funções básicas assumidas por estes organismos, especialmente para táxons poucos estudados.

**Todas as formas de vida estão interligadas.  
A saúde do solo é também a nossa saúde.  
Mantenha o solo vivo, proteja biodiversidade!**

**ANEXO A - MORFOESPÉCIES, ORDEM COLEOPTERA<sup>2</sup> (Hábitos variáveis)**

Coleoptera sp1.



Coleoptera sp2.



Coleoptera sp3.



Coleoptera sp4.



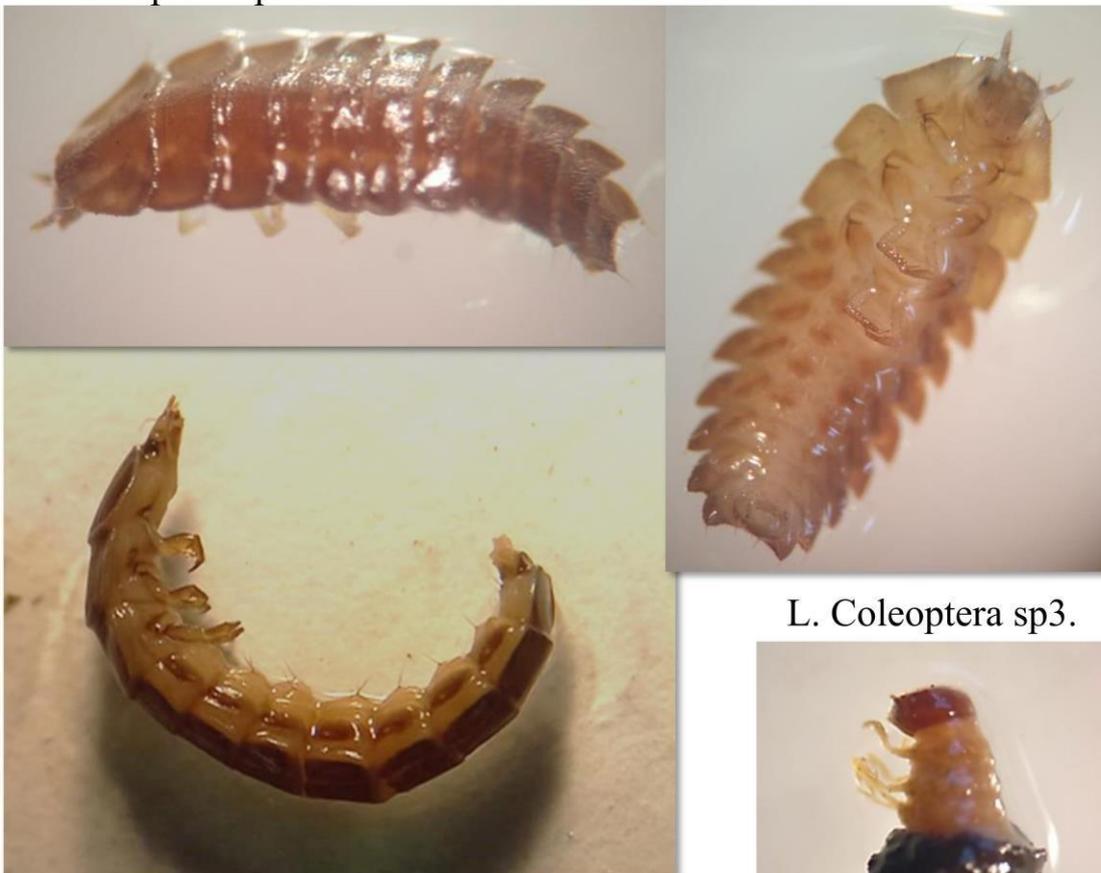
<sup>2</sup> As imagens em anexo representam apenas alguns exemplos de morfoespécies identificadas na pesquisa

**ANEXO B - MORFOESPÉCIES LARVAIS DA ORDEM COLEOPTERA****(Hábitos variados)**

L. Coleoptera sp1.



L. Coleoptera sp2.



L. Coleoptera sp3.



**Morfoespécies larvais da Ordem Coleoptera**

L. Coleoptera sp4.



L. Coleoptera sp5.



L. Coleoptera sp6.



Fonte: Autora

Morfoespécies larvais da Ordem Coleoptera

L. Coleoptera sp7.



L. Coleoptera sp8.



L. Coleoptera sp9.



L. Coleoptera sp10.



L. Coleoptera sp11.



L. Coleoptera sp12.



Morfoespécies larvais da Ordem Coleoptera

L. Coleoptera sp13.



L. Coleoptera sp14.



L. Coleoptera sp15.



L. Coleoptera sp16.



L. Coleoptera sp17.



Fonte: Autora

**ANEXO C- MORFOESPÉCIES, ORDEM HYMENOPTERA (Parasitóides)****Mutillidae sp1. (fêmea)****Mutillidae sp2. (fêmea)**

Fonte: Autora

**Morfoespécies, Ordem Hymenoptera (Parasitóides)**

Hymenoptera sp1.



Platygastridae sp3.



Hymenoptera sp2.



Monomachidae sp1.



**ANEXO D – MORFOESPÉCIES, ORDEM HYMENOPTERA, FAMÍLIA FORMICIDAE (Engenheiros do ecossistema, hábitos alimentares variados)**

*Hylomyrma* sp.1



*Thyplomyrmex* sp.



Espécie nova identificada e em processo de descrição

Morfoespécies, Ordem Hymenoptera, família Formicidae

*Anochetus altisquamis*



*Crematogaster* sp1.



*Camponotus renggeri*



*Camponotus* sp1.



*Brachymyrmex rainha*



*Brachymyrmex* sp1.



*Pachycondyla harpex*



*Megalomyrmex myops*



Morfoespécies, Ordem Hymenoptera, família Formicidae

*Pheidole* rainha



*Pheidole* sp1. soldado



*Pheidole* sp1.



*Pheidole* sp2. soldado



*Pheidole* sp2.



Morfoespécies, Ordem Hymenoptera, família Formicidae

*Hypoponera* sp1.



*Hypoponera* sp2.



*Hypoponera* sp3.



*Hypoponera* sp4.



*Solenopsis* sp1.



*Solenopsis* sp A rainha



*Solenopsis* sp3.



*Solenopsis* sp2.



**ANEXO E – MORFOESPÉCIES, CLASSE DIPLOPODA****(Detritívoros, transformadores de serapilheira. Podem ser microbívoros)**

Spirostreptidae sp1.



Spirostreptidae sp2.



Spirostreptidae sp3.



Spirobolida sp1.



**ANEXO F- MORFOESPÉCIES, CLASSE CHILOPODA (Predadores)****Geophilomorpha****Scolopendromorpha**

Fonte: Autora

**ANEXO G – MORFOESPÉCIES, ORDEM BLATTARIA****(Detritívoros, transformadores de serapilheira. Podem ser microbívoros)**

Blattaria sp1.



Blattaria sp2.



Blattaria sp3.



Blattaria sp4.



**Morfoespécies, Ordem Blattaria**

Blattaria sp5.



Blattaria sp6.



Blattaria sp7.



**ANEXO H – MORFOESPÉCIES, ORDEM ISOPODA****(Detritívoros, transformadores de serapilheira. Podem ser microbívoros)**

Isopoda sp1.



Isopoda sp2.



Isopoda sp3.



Fonte: Autora

**ANEXO I - MORFOESPÉCIES (NINFAS), ORDEM HEMIPTERA, SUBORDEM AUCHENORRYNCHA (Fitófagas)**

Auchenorrhyncha sp1.



Auchenorrhyncha sp2.



Cicadellidae sp1.

Cicadellidae sp2.



Morfoespécies (ninfas), Ordem Hemiptera, Subordem Auchenorrhyncha

Cicadelidae sp3.



Cicadelidae sp4.



Cicadelidae sp5.



Cicadelidae sp6.



Cicadelidae sp7.



Fulgoroidea



**ANEXO J- MORFOESPÉCIES (ADULTAS), ORDEM HEMIPTERA, SUBORDEM AUCHENORRYNCHA (Fitófagas)**

Cicadelidae sp1.



Membracidae sp1.



Cicadelidae sp3.



Cicadelidae sp2.



Cicadelidae sp4.



**ANEXO K – MORFOESPÉCIES FITÓFAGAS, ORDEM HEMIPTERA, SUBORDEM  
HETEROPTERA**

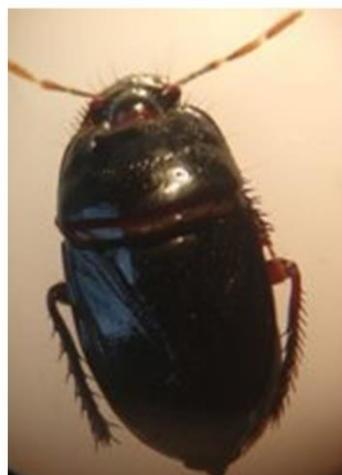
Cydnidae sp1.



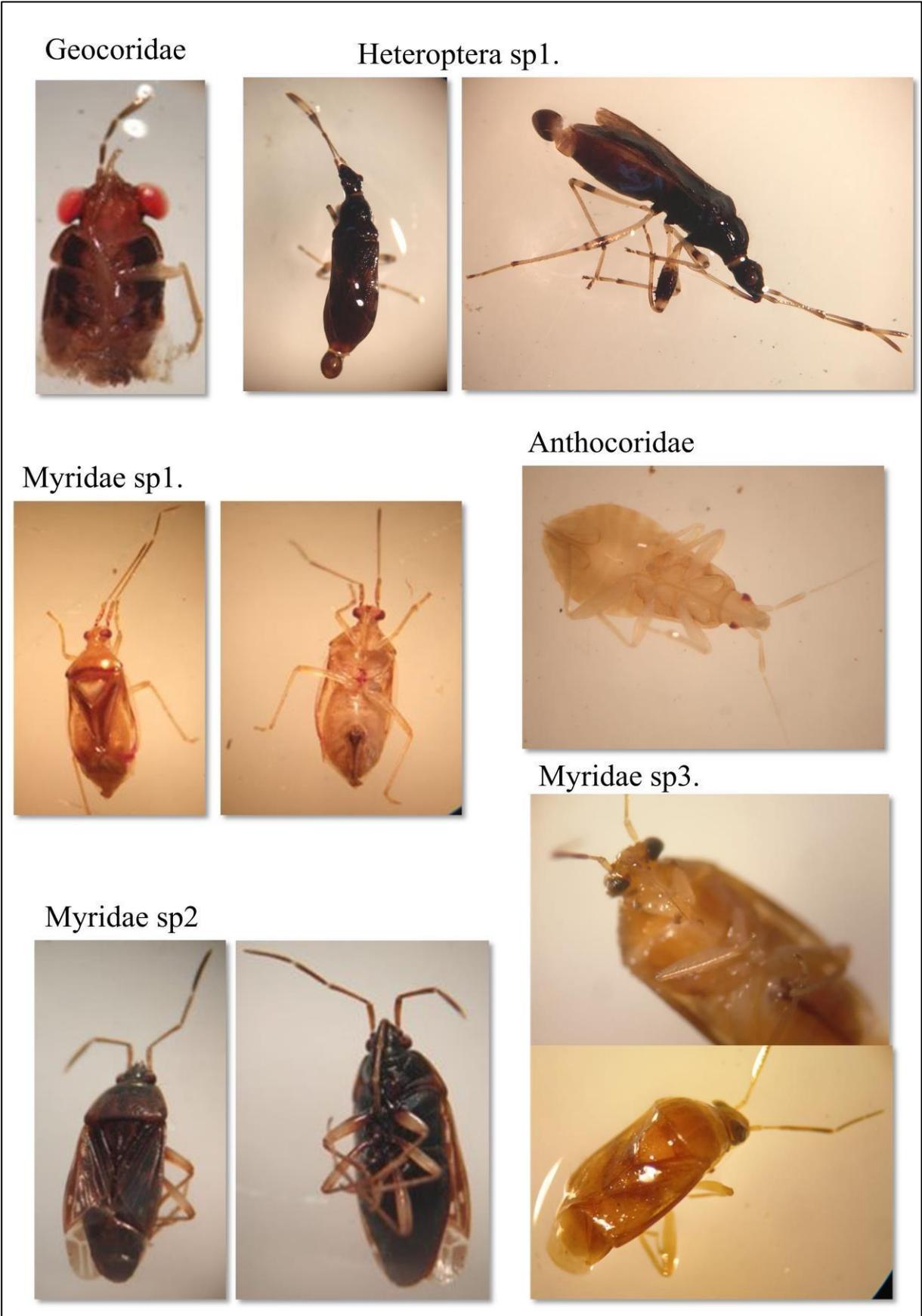
Cydnidae sp2.



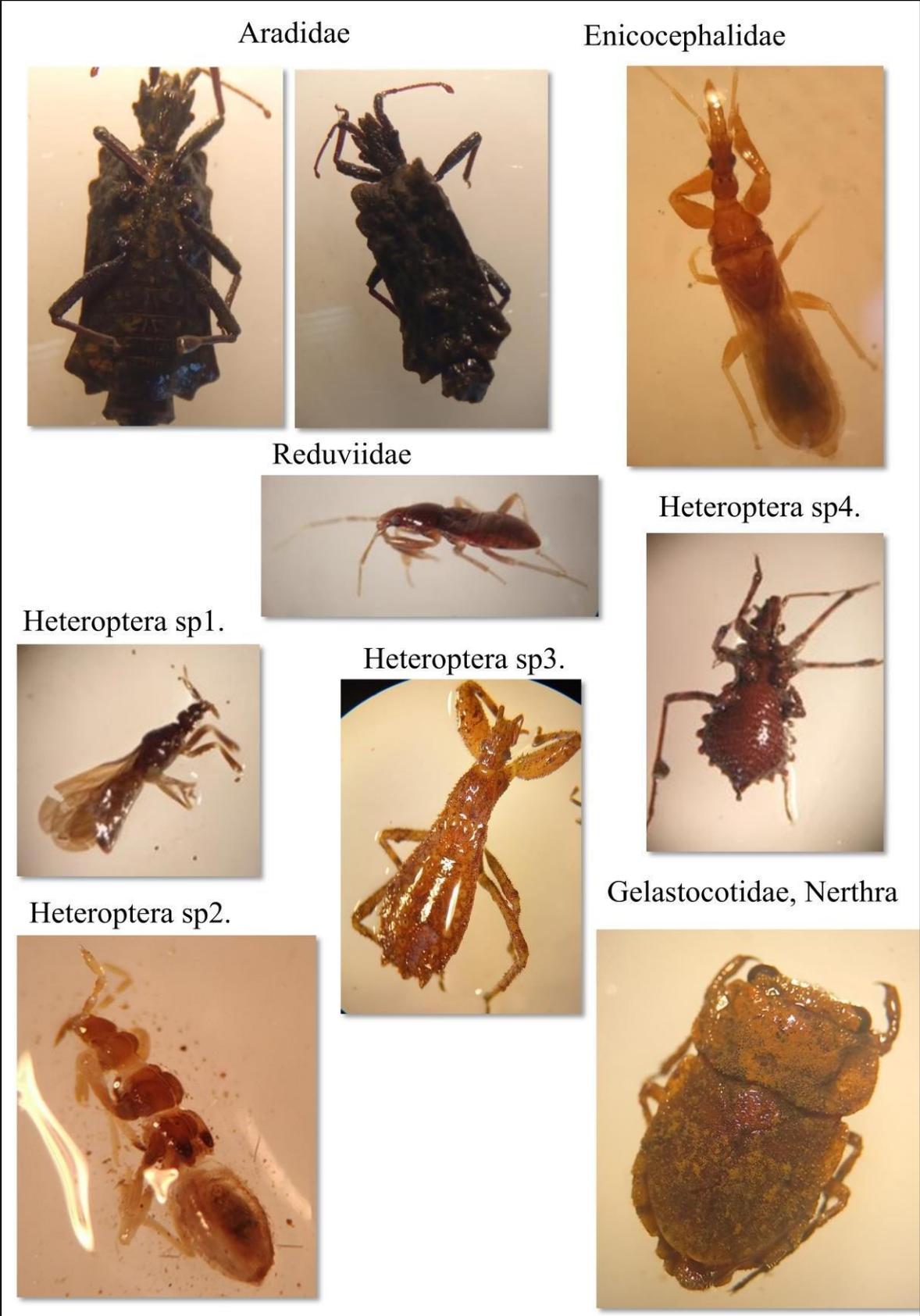
Cydnidae sp3.



Morfoespécies fitófagas, Ordem Hemiptera, Subordem Heteroptera



**ANEXO L - MORFOESPÉCIES PREDADORAS, ORDEM HEMIPTERA, SUBORDEM HETEROPTERA**



Fonte: Autora

**ANEXO M – MORFOESPÉCIES, ORDEM DERMAPTERA (Predadores)**

Dermaptera sp1.



Dermaptera sp2.



Dermaptera sp3.



Dermaptera sp4.



**ANEXO N – MORFOESPÉCIES, CLASSE ARACHNIDA, SUBCLASSE ACARI  
(Predadores e microbívoros)**

Trombidiformes, Microtrombidiidae sp1.



Trombidiformes, Trombiculidae



Mesostigmata, Laelapidae



Trombidiformes, Caeculidae



Mesostigmata, Macrochelidae



**ANEXO O – MORFOESPÉCIES, CLASSE ARACHNIDA, ORDENS:  
PSEUDOSCORPIONES E ESCORPIONES (Predadores)**

Pseudoescorpiones sp1.



Pseudoescorpiones sp2.



Escorpiones, *Buthidae Tytus*.



Fonte: Autora

**ANEXO P – MORFOESPÉCIES, CLASSE ARACHNIDA, ORDEM OPILIONES  
(Onívoros)**

Trombidiformes, Erythraeidae,  
*Erytraxus* sp.



Opiliones sp1.



Opiliones sp3.



Opiliones sp2.



**ANEXO Q – MORFOESPÉCIES, CLASSE ARACHNIDA, ORDEM ARANEAE  
(Predadores)**

Linyphiidae



Linyphiidae  
*Sphecozone castanea* (macho)



Linyphiidae – *Sphecozone* (fêmea)



Linyphiidae, *Agyneta*



Linyphiidae – *Neomaso* (macho)



Fonte: Autora

**Morfoespécies, Classe Arachnida, Ordem Araneae**

Theridiidae



Theridiidae



Pycnothelidae sp1.



Pycnothelidae sp2.



Zodariidae sp1.



Zodariidae sp2.



Morfoespécies, Classe Arachnida, Ordem Araneae

Oonopidae



Oonopidae, *Neotrops*



Oonopidae



Lycosidae



**Morfoespécies da Classe Arachnida, Ordem Araneae**Haniidae, *Neohania*Pholcidae - *Tupigea*

Xenoctenidae

Xenoctenidae, *Odo*

**Morfoespécies, Classe Arachnida, Ordem Araneae, Família Salticidae**

Salticidae sp1.



Salticidae sp2.



Salticidae sp3.



Salticidae sp4.



Salticidae sp5.



Morfoespécies, Classe Arachnida, Ordem Araneae

Anyphaenidae



Corinidae, *Castianeira*



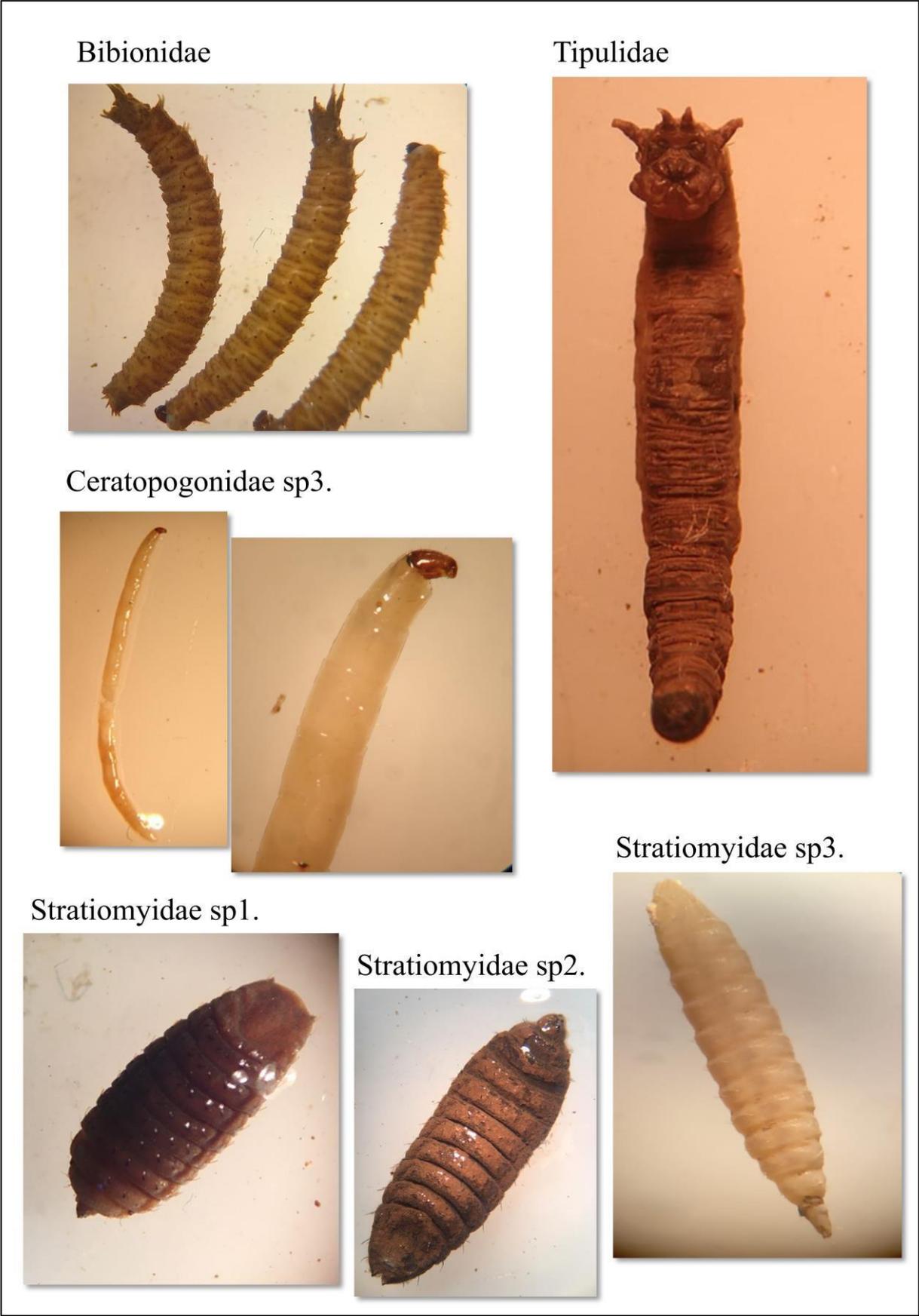
Araneae sp1.



Araneae sp2.



**ANEXO R - MORFOESPÉCIES LARVAIS, ORDEM DIPTERA (Hábitos variados)**



Fonte: Autora

**ANEXO S - MORFOESPÉCIES (PUPAS), ORDEM LEPIDOPTERA**

Lepidoptera sp1.



Lepidoptera sp2.



Lepidoptera sp3.



**ANEXO T - MORFOESPÉCIES (LAGARTAS), ORDEM LEPIDOPTERA (Herbívoras)**

L. Lepidoptera sp1.



L. Lepidoptera sp2.



L. Lepidoptera sp3.



**ANEXO U - MORFOESPÉCIES: NEUROPTERA (Larva predadora), PSOCOPTERA (Hábitos variados), HIRUDINIDA (Predador)**

Neuroptera, Ascalaphidae (larva)



Psocoptera sp1.



Psocoptera sp2.



Hirudinida



ANEXO V - MORFOESPÉCIES SUBCLASSE OLIGOCHAETA, FAMÍLIA GLOSSOSCOLECIDAE

*Pontoscolex corethrurus*



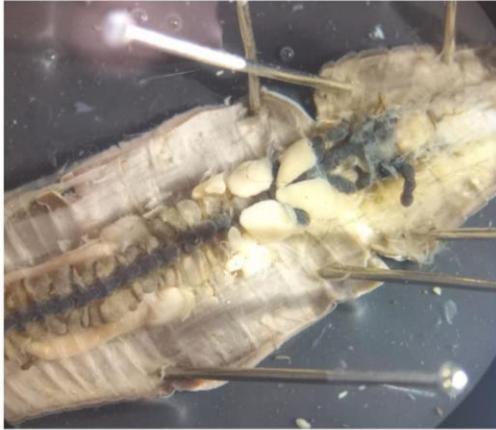
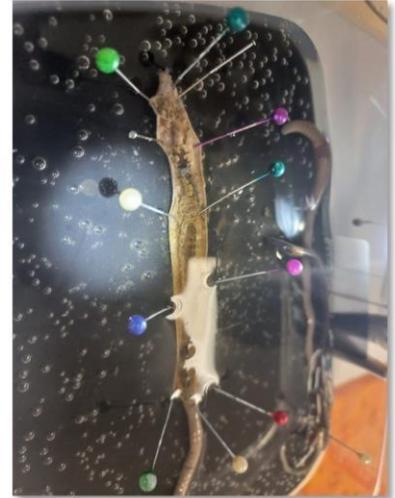
Casulos: *Pontoscolex corethrurus*



Espécie nova identificada e ainda não descrita  
Gênero *Rinodrillus*, família Glossoscolecidae



Curso de “Ecologia e Taxonomia de Oligochaetas”, na  
Universidade Federal do Paraná



**ANEXO W - MORFOESPÉCIES DA MESOFAUNA VISÍVEL****Dipluras****Enchytraeidae****Symphyla****Diplura**

Fonte: Autora

**Morfoespécies da mesofauna visível (Detritívoros e microbívoros)**

Colêmbolas: organismos não morfoespeciados nesta pesquisa



Fonte: Autora

**ANEXO X – CASTAS E MORFOESPÉCIES, ORDEM ISOPTERA (Engenheiros do ecossistema, hábitos alimentares variáveis)**

operário



imago



Soldado (Nasutitermitinae)

rainha



soldado



operário



**Morfoespécies (soldados), Ordem Isoptera**

Termitidae, Termitinae (soldado)



Termitidae, Syntermitinae (soldado)



Fonte: Autora

**ANEXO Y - MORFOESPÉCIE DA MEGAFaUNA (Predador)**

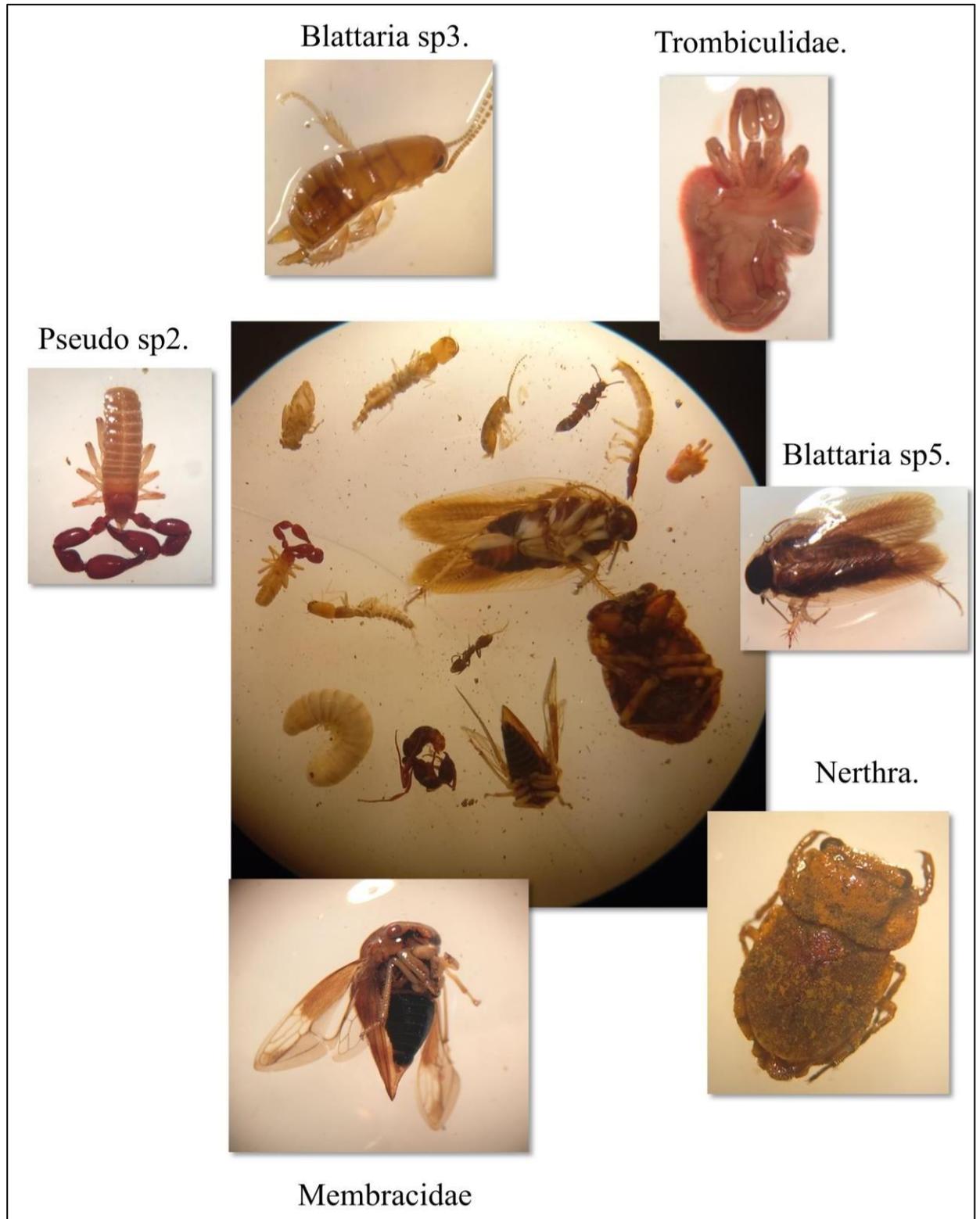
Megafauna: Anfíbio. Cobra-cega  
Ordem: Gymnophiona



Fonte: Autora

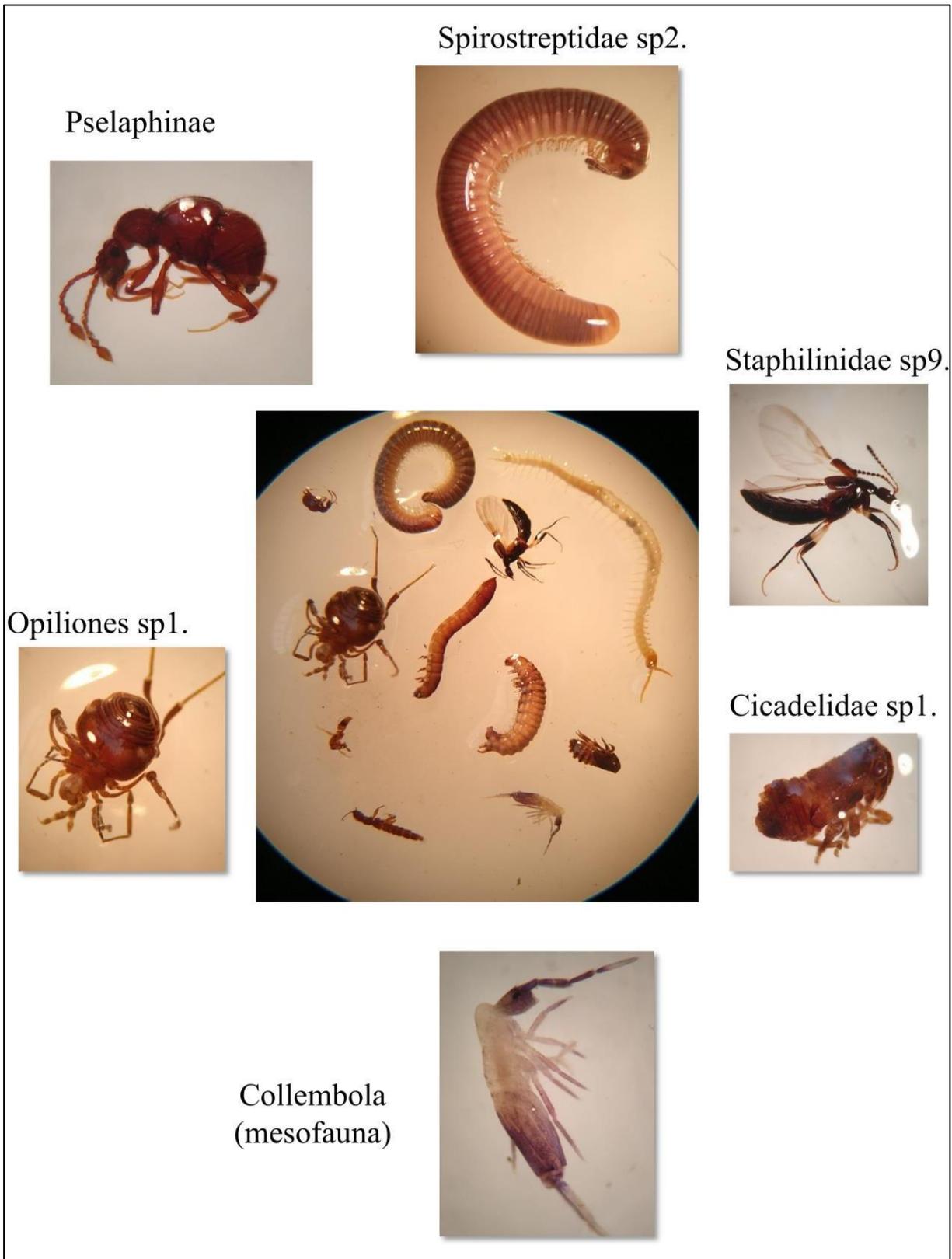
**ANEXO Z - MOSAICOS PARA OBSERVAÇÕES DO TAMANHO CORPORAL DOS ANIMAIS VISÍVEIS DO SOLO**

Exemplo de unidade amostral (serapilheira, SAFN)



Fonte: Autora

Exemplo de unidade amostral (serapilheira, MN)



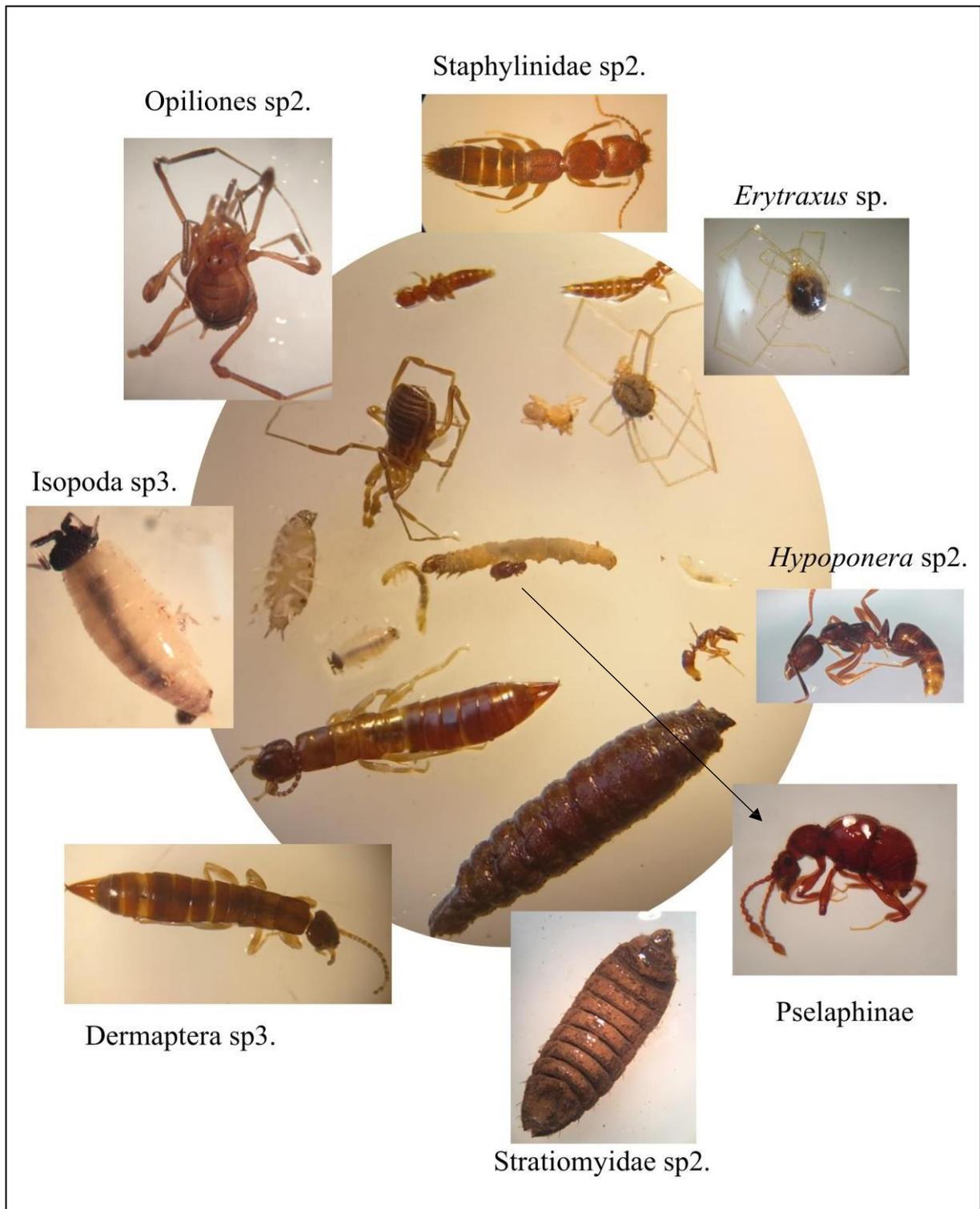
Fonte: Autora

Exemplo de unidade amostral (serapilheira, MN)



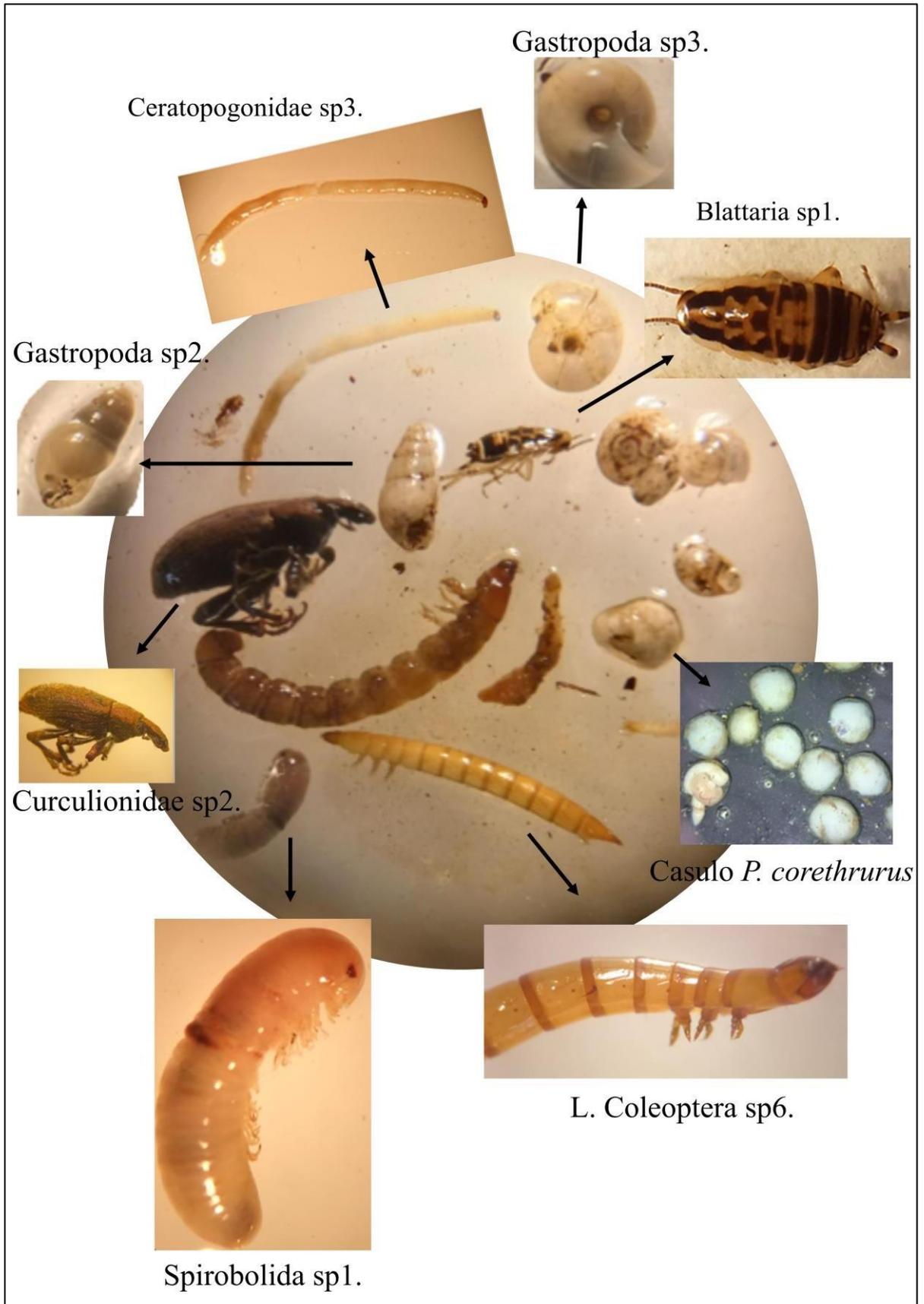
Fonte: Autora

Exemplo de unidade amostral (serapilheira, MN)

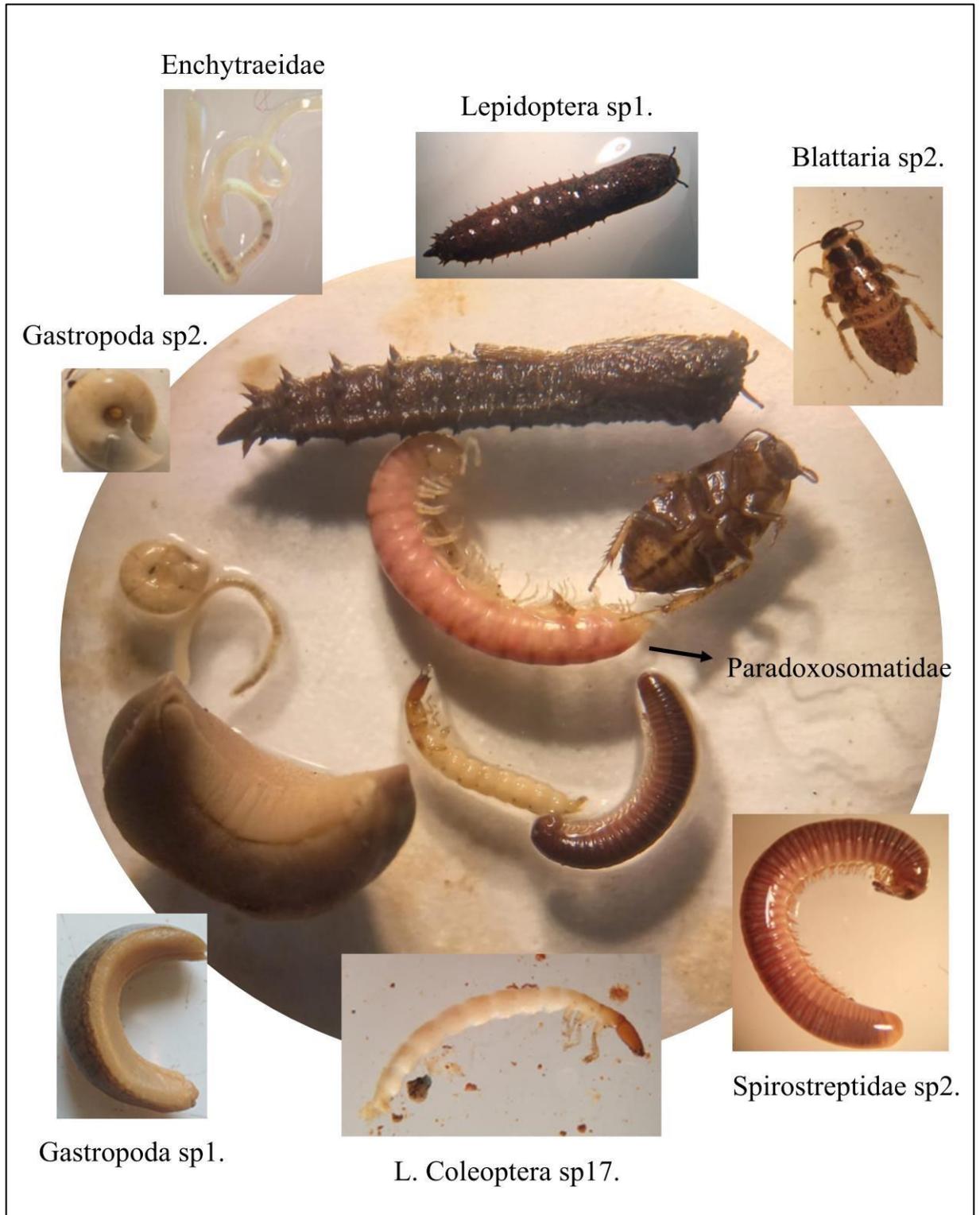


Fonte: Autora

Exemplo de unidade amostral (camada 0-10, PSC)



Exemplo de unidade amostral (camada 0-10, SAFN)



Fonte: Autora