



UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO SUDOESTE DA BAHIA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA

FAUNA, BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB

DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE *Coffea arabica*

FLÁVIA FERREIRA DE CARVALHO

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA – BRASIL 2023

FLÁVIA FERREIRA DE CARVALHO

**FAUNA, BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE *Coffea arabica***

Tese apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título “Doutora”.

Orientador (a): *D. Sc.* Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

D. Sc. Coorientador (a): Raquel Pérez Maluf

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA – BRASIL 2023

C323f Carvalho, Flávia Ferreira de.

Fauna, Biomassa e atividade microbiana do solo sob diferentes sistemas de cultivo de *Coffea arabica*. / Flávia Ferreira de Carvalho, 2023.

110f.

Orientador (a): D. Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Área de concentração Fitotecnia, Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referência F. 93 – 97.

1. Café - Cultivo. 2. Biomassa microbiana. 3. Cultivo heterogêneo. 4. Organismos do solo. 5. Bioindicador. I. Barreto-Garcia, Patrícia Anjos Bittencourt. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Área de concentração Fitotecnia. III. T.

CDD 633.73

Catlogação na fonte: **Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**

UESB – Campus Vitória da Conquista – BA



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia**

Campus de Vitória da Conquista, BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “FAUNA, BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE DE CULTIVO DE *Coffea arabica*”.

AUTOR (A): FLÁVIA FERREIRA DE CARVALHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTORA EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:

Dra. Raquel Pérez Maluf , Presidente, D.Sc., (UESB)

Dr. Daniell Rodrigo Rodrigues Fernandes, D.Sc., (INPA)

Dra. Cristiane Figueira da Silva, D.Sc.,(UFRRJ)

Dra. Aldenise Alves Moreira, D.Sc.,(UESB)

Dra. Rayka Kristian Alves Santos, D.Sc.,(UESB)

Data de realização: 30 de Janeiro de 2023

DEDICATÓRIA

A minha mãe Vailda e ao meu pai Henrique, exemplos de amor incondicional,
honestidade e perseverança.

Dedico

Ao meu filho, Ravi Carvalho de Araújo, pela representação do amor mais puro, que me
move e me fortalece em todos os momentos.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua infinita bondade, por suas bênçãos diárias e por ter guiado meu caminho até aqui. A Ele toda honra e glória!

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela infraestrutura e fornecimento de materiais para a realização desta pesquisa;

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de apoio ao doutorado;

À minha orientadora, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia, que há muito acredita e confia no meu trabalho. Obrigada pela parceria e amizade durante esses anos na UESB;

À minha coorientadora, Raquel Pérez-Maluf, que foi calma, paciência e esteve presente a cada passo deste trabalho. Obrigada por ser tão humana e amiga;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos ensinamentos;

Aos integrantes da banca examinadora da tese e da qualificação, pelo aceite do convite e pela contribuição nos referidos trabalhos;

A Paulo Marque Monroe, por sua contribuição todas as vezes em que foi solicitado, pelo conhecimento e mão de obra dispensados a mim e a este trabalho;

A Fabiano, Thaís, Walleska, Ariane, Mariana, Zilda, Priscila, Tatiana, Welluma e Maida, pelo auxílio nas disciplinas, no laboratório ou em campo, pelas conversas, desabafos, pelas risadas e por todo o apoio recebido. Sem vocês, este trabalho não seria possível;

Aos meus pais, pelo amor e apoio de uma vida inteira. Em especial, à minha mãe, por ser minha base, minha fortaleza e por todos os dias em que se disponibilizou a cuidar do meu filho para que eu pudesse seguir com o doutorado;

À minha irmã, Larisse, pelo apoio e disponibilidade para ir a campo ou à UESB, quando precisei, antes, durante e depois da gestação;

A Nilson, pela parceria, apoio, ajuda e paciência durante o período do doutorado;

Às minhas amigas de sempre: Kelly, Aline, Aline e Mariana, por todo o amor, apoio e incentivo, acreditando, muitas vezes, mais em mim do que eu mesma;

A Valdeci, dono das fazendas onde foram realizadas as coletas, pela disponibilidade das áreas;

Ao professor Divino Levi, pela disponibilização do laboratório e materiais para execução das análises;

Aos professores componentes da banca, por aceitar o convite para a defesa e pela colaboração com a tese.

E a você, que aqui não pude citar por falta de espaço, mas que me incentivou, dando-me força para esta conquista. Meu muito obrigada!!!

“O SENHOR é a minha força e o meu escudo; nEle o meu coração confia, nEle fui socorrido; por isso meu coração exulta, e com o meu cântico o louvarei.”

(Salmos 28:7)

RESUMO

CARVALHO, F. F. **Fauna, biomassa e atividade microbiana do solo sob diferentes sistemas de cultivo de *Coffea arabica***. Vitória da Conquista - BA, UESB, 2023. 110 p. (Tese: Doutorado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)*.

O Brasil é destaque no mercado de produção e consumo de café no mundo. *Coffea arabica* é a espécie mais produzida no país, geralmente cultivada a pleno sol, em monoculturas. Entretanto, alternativas mais diversas de cultivo vêm sendo estudadas, de modo a minimizar o impacto causado à qualidade do solo. A influência positiva do cultivo associado de cafés, seja ele em consórcio com espécies frutíferas ou arbóreas, pode ser mensurada por meio de indicadores biológicos. Os bioindicadores são sensíveis a alterações acima do solo, que refletem nas atividades dos organismos que habitam as camadas superiores do solo. A fauna e os microrganismos edáficos são responsáveis por grande parte da decomposição de resíduos e mineralização de nutrientes, sendo indispensáveis para a manutenção da dinâmica do solo. Nesse contexto, a avaliação da comunidade da fauna do solo, bem como de atributos microbiológicos podem refletir alterações na composição dos cultivos de café, atuando como bioindicadores da qualidade do solo das lavouras de café. Portanto, este estudo objetivou avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo de café sobre os microrganismos e a fauna do solo, utilizando como referência um fragmento de floresta nativa. Foram avaliados três sistemas de cultivo de café e uma área de vegetação nativa: monocultivo convencional de *Coffea arabica*; consórcio de *Coffea arabica* e banana; sistema agroflorestal de *Coffea arabica* e *Grevillea robusta* manejado; e floresta nativa. Foram quantificadas a biomassa e atividade microbiana, carbono orgânico e lábil a partir de amostras coletadas com auxílio com trado holandês. A fauna do solo foi coletada a partir do solo contido em uma área de 0,50 x 0,50 m. A identificação da fauna ocorreu em nível de grupos taxonômicos, como ordem, classe, família e gênero, com os insetos sociais classificados e avaliados separadamente. O sistema agroflorestal influenciou positivamente o carbono orgânico do solo e a eficiência de conversão em carbono microbiano, o que o aproximou mais das condições encontradas na floresta nativa. Para a fauna, os cultivos heterogêneos, devido a sua maior diversidade de culturas em relação aos monocultivos, influenciam positivamente a comunidade faunística, promovendo um ambiente benéfico para a abundância e diversificação de espécies. Já para os insetos sociais, apenas o monocultivo antigo apresentou dissimilaridades com relação aos demais sistemas. Em todos os estudos, ficou evidente o impacto do monocultivo às comunidades de organismos do solo, bem como a atenuação desse impacto com a associação de outros cultivos ao café.

Palavras-chave: biomassa microbiana; bioindicador; café; cultivo heterogêneo; monocultivo; organismos do solo.

***Orientadora:** D. Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia - UESB

Coorientadora: D. Sc. Raquel Pérez-Maluf - UESB

ABSTRACT

CARVALHO, F.F. **Fauna, biomass and soil microbial activity under different cultivation systems of *Coffea arabica***, Vitória da Conquista - BA, UESB, 2023. 110 p. (Tese: Doctor Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)*.

Brazil stands out in the coffee production and consumption market in the world. *Coffea arabica* is the most produced species in the country, usually cultivated in full sun, in monocultures. However, more diverse cultivation alternatives have been studied in order to minimize the impact caused to soil quality. The positive influence of associated coffee cultivation, whether in consortium with fruit or tree species, can be measured using biological indicators. Bioindicators are sensitive to changes above ground, which reflect on the activities of organisms that inhabit the upper layers of the soil. The fauna and edaphic microorganisms are responsible for a large part of the decomposition of residues and mineralization of nutrients, being indispensable for the maintenance of soil dynamics. In this context, evaluation of the soil fauna community, as well as microbiological attributes, may reflect changes in the composition of coffee crops, acting as bioindicators of soil quality in coffee crops. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of different coffee cultivation systems on microorganisms and soil fauna, using a fragment of native forest as a reference. Three coffee cultivation systems and an area of native vegetation were evaluated: (1) conventional monoculture of *Coffea arabica*; (2) consortium of *Coffea arabica* and banana (*Musa* spp.); (3) managed agroforestry system of *Coffea arabica* and *Grevillea robusta*; and (4) native forest. Biomass and microbial activity, organic and labile carbon were quantified from samples collected with the aid of a Dutch auger. The soil fauna was collected from the soil contained in an area of 0.50 x 0.50 m, collected with the aid of a template. Fauna identification took place at the level of taxonomic groups, such as order, class, family and genus, with social insects classified and evaluated separately. The agroforestry system positively influenced the soil organic carbon and the efficiency of conversion into microbial carbon, which brought it closer to the conditions found in the native forest. For fauna, heterogeneous crops, due to their greater diversity of cultures compared to monocultures, positively influence the faunal community, promoting a beneficial environment for the abundance and diversification of species. As for the social insects, only the old monoculture showed dissimilarities in relation to the other systems. In all studies, the impact of monoculture on the communities of soil organisms was evident, as well as the attenuation of this impact by associating other crops with coffee.

Keywords: Bioindicator; coffee; heterogeneous cultivation; microbial biomass; monoculture; soil organisms.

***Advisor:** D. Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia - UESB

Co-advisor: D. Sc. Raquel Pérez-Maluf - UESB

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I: Mudanças na biomassa e atividade microbiana de solo tropical induzidas por sistemas de cultivo de *Coffea arabica*

Figura 1. Resistência à penetração de solo (profundidade 0-20 cm) sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa.....31

Figura 2. Carbono orgânico, carbono lábil, carbono da biomassa microbiana, atividade microbiana de solo sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa.....35

Figura 3. Contribuição das frações formadoras da serapilheira em três sistemas cultivos de café e floresta nativa.....37

Figura 4. Relação C lábil/C orgânico do solo, quociente microbiano e quociente metabólico de solo sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa.....38

Figura 5. Matriz de correlação de Pearson (r) entre atributos do solo e da serapilheira (A) e diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais desses mesmos atributos em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa.....39

ARTIGO II: O sistema de produção de café impacta os serviços ecossistêmicos no solo?

Figura 1: (a) monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); (b) monocultivo 128heitgoconvencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); (c) consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); (d) sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e (E) floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.....61

Figura 2: Grupo funcional de indivíduos representantes da micro, meso e macrofauna, obtidos a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.....68

Figura 3: Dendrograma de similaridade estimada pelo índice de Morisita e distribuição percentual de espécies de fauna edáfica, a partir de monólitos de solo, sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea*

arabica antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.....69

ARTIGO III: Insetos Sociais (Formicidae e Isoptera) em diferentes sistemas de cultivo de *Coffea Arabica*

Figura 1: (a) monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); (b) monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); (c) consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); (d) sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e (E) floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.....83

Figura 2: Grupo funcional de insetos sociais a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.....89

Figura 3: Dendrograma de similaridade estimada pelo índice de Jaccard e distribuição percentual de insetos sociais, a partir de monólitos de solo, sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.....89

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I: Mudanças na biomassa e atividade microbiana de solo tropical induzidas por sistemas de cultivo de *Coffea arabica*

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica de solo (profundidade 0-10 cm) sob três sistemas de cultivos de café e floresta nativa.....30

Tabela 2. Acúmulo das frações formadoras da serapilheira (Mg ha^{-1}) em três sistemas cultivos de café e floresta nativa.....37

Tabela 3. Cargas fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (PCA) de atributos do solo e da serapilheira em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa.....40

ARTIGO II: O sistema de produção de café impacta os serviços ecossistêmicos no solo?

Tabela I: Número de indivíduos representantes da micro, meso e macrofauna, obtidos a partir de monólitos de solo, sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MC); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA, classificados em grupos taxonômicos.....64

Tabela II: Índices de Riqueza, Abundância, Diversidade e Equitabilidade de indivíduos representantes da micro, meso e macrofauna, obtidos a partir de monólitos de solo, sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.....67

ARTIGO III: Insetos Sociais (Formicidae e Isoptera) em diferentes sistemas de cultivo de *Coffea Arabica*

Tabela 1. Número de insetos sociais obtidos a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA, classificados em grupos taxonômicos.....86

Tabela 2. Número de insetos sociais obtidos a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA, classificados em grupos taxonômicos.....87

Tabela 3: Índices de Riqueza, Abundância, Diversidade e Equitabilidade de insetos sociais a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.....88

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
3. ARTIGO I:	22
Mudanças na biomassa e atividade microbiana de solo tropical induzidas por sistemas de cultivo de <i>Coffea arabica</i>*	22
3.1 INTRODUÇÃO	25
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.2.1 Caracterização da Área de Estudo	28
3.2.2 Amostras de solo e serapilheira	31
3.2.3 Biomassa e atividade microbiana do solo	32
3.2.4 Carbono orgânico do solo e carbono lábil	33
3.2.5 Índices	34
3.2.6 Análise estatística	34
3.3 RESULTADOS	35
3.4 DISCUSSÃO	41
3.5 CONCLUSÕES	45
3.6 REFERÊNCIAS	45
4. ARTIGO II:	55
O sistema de produção de café impacta os serviços ecossistêmicos associados à fauna do solo?	55
4.1 INTRODUÇÃO	58
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	60
4.2.1 Caracterização da Área de Estudo	60
4.2.2 Coleta, triagem e identificação da macro e mesofauna	62
4.2.3 Análise faunística	63
4.3 RESULTADOS	64
4.4 DISCUSSÃO	69
4.5 CONCLUSÃO	72
4.6 REFERÊNCIAS	73
5. ARTIGO III:	77
Insetos Sociais (Formicidae e Isoptera) em diferentes sistemas de cultivo de <i>Coffea arabica</i>	77

5.1 Introdução	80
5.2 Materiais e Métodos.....	82
5.2.1 Caracterização da Área de Estudo.....	82
5.2.2 Coleta, triagem e identificação mesofauna	84
5.2.3 Análise faunística	85
5.3 Resultados	86
5.4 Discussão.....	90
5.5 Referências.....	94
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
7. APÊNDICES	100

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor de café do mundo. A área de lavouras cafeeiras do país corresponde atualmente a 1,84 milhões de hectares e a expectativa de produção é estimada em 50 milhões de sacas de café beneficiado, aumento de 5,6% em comparação à safra de 2021 (CONAB, 2022). A cadeia agroindustrial do café é um dos setores mais importantes da economia brasileira, devido à sua expressiva participação na pauta de exportação e na geração de empregos, o que representa, a médio e longo prazo, um dos principais produtos estratégicos para o país (Lopes et al., 2019).

A Bahia se destaca em quarto lugar no *ranking* dos estados de maior produção de café do Brasil, sendo o Planalto a região que detém a maior área produtiva no estado (46,1 mil hectares) (CONAB, 2022). A produção de café do país é baseada em duas espécies principais: arábica (*Coffea arabica*) e conilon/robusta (*C. canephora*). A área destinada para o cultivo com café arábica foi de 1.816,4 mil hectares nesta safra, o que corresponde a quase 81% da área total destinada à cafeicultura nacional.

O tipo de sistema de cultivo adotado pode influenciar diretamente a comunidade edáfica do solo (Silva et al., 2022), que, por sua vez, são componentes importantes dos ecossistemas, principalmente no que diz respeito aos atributos físicos e químicos do solo (Martins et al., 2018). O cafeeiro é comumente cultivado a pleno sol, porém o excesso de luz pode causar danos fotooxidativos. O sombreamento dos pés de café pode trazer diversos benefícios (Carvalho, 2008), como criar um ambiente microclimático adequado, reduzir a temperatura da superfície foliar, alterar as características fotossintéticas foliares, controlar pragas e doenças, equilibrar o crescimento vegetativo e reprodutivo, diminuir o porte bianual, aumentar o tamanho do grão e melhorar a qualidade das bebidas dele proveniente (Liu et al., 2018). As espécies cultivadas junto ao café podem ser arbóreas, como a grevilea, ao que se nomeia sistema agroflorestal (SAF), bem como espécies anuais frutíferas, como a banana, dando origem a consórcios.

O uso de diferentes coberturas vegetais e de práticas culturais parece atuar diretamente sobre a população do solo. Esse fato pode estar intimamente relacionado à permanência de resíduos orgânicos na superfície do solo (Hoffmann et al., 2009). Nunes et al. (2009) afirmam que a retirada da mata natural para o plantio de culturas promove diversas modificações no solo, sobretudo no conteúdo de matéria orgânica e na disponibilidade de nutrientes, com reflexos sobre a biota do solo.

Para Pezarico et al. (2013), os indicadores mais recomendados para avaliação da qualidade do solo, em relação ao seu uso e manejo, são aqueles que respondem às variações ambientais e podem ser alterados em curtos e médios prazos. Os indicadores biológicos do solo têm a capacidade de medir o nível de desequilíbrio ao qual um determinado ambiente está sujeito, sendo úteis para determinar os efeitos positivos e negativos sobre a qualidade do solo e a sustentabilidade das práticas agrícolas (Cunha et al., 2011).

A macrofauna do solo pode ser utilizada como indicador da qualidade do solo, de manejo rápido, fácil e econômico. Sua relação com as diferentes características físico-químicas e da matéria orgânica, a torna uma poderosa ferramenta de avaliação e monitoramento da qualidade do solo (Velasquez & Lavelle, 2019). Portanto, devido aos diversos papéis para o funcionamento do solo e sensibilidade ao manejo, especialmente na interface solo-serapilheira, a fauna do solo tem sido usada como um indicador de qualidade do solo (Silva et al., 2016; Pereira et al., 2017; Suárez et al., 2019; Forstall-sosa et al., 2021; Lima et al. 2021; Nascimento et al., 2021).

Os microrganismos edáficos regulam diversos processos que afetam o ecossistema e estão associados à ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, mudanças nos estoques de C e na dinâmica da matéria orgânica do solo (Hoffman et al., 2018). A biomassa microbiana do solo é a fração viva da matéria orgânica, sendo assim, responsável por processos bioquímicos e biológicos no solo e, por conseguinte, sensivelmente influenciada pelas condições impostas pelo meio (Moreira & Siqueira, 2006). A biomassa microbiana do solo é considerada um indicador importante das mudanças nos níveis de matéria orgânica no solo (Santos et al., 2019) e é frequentemente utilizada para avaliar a qualidade do solo (Aragão et al., 2020; Souza et al., 2020; Cunha et al., 2021; Oliveira et al., 2022).

Haja vista a grande importância da cafeicultura no território brasileiro, bem como a influência da qualidade do solo sobre esta cultura, a adoção de técnicas de manejo que promovam uma melhoria nos atributos biológicos do solo devem minimizar o impacto provocado com o uso intensivo da terra nos cultivos. Dessa maneira, o cultivo de cafeeiros em consórcio com espécies arbóreas ou frutíferas tende a promover maior riqueza e abundância de macro e mesofauna edáfica, bem como melhores índices relacionados aos atributos microbiológicos, aproximando-se, assim, da área de mata nativa. Com o objetivo de testar esta hipótese, o presente estudo busca comparar os

sistemas de cultivo heterogêneos e homogêneos de café, utilizando bioindicadores e tendo como referência uma área de floresta no Sudoeste da Bahia.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aragão, O.O.S.; Oliveira-Longatti, S.M.; Caputo, P.S.C.; Rufini, M.; Carvalho, G.R.; Carvalho, T.S.; Moreira, F.M.S. Microbiological indicators of soil quality are related to greater coffee yield in the Brazilian Cerrado region. **Ecological Indicators**, v. 113, n. 106205, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106205>

Carvalho, C. H. S. Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, 247 p. 2008.

Cunha, J.R.D.; Freitas, R.C.A.; Souza, J.A.T.; Gualberto, A.V.S.; Souza, H.A.; Leite L.F.C. Soil biological attributes in monoculture and integrated systems in the Cerrado region of Piauí State, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, 43p. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103637>

Forstall-Sosa et al. Soil macroarthropod community and soil biological quality index in a green manure farming system of the Brazilian semi-arid. **Biologia**, v. 76, n. 3, p. 907-917, 2021. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00602-y>

Hoffmann, R. B.; Moreira, É. E. A.; Silva Hoffmann, G. S.; Araújo, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018.

Hoffmann, R. B.; Nascimento, M. D. S. V.; Diniz, A. A.; Araújo, L. H. A.; SOUTO, J. S. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em areia, Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, 2009.

Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2006, 729 p.

Nunes, L. A. P.L.; Dias, L.E.; Jucksch, I.; Barros, N. F.; Kasuya, M. C. M.; Correia, M. E. F. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da mata mineira. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000216>

Lima, S.S.D.; Aquino, A.M.D.; Silva, R.M.D.; Matos, P.S. & Pereira, M.G. Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45p. 2021. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200156>

Liu, X. G.; Li, Y. L.; Qi, Y. T.; Cheng, J. H.; Yang, Q. L.; Liu, Y. W. Impacts of regulated deficit irrigation on yield, quality and water use efficiency of Arabica coffee under different shading levels in dry and hot regions of southwest China. **Agricultural Water Management**, v. 204, p. 292-300, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.024>

Nascimento, M.S.; Barreto-Garcia, P.A.B.; Monroe, P.H.M.; Scoriza, R.N.; Gomes, V.S. Interaction between edaphic mesofauna and organic carbon within water-stable aggregates in forestry systems: a case study in northeastern Brazil. **Catena** v. 202, p. 105269, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105269>

Oliveira, M.H.D.; Eloi, I.; Costa, B.G.D. & Bezerra-Gusmão, M.A. Influence of altitude and seasonality in the termite species richness and nests density in a hill environment of the Brazilian Caatinga. **Iheringia**, v. 112, p. 1-6, 2022. [10.1590/1678-4766e2022024](https://doi.org/10.1590/1678-4766e2022024)

Pereira, J.M.; Segat, J.C.; Baretta, D.; Vasconcellos, R.L.F.; Baretta, C.R.D.M.; Cardoso, E.J.B.N. Soil macrofauna as a soil quality indicator in native and replanted *Araucaria angustifolia* forests. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 41, p. 016026. 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160261>

Pezarico, C. R.; Vitorino, A. C. T.; Mercante, F. M.; Daniel, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

Santos, M.O.D.; Barreto-Garcia, P.A.B. & Gama-Rodrigues, E.F. Soil microbial biomass as an edge effect indicator in semi-deciduous seasonal forest fragments. **Floresta e Ambiente** v. 26, n. 3, p. e20171037, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.103717>

Silva, M.S.C.; Correia, M.E.F.; Silva, E.M.R.; Maddock, J.E.L.; Pereira, M.G.; Silva, C.F. Comunidades da fauna do solo e atributos edáficos sob agroflorestas em Paraty, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 180-90, 2016. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.059813>

Souza M., Vargas M.M.M., Ventura B.S., Müller Júnior, V., Soares, C.R.F.S., Kurtz C., ... Lovato P.E. Microbial activity in soil with onion grown in a no-tillage system with single or intercropped cover crops. **Ciência Rural**, v. 50, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190849>

Suárez, L.R.; Pinto, S.P.C. & Salazar, J.C.S. Soil macrofauna and edaphic properties in coffee production systems in Southern Colombia. **Floresta e Ambiente** v. 26, 2019. <http://doi.org/10.1590/2179-8087.033418>

3. ARTIGO I:

Mudanças na biomassa e atividade microbiana de solo tropical induzidas por sistemas de cultivo de *Coffea arabica**

* **Situação:** submetido

**Mudanças na biomassa e atividade microbiana de solo tropical
induzidas por sistemas de cultivo de *Coffea arabica***

Flavia Ferreira de Carvalho^a, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia^{b,*}, Raquel Perez Maluf^c, Paulo Henrique Marques Monroe^a, Fabiano Rodrigues Pereira^d, Thaís Chaves Almeida^e

^a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Programa de Pós-graduação em Agronomia, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, 45083-900

^b Southwest Bahia State University, Department of Agricultural Engineering and Soil, Vitória da Conquista, Bahia, Brazil, 45031-900. *Corresponding author: patriciabarreto@uesb.edu.br

^c Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Departamento de Ciências Naturais, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

^d Universidade Federal de Lavras (UFLA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lavras, Minas Gerais, Brasil, 37200-900

^e Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, 45083-900

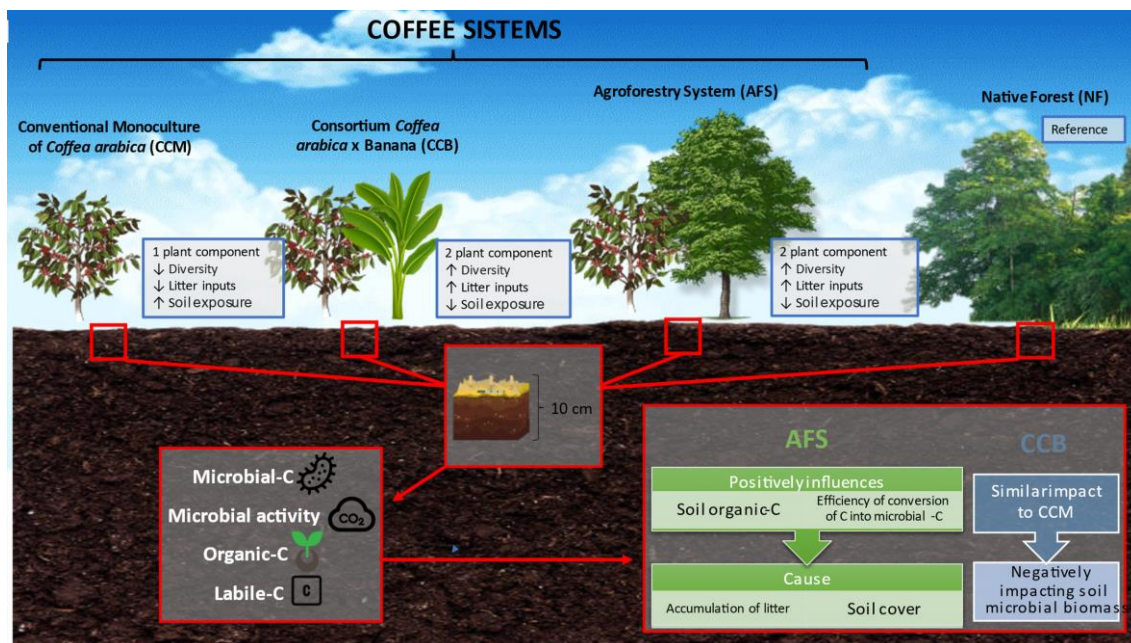
Mudanças na biomassa e atividade microbiana de solo tropical induzidas por sistemas de cultivo de *Coffea arabica*

RESUMO

A biomassa microbiana (MB) é um importante indicador de qualidade do solo, sendo responsiva a mudanças decorrentes do manejo e uso do solo. Embora existam estudos que avaliem alterações em atributos microbiológicos do solo em sistemas de cultivo de café, os efeitos desses sistemas sobre a MB e sua relação com outros atributos do solo raramente foram investigados, especialmente em condição de clima tropical de altitude. Portanto, este estudo objetivou avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo de café sobre a biomassa e atividade microbiana e como essas respostas se relacionam com outros atributos do solo e serapilheira. Nosso estudo foi realizado em solos sob três sistemas de cultivo de *Coffea arabica* (CCM – monocultivo, CCB – consórcio com banana, AFS – sistema agroflorestal com *Grevillea robusta*) e sob floresta nativa (NF). As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0-10 cm e submetidas a análises para determinação dos teores de carbono da biomassa (MB-C) pelo método da fumigação-extração, respiração acumulada por meio do CO₂ liberado, carbono orgânico (SOC) e carbono lábil por oxidação úmida. Houve redução de 45% do SOC nos sistemas cultivos de café e de 75% do MB-C no CCM em relação à NF. O AFS se aproxima mais das condições da floresta nativa, devido a sua influência positiva no teor de SOC e à eficiência de conversão desse carbono em carbono microbiano. A presença do componente florestal é positiva e deve ser incentivada para mitigação dos impactos da cultura do café sobre o solo.

Keywords: Oxisols, Organic matter, Soil microbiota, Nutrient cycling, Agroforestry systems, Soil Quality

GRAPHIC ABSTRACT



3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café do mundo, sendo responsável por 29,6% da produção global de grãos (FAO, 2020). Das 10,2 toneladas produzidas no ano de 2019, aproximadamente três toneladas foram oriundas de terras brasileiras. Dentre os estados brasileiros, a Bahia ocupa a posição de quarto maior produtor de café e vem ganhando lugar de destaque na qualidade dos grãos, especialmente os produzidos por agricultores familiares, em locais como a Chapada Diamantina e sudoeste Baiano (FAO, 2020).

A qualidade do café produzido está diretamente relacionada a fatores como a origem geográfica, as condições de clima e solo, as práticas de manejo adotadas e a composição de espécies do sistema de cultivo. Estes dois últimos fatores têm efeitos diretos sobre a qualidade do solo e, portanto, condicionam a sustentabilidade agrícola.

Nesse contexto, sistemas de produção que melhorem as funções ecológicas do sistema solo-planta, como os sistemas agroflorestais (AFS) e consórcios, constituem importante alternativa para a manutenção ou melhoria da fertilidade do solo, uma vez que favorecem o acúmulo de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e biodiversidade edáfica (Gama Rodrigues, 2011; Silva et al., 2017). Esses sistemas também promovem otimização no uso dos recursos naturais disponíveis pela maior diversidade de espécies em relação aos sistemas tradicionais (Verchot et al., 2018; Correia et al., 2020). Apesar disso, no Brasil, o café ainda é predominantemente cultivado em sistema de monocultivo com práticas de manejo convencionais.

A compreensão da influência de diferentes sistemas de cultivo de café sobre os atributos do solo pode auxiliar na interpretação das suas interações e na definição de estratégias de manejo (Marshall, 2000). Dentre os atributos do solo, os biológicos interferem no sucesso agrícola devido à sua estreita relação com a decomposição da matéria orgânica e com a ciclagem de nutrientes, destacando-se como indicadores sensíveis de mudanças ocasionadas pelo uso e manejo do solo (Doran e Parkin, 1994; Pulleman et al., 2012; Souza et al., 2020). Os microrganismos, em particular, não apenas acessam um *pool* de nutrientes muito maior do que as plantas, como também podem extrair diferentes formas de nutrientes ao longo do tempo (Teklay et al., 2006; Cunha et al., 2021).

A biomassa microbiana do solo (SMB) constitui a fração lábil da matéria orgânica, sendo altamente dinâmica e facilmente alterada por fatores bióticos e abióticos. Por essa razão, informações sobre esse compartimento podem ajudar a entender o comportamento dos microrganismos em resposta a mudanças no uso e manejo do solo (Barreto et al., 2008; Baldrian, 2017; Aragão et al., 2020; Li et al., 2020; Barreto-Garcia et al., 2021). A SMB é geralmente avaliada a partir da quantificação dos

seus conteúdos de carbono e nitrogênio ou por estimativas da taxa de liberação de CO₂ do solo (respiração acumulada do solo). Tais informações podem indicar alterações na taxa de decomposição e transformação dos nutrientes no solo (mineralização e imobilização) e, ainda, possibilitar inferências sobre condições de estresse impostas ao ambiente (Barreto-Garcia et al., 2021).

Entretanto, mesmo diante da importância de estudos relativos ao uso de atributos microbiológicos, como indicadores da saúde do solo, é importante entender o solo como um sistema dinâmico que emerge do equilíbrio e da interação entre seus diferentes componentes (biológicos, químicos e físicos). Ou seja, os atributos edáficos que condicionam bons rendimentos agrícolas não têm efeitos separados, é sua atuação conjunta que determina a qualidade e capacidade produtiva do solo (Nunes et al., 2009; Paz-Ferreiro e Fu, 2016; Colodel et al., 2018). Sendo assim, a avaliação das inter-relações entre diferentes atributos edáficos pode permitir uma compreensão mais detalhada de mudanças no solo.

Dentre os atributos químicos do solo, que têm efeito direto sobre os microbiológicos, está a biodisponibilidade do carbono orgânico do solo (SOC), que influencia o processamento e a estabilização da matéria orgânica e, conseqüentemente, a atuação da biomassa microbiana do solo (Bahadori et al., 2021). Outro atributo que tem estreita relação com a microbiologia do solo é o carbono lábil, já que constitui a fração de compostos orgânicos mais facilmente mineralizado pelos microrganismos (Rangel et al., 2008) e, portanto, pode contribuir para a compreensão do comportamento da biomassa microbiana.

Embora a influência positiva dos AFS e consórcios de cafeeiros, nos reservatórios de carbono orgânico e atributos microbiológicos do solo, seja relativamente bem conhecida (Gómez et al., 2018; Pardo-Plaza et al., 2019; Aragão et

al., 2020), os efeitos sobre a biomassa microbiana e sua relação com outros atributos do solo, em diferentes sistemas de cultivo de café, raramente foram investigados, especialmente em regiões de clima tropical e com elevada altitude. Diante do exposto, desenvolvemos este trabalho fazendo a seguinte pergunta: “Como a biomassa e a atividade microbiana do solo tropical respondem a diferentes sistemas de cultivo de café, e como essas respostas se relacionam com outros atributos do solo e com a serapilheira?”. Nesse sentido, hipotetizamos que: (1) sistema agroflorestal e consórcio mantêm os níveis de C da biomassa microbiana (MB-C) e atividade microbiana (SMA) devido às maiores entradas de serapilheira, exsudatos radiculares e cobertura do solo, propiciando uma condição mais semelhante à floresta nativa; (2) monocultivo resulta em redução do MB-C e maior SMA, devido à maior exposição do solo e menor entrada de serapilheira.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no distrito de Lucaia, localizado no município de Planalto, estado da Bahia, Brasil. A região possui clima tropical de altitude (Cwb), de acordo com a classificação de Koppen, com altitude média de 943 metros, pluviosidade média anual de 750 mm (estação seca de maio a setembro) e temperatura média anual de 19,2 °C (Prefeitura Municipal de Planalto, 2019).

Foram avaliados três sistemas de cultivo de café e uma área de vegetação nativa: (1) monocultivo convencional de *Coffea arabica* (CCM); (2) consórcio de *Coffea arabica* e banana (*Musa* spp.) manejado com adubação convencional (CCB); (3) sistema agroflorestal de *Coffea arabica* e *Grevillea robusta* manejado com adubação orgânica (AFS); e (4) floresta nativa (NF), que foi utilizada como sistema de referência,

tem vegetação classificada como Floresta Estacional Semidecidual, está localizada em área adjacente aos cultivos de café e possui área de aproximadamente 30 ha.

O CCM foi implantado no ano de 2019, em espaçamento de $1,0 \times 3,5$ m, e possui uma área equivalente a 7,2 ha. O CCB teve início no ano de 2000, foi estabelecido em uma área de 5,3 ha, em espaçamento de $1,5 \times 4,0$ m (entre plantas de café) e $1,0 \times 16$ m (entre plantas de banana). O AFS foi introduzido no ano de 2000, em espaçamento de $1,5 \times 2,5$ m (entre cafeeiros) e $3,5 \times 15,0$ m (entre árvores), e possui uma área de 1,0 ha. Nos sistemas CCM e CCB, o preparo foi baseado em aração, gradagem e sulcagem, com adubação de plantio (superfostato simples: 150 g e 120 g por planta, respectivamente) e de manutenção (ureia: 100 g; NPK 20-00-20: 260 g e 200 g por planta). No AFS, o solo foi preparado com roçagem e sulcagem, adubação de plantio (superfosfato simples: 20 Mg ha⁻¹), com posterior adubação orgânica de cobertura-manutenção (esterco bovino: 12 kg por planta). Em todos os sistemas, os tratos culturais foram realizados duas vezes ao ano, com roçagem para controle de ervas espontâneas.

O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2019) e equivalente a Oxisol em USDA *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014). Apresenta caracterização química e granulométrica (profundidade 0-10 cm), conforme Tabela 1, e resistência à penetração (profundidade 0-20 cm), ilustrada na Figura I.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica de solo (profundidade 0-10 cm) sob três sistemas de cultivos de café e floresta nativa

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	m	Areia	Silte	Argila
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				%			g kg ⁻¹	
CCM	7.2	27.0	0.68	4.0	2.8	1.4	7.4	7.4	84.5	0.0	600	120	290
CCB	6.2	26.5	0.55	5.0	2.2	3.3	7.7	7.8	71.0	0.5	620	90	280
AFS	6.2	41.5	0.47	3.8	2.6	2.7	6.9	7.0	72.0	1.0	565	115	320
NF	5.5	3.5	0.20	4.0	3.0	7.1	7.1	7.3	50.0	3.0	650	70	320

CCM = monocultivo convencional de café; CCB = consórcio de café e banana; AFS = sistema agroflorestal; NF = floresta nativa. Análises realizadas de acordo com Teixeira et al. (2017): fósforo (P) e potássio (K) extraíveis por Mehlich⁻¹; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis por KCl 1 mol L⁻¹. Para isso, foram utilizadas quatro amostras compostas por 20 amostras simples, coletadas das mesmas parcelas utilizadas nos estudos deste trabalho.

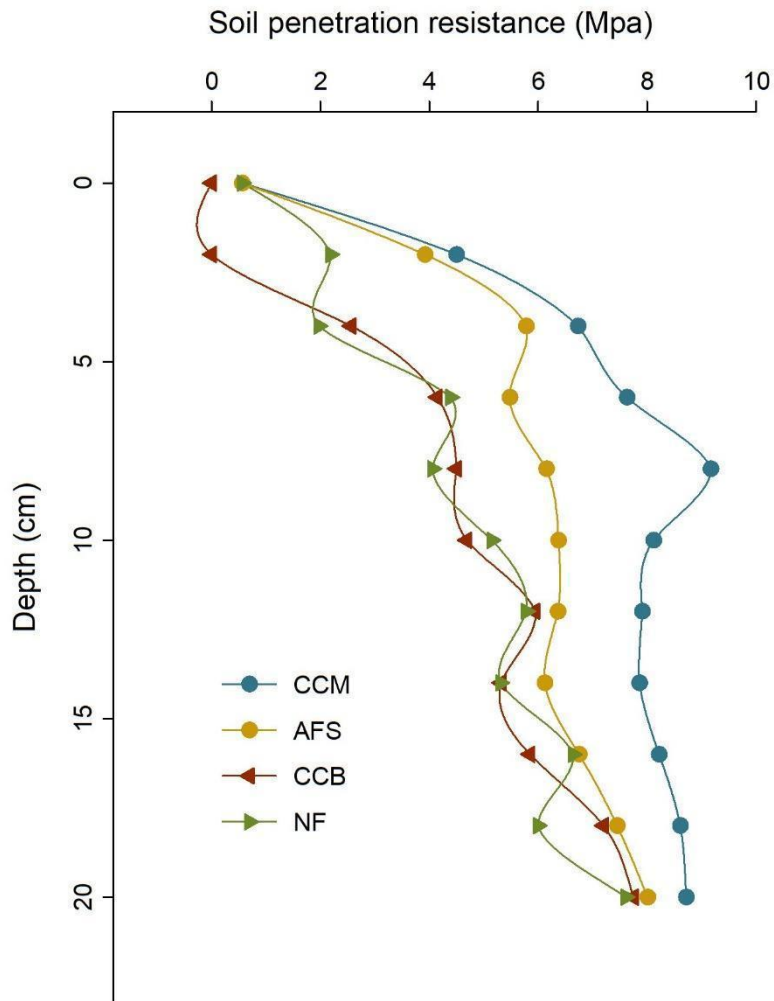


Figura 1. Resistência à Penetração de solo* (profundidade 0-20 cm) sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa. Em que: CCM = monocultivo convencional de café; CCB = consórcio de café e banana; AFS = sistema agroflorestal; NF = floresta nativa. *Avaliação realizada com uso de penetrômetro de impacto Stolf e cálculo, de acordo com Stolf et al. (2014).

3.2.2 Amostras de solo e serapilheira

Em cada sistema estudado, foram estabelecidas aleatoriamente quatro parcelas de 20 × 20 m (garantindo uma distância mínima de 20 metros entre parcelas). As quatro parcelas dentro de cada sistema foram consideradas repetições. Embora reconheçamos que a falta de replicação verdadeira pode limitar a interpretação de resultados, notamos

que desenhos de amostragem semelhantes foram usados em estudos anteriores que avaliaram o efeito de sistemas de cultivo nas propriedades do solo (Francaviglia et al., 2017; Matos et al., 2020; Nascimento et al., 2021; Barreto-Garcia et al., 2021; Oliveira et al. 2022; Barros et al., 2022) e que essa abordagem é importante para estudar sistemas de manejo singulares e de longo prazo nos quais ensaios de campo com delineamentos randomizados não são viáveis.

As coletas foram realizadas no mês de março de 2021. Em cada parcela, foram coletadas amostras de solo e serapilheira. A amostragem de solo foi realizada na profundidade 0-10 cm, com auxílio de trado holandês, para a retirada de 10 amostras simples, que foram reunidas para formar uma amostra composta por parcela. Para a serapilheira, foi utilizado um gabarito com dimensões de 0,50 × 0,50 m, que foi lançado ao acaso com três repetições em cada parcela, coletando-se todo o material contido no seu interior.

As amostras de serapilheira foram triadas e divididas nas frações folhas, galhos, cascas, estruturas reprodutivas e material fragmentado < 5 mm (MF). Após a triagem, as frações foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, por 48 horas e, posteriormente, pesadas em balança analítica.

3.2.3 Biomassa e atividade microbiana do solo

As amostras de solo foram levemente destorroadas e peneiradas (malha de 2 mm), retirando-se quaisquer resíduos vegetais e animais visíveis, de modo a garantir somente a quantificação da biomassa microbiana do solo, conforme recomendação de Jenkinson (1966). Posteriormente, as amostras foram submetidas a uma pré-incubação, por três dias, em um recipiente fechado contendo o solo, um frasco de NaOH 1 mol L⁻¹ e outro com água, com o intuito de redução da taxa respiratória, que foi

temporariamente alterada pelo processo de peneiramento. Após isso, cada amostra teve sua umidade ajustada para 40% da capacidade de saturação de água e somente depois foram realizadas as quantificações de carbono da biomassa microbiana (MB-C) e atividade microbiana (SMA).

O MB-C foi determinado por meio do método da fumigação-extração (Tate et al., 1988). A SMA foi medida em termos de respiração acumulada do solo (CO_2 liberado) (Jenkinson e Powlson, 1976), durante um período de incubação de oito dias. Foi realizada a incubação de porções de 50 g de solo das amostras. Cada porção foi incubada em um recipiente de vidro de 3,5 l (juntamente com mais dois frascos, um contendo com 10 ml de NaOH 1 mol L^{-1} , e outro com água) que ficou hermeticamente fechado. Ao final desse período, as soluções de NaOH foram tituladas com HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, usando solução saturada de BaCl_2 e indicador fenolftaleína (1%). Os resultados obtidos foram expressos em microgramas de CO_2 evoluído por grama de solo seco.

3.2.4 Carbono orgânico do solo e carbono lábil

O carbono orgânico do solo (SOC) foi determinado por oxidação úmida com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), de acordo com Yeomans e Bremner (1988).

Já o carbono lábil do solo (labile-C) foi obtido por meio do procedimento proposto por Blair et al. (1995) e adaptado para solos tropicais por Shang e Tiessen (1997), que consiste na oxidação das formas lábeis do C orgânico do solo com uso de permanganato de potássio (KMnO_4). O carbono não lábil do solo (non labile-C) foi calculado pela subtração entre o SOC e o labile-C.

3.2.5 Índices

A partir dos resultados obtidos, determinou-se a relação labile C / soil organic C (Labile-C:SOC) e os índices microbiológicos: quociente microbiano (qMic), que corresponde à relação entre o carbono da biomassa microbiana e o C orgânico do solo; e quociente metabólico (qCO₂), que é definido pela relação entre a respiração acumulada e o C da biomassa microbiana (Anderson e Domsch, 1990), sendo expresso em $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MB-C h}^{-1}$.

3.2.6 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade e homogeneidade dos dados (testes de Lilliefors e Bartlett, respectivamente). Após constatar ausência de normalidade e/ou homogeneidade, os dados das variáveis MB-C, SMA, labile-C, qCO₂ e frações estruturas reprodutivas e material fragmentado da serapilheira foram submetidos a transformações e, juntamente com as demais variáveis estudadas, foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Adotou-se o teste LSD de Fisher, a 5% de significância, para comparação das médias. Além disso, a relação entre atributos químicos e microbiológicos do solo foi avaliada pela correlação de Pearson, a 5% de significância.

Como análise complementar, utilizou-se a técnica multivariada, através da análise de componentes principais (PCA), com o objetivo de sintetizar a variação multidimensional dos tratamentos em um diagrama e, em seguida, ordená-los nos componentes, de acordo com suas semelhanças em torno das variáveis utilizadas (Ter Braak, 1986). As seguintes variáveis foram consideradas para essa análise: atributos microbiológicos do solo (MB-C e SMA), atributos químicos do solo (SOC e labile-C), atributos físicos do solo (umidade, teor de argila e resistência à penetração) e atributos

da serapilheira (acúmulo). Os dados de resistência à penetração, empregados na PCA, correspondem a uma média aritmética dos valores obtidos na curva de resistência ao longo da camada 0-20 cm do solo.

3.3 RESULTADOS

Os sistemas de cultivo de café ocasionaram uma redução nos teores de SOC em comparação à área de floresta nativa (Figura 2), sendo essa redução correspondente a aproximadamente 44,6%. O AFS se destacou entre os sistemas de café, com resultado superior ao CCB, embora sem distinção do CCM. Por outro lado, os teores de labile-C não demonstraram diferenças entre os sistemas estudados (Figura 2), sendo observados valores médios de 5,11 g kg⁻¹, para os cultivos de café; e 5,69 g kg⁻¹, para a floresta nativa.

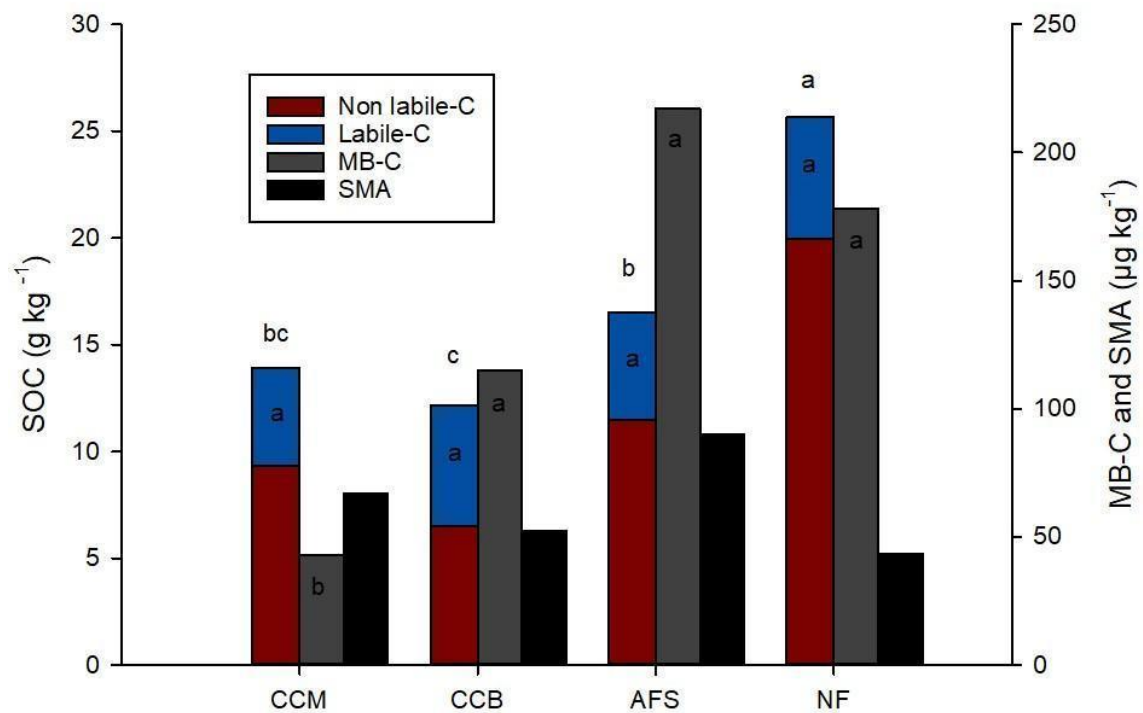


Figura 2. Carbono orgânico, carbono lábil, carbono da biomassa microbiana, atividade microbiana de solo sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa. Em que: SOC = carbono orgânico do solo (SOC = Labile-C + non labile-C); Labile-C = carbono lábil; MB-C = carbono da biomassa microbiana; SMA = atividade microbiana do solo; PR = resistência à penetração na profundidade 0-20 cm; CCM = monocultivo convencional de café; CCB = consórcio de café e banana; AFS = sistema agroflorestal; NF = floresta nativa. Médias seguidas de mesma letra não se diferem, de acordo com o teste LSD de Fisher a 5% de significância.

Os menores valores de MB-C foram verificados no monocultivo, representando uma diminuição de 76% em relação à NF (Figura 2). Os demais sistemas de cultivo de café não se diferenciaram entre si e em relação à NF. De modo geral, a SMA foi maior nos cultivos de café, sendo que apenas o CCB se assemelhou à NF, que apresentou menor resultado (Figura 2).

Os maiores acúmulos de serapilheira (total e folhas) foram observados nos sistemas com presença de componente arbóreo (AFS e floresta nativa), quando comparados aos sistemas CCM e CCB (Tabela 2). A contribuição da fração folhas na composição da serapilheira total variou entre 39% (floresta nativa) e 77% (CCB), notando-se maior representatividade nos sistemas de café. Padrão oposto foi verificado para a fração galhos, que apresentou menor participação na serapilheira dos sistemas de café (16%) em comparação à floresta nativa (39%) (Figura 3).

Tabela 2. Acúmulo das frações formadoras da serapilheira (Mg ha⁻¹) em três sistemas cultivos de café e floresta nativa

Trat.	Folhas	Galhos	Cascas	RS	FM	Total
CCM	1,24 (0.15) b	0,37 (0.10) b	0,49 (0.17) a	0,08 (0.02) a	0,72 (0.18) a	2,91 (0.33) c
CCB	2,51 (0.75) ab	0,36 (0.10) b	-	0,05 (0.01) a	0,34 (0.09) b	3,26 (0.82) c
AFS	3,52 (0.47) a	1,50 (0.31) b	0,02 (0.01) b	0,41 (0.10) a	0,59 (0.11) ab	6,04 (0.34) b
NF	3,12 (0.31) a	3,09 (0.71) a	0,60 (0.22) a	0,05 (0.02) a	1,15 (0.26) a	8,00 (0.74) a

Em que: RS = estruturas reprodutivas; FM = material fragmentado < 5 mm; CCM = monocultivo convencional de café; CCB = consórcio de café e banana; AFS = sistema agroflorestal; NF = floresta nativa. Valores entre parênteses representam o erro padrão da média (n=4). Médias seguidas de mesma letra não se diferem, de acordo com o teste LSD de Fisher a 5% de significância.

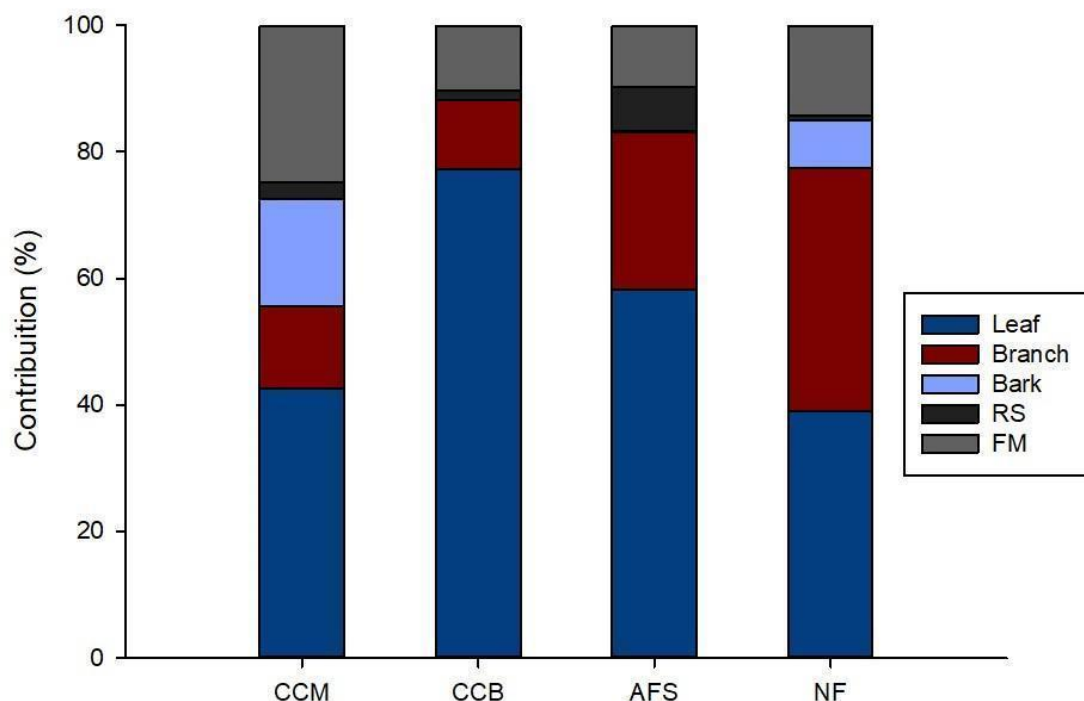


Figura 3. Contribuição das frações formadoras da serapilheira em três sistemas cultivos de café e floresta nativa. Em que: RS = estruturas reprodutivas; FM = material

fragmentado < 5 mm; CCM = monocultivo convencional de café; CCB = consórcio de café e banana; AFS = sistema agroflorestal; NF = floresta nativa.

Em relação aos índices, apenas o qCO_2 não mostrou variação entre os sistemas, apresentando valor médio de $195,56 \mu g^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 4). A relação Labile-C:SOC foi maior nos sistemas de café (média de 37%) em comparação à floresta nativa (média de 22%), com valor superior no CCB, intermediário no CCM e AFS, e inferior na floresta nativa. Já a relação $qMic$ foi maior nos sistemas de cultivo mistos (CCB e AFS) em comparação ao sistema homogêneo (monocultivo).

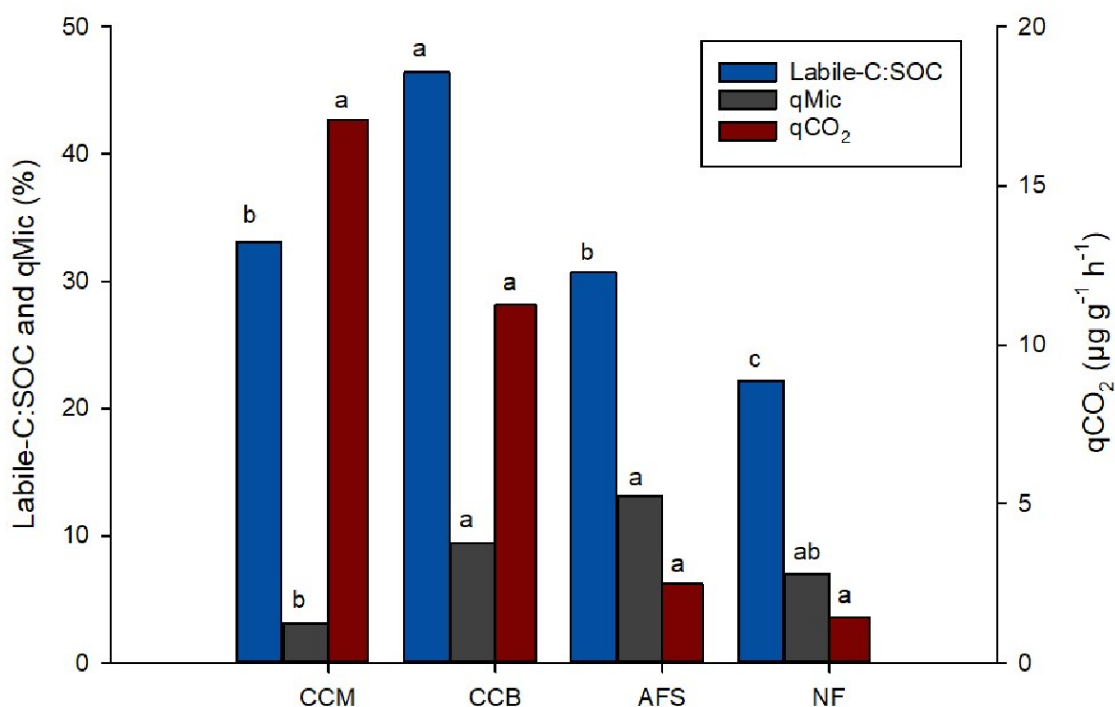


Figura 4. Relação C lábil/C orgânico do solo, quociente microbiano e quociente metabólico de solo sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa. Em que: Labile-C:SOC = relação C lábil/C orgânico do solo; $qMic$ = quociente metabólico, relação C microbiano/ C orgânico do solo; qCO_2 = quociente metabólico, relação entre

respiração acumulada do solo e carbono da biomassa microbiana; CCM = monocultivo convencional de café; CCB = consórcio de café e banana; AFS = sistema agroflorestal; NF = floresta nativa.

Os atributos microbiológicos mostraram associações significativas com os atributos químicos e físicos do solo e com o acúmulo de serapilheira; positivas entre MB-C e SOC, MB-C e serapilheira foliar, SMA e pH, clay e PR; e negativas entre SMA e Labile-C e entre SMA e umidade (Figura 5). Também foi observada correlação positiva entre SOC e acúmulo de serapilheira; e negativa entre SOC e PR, Labile-C e PR, e Labile-C e argila.

Os atributos do solo e da serapilheira, quando submetidos à análise de componentes principais (PCA), explicaram 89,65% da dissimilaridade entre os sistemas avaliados, por meio de dois componentes (Figura 5). Os atributos mais associados ao componente principal 1 (eixo horizontal, PC1), que explicou 56,52% da variação, foram: SOC, Labile-C, SMA, umidade, PR e argila (Tabela 3). Por sua vez, as variáveis MB-C, serapilheira e pH foram responsáveis por maior parte da variação do componente principal 2 (eixo vertical, PC2) e explicaram 33,14% da diferenciação entre tratamentos (Tabela 3).

(A)

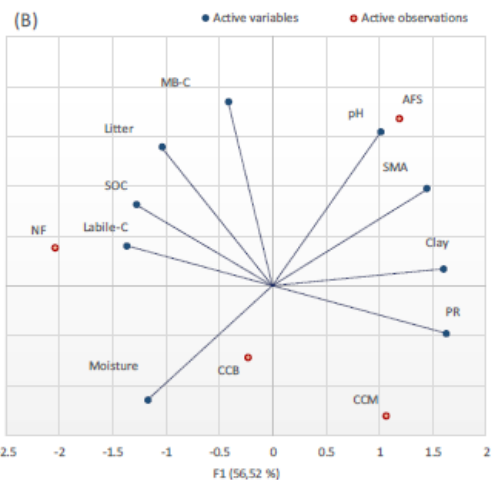
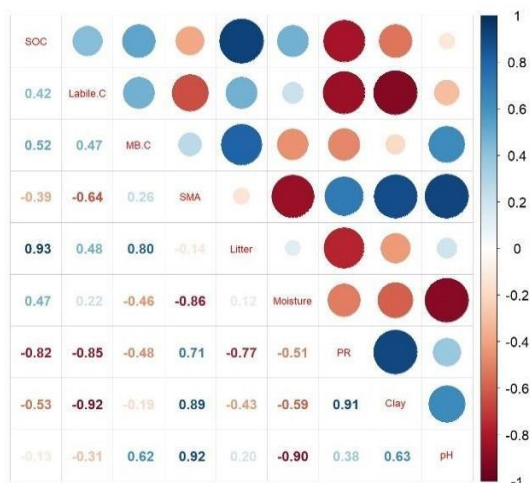


Figura 5. Matriz de correlação de Pearson (r) entre atributos do solo e da serapilheira (A) e diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais desses mesmos atributos em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa. Em que: Valores $\geq |0.70|$ são considerados correlações fortes, SOC = carbono orgânico do solo; Labile-C = carbono lábil; Litter = serapilheira total acumulada; MB-C = carbono da biomassa microbiana; SMA = atividade microbiana do solo; PR = resistência a penetração; CCM = monocultivo convencional de café; CCB = consórcio de café e banana; AFS = sistema agroflorestal; NF = floresta nativa.

Tabela 3. Cargas fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (PCA) de atributos do solo e da serapilheira em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa

Variables	Variance componente		
	PC1	PC2	PC3
	Factor loadings		
SOC	-0.755	0.422	-0.502
Labile-C	-0.811	0.207	0.548
MB-C	-0.245	0.960	0.137
SMA	0.858	0.505	-0.094
Litter	-0.617	0.722	-0.314
Moisture	-0.695	-0.596	-0.402
PR	0.968	-0.251	-0.025
Clay	0.950	0.086	-0.300
pH	0.600	0.799	0.026

Variability%	56.516	33.139	10.346
Cumulative%	56.516	89.654	100.000

SOC = carbono orgânico do solo; Labile-C = carbono lábil; Litter = serapilheira total acumulada; MB-C = carbono da biomassa microbiana; SMA = atividade microbiana do solo; PR = resistência à penetração.

A dispersão gráfica dos sistemas em relação aos eixos demonstrou aproximação entre os sistemas CCB e CCM, que ficaram agrupados na parte inferior do gráfico; e isolamento da NF e do AFS, que ficaram distribuídos cada um em um quadrante na parte superior do gráfico. AFS e NF ficaram mais associados com PC1, enquanto CCM e CCB ficaram mais relacionados ao PC2.

3.4 DISCUSSÃO

A redução do SOC, nos sistemas de café em relação à floresta nativa (Figura 2), pode ser atribuída à menor diversidade de espécies vegetais que proporciona um menor aporte e diversidade de resíduos vegetais e, como consequência, menor incorporação de matéria orgânica no solo. Isso está em consonância com os estoques de serapilheira (Tabela 2) e com a correlação positiva significativa entre esta variável e o SOC (Figura 5). Guimarães et al. (2017) também verificaram redução dos acúmulos de serapilheira acompanhada de diminuição dos teores de SOC em diferentes sistemas de café, quando comparados à floresta nativa. A quantidade de C orgânico do solo pode ser reduzida tanto em virtude da maior exposição das frações orgânicas aos microrganismos decompositores quanto pelo menor aporte de C em áreas cultivadas, em relação à floresta natural (Medeiros et al., 2022), principalmente em decorrência da combinação

entre alta temperatura e umidade nas regiões tropicais (Castro Filho et al., 1991; Hunt et al., 2020).

As entradas de resíduos orgânicos também explicam o maior teor de SOC do AFS em relação aos outros sistemas de café (Figura 2). Neste caso, a presença do componente arbóreo aumentou o estoque de serapilheira (Tabela 2) e *turnover* de raízes e propiciou maior adição de carbono ao solo. Isso demonstra que a arborização de sistemas de café pode contribuir para mitigar as perdas de carbono do solo.

A adubação orgânica, adotada no AFS, também pode ter favorecido o seu maior teor de SOC, já que constitui uma via de adição de carbono ao solo. Gómez (2018), estudando sistemas de café com manejo orgânico, tradicional e convencional, observou maiores teores de SOC em sistema adubado com esterco animal.

A semelhança dos valores de MB-C entre AFS, CCB e floresta nativa deve ter relação com a maior diversidade de espécies e resíduos vegetais desses sistemas, quando comparados ao monocultivo. Isso influencia positivamente a qualidade e quantidade de serapilheira e, como consequência, da matéria orgânica do solo, que é fonte de energia e nutrientes para o crescimento e manutenção da população de microrganismos edáficos (Oliveira et al., 2021). Nossos resultados são corroborados pelos de Guimarães et al. (2017) e Gómez (2018), que observaram teores de MB-C maiores em sistemas de café consorciado, quando comparados ao monocultivo. Esses autores também atribuíram os resultados a uma maior incorporação de matéria orgânica e nutrientes através da serapilheira das árvores de sombra.

Por sua vez, a redução do teor de MB-C, no CCM, pode ser atribuída à homogeneidade do cultivo que propicia menor cobertura do solo (fornecida apenas pelo próprio cafeeiro) e redução das entradas e diversidade de resíduos orgânicos. Isso gera um microclima menos favorável e limita a disponibilidade de substrato para atuação dos

microrganismos do solo. Essa explicação está em consonância com a correlação positiva significativa do MB-C com o SOC e a serapilheira total (Figura 5) e também com o resultado da análise de componentes principais (Figura 5), que mostra que o C microbiano foi positivamente influenciado pela quantidade de serapilheira e pelo teor de C orgânico do solo. De acordo com Guo et al., 2022, em ambientes submetidos à atividade agrícola, especialmente monocultivo, a alteração do solo pelo uso de práticas de manejo e a redução da quantidade e diversidade de resíduos aportados determinam a diminuição dos teores de carbono e, conseqüentemente, da população microbiana. Por outro lado, a vegetação nativa propicia condições favoráveis à manutenção da microbiota do solo, em decorrência do não revolvimento e do aporte contínuo de resíduos orgânicos, provenientes de diferentes espécies e com variados graus de suscetibilidade à decomposição (Ghani et al., 2022). Além do aumento da quantidade de substrato, isso propicia menor variação térmica e maior retenção de água no solo, favorecendo o estabelecimento da biomassa microbiana (Duarte et al., 2014).

O aumento da SMA, nos sistemas de produção de café em relação à floresta nativa, em padrão oposto ao MB-C, é um indicativo de que os mesmos fatores que condicionaram uma menor imobilização de carbono pela biomassa microbiana provocaram maior respiração dos microrganismos. Níveis superiores deste atributo microbiológico podem significar, em curto prazo, maiores taxas de decomposição e liberação de nutrientes (Reis Junior e Mendes, 2007; Barreto-Garcia et al., 2020). Assim, os maiores resultados de SMA dos sistemas de café denotam que a cultura, independentemente do tipo de cultivo, acelera o processo de transformação da matéria orgânica. Vários fatores podem contribuir para o aumento da atividade microbiana, desde o aporte de resíduos e teor de matéria orgânica (Sun et al., 2015) até a quantidade de C lábil disponível (Araújo et al., 2019). Nesse sentido, a correlação negativa,

verificada entre SMA e Labile-C (Figura 5), indica que a quantidade de C lábil, embora não tenha evidenciado diferenças entre sistemas, estaria influenciando a atividade dos microrganismos do solo.

Em linha com os resultados discutidos anteriormente, os maiores valores da relação Labile-C:SOC, nos sistemas de café, denotam que esse uso da terra promove menor proporção de C estável no solo em relação à floresta nativa. Esse padrão de variação também foi observado em estudo realizado por Rangel et al. (2008) em sistemas de café com floresta nativa em Minas Gerais.

Os resultados superiores de q_{Mic} , nos sistemas de cultivo heterogêneos (CCB e AFS), em comparação ao monocultivo, demonstram que a introdução de mais de uma espécie vegetal em sistemas cultivos de café estimula positivamente a biomassa microbiana, por proporcionar condições mais favoráveis ao estabelecimento e manutenção das comunidades microbianas. Por outro lado, a homogeneidade do CCM dificulta o uso e conversão do C orgânico do solo pelos microrganismos, limitando a imobilização de C na biomassa microbiana. Valores reduzidos de q_{Mic} indicam um declínio do MB-C em relação à quantidade de carbono orgânico disponível (Colodel et al., 2018). Em síntese, nossos resultados sugerem que cultivos mistos de café são mais eficientes do que o monocultivo e promovem maior imobilização temporária de carbono, resultando em menores perdas.

A dissimilaridade de AFS e NF, em relação aos demais sistemas (Figura 5), corrobora resultados discutidos anteriormente e demonstra a influência do componente arbóreo, estabelecendo uma condição mais favorável aos atributos do solo. Assim, o posicionamento desses dois sistemas, na parte superior do gráfico (Figura 5), mostra que eles exercem um impacto positivo sobre a microbiologia e química do solo, sendo que o sistema agroflorestal responde mais ao pH e SMA, enquanto a floresta nativa está

mais associada aos atributos MB-C, litter, SOC e labile-C. Por outro lado, o posicionamento dos sistemas CCB e CCM (Figura 5), menos relacionados a essas variáveis e mais associados às características físicas do solo (moisture, PR e clay), denota que condições específicas desses ambientes estariam condicionando outros compartimentos do solo. Embora CCB seja um sistema heterogêneo, o amplo espaçamento entre as bananeiras (16 m) e o fato desta espécie contribuir menos para o aporte de resíduos, quando comparada a componentes arbóreos, pode estar reduzindo a complexidade do sistema e o tornando mais semelhante à condição do CCM.

3.5 CONCLUSÕES

O maior acúmulo de resíduos vegetais e, por consequência, maior cobertura do solo no sistema agroflorestal influencia positivamente o carbono orgânico do solo (SOC) e a eficiência de conversão de SOC em carbono microbiano, o que o aproxima mais das condições encontradas na floresta nativa. Isso significa que a presença do componente arbóreo em consórcio com o café pode ser favorável à manutenção dos microrganismos e sua atividade no solo e, portanto, deve ser incentivada para mitigação dos impactos negativos da cultura do café nos atributos do solo.

O cultivo de café consorciado com banana (em espaçamento amplo) tem impacto semelhante ao monocultivo, influenciando negativamente a atividade e transformação de C da biomassa microbiana do solo, quando comparado à floresta nativa.

3.6 REFERÊNCIAS

Aragão O.O.S, Oliveira-Longatti S.M., Caputo P.S.C., Rufini M., Carvalho G.R., Carvalho T.S., Moreira F.M.S. (2020). Microbiological indicators of soil quality are

related to greater coffee yield in the Brazilian Cerrado region. *Ecol Indic* 113:106205. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106205>.

Araujo T.S., Gallo A.S., Araujo F.S., Santos L.C., Guimarães N.F., Silva R.F. (2019). Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. *Rev Ciên Agr* 42:347-357. <https://doi.org/10.19084/rca.15433>

Anderson T., Domsch K.H. (1990). Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories *Soil Biol Biochem.* 22:251-255. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90094-G](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90094-G)

Bahadori M, Chen C, Lewis S, Boyd S, Rashti M.R., Esfandbod M, Garzon-Garcia A, Zwieten L.V., Kuzyakov Y. (2021). Soil organic matter formation is controlled by the chemistry and bioavailability of organic carbon inputs across different land uses. *Sci Total Environ* 770: 145307. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145307>.

Baldrian, P. (2017). Microbial activity and the dynamics of ecosystem processes in forest soils. *Curr Opin microbiol* 37:128-134.

Barreto-Garcia, P.A.B., Batista, S.G.M., Gama-Rodrigues, E.F., Paula, A., Batista, W.C.A. (2021). Short-term effects of forest management on soil microbial biomass and activity in Caatinga dry forest, Brazil. *Forest Ecol. Manag.* 481, 118790. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118790>.

Barreto P.A.B., Gama-Rodrigues E.F., Gama-Rodrigues A.C., Barros N.F., Fonseca S. (2008). Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. *Rev Bras Ciên Solo* 32:611–619. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200016>.

Barros W.T., Barreto-Garcia, P.A., Saggin Junior, O.J., Scoriza, R.N., SILVA, M.S. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi community in coffee agroforestry, consortium and monoculture systems. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94.

Blair G.J., Lefroy R.D.B., Lisle L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust j agric res* 46:1459-1466.

Castro Filho C., Henklain J.C., Vieira M.J., Casão Jr. R (1991). Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. *Soil Till Amst* 20:271-283. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90043-W](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90043-W).

Colodel J.R., Pierangeli M.A.P., Souza M.F.P., Carvalho M.A.C., Dalchiavon F.C. (2018). Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho-Amarelo Amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev Ciên Agr* 41:287-297. <https://doi.org/10.19084/RCA17253>

Correia, R. M., Andrade, R., Tosato, F., Nascimento, M. T., Pereira, L. L., Araújo, J. B., ... Romão, W. 2020. Analysis of Robusta coffee cultivated in agroforestry systems

(AFS) by ESI-FT-ICR MS and portable NIR associated with sensory analysis. *J Food Compos Anal* 94:103637. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103637>

Cunha J.R.D., Freitas R.C.A., Souza J.A.T., Gualberto A.V.S., Souza H.A., Leite L.F.C. (2021). Soil biological attributes in monoculture and integrated systems in the Cerrado region of Piauí State, Brazil. *Acta Scientiarum Agronomy*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103637>.

Doran, J.W, Parkin T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN JW, COEMAN DC, BEZDICEK DF & STEWART BA. (1994). Ed. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, Soil Sci Soc Amer 35:3-21.

Duarte, I.B.; Gallo, A.S.; Gomes, M.S.; Guimarães, N.F.; Rocha, D.P.; Silva, R.F. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. (2014). *Acta Iguazu, Cascavel*, v.3, n.2, p. 150-165. doi: 10.4025/actasciagron.v43i1.51814

FAO, FUNDAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. (2021). Disponível em: <http://www.fao.org/> Acesso em: 20 de novembro de 2022.

Francaviglia R., Renzi G., Ledda, L., Benedetti A. (2017). Organic carbon pools and soil biological fertility are affected by land use intensity in Mediterranean ecosystems Sardinia, Italy. *Sci. Total Environ.* 599–600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.021>.

Gama-Rodrigues A.C. (2011). Soil organic matter, nutrient cycling and biological dinitrogen-fixation in agroforestry systems. *Agrofor Syst* 81, 191–193. DOI 10.1007/s10457-011-9372-9.

Ghani M.I., Wang J., Li, P., Pathan S.I., Sial T.A., Datta R., ... Abdelrahman, H. (2022). Variations of soil organic carbon fractions in response to conservative vegetation successions on the Loess Plateau of China. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.05.002>

Gómez J.E.P. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoam* 36:13-22. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>

Guimarães N.D.F., Gallo A.D.S., Fontanetti A., Meneghin S.P., Souza M.D., Morinigo K.P., Silva R.F. (2017). Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. *Rev Ciên Agr* 40:34-44. <https://doi.org/10.19084/RCA16041>

Guo J., Feng H., Roberge G., Feng L., Pan C., McNie P., Yu Y. (2022). The negative effect of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) monoculture plantations on soil physicochemical properties, microbial biomass, fungal communities, and enzymatic activities. *Forest Ecology and Management*, 519, 120297. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120297>.

Hunt, J. R., Celestina, C., & Kirkegaard, J. A. (2020). The realities of climate change, conservation agriculture and soil carbon sequestration. *Global Change Biology*, 26(6):3188-3189. <https://doi.org/10.1111/gcb.15082>.

Jenkinson D.S. (1966). Studies on the decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilization of soil and the soil biomass. *Journal of Soil Science*, 17:280-302. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1966.tb01474.x>.

Jenkinson D.S., Powlson D.S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. *Soil Biol Biochem* 8:209–213. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5).

Li X., Wang T., Chang S.X., Jiang X., Song Y. (2020). Biochar increases soil microbial biomass but has variable effects on microbial diversity: A meta-analysis. *Sci Total Environ* 749:141593. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141593>.

Marshall V.G. (2000). Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils. *For Ecol Manag* 133: 43-60. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00297-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00297-2)

Matos P.S., Fonte S.J., Lima S.S., Pereira M.G., Kelly C., Damian J.M., Fontes M.A., Chaer G.M., Brasil F.C., Zonta E. (2020). Linkages among soil properties and litter quality in agroforestry systems of Southeastern Brazil. *Sustainability* 12, 9752. <https://doi.org/10.3390/su12229752>.

Medeiros A.D.S., Soares A.A.S., Maia S., Ferreira, M. (2022). Soil carbon stocks and compartments of organic matter under conventional systems in brazilian semi-arid region. *Revista Caatinga*, 35, 697-710. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n321rc>.

Nascimento, M.S., Barreto-Garcia, P.A.B., Monroe, P.H.M., Scoriza, R.N., Gomes, V.S. (2021). Interaction between edaphic mesofauna and organic carbon within water-stable aggregates in forestry systems: a case study in northeastern Brazil. *Catena* 202, 105269. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105269>.

Nunes L.A.P.L., Dias L.E., Jucksch I., Barros N.F., Kasuya M.C.M., Correia M.E.F. (2009). Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da mata mineira. *Ciê n Rural* 39:2467-2474. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000216>.

Oliveira M.F., Barreto-Garcia P.A.B., Conceição Júnior V., Monroe P.H.M., Souza Gomes V., Sousa, J.P. (2022). Changes in microbial biomass and activity of tropical soil submitted to successive Eucalyptus rotations in the semi-arid region of Brazil. *Geoderma Regional*, 29, e00492. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00492>.

Pardo-Plaza Y.J., Paolini Gómez J.E., Cantero-Guevara, M.E. (2019). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1144>.

Paz-Ferreiro J., Fu S. (2016). Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degrad Dev* 27:14-25. <https://doi.org/10.1002/ldr.2262>

PREFEITURA MUNICIPAL DE PLANALTO. 2019. Disponível em: <<http://planalto.ba.gov.br/>> Acesso em: 24 de janeiro de 2019.

Pulleman M., Creamer R., Hamer U., Helder J., Pelosi C., Péres G., Rutgers M. (2012). Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services - an overview of European approaches. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 529-538. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.009>.

Rangel O.J.P., Silva C.A., Guimarães P.T.G., Guilherme L.R.G. (2008). Oxidizable organic carbon fractions in a latosol cultivated with coffee at different planting spacings. *Ciênc agrotec* 32:429-437. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000200013>.

Reis Júnior F.B., Mendes I.C. (2007). Biomassa microbiana do solo. Planaltina: Embrapa Cerrados. 40p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 205).

Santos M.O.D., Barreto-Garcia P.A.B., Gama-Rodrigues E.F. (2019). Soil microbial biomass as an edge effect indicator in semi-deciduous seasonal forest fragments. *Floresta ambient* 26 (4). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.103717>

Shang C., Tiessen H. (1997). Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. *Soil Sci* 162:795-807.

Silva C.S.D., Pereira M.G., Delgado R.C., Assunção S.A. (2017). Spatialization of fractions of organic matter in soil in an agroforestry system in the Atlantic Forest, Brazil. *Cerne* 23:249-256. <https://doi.org/10.1590/01047760201723022318>

Souza M., Vargas M.M.M., Ventura B.S., Müller Júnior, V., Soares, C.R.F.S., Kurtz C., ... Lovato P.E. (2020). Microbial activity in soil with onion grown in a no-tillage system with single or intercropped cover crops. *Ciência Rural*, 50. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190849>

Stolf R., Murakami J.H., Brugnaro C., Silva L.G., Silva L.C.F.D., Margarido L.A.C. 2014. Penetrômetro de impacto stolf-programa computacional de dados em EXCEL-VBA. *Rev Bras Ciên Solo* 38:774-782. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009>

Sun Q., Meyer W.S., Koerber G.R., Marschner P. (2015). Response of respiration and nutrient availability to drying and rewetting in soil from a semi-arid woodland depends on vegetation patch and a recent wildfire. *Biogeosciences* 12:5093–5101. doi:10.5194/bg-12-5093-2015

Teklay T., Nordgren A., Malmer A. (2006). Soil respiration characteristics of tropical soils from agricultural and forestry land-uses at Wondo Genet (Ethiopia) in response to

C, N and P amendments. *Soil Biol Biochem* 38:25-133.

<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.04.024>

Tate K.R., Ross D.J., Feltham C.W. (1988). A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biol Biochem* 20:329–335. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90013-2)

Ter Braak C.J.F. (1986). Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67, 1167–1179. <https://doi.org/10.2307/1938672>.

Verchot L, Mackensen J, Kandji S, Van Noordwijk M, Tomich T, Ong C, Albrecht A, Bantilan C, Anupama K, Palm C. (2005). Opportunities for linking adaptation and mitigation in agroforestry systems. In: ROBLED0 C, KANNINEN M, PEDRONI L (eds) *Tropical forests and adaptation to climate change-in search of synergies*. Center for International Forestry Research, Bogor, p 186.

Yeomans J.C., Bremner J.M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun Soil Sci Plan* 19:1467-1476. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.

4. ARTIGO II:

O sistema de produção de café impacta os serviços ecossistêmicos associados à fauna do solo?

* **Situação:** submetido

**O sistema de produção de café impacta os serviços ecossistêmicos associados à
fauna do solo?**

**Flávia Ferreira de Carvalho^a; Raquel Pérez-Maluf^b; Patrícia Anjos Bittencourt
Barreto-Garcia^c**

^a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Programa de Pós-graduação em Agronomia, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, 45083-900

^b Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Departamento de Ciências Naturais, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

^c Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Departamento de Agricultural Engineering and Soil, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, 45031-900.

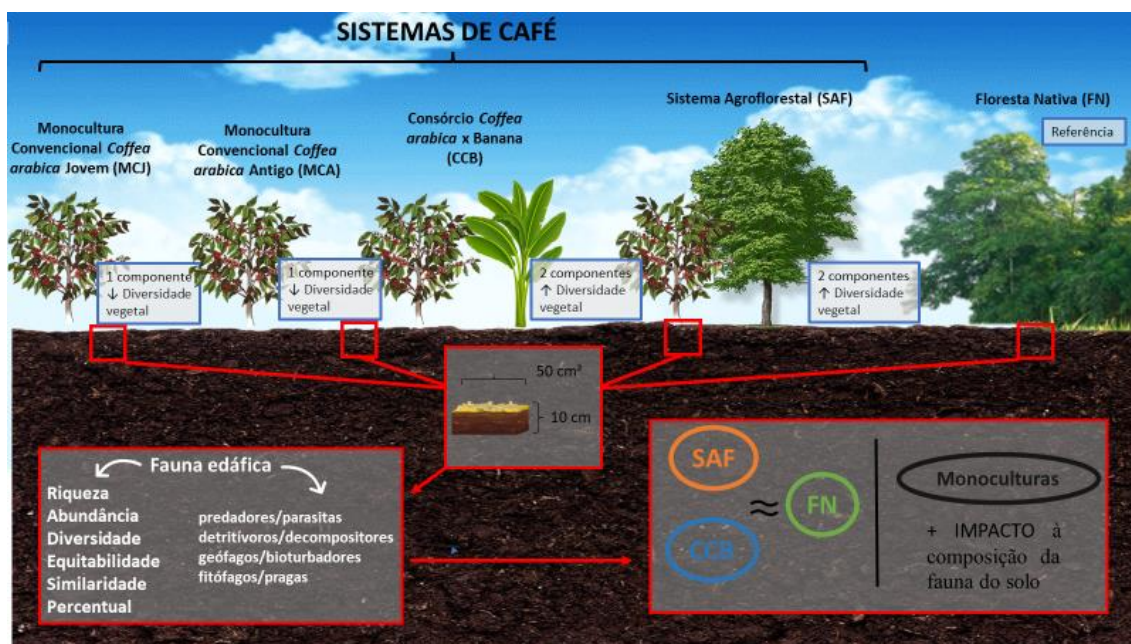
O sistema de produção de café impacta os serviços ecossistêmicos associados à fauna do solo?

RESUMO

O Brasil é um grande produtor e exportador de café, sendo este amplamente cultivado a pleno sol. O cultivo de café em associação com outras espécies tem sido estudado como alternativa. A fauna edáfica tem importante papel na dinâmica do solo e pode ser usada como indicador de qualidade. Portanto, o trabalho objetivou a análise da comunidade edáfica em cultivos de *Coffea arabica* heterogêneos e homogêneos, utilizando um fragmento de floresta nativa como referência. As coletas foram realizadas em Lucaia - BA e os tratamentos estudados foram: monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem; monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo; consórcio de *Coffea arabica* x *Musa* sp. (banana); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta*; e floresta nativa. A fauna do solo foi classificada quanto ao grupo taxonômico e grupo funcional. As famílias Formicidae (Hymenoptera) e Termitidae (Blattaria: Isoptera) foram as mais frequentes. A maior diversidade e equitabilidade foram encontradas na agrofloresta, enquanto a maior abundância de espécies está no consórcio café x banana. Os cultivos heterogêneos promoveram um ambiente benéfico para a abundância e diversificação de espécies. O sistema agroflorestal e o consórcio café x banana se aproximaram mais da floresta nativa, evidenciando o impacto negativo da monocultura quanto à composição da fauna edáfica.

Palavras-chave: bioindicadores, SAF, monocultura, consócio.

ABSTRACT GRÁFICO



4.1 INTRODUÇÃO

O Café (*Coffea arabica* L.) é amplamente cultivado no Brasil, que ocupa o primeiro lugar como maior produtor e exportador de café do mundo (CONAB, 2022). A maior parte do café brasileiro é produzida em monocultura a pleno sol. No entanto, a adoção de monoculturas tem levado ao esgotamento dos solos agrícolas em muitas regiões, resultando em perda de fertilidade, matéria orgânica, estrutura e qualidade física do solo (SOUZA et al., 2017). Por este motivo, há uma busca por alternativas de produção que aliem bom rendimento em produção e menor impacto ao ambiente edáfico.

O café arábica tem sido estudado em sistemas agroflorestais (SAFs), apresentando benefícios para as condições edáficas e microclimáticas (GOMES et al., 2016). Os SAFs permitem um aumento da entrada de matéria orgânica no solo e, como consequência, favorece a melhoria das suas características químicas, físicas e biológicas (BARROS et al., 2022). Além disso, esses sistemas aumentam a eficiência no uso dos

recursos do sistema, fornecendo bens (alimentos, produtos madeireiros e forragem) e serviços (conservação do solo, melhoria da qualidade da água e do ar, biodiversidade e beleza cênica) (CHEN et al., 2020; SILVA et al., 2020).

No Brasil, diversas plantas são cultivadas em sistemas agroflorestais associados com café, dentre elas o ingazeiro (*Inga vera* L. Britton), a grevilea (*Grevillea robusta* A. Cunn.) e a seringueira (*Hevea brasiliensis* L.), bem como cultivos em consórcio com frutíferas, como a macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), o coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.) e a bananeira (*Musa* spp.) (ARAÚJO et al., 2015).

A diversidade biológica é caracterizada como a variabilidade entre os organismos vivos e frequentemente é atribuída à diversidade de espécies que ocupam os diversos nichos ecológicos. Com base em seu tamanho, a fauna do solo pode ser dividida em microfauna (<0,2 mm), mesofauna (0,2 - 2,0 mm) e macrofauna (>2,0 mm) (HOFFMANN et al., 2018). Outro tipo de classificação para fauna edáfica se fundamenta no papel desempenhado pelos organismos no ecossistema. Silva et al. (2012) destacam a importância de grupos de organismos edáficos, como os decompositores, que consomem quantidades significativas dos resíduos de plantas e animais, desempenhando um papel importante na reciclagem de nutrientes; e os predadores e fitófagos, que possuem papel fundamental nas cadeias tróficas terrestres, alimentando-se de uma grande quantidade de outros organismos e de plantas.

A composição da cobertura vegetal afeta a fauna de invertebrados do solo, por meio de seus efeitos na disponibilidade de recursos alimentares (SILVA et al., 2022; MARICHAL et al., 2014), melhorando os atributos físicos e químicos do solo (KORBOULEWSKY et al., 2016) e favorecendo o desenvolvimento de microclimas adequados para a fauna de invertebrados do solo (SILVA et al., 2018). A fauna do solo é responsável por regular as taxas de movimentação de nutrientes, água e gases, e

promove o desenvolvimento de macroporos que aumentam a absorção e reduzem o escoamento, erosão e alagamento. Os organismos também alteram o equilíbrio competitivo entre as plantas com diferentes profundidades de enraizamento, alterando a distribuição da água no perfil do solo (SANGINGA et al., 1992).

Embora a influência positiva dos SAFs e consórcios de cafeeiros seja relativamente bem conhecida (LEIJSTER et al., 2022; SEBULIBA et al., 2022; BARROS et al., 2022), são escassos os trabalhos que abordam os efeitos sobre a comunidade edáfica do solo em diferentes sistemas de cultivo de café (SILVA et al., 2022; SUAREZ et al., 2019) e raros os estudos com esta temática, especialmente em regiões de clima tropical e com elevada altitude. Diante do exposto, o presente estudo tem por hipótese que os sistemas de cultivo que promovam a diversidade de culturas influenciam positivamente a abundância de grupos faunísticos que desempenham importantes funções no ambiente edáfico. Com a finalidade de testar a hipótese sugerida, o trabalho objetivou a análise da comunidade edáfica em cultivos de *Coffea arabica* heterogêneos e homogêneos, utilizando um fragmento de florestal nativa como referência.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no distrito de Lucaia, localizado no município de Planalto, estado da Bahia, Brasil. A região possui clima tropical de altitude (Cwb), de acordo com a classificação de Koppen, com altitude média de 943 metros, pluviosidade média anual de 750 mm (estação seca de maio a setembro) e temperatura média anual de 19,2 °C. O município possui destaque como produtor de café, sendo a indústria

cafeeira a principal responsável por gerar empregos e movimentar a economia municipal (PREFEITURA MUNICIPAL DE PLANALTO, 2019).

Foram avaliados quatro sistemas produtivos de café e uma área de vegetação natural: (1) monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); (2) monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); (3) consórcio de *Coffea arabica* x *Musa* sp. (banana) com manejo de adubação convencional (CCB); (4) sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* manejado com adubação orgânica (SAF); e (5) floresta nativa (FN), que foi utilizada como sistema de referência e está localizada em área adjacente aos cultivos de café (Figura I).

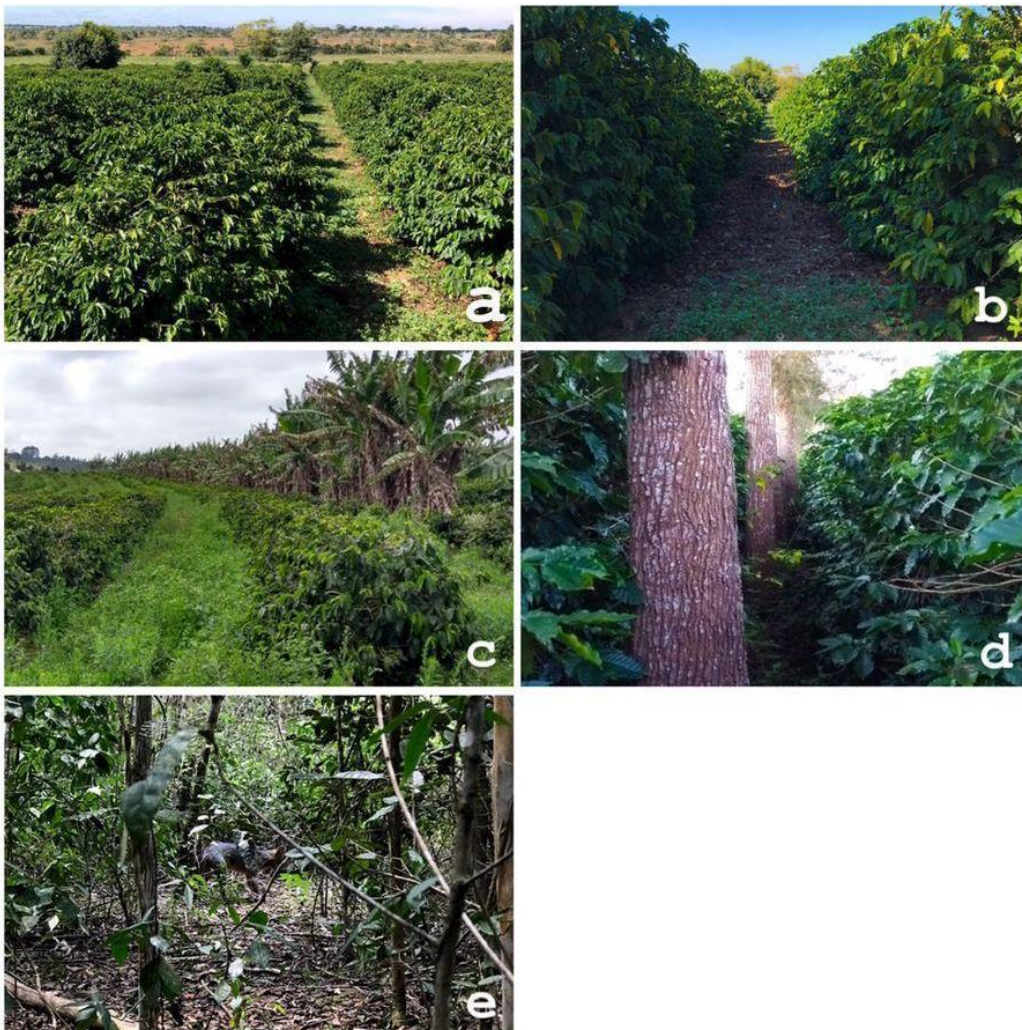


Figura I: (a) monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); (b) monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); (c) consórcio de *Coffea*

arabica x banana (CCB); (d) sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e (e) floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.

O MCJ foi implantado no ano de 2019, em espaçamento de 1,0 x 3,5m, e possui uma área equivalente a 7,2 ha. O CCB teve início no ano de 2000, foi estabelecido em uma área de 5,3 ha, em espaçamento de 1,5 x 4,0 m (entre plantas de café) e 1,0 x 16 (entre plantas de banana). O SAF foi introduzido no ano de 2000, em espaçamento de 1,5 x 2,5 m (entre cafeeiros) e 3,5 x 15,0 m (entre árvores), e possui uma área de 1,0 ha. Nos sistemas MCJ e CCB, o preparo foi baseado em aração, gradagem e sulcagem, com adubação de plantio (superfostato simples: 150 g e 120 g por planta, respectivamente) e de manutenção (ureia: 100 g e NPK 20-00-20: 260 g e 200 g por planta). No SAF, o solo foi preparado com roçagem e sulcagem, com adubação de plantio (superfosfato simples: 20 Mg ha⁻¹) e depois apenas adubação orgânica (esterco bovino: 12 kg por planta).

O fragmento de floresta nativa, utilizado como referência, possui área de aproximadamente 30ha e tem vegetação classificada como Floresta Estacional Semidecidual.

4.2.2 Coleta, triagem e identificação da macro e mesofauna

As coletas foram realizadas em agosto de 2019, março de 2020 e setembro de 2021. A área de cada tratamento foi dividida em parcelas de 20 x 20m, sendo coletada uma amostra por parcela, totalizando quatro amostras em cada sistema. A amostra consistiu no material contido em uma área de 0,50 x 0,50 m, coletado com auxílio de um gabarito de madeira, lançado ao acaso entre as linhas do café.

Após a coleta de solo, o material foi transferido para uma bandeja para realização da triagem manual em laboratório, com auxílio de pinças entomológicas, e

posterior armazenamento dos indivíduos coletados em recipientes contendo álcool (70%), para preservação até o momento de identificação. A identificação foi realizada em nível de grupos taxonômicos, como ordem, classe, família e gênero, com chaves de identificação publicadas em livros e revistas especializadas.

4.2.3 Análise faunística

Os indivíduos coletados foram categorizados de acordo com o grupo taxonômico e quanto ao grupo funcional pertencente, estimada pela composição dos diferentes nichos tróficos. A distribuição foi realizada dentro dos principais grupos funcionais da fauna do solo: predadores/parasitas, detritívoros/decompositores, geófagos/bioturbadores e fitófagos/pragas.

Foram contabilizadas a abundância da fauna (N), para cada categoria taxonômica em cada sistema de cultivo de café e na floresta nativa; e a riqueza de táxons (S), definida como o número de diferentes unidades taxonômicas coletadas em cada área avaliada. Para caracterizar as comunidades, foram estimados os índices Shannon e Pielou, de acordo com Krebs (2014).

O índice de diversidade de Shannon (H') busca quantificar a heterogeneidade de táxons em uma determinada área, ponderando os táxons de ocorrência rara, assim, quanto maior o índice, mais heterogênea é a comunidade e, conseqüentemente, maior é a diversidade. H' foi calculado a partir da equação:

$$H' = -\sum_{i=1}^s (p_i) (\ln p_i)$$

Em que:

H' = Índice de Diversidade de Espécies de Shannon

s = número de táxons

p_i = frequência relativa de indivíduos de cada grupo taxonômico

O índice de equabilidade de Pielou (J) foi calculado a partir da seguinte equação:

$$J = H'/\ln(S)$$

Em que:

H' = Índice de Diversidade de Táxons de Shannon

s = número de táxons

As comunidades da meso e macrofauna, encontradas nos sistemas de cultivo de café e floresta nativa, foram comparadas pelo dendograma de similaridade de Morisita (MAGURRAN, 2013). Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico Past 4.0.

4.3 RESULTADOS

Foram coletados 3.289 indivíduos no total, classificados em 83 táxons, dentro dos filos Annelida, Arthropoda e Mollusca (Tabela I) (Apêndice A). Sendo as famílias Formicidae (Hymenoptera) e Termitidae (Blattaria: Isoptera) as mais frequentes, com 1.315 e 1.297 indivíduos, respectivamente. Foram contabilizados separadamente indivíduos em estágios imaturos em Coleoptera, Diptera e Lepidoptera (larvas).

Tabela I: Número de indivíduos representantes da micro, meso e macrofauna, obtidos a partir de monólitos de solo, sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA, classificados em grupos taxonômicos

	MCJ	MCA	CCB	SAF	FN	Total
Filo Annelida						
Oligochaeta	61,0	10,0	83,0	52,0	19,0	225,0
Filo Arthropoda						
Subfilo Chelicerata						
Acari	28,0	1,0	4,0	24,0	20,0	77,0
Araneae	8,0	7,0	17,0	10,0	7,0	49,0
Pseudoscorpionida	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0
Subfilo Crustacea						
Isopoda	1,0	1,0	1,0	38,0	3,0	44,0
Subfilo Hexapoda						
Classe Collembola						
Entomobryomorpha						
Entomobryidae	19,0	1,0	5,0	0,0	3,0	28,0
Cyphoderidae	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Isotomidae	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0
Symphyleona	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	3,0
Diplura						
Japygidae	1,0	0,0	0,0	0,0	3,0	4,0
Classe Insecta						
Blattaria						
Blaberidae	0,0	2,0	0,0	3,0	1,0	6,0
Isoptera						
Termitidae	2,0	5,0	594,0	44,0	652,0	1297,0
Coleoptera - adulto						
Bostrichidae	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Carabidae	0,0	4,0	4,0	1,0	0,0	9,0
Chrysomelidae	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	2,0
Coccinellidae	1,0	0,0	2,0	0,0	1,0	4,0
Curculionidae	0,0	1,0	2,0	0,0	3,0	6,0
Nitidulidae	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0
Scarabaeidae	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	3,0
Staphylinidae	6,0	0,0	10,0	3,0	2,0	21,0
Tenebrionidae	5,0	1,0	12,0	2,0	0,0	20,0
N.I.	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	3,0
Coleoptera - larva						
Anthribidae (?)	0,0	2,0	13,0	0,0	0,0	15,0
Carabidae	1,0	1,0	2,0	0,0	4,0	8,0
Curculionidae	0,0	2,0	14,0	0,0	1,0	17,0
Elateridae	0,0	3,0	1,0	3,0	1,0	8,0
Lampyridae	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	3,0
Scarabaeidae	0,0	0,0	3,0	0,0	1,0	4,0
Tenebrionidae	9,0	1,0	0,0	0,0	4,0	14,0
N.I.	1,0	1,0	0,0	0,0	5,0	7,0

Diptera	0,0	0,0	2,0	10,0	16,0	28,0
Cecidomyiidae	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Diptera-larva						
Cecidomyiidae	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	3,0
Drosophilidae	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
Muscidae	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	4,0
Stratiomyidae	0,0	0,0	1,0	6,0	12,0	19,0
Hemiptera						
Aphididae	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0
Cydniidae	2,0	16,0	5,0	1,0	0,0	24,0
Cicadellidae	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	3,0
Miridae	5,0	2,0	5,0	4,0	1,0	17,0
Pyrrhocoridae	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
Tingidae	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0
Hymenoptera						
Diapriidae	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Encyrtidae	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Figitidae	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Formicidae	206,0	252,0	639,0	173,0	45,0	1315,0
Lepidoptera larva						
Cosmopterigidae	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Noctuidae	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Psychidae	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
Orthoptera						
Acrididae	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Grillidae	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0
Psocoptera	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	2,0
Thysanoptera	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	3,0
Phlaeotripidae	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	3,0
Phthiraptera	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
Neuroptera						
Chrysopidae	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Subfilo Myriapoda						
Classe Chilopoda						
Geophilomorpha						
Schendylidae	0,0	0,0	0,0	1,0	10,0	11,0
Lithobiomorpha						
Henicopidae	4,0	0,0	0,0	1,0	0,0	5,0
Lithobiidae	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Scolopendromorpha	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
Classe Diplopoda						
Polyxenida	2,0	14,0	0,0	4,0	0,0	20,0
Spirobolida						
Rhinocricidae	0,0	0,0	1,0	1,0	5,0	7,0
N.I.	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Classe Paupoda	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0

Classe Symphyla	2,0	0,0	0,0	2,0	1,0	5,0
Scutigereidae	0,0	0,0	0,0	2,0	1,0	3,0
N.I.	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
Filo Mollusca						
Classe Gastropoda	1,0	3,0	5,0	32,0	5,0	46,0

Comparando os ambientes estudados, a maior diversidade e equitabilidade foram encontradas no SAF, enquanto a maior abundância de espécies está no CBB, que também possui a maior riqueza, juntamente com a FN (Tabela II). O SAF foi o sistema que se diferenciou dos demais, com relação à diversidade de Shannon, sendo 41,5% mais diverso que o MCA, menor índice.

Tabela II: Índices de Riqueza, Abundância, Diversidade e Equitabilidade de indivíduos representantes da micro, meso e macrofauna, obtidos a partir de monólitos de solo, sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA

Índices	MCJ	MCA	CCB	SAF	FN
Riqueza (S)	25	26	37	28	37
Abundância (N)	372	335	1442	417	723
Equitabilidade Pielou (J')	0,524	0,376	0,384	0,629	0,444
Diversidade Shannon (H')	1,686 b	1,226 c	1,388 c	2,096 a	1,602 b

*Números seguidos pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t de Tukey (p<0,05).

A Figura II ilustra a presença dos grupos funcionais em cada sistema de cultivo. Nos quatro sistemas, houve uma representatividade semelhante para todos os grupos

funcionais. A categoria que enquadra os indivíduos com função de geófago ou bioturbador foi representada apenas pela ordem Oligochaeta, que foi encontrada em todos os sistemas. O grupo com mais representantes foi o de fitófagos/pragas em todos os sistemas, sendo o CBB o sistema com mais táxons (25).

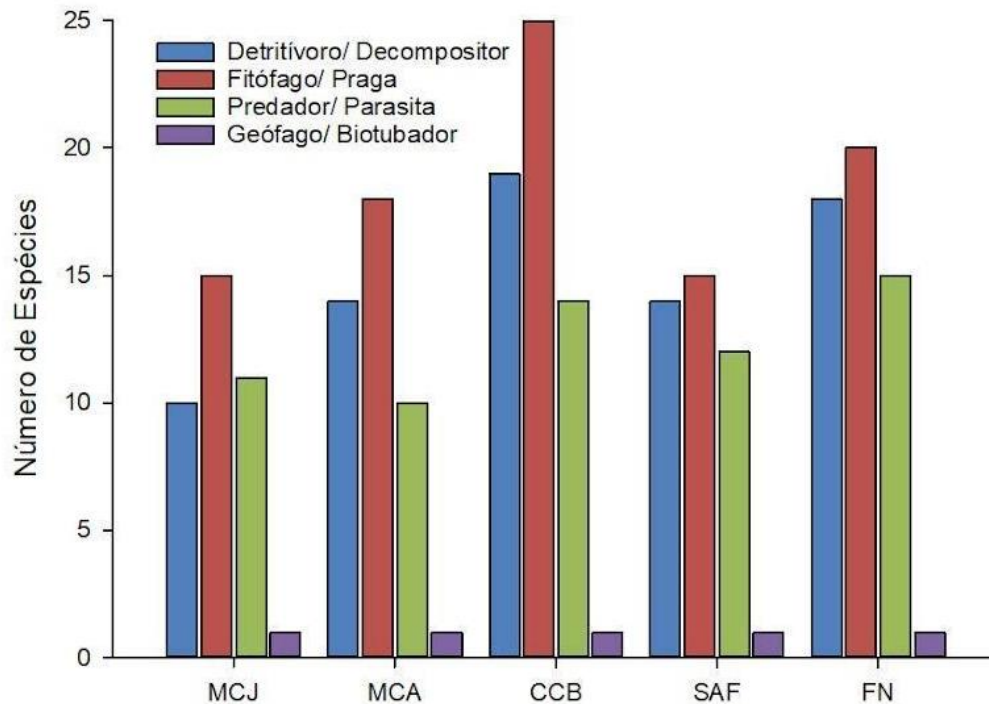


Figura II: Grupo funcional de indivíduos representantes da micro, meso e macrofauna, obtidos a partir de monólitos de solo, sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.

O dendrograma de similaridade, estimada pelo índice de Morisita, evidencia o distanciamento da composição da comunidade da micro, meso e macrofauna do solo da FN (0,3) em relação aos sistemas de plantio de café (Figura III). Os sistemas de café apresentam similaridade, sendo mais similares os monocultivos (acima de 0,9), seguidos

do SAF (aproximadamente 0,8) e, por último, o CCB (0,75). Enquanto a FN se mostrou distinta, com apenas 0,3 de similaridade com os cultivos.

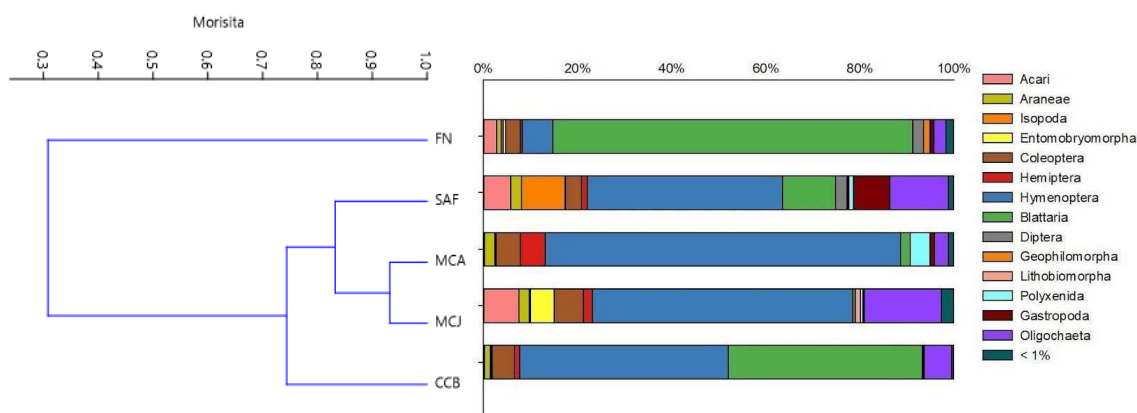


Figura III: Dendrograma de similaridade estimado pelo índice de Morisita e distribuição percentual de espécies de fauna edáfica, a partir de monólitos de solo, sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA

O percentual de cada táxon representado na figura III evidencia a dominância de Blattaria (Isoptera) na floresta (76,5%) e de Hymenoptera no SAF (41,5%) e nos monocultivos, sendo mais acentuada no MCA (75,52), em comparação com o MCJ (55,4). No CBB, ambos os grupos, Isoptera e Hymenoptera, são predominantes em relação aos demais (44,3% e 41,9%, respectivamente).

4.4 DISCUSSÃO

A composição da fauna do solo dos cultivos heterogêneos (CCB e SAF) mostrou-se mais próxima da fauna da floresta nativa, segundo o índice de similaridade de Morisita (Figura III). Méndez-Rojas et al. (2022), estudando o impacto da

intensidade dos cultivos de café nas populações de coleópteros, também observaram maior proximidade dos sistemas heterogêneos de cultivo às florestas nativas e concluíram que estes eram quase tão diversos quanto as florestas e mais diversos do que outros sistemas de produção de café. Os cultivos heterogêneos são caracterizados por promover maior biomassa e serapilheira ao solo, em relação à monocultura, e se configuraram como uma prática benéfica para o solo (ALVES FILHO et al., 2021). A manutenção da serapilheira, a produção de biomassa da parte aérea e do sistema radicular, a transformação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes no solo são considerados pilares para manter o ecossistema edáfico equilibrado e favorecer o ciclo de retroalimentação planta-solo positivo (DESIE et al., 2020), influenciando positivamente a abundância de grupos que desempenham importantes funções no ambiente edáfico (SILVA et al., 2022).

Quando comparamos os sistemas de cultivo, foi possível notar índices de equitabilidade de Pielou (J') mais baixos em CCB (Tabela III), apesar de ser o sistema com maior número de indivíduos e maior riqueza, o que pode estar relacionado à alta predominância de insetos sociais dos táxons Isoptera e Hymenoptera (86,2%) em detrimento de outros grupos. Isso indica que um maior número de indivíduos não implica necessariamente em maior equilíbrio de espécies. Segundo Walker (1989), quanto maior a densidade da fauna em uma dada cobertura vegetal, maior a chance de algum grupo ser predominante, diminuindo, assim, a equitabilidade.

Em contrapartida no SAF, mesmo havendo predominância do grupo Hymenoptera, a contribuição em número de indivíduos de outras espécies foi mais equilibrada (Figura III), o que mostra que esse ambiente favoreceu uma melhor distribuição dos indivíduos da macrofauna dentro dos grupos, bem como maior equilíbrio dos grupos funcionais (Figura II).

Nenhum sistema de cultivo eliminou um grupo funcional e não houve diferença para o grupo funcional mais representado entre os sistemas. No entanto, há um maior equilíbrio entre os grupos no SAF e maior distância no CCB, no qual o grupo de fitófagos/pragas apresentou mais táxons com esta função ecológica. O equilíbrio de grupos funcionais no SAF corrobora com a afirmativa de Chowdhury et al. (2022), de que locais com componentes arbóreos favorecem artrópodes de solo funcionalmente diversos.

A abundância de insetos sociais (79,4% do total de indivíduos coletados) (Tabela I), representados neste estudo, Isoptera e Formicidae, é justificada por sua alta capacidade de colonização, comportamento social agregado e hábitos alimentares diversificados (Siqueira et al., 2022). Os insetos sociais são considerados ecologicamente dominantes porque podem explorar uma ampla gama de recursos, vivem em ambientes extremos e, muitas vezes, superam outras espécies de artrópodes. Em muitos ecossistemas, eles compreendem a esmagadora maioria da biomassa de insetos (FISHER et al., 2019).

Asfaw e Zewudie (2021), em estudo comparando a abundância e biomassa da macrofauna em quintais e sistemas agroflorestais cafeeiros, também encontraram uma abundância relativa de 75% de insetos sociais no SAF baseado em café. A Ordem Hymenoptera atua nos processos relacionados à estruturação e agregação do solo, criando ambiente edáfico favorável para o desenvolvimento de raízes do solo, favorecendo o processo de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (FORSTALL-SOSA et al., 2020).

Após os insetos sociais, as minhocas foram o grupo mais abundante (6,84%) (Tabela I). Segundo Desie et al. (2020), a atividade das minhocas modifica as propriedades do solo, sendo a bioturbação por escavação uma função essencial do

ecossistema, de modo a neutralizar o acúmulo de matéria orgânica e a produção de ácido orgânico na superfície do solo.

Larvas e adultos de coleópteros são comuns no solo; dos 146 indivíduos dessa ordem, a família mais abundante foi Tenebrionidae, com 23,3%, entre imaturos e adultos (Tabela I). De acordo com Forstall-Sosa et al. (2020), os coleópteros participam do processo de transformação de serapilheira (fragmentação física), da exumação de sementes e da manutenção do banco de sementes, o que intensifica o processo de incorporação de nutrientes depositados na superfície do solo, na forma de serapilheira, nas camadas mais superficiais do perfil solo.

Apesar da baixa reprodutibilidade e da dificuldade em encontrar padrões, o monólito é um dos métodos mais utilizados para estudar a fauna do solo, pois contempla todos os tipos, não apenas a fauna epígea, mas móvel (LAMMEL et al., 2015)

4.5 CONCLUSÃO

Os cultivos heterogêneos, devido à sua maior diversidade de culturas em relação aos monocultivos, influenciam positivamente a comunidade faunística, promovendo um ambiente benéfico para a abundância e diversificação de espécies. O SAF e o CBB se aproximaram mais da floresta nativa, evidenciando o impacto negativo da monocultura quanto à composição da fauna do solo.

O SAF proporcionou uma melhor distribuição dos indivíduos da macrofauna dentro dos grupos, bem como maior equilíbrio dos grupos funcionais, enquanto o CBB apresentou maior número de insetos sociais.

4.6 REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, P.P.C, KATO OR, GALVÃO JR, LEITE RC, OLIVEIRA LA, SOUZA JC. 2021. Quantification of biomass and litter in agroforestry system with sour orange cultivation in the Brazilian Amazon. *Research Society and Development* 10(5):e41110515165, 2021.

ARAÚJO AV, PARTELLI FL, OLIOSI G, PEZZOPANE JRM. 2015. Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. *Rev Ciência Agronômica* 47(4):700-709.

ASFAW A & ZEWUDIE S. (2021). Soil macrofauna abundance, biomass and selected soil properties in the home garden and coffee-based agroforestry systems at Wondo Genet, Ethiopia. *Environ. Sustainability Indic* 12, 100153.

BARROS WT, BARRETO-GARCIA PA, SAGGIN JÚNIOR OJ, SCORIZA RN & SILVA MS. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi community in coffee agroforestry, consortium and monoculture systems. *An Acad Bras Cienc* 94(3):e20201228-e20201228.

CHEN X et al. 2020. Effects of plant diversity on soil carbon in diverse ecosystems: a global meta-analysis. *Biol Rev* 95(1):167-83.

CHOWDHURY A, SAMRAT A, PANDIAN R, & DEVY S. 2022. Native tree species richness enhances matrix functionality for soil arthropods in tropical plantation landscapes: A case study from the Himalayas. *Insect Conserv Diversity* 15(5), 621–633.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café - Safra 2022: Terceiro levantamento. Brasília. 9(3):1-65.

DESIE et al. (2020). Positive feedback loop between earthworms, humus form and soil pH reinforces earthworm abundance in European forests. *Funct. Ecol* 34(12), 2598-2610.

FISHER K, WEST M, LOMELI AM, WOODARD SH & PURCELL J. 2019. Are societies resilient? Challenges faced by social insects in a changing world. *Insectes Soc* 66(1), 5-13.

FORSTALL-SOSA et al. 2021. Soil macroarthropod community and soil biological quality index in a green manure farming system of the Brazilian semi-arid. *Biol* 76(3), 907-917.

GOMES VS, BARRETO-GARCIA PA, SCORIZA RN, JÚNIOR VC, PEREIRA JE & FERNANDES JS. 2021. Influence of different Eucalyptus hybrids on soil macrofauna. *An Acad Bras Cienc* 94(2):e20200247-e20200247.

HOFFMANN RB, MOREIRA ÉEA, SILVA HOFFMANN GS, ARAÚJO NSF. 2018. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 1(1):168-178.

KORBOULEWSKY N. PEREZ G & CHAUVAT M. 2016. How tree diversity affects soil fauna diversity: a review. *Soil Biol Biochem* 94: 94-106.

KREBS CJ. 2014. *Ecological Methodology*. 3^a Ed. Menlo Park, CA: Addison-Wesley Educational Publishers.

LAMMEL DR, AZEVEDO LCB, PAULA AM, ARMAS RDD, BARETTA D & CARDOSO EJB. 2015. Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. *Braz J Biol* 75(4), 89-905.

LEIJSTER V, SANTOS MJ, WASSEN MW, GARCÍA JC, FERNANDEZ IL, VERKUIL L & VERWEIJ PA. 2021. Ecosystem services trajectories in coffee agroforestry in Colombia over 40 years. *Ecosyst Serv* 48, 101246.

MAGURRAN AE. 2013. *Measuring biological diversity*. Wiley, New Jersey

MARICHAL et al. 2014. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. *Appl Soil Ecol* 83:177-185.

MÉNDEZ-ROJAS DM, LÓPEZ-GARCÍA MM, GARCÍA-CÁRDENAS DR & CULTID-MEDINA CA. 2022. Rove beetle diversity and coffee agroecosystems in the Colombian Andes. *Biotropica*, 54(2), 381-391.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PLANALTO. 2019. Disponível em: <<http://planalto.ba.gov.br/>> Acesso em: 24 de janeiro de 2022.

SANGINGA N, MULONGOY K & SWIFT MJ. 1992. Contribution of soil organisms to the sustainability and productivity cropping systems in the tropics. *Agric. Ecosyst. Environ*, 41(2), 135-152.

SEBULIBA et al. 2022. Characteristics of shade trees used under Arabica coffee agroforestry systems in Mount Elgon Region, Eastern Uganda. *Agroforest Syst* 96, 65–77.

SILVA SIAD, SOUZA T, LUCENA EOD, LAURINDO LK & SANTOS D. 2022. Influência de sistemas de cultivo sobre a comunidade da fauna edáfica no nordeste do Brasil. *Ciênc Florestal* 32: 829-855.

SILVA DMND, HEITOR LC, CANDIDO ADO, MORAES BSAD, SOUZA GSD, ARAÚJO JBS & MENDONÇA EDS. 2020. Carbon balance in organic conilon coffee intercropped with tree species and banana. *Rev Árvore* 44.

SILVA RA, SIQUEIRA GM, COSTA MKL, GUEDES FILHO O & SILVA ÊFDF. 2018. Spatial variability of soil fauna under different land use and managements. *Rev Brasileira de Ciênc do Solo*, 42.

SILVA J, JUCKSCH I. MAIA CI, FERES A, TAVARES RC. 2012. Fauna do solo em sistemas de manejo com café. *Journal of Biotechnology and Biodiversity* 3(2):59–71.

SOUZA GSD, ALVES DI, DAN ML, LIMA JSDS, FONSECA ALCCD, ARAÚJO JBS & GUIMARÃES LADOP. 2017. Soil physico-hydraulic properties under organic conilon coffee intercropped with tree and fruit species. *Pesqui Agropecu Bras* 52: 539-547.

SUÁREZ LR, PINTO SPC, & SALAZAR JCS. 2019. Soil macrofauna and edaphic properties in coffee production systems in Southern Colombia. *Flores Amb* 26.

WALKER D. 1989. Diversity and stability. In: Cherrett JM (Ed), *Ecological concepts*, Oxford: Blackwell Scientific Public 115-146.

5. ARTIGO III:

Insetos Sociais (Formicidae e Isoptera) em diferentes sistemas de cultivo de *Coffea arabica*

* **Situação:** não submetido

Insetos Sociais (Formicidae e Isoptera) em diferentes sistemas de cultivo de Café

Flávia Ferreira de Carvalho ^a; Raquel Pérez-Maluf ^b

^a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Programa de Pós-graduação em Agronomia, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, 45083-900

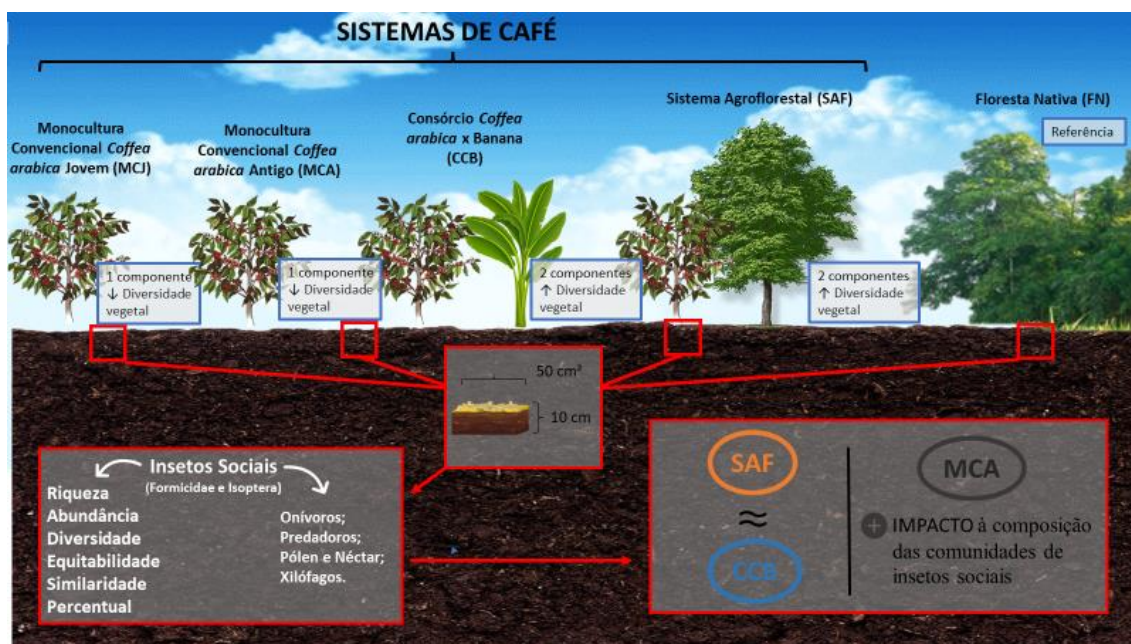
^b Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Departamento de Ciências Naturais, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

Key words: Formigas, Cupins, Bioindicador, Solo

Resumo

O café (*Coffea arabica*) é amplamente produzido no território brasileiro, sendo, em sua maioria, produzido a pleno sol. No entanto, os cultivos mistos têm se mostrado como alternativas à monocultura, tendo em vista a proteção da biodiversidade. O objetivo do trabalho foi avaliar as comunidades de Formicidae e Isoptera em solos sob diferentes sistemas de cultivo de *Coffea arabica* (homogêneos e heterogêneos) no sudoeste baiano. As coletas foram realizadas em Lucaia - BA e os tratamentos estudados foram: monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ), monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA), consórcio de *Coffea arabica* x *Musa* sp. (banana)(CCB), sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN). Os insetos foram identificados, a nível de gênero, para Formicidae e de subfamília para Isoptera; e também classificados de acordo com o grupo funcional. Para caracterizar as comunidades, foram estimados os índices Shannon e Pielou. As formigas foram distribuídas em sete subfamílias, sendo Formicinae a mais representativa. Já entre os cupins, foram coletados apenas indivíduos da família Termitidae, distribuídas em três subfamílias, sendo a Apicotermitinae a mais abundante. O CCB teve maior número de formigas, enquanto o MCJ e o SAF tiveram maior número de cupins. MCJ obteve a maior abundância, porém a menor equitabilidade, e o único sistema a se diferenciar estatisticamente em relação à diversidade. Os cultivos heterogêneos de café foram semelhantes entre si, enquanto o MCA apresentou dissimilaridades com relação aos demais sistemas, revelando maior impacto do monocultivo à diversidade de insetos sociais.

ABSTRACT GRÁFICO



5.1 Introdução

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café. A espécie *Coffea arabica* corresponde a quase 81% da área total destinada à cafeicultura nacional (CONAB, 2022), sendo a maior parte do café brasileiro produzida em monocultura a pleno sol. No entanto, a adoção de monoculturas tem levado ao esgotamento dos solos agrícolas em muitas regiões, resultando em perda de fertilidade, matéria orgânica, estrutura e qualidade física do solo (Souza et al., 2017).

Os cultivos agrícolas podem ser menos prejudiciais à diversidade da fauna, desde que sejam mais diversificados, como é o caso dos sistemas agroflorestais (SAF's) e dos consórcios. Os cultivos mistos podem ser importantes alternativas às monoculturas, no que se refere à proteção da biodiversidade, devido à sua diversidade de espécies e extratos vegetais (Amaral et al., 2019).

A biodiversidade é crítica para a manutenção de muitos processos ecológicos. No entanto, a diversidade de espécies varia no espaço e no tempo, o que torna importante a compreensão dos padrões e mecanismos de mudança (Muvengwi et al.,

2017). O uso de artrópodes é muito apropriado para monitorar o efeito do manejo agrícola na biodiversidade, pois muitos deles respondem facilmente a mudanças no uso da terra e à intensificação agrícola (Arenas-Clavijo e Armbrrecht, 2019; Velasquez & Lavelle, 2019; Machado-Cuellar. 2021). Entre os artrópodes edáficos estão os insetos sociais, como as formigas (Hymenoptera: Formicidae) e cupins (Blattodea: Isoptera).

Os insetos sociais são considerados ecologicamente dominantes, devido à capacidade de explorar uma ampla gama de recursos, vivem em ambientes extremos e, muitas vezes, superam outras espécies de artrópodes (Fisher et al., 2019). Traços relevantes de insetos sociais incluem alta biomassa e abundância numérica, diversidade de associações mutualísticas, capacidade de construir estruturas biogênicas importantes, produção versátil de defesas químicas, entrega simultânea de vários serviços ecossistêmicos, presença de castas e divisão de trabalho, comunicação eficiente e cooperação, a capacidade de armazenar alimentos e uma longa vida útil (Elizalde et al., 2020).

As formigas são reguladores particularmente importantes dos processos do solo em diferentes escalas temporais e espaciais. A construção dos ninhos pode alterar as propriedades físicas do solo, afetando a porosidade e o fluxo de água, bem como sua composição química, incorporando nutrientes e matéria orgânica (Domínguez-Haydar, 2022). Diferentes espécies de formigas respondem ao tipo de manejo de maneira diversa e o resultado final é a redução da riqueza em que as regras de manejo geram distúrbios em maior frequência e intensidade (Dias et al., 2008). Em geral, as monoculturas de café têm uma riqueza pobre de espécies de formigas e baixa diversidade funcional em comparação com locais florestais e, à medida que aumenta a intensificação do manejo, há um impacto cada vez maior sobre a diversidade de espécies de formigas (Urrutia-Escobar e Armbrrecht, 2013).

Os cupins são insetos eussociais que representam uma parcela expressiva da biomassa em ambientes de campo, floresta, savana (Oliveira et al., 2022) e cultivos diversos. Estes insetos são valiosos provedores de serviços ecossistêmicos que podem reduzir a dependência excessiva de insumos químicos nos agroecossistemas cafeeiros (Neoh et al., 2018). Os cupins são sensíveis às perturbações ambientais, e tendem a apresentar alterações em sua composição, com mudanças no uso da terra, devido a mudanças microclimáticas e oferta de alimentos (Bandeira et al., 2003; Beltrán-Díaz e Pinzón-Florián, 2018).

Pode-se inferir que sistemas heterogêneos de cultivo de café exerçam menor impacto nas comunidades de insetos sociais do solo em relação às monoculturas. Em virtude da escassez de trabalhos que abordem os insetos sociais nos solos de cultivos de café no estado da Bahia, o presente estudo busca avaliar o impacto dos sistemas de cultivo sobre as comunidades de Formicidae e Termitidae em solos, sob diferentes sistemas de cultivo de *Coffea arabica* (homogêneos e heterogêneos), no sudoeste baiano.

5.2 Materiais e Métodos

5.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no distrito de Lucaia, localizado no município de Planalto, estado da Bahia, Brasil. A região possui clima tropical de altitude (Cwb), de acordo com classificação de Koppen, com altitude média de 943 metros, pluviosidade média anual de 750 mm (estação seca de maio a setembro) e temperatura média anual de 19,2 °C. O município possui destaque como produtor de café, sendo a indústria cafeeira a principal responsável por gerar empregos e movimentar a economia municipal (Prefeitura Municipal de Planalto, 2019).

Foram avaliados quatro sistemas produtivos de café e uma área de vegetação natural: (1) monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); (2) monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); (3) consórcio de *Coffea arabica* x *Musa* sp. (banana) com manejo de adubação convencional (CCB); (4) sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* manejado com adubação orgânica (SAF); e (5) floresta nativa (FN), que foi utilizada como sistema de referência e está localizada em área adjacente aos cultivos de café (Figura 1).

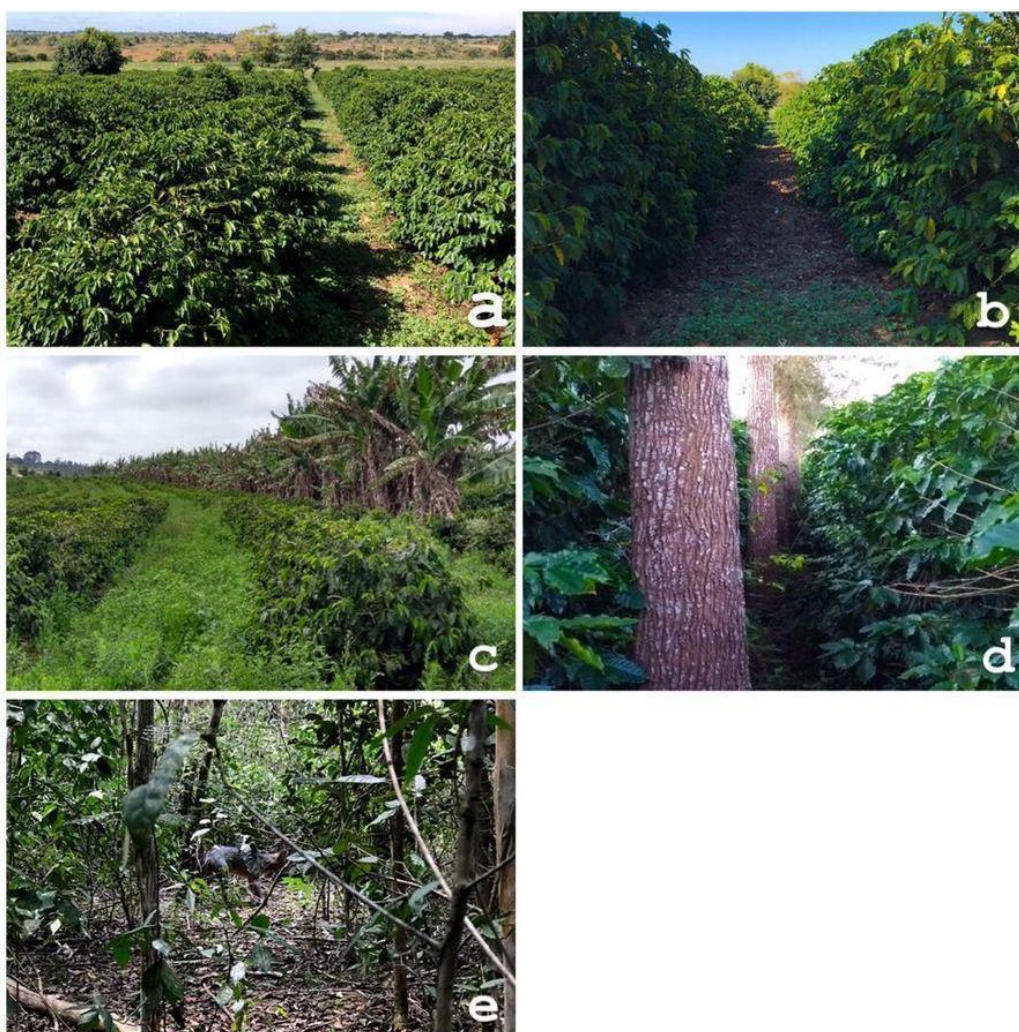


Figura 1: (a) monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); (b) monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); (c) consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); (d) sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e (E) floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.

O MCJ foi implantado no ano de 2019, em espaçamento de 1,0 x 3,5m, e possui uma área equivalente a 7,2 ha. O CCB teve início no ano de 2000, foi estabelecido em uma área de 5,3 ha, em espaçamento de 1,5 x 4,0 m (entre plantas de café) e 1,0 x 16 (entre plantas de banana). O SAF foi introduzido no ano de 2000, em espaçamento de 1,5 x 2,5 m (entre cafeeiros) e 3,5 x 15,0 m (entre árvores), e possui uma área de 1,0 ha. Nos sistemas MCJ e CCB, o preparo foi baseado em aração, gradagem e sulcagem, com adubação de plantio (superfostato simples: 150 g e 120 g por planta, respectivamente) e de manutenção (ureia: 100 g e NPK 20-00-20: 260 g e 200 g por planta). No SAF, o solo foi preparado com roçagem e sulcagem, com adubação de plantio (superfosfato simples: 20 Mg ha⁻¹), e depois apenas adubação orgânica (esterco bovino: 12 kg por planta).

O fragmento de floresta nativa, utilizado como referência, possui área de aproximadamente 30 ha e tem vegetação classificada como Floresta Estacional Semidecidual.

5.2.2 Coleta, triagem e identificação mesofauna

As coletas foram realizadas em agosto de 2019, março de 2020 e setembro de 2021. A área de cada tratamento foi dividida em parcelas de 20 x 20m, sendo coletada uma amostra por parcela, totalizando quatro amostras em cada sistema. A amostra consistiu no material contido em uma área de 0,50 x 0,50 m, coletado com auxílio de um gabarito de madeira, lançado ao acaso entre as linhas do café.

Após a coleta, o material foi transferido para uma bandeja para realização da triagem manual, em laboratório, com auxílio de pinças entomológicas, e posterior armazenamento dos indivíduos coletados em recipientes contendo álcool (70%) para preservação até o momento de identificação. A identificação dos insetos sociais foi

realizada em nível de subfamília (Blattaria- Termitidae) e gênero (Hymenoptera- Formicidae), utilizando-se chaves dicotômicas propostas por Baccaro et al. (2015).

Com base em critérios ecológicos, cada táxon foi classificado, também, em um grupo trófico: onívoras, predadoras, cultivadoras de fungo, que se alimentam de pólen e néctar ou xilófagos (Baccaro et al., 2015; Pereira et al., 2020).

5.2.3 Análise faunística

Foi contabilizada a abundância da fauna (N) para cada categoria taxonômica em cada sistema de cultivo de café e na floresta nativa. Para caracterizar as comunidades, foram estimados os índices Shannon e Pielou, de acordo com Krebs (2014).

O índice de diversidade de Shannon (H') busca quantificar a heterogeneidade de táxons em uma determinada área, ponderando os táxons de ocorrência rara, quanto maior o número, mais heterogênea é a comunidade e, conseqüentemente, maior é a diversidade. H' foi calculado a partir da equação:

$$H' = -\sum_i^s (p_i) (\ln p_i) =$$

Em que:

H' = Índice de Diversidade de Espécies de Shannon

s = número de táxons

p = frequência relativa de indivíduos de cada grupo taxonômico

O índice de equabilidade de Pielou (J) foi calculado a partir da seguinte equação:

$$J = H'/\ln(S)$$

Em que:

H' = Índice de Diversidade de Táxons de Shannon

s = número de táxons

As comunidades da meso e macrofauna, encontradas nos sistemas de cultivo de café e floresta nativa, foram comparadas pelo dendograma de similaridade de Jaccard (MAGURRAN, 2013). Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico Past 4.0.

5.3 Resultados

Foram coletados 2512 insetos sociais, sendo destes 52,3% da família Formicidae (Tabela 1) e 47,7% da família Termitidae (Tabela 2) (Apêndice B). As formigas foram distribuídas nas subfamílias Dolichoderinae, Dorylinae, Ectatomminae, Formicinae, Myrmicinae, Ponerinae e Pseudomyrmicinae, sendo Formicinae a mais representativa, com 63,9%. Já entre os cupins, foram coletados indivíduos da família Termitidae, distribuídos nas subfamílias Apicotermitinae, Nasutitermitinae e Termitinae, sendo Apicotermitinae a mais abundante, com 85,8%.

Tabela 1. Número de insetos sociais obtidos a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA, classificados em grupos taxonômicos

	MCJ	MCA	CBB	SAF	FN	Total
Formicidae	206	252	639	173	45	1315
Dolichoderinae						
<i>Dorymyrmex</i>	20	0	2	2	2	26
Dorylinae						
<i>Neivamyrmex</i>	1	0	45	0	0	46
Ectatomminae						
<i>Ectatomma</i>	0	2	0	0	0	2
Formicinae						
<i>Brachymyrmex</i>	53	61	243	70	2	429
<i>Camponotus</i>	22	24	305	55	5	411
Myrmicinae						

<i>Cephalotes</i>	0	0	10	0	0	10
<i>Creumatogaster</i>	92	1	0	0	0	93
<i>Pheidole</i>	0	0	3	1	1	5
<i>Pogonomyrmex</i>	0	0	2	1	0	3
<i>Solenopsis</i>	11	1	8	3	1	24
<i>Tetramorium</i>	4	163	3	1	0	171
Ponerinae						
<i>Anochetus</i>	0	0	6	1	0	7
<i>Hypoponera</i>	3	0	12	39	32	86
Pseudomyrmecinae						
<i>Pseudomyrmex</i>	0	0	0	0	2	2

Tabela 2. Número de insetos sociais obtidos a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA, classificados em grupos taxonômicos

Isoptera	594	44	2	552	5	1197
Termitidae						
Apicotermitinae	589	0	2	431	5	1027
Nasutitermitinae	0	4	0	0	0	4
Termitinae	5	40	0	121	0	166

Entre os sistemas de cultivo estudados, o CCB se destacou com maior número de formigas (tabela 1), enquanto o MCJ e o SAF lideram em número de cupins (tabela 2). A floresta esteve entre os menores valores para ambas as famílias, somando apenas 50 indivíduos, porém se mostrou no ambiente com maior equitabilidade, em relação aos cultivos de café. Situação oposta ao MCJ (Tabela 4) que, apesar de obter a maior abundância, foi o menor em equitabilidade e o único sistema a se diferenciar estatisticamente em relação à diversidade.

Tabela 4: Índices de Riqueza, Abundância, Diversidade e Equitabilidade de insetos sociais a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA

Índices	MCJ	MCA	CCB	SAF	FN
Riqueza (S)	10	8	12	11	8
Abundância (N)	800	296	641	725	50
Equitabilidade Pielou (J')	0,433	0,6109	0,5063	0,5291	0,6535
Diversidade Shannon (H')	0,9971 b	1,27 a	1,258 a	1,269 a	1,359 a

Os insetos sociais amostrados neste estudo foram classificados em quatro grupos, de acordo com seus hábitos alimentares (Figura 2). Os grupos de maior ocorrência nos sistemas MCJ, MCA, CCB, SAF e FN são onívoros (50, 63, 50, 55 e 63%, respectivamente), seguidos pelos gêneros predadores (30, 13, 33, 27 e 25%) e xilófagos (20, 25, 8, 18 e 13%), e a menor abundância foi registrada para as formigas que se alimentam de líquidos e pólen, representados por apenas um gênero (*Cephalotes*) em um sistema (CCB).

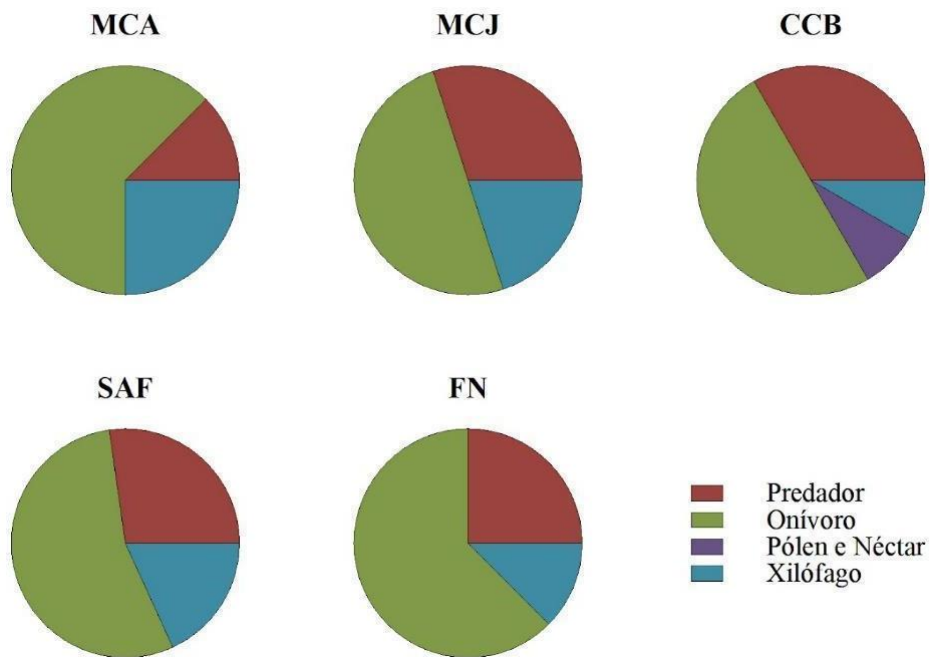


Figura 2: Grupo funcional de insetos sociais a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.

Segundo o índice de Jaccard, os cultivos heterogêneos de café foram os mais semelhantes entre si (0,75), enquanto o MCA não apresentou semelhança com os demais sistemas, com um índice de similaridade de apenas 0,3 (Figura 3).

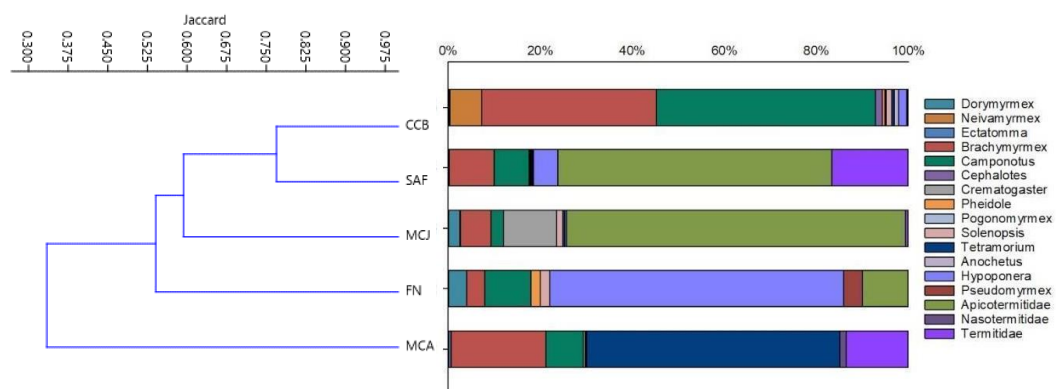


Figura 3: Dendrograma de similaridade estimada pelo índice de Jaccard e distribuição percentual de insetos sociais a partir de monólitos de solo sob monocultivo convencional de *Coffea arabica* jovem (MCJ); monocultivo convencional de *Coffea arabica* antigo (MCA); consórcio de *Coffea arabica* x banana (CCB); sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta* (SAF) e floresta nativa (FN) em Lucaia – BA.

Os cupins foram dominantes nos cultivos SAF e MCJ (76,1 e 74,2%), com a subfamília Apicotermatinae como mais recorrente (59,4 e 73,6%). Já em CCB, FN e MCA, houve uma predominância de formigas, mas de gêneros distintos para cada sistema. No CCB, *Brachymyrmex* e *Camponotus* somaram 85,5% de indivíduos. No MCA, as maiores populações foram de *Tetramorium* (55,1%) e *Brachymyrmex* (20,6%); enquanto em FN, 64% dos insetos coletados foram formigas do gênero *Hypoponera* (Figura 3).

5.4 Discussão

Segundo o índice de similaridade de Jaccard, que leva em consideração a presença ou ausência de um determinado grupo, sem considerar o número de indivíduos, o MCA apresentou dissimilaridades com relação aos demais sistemas, revelando maior impacto do monocultivo à estrutura da comunidade de insetos sociais. De acordo com Gomes et al. (2013), áreas com menor complexidade estrutural e com reduzida cobertura do solo por serapilheira são locais menos propícios para a ocorrência de uma elevada riqueza de espécies.

Os cultivos mistos apresentaram maior número de espécies (Tabela 4) e foram similares no cluster (Figura 3), o que pode estar ligado à maior deposição de

serapilheira, oferecendo melhores condições de sobrevivência no solo. Segundo Amaral et al. (2019), a manutenção da serapilheira/cobertura morta em plantios agrícolas pode ser relevante, pois favorece a presença de maior riqueza de espécies de formigas.

Cabe ressaltar que o plantio de espécies arbóreas, juntamente com as espécies agrícolas, proporciona maior diversidade de estratos verticais, o que também pode ter acarretado, nos resultados observados, elevada riqueza de espécies de formigas na agrofloresta (Amaral et al., 2019).

Foi possível notar índices de equitabilidade de Pielou (J') mais baixos em MCIJ (Tabela 2), que, apesar de ser o sistema com maior número de indivíduos, apresentou maior porcentagem de um só gênero (Figura 3). Isso indica que um maior número de indivíduos não implica necessariamente em maior equilíbrio de espécies, principalmente quando se trata de insetos sociais.

A subfamília Formicinae é a segunda mais rica em espécies entre os Formicidae na região Neotropical (Martins et al., 2020). O gênero *Brachymyrmex* foi o mais abundante nas coletas. Este gênero é comumente associado à serapilheira do solo, comportamento oportunista e hábito alimentar onívoro. Além disso, apresenta grande resistência a perturbações e elevada importância para a estabilidade ambiental, pois atuam no controle de outros artrópodes (Lutinski et al., 2022; Wilson, 2003). *Camponotus* foi o segundo grupo de maior ocorrência no estudo (411 indivíduos). Trata-se de um gênero que apresenta uma grande diversidade de habitats, com 300 espécies descritas para a região neotropical e aproximadamente 200 espécies com ocorrência no Brasil, que podem forragear tanto no solo quanto na vegetação (BACCARO et al., 2015).

Formigas do gênero *Hypoconer*, grupo de maior ocorrência na floresta nativa, são predadoras especializadas encontradas no solo e na serapilheira, onde se alimentam

de pequenos artrópodes (Lutinski et al., 2022), o que indica que, apesar da perturbação antrópica oriunda das atividades agrícolas praticadas no entorno, o remanescente florestal abriga uma fauna especializada de formigas. O único gênero encontrado exclusivamente na área nativa foi *Pseudomyrmex*, cujas formigas se destacam pelo hábito arborícola e pela associação com a vegetação (BACCARO et al., 2015). A presença deste gênero indica a oferta de uma variedade de nichos para a nidificação e para o forrageio (Lutinski, 2021), corroborando, assim, as características da FN.

As florestas nativas são essenciais para a conservação de formigas, por serem espacialmente mais heterogêneas, ofertando maior variedade de recursos e condições ambientais para as espécies (Gomes et al., 2013). Entretanto, o presente estudo verificou a menor abundância de insetos sociais na floresta (Tabela 3), o que pode ser explicado pelo tamanho da área, visto que, segundo Urrutia-Escobar e Armbrecht (2013), que também encontraram fauna de formigas nas florestas menos rica do que nas plantações de café, fragmentos florestais pequenos tendem a não suportar um número elevado de espécies de formigas. Entretanto, outros estudos, como os de Arenas-Clavijo e Armbrecht (2019), observaram padrão diferente do presente estudo na Colômbia, onde encontraram riqueza superior em manchas de vegetação natural do que em usos da terra de café e não viram diferenças entre o café sombreado e o de sol.

Diferenças em relação ao número de espécies em levantamentos podem ser explicadas pelas características de cada ambiente avaliado e, considerando as diferentes fitofisionomias amostradas em cada estudo, diferenças quanto ao número de espécies são esperadas. Ulisséa e Brandão (2013), estudando espécie de formiga em Milagre - BA, encontraram 10 subfamílias, sendo Myrmicinae a mais frequente, com 29 gêneros. Pereira et al. (2020), em estudo na mata atlântica no sudeste do Brasil, encontraram as mesmas sete subfamílias do presente trabalho, porém Formicinae, a subfamília de maior

ocorrência no presente estudo, representou apenas 14% dos indivíduos no Sudeste. Amaral et al. (2019) também encontraram as mesmas subfamílias, entretanto, a mais frequente foi Myrmicinae, em sistemas de banana, agrofloresta, café e floresta nativa, no Rio de Janeiro.

A família Termitidae é dominante em riqueza em habitats do nordeste brasileiro (Vasconcellos, 2010; Alves et al., 2011; Oliveira et al., 2022), o que justifica a presença em massa dessa família no estudo (Tabela 2). A dominância de Apicotermatinae (86% dos cupins) é vista como um sinal de regiões preservadas ou em fase de regeneração (Bandeira et al., 2003). A maior ocorrência desta família, nos sistemas SAF e MCJ, pode indicar uma maior preservação dessas áreas, o que possivelmente aproximou o MCJ dos cultivos heterogêneos na análise de cluster, apesar das demais diferenças entre estes sistemas.

Segundo Baccaro et al. (2015), a conversão de áreas para agricultura tende a favorecer formigas com hábitos generalistas e características biológicas de pioneiras ou colonizadoras. O gênero *Brachymyrmex* foi o mais abundante nas áreas estudadas. Este gênero possui diversas espécies com potencial de causar danos severos e, portanto, são consideradas pragas agrícolas. Essas espécies podem realizar recrutamento maciço e são bastante tolerantes a distúrbios (Aranda et al., 2022).

A riqueza registrada neste estudo foi menor, quando comparada a estudos realizados em outros estados, e isso pode ser explicado, em parte, pelo esforço amostral e os diferentes métodos de amostragem utilizados. Além disso, os estudos desses insetos, na nossa perspectiva de avaliação do manejo de solo, são reduzidos no estado da Bahia.

5.5 Referências

Alves WF, Mota AS, Lima RAA, Bellezoni R & Vasconcellos A (2011) Termites as Bioindicators of Habitat Quality in the Caatinga, Brazil: Is There Agreement Between Structural Habitat Variables and the Sampled Assemblages? *Neotropical Entomology* 40(1):39-46. doi: 10.1590/S1519-566X2011000100006.

Amaral GCD, Vargas AB & Almeida FS (2019) Efeitos de atributos ambientais na biodiversidade de formigas sob diferentes usos do solo. *Ciência Florestal* 29: 660-672. doi: 10.5902/1980509833811.

Aranda R, Tibcherani M, Nacagava VAF, Carvalho SS & Souza PR (2022) The role of urban savannah fragments and their characteristics for the conservation of ants (Hymenoptera: Formicidae) in central Brazil. *Community Ecology* 23(1): 115-127. doi: 10.1007/s42974-022-00078-7

Arenas-Clavijo A & Armbrecht I (2019) Soil ants (Hymenoptera: Formicidae) and ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a coffee agroforestry landscape during a severe-drought period. *Agroforest Syst* 93: 1781–1792. doi: doi.org/10.1007/s10457-018-0283-x

Baccaro FB (2006) Chave para as principais subfamílias e gêneros de formigas (Hymenoptera: Formicidae). *Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia–INPA: Faculdades Cathedral*.

Bandeira AG, Vasconcellos A, Silva MP & Constantino R (2003) Effects of habitat disturbance on the termite fauna in a highland humid forest in the Caatinga domain, Brazil. *Sociobiology* 42(1):117-127.

Beltrán-Díaz MA & Pinzón-Florián OP (2018) Termitofauna (Isoptera: Termitidae, Rhinotermitidae) en plantaciones de *Pinus caribaea* en sabanas de la Orinoquia Colombiana. *Revista Colombiana de Entomología* 44(1), 61-71. doi: <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6544>

Dias NS, Zanetti R, Santos MS, Louzada J & Delabie J (2008) Interação de fragmentos florestais com agroecossistemas adjacentes de café e pastagem: respostas das comunidades de formigas (Hymenoptera, Formicidae). *Iheringia. Série Zoologia* 98: 136-142. doi: 10.1590/S0073-47212008000100017

Domínguez-Haydar Y, Gutierrez-Rapalino BP, Barros-Torres Y, Jiménez JJ, Lozano-Baez SE & Castellini M (2022) Impact of *Pheidole fallax* (Hymenoptera: Formicidae) as an Ecosystem Engineer in Rehabilitated Coal Mine Areas. *Applied Sciences* 12(3), 1573. doi: 10.3390/app12031573

Elizalde L, Arbetman M, Arnan X, Eggleton P, Leal IR, Lescano MN, Saez A, Werenkraut V & Pirk GI (2020) The ecosystem services provided by social insects: traits, management tools and knowledge gaps. *Biol Rev* 95: 1418-1441. doi: <https://doi.org/10.1111/brv.12616>

Fisher K, West M, Lomeli AM, Woodard SH & Purcell J (2019) Are societies resilient? Challenges faced by social insects in a changing world. *Insectes sociaux* 66(1), 5-13. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00040-018-0663-2>.

Gomes DS, Almeida FS, Vargas AB & Queiroz JM (2013) Resposta da assembleia de formigas na interface solo-serapilheira a um gradiente de alteração ambiental. *Iheringia* 103:104-109. doi: 10.1590/S0073-47212013000200004.

Krebs CJ (2014) *Ecological Methodology*. 3^a Ed. Menlo Park, CA: Addison-Wesley Educational Publishers.

Lutinski JA, Lutinski CJ, Guarda CJ, Busato MA (2022) Potencial Bioindicador de formigas em Áreas de preservação permanente. In: Guarda, C. (2022) *Silvicultura e Manejo Florestal: Técnicas de Utilização e Conservação da Natureza* (2),192-206. doi: 10.37885/210203019

Lutinski JA, Filtro MC, Baucke L, Dorneles FE, Lutinski CJ & Guarda C. (2021). Ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) from areas under the direct influence of two small hydropower plants in Brazil. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*, 57(1), 105–113. <https://doi.org/10.5327/Z217694781030>

Machado-Cuellar L, Rodríguez-Suárez L, Murcia-Torrejano V, Orduz-Tovar SA, Ordoñez-Espinosa CM & Suárez JC (2021) Macrofauna del suelo y condiciones edafoclimáticas en un gradiente altitudinal de zonas cafeteras, Huila, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 69(1), 102-112. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42955>

Magurran AE (2013) *Measuring biological diversity*. Wiley, New Jersey

Martins, M.F.O., Thomazini, M.J., Baretta, D., Brown, G.G., Rosa, M.G., Zagatto, M.R.G., Santos, A., Nadolny, H.S., Cardoso, G.B.X., Niva, C.C., Bartz, M.L.C. And Feitosa, R.M., (2020). Accessing the subterranean ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) in native and modified subtropical landscapes in the Neotropics. *Biota Neotropica*, 20(1): 1-16. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0782>

Muvengwi J, Mbiba M, Ndagurwa H, George N & Nhokovedzo P (2017). Termite diversity along a land use intensification gradient in a semi-arid savanna. *Journal of Insect Conservation* 21:801-812. doi: 10.1007/s10841-017-0019-7.

Neoh KB, Nguyen MT, Nguyen VT, Itoh M, Kozan O, & Yoshimura T (2018) Intermediate disturbance promotes termite functional diversity in intensively managed

Vietnamese coffee agroecosystems. *Journal of Insect Conservation*, 22(2), 197-208.
doi:10.1007/s10841-018-0053-0.

Oliveira MHD, Eloi I, Costa BGD & Bezerra-Gusmão MA (2022) Influence of altitude and seasonality in the termite species richness and nests density in a hill environment of the Brazilian Caatinga. *Iheringia. Série Zoologia* 112:1-6 doi: 10.1590/1678-4766e2022024

Pereira MC, Dall'Oglio OT & Dambroz J (2020) Assembleia de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em fragmento florestal na Amazônia Mato-grossense. *Scientific Electronic Archives* 13: 65 -72. doi: <http://dx.doi.org/10.36560/131220201242>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PLANALTO, 2019. Disponível em: <<http://planalto.ba.gov.br/>> Acesso em: 24 de janeiro de 2022.

Souza GSD, Alves DI, Dan ML, Lima JS, Fonseca ALCCD, Araújo JBS & Guimarães LADOP (2017) Soil physico-hydraulic properties under organic conilon coffee intercropped with tree and fruit species. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52:539-547. Doi: 10.1590/S0100-204X2017000700008

Ulysséa MA & Brandão CR (2013) Ant species (Hymenoptera, Formicidae) from the seasonally dry tropical forest of northeastern Brazil: a compilation from field surveys in Bahia and literature records. *Revista Brasileira de Entomologia* 57: 217-224. doi: 10.1590/S0085-56262013005000002.

Urrutia-Escobar MX & Armbrrecht I (2013) Effect of two agroecological management strategies on ant (Hymenoptera: Formicidae) diversity on coffee plantations in

southwestern Colombia. *Environmental Entomology*, 42(2):194-203.
doi:<https://doi.org/10.1603/EN11084>

Vasconcellos A, Bandeira AG, Moura FMS, Araújo VFP, Gusmão MAB & Constantino R (2010) Termite assemblages in three habitats under different disturbance regimes in the semi-arid Caatinga of NE Brazil. *Journal of Arid Environments* 74(2):298-302. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.07.007>.

Velasquez E & Lavelle P (2019) Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. *Acta Oecologica* 100: 103446. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após as análises realizadas no presente estudo, pode-se inferir acerca dos impactos negativos causados pelas monoculturas às comunidades de microrganismos e da fauna do solo, revelando que a menor diversidade de culturas acima do solo interfere na dinâmica biológica abaixo dele.

Os cultivos com mais de um componente vegetal proporcionaram melhores condições, em especial, o sistema agroflorestal, que se mostrou benéfico à biomassa e à atividade microbiana, bem como para a fauna do solo, incluindo os insetos sociais.

7. APÊNDICES

Apêndice A: Táxons coletados

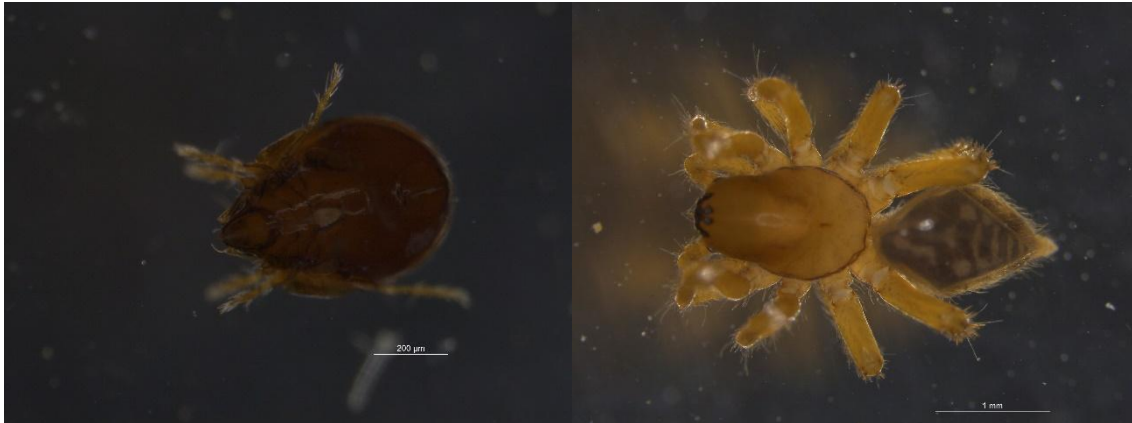


Figura 1A. Chelicerata: Acari Aranae e Pseudoscorpionida



Figura 2A. Crustacea: Isopoda

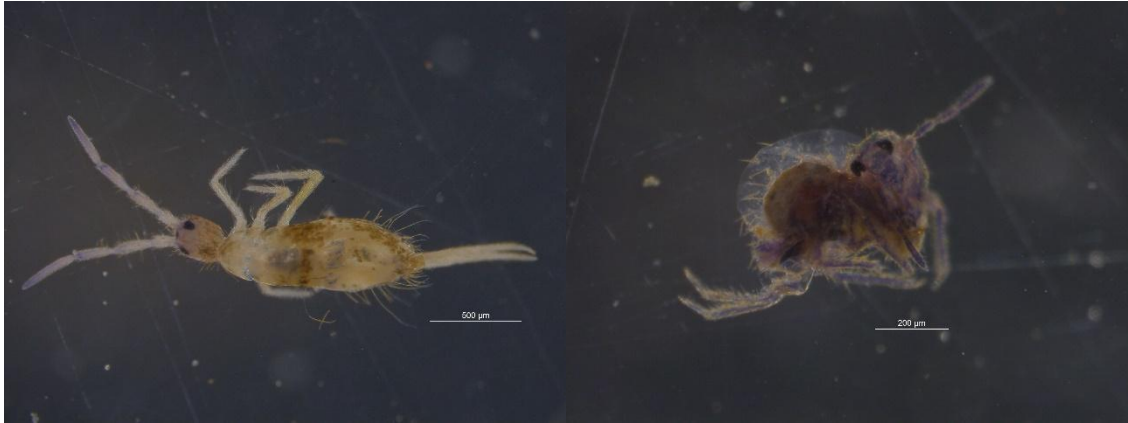


Figura 3A. Collembola: Entomobryomorpha e Symphypleona



Figura 4A. Diplura: Japygidae



Figura 5A. Blattaria: Blaberidae e Termitidae

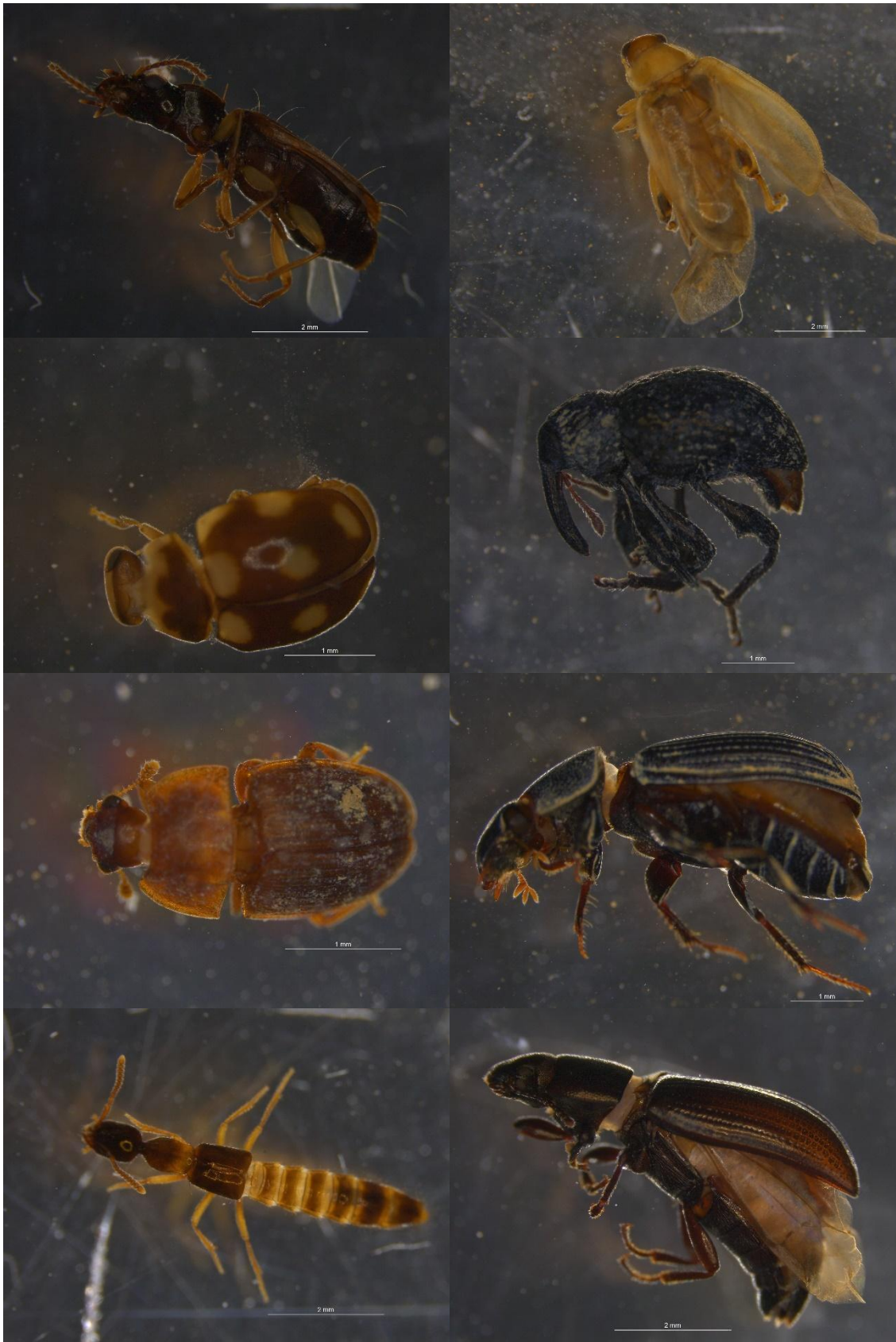


Figura 6A. Coleoptera adulto: Carabidae, Chrysomelidae, Coccinellidae, Curculionidae, Nitidulidae, Scarabaeidae, Staphylinidae, Tenebrionidae



Figura 7A. Coleoptera larva: Carabidae, Curculionidae, Elateridae, Lampyridae, Scarabaeidae, Tenebrionidae.



Figura 8A. Diptera adulto: Cecidomyiidae e Diptera larva: Stratiomyidae.



Figura 9A. Hemiptera: Aphididae, Cydnidae, Cicadellidae, Miridae, Pyrrhocoridae, Tingidae.



Figura 10A. Hymenoptera: Diapriidae, Formicidae, Encyrtidae.



Figura 11A. Lepidoptera larva: Cosmopterigidae, Psychidae.



Figura 12A. Orthoptera: Acrididae, Grillidae.



Figura 13A. Thysanoptera e Phthiraptera.



Figura 14A. Chilopoda: Geophilomorpha, Lithobiomorpha e Scolopendromorpha.



Figura 15A. Diplopoda: Polyxenida e Spirobolida.



Figura 16A. Paupoda, Symphyla e Gastropoda (concha).

Apêndice B: Insetos sociais



Figura 1B. Formicidae: Dolichoderinae: *Dorymyrmex*



Figura 2B. Formicidae: Dorylinae: *Neivamyrmex*



Figura 3B. Formicidae: Ectatomminae: *Ectatomma*



Figura 4B. Formicidae: Formicinae: *Brachymyrmex* e *Camponotus*

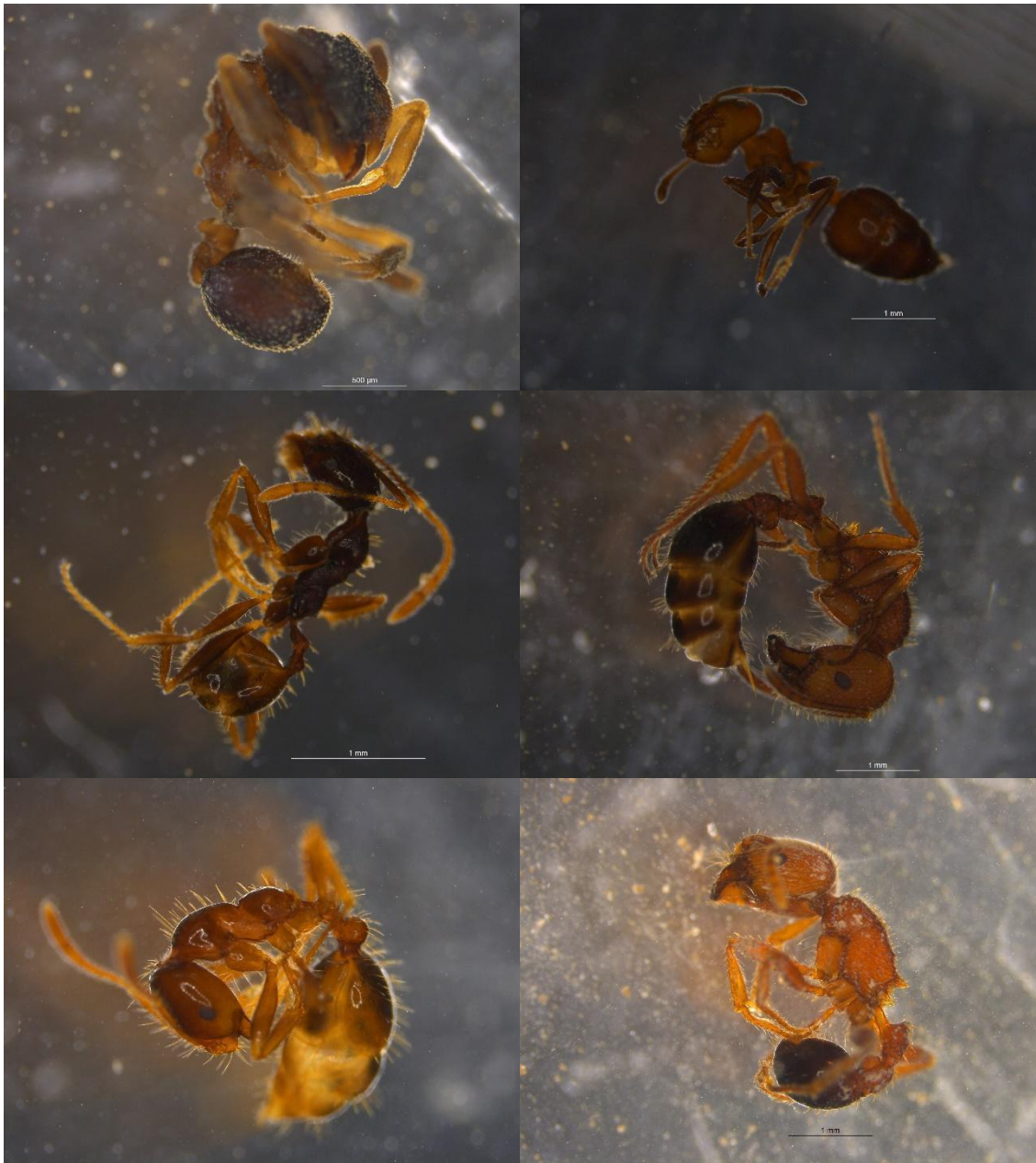


Figura 5B. Formicidae: Myrmicinae: *Cephalotes*, *Crematogaster*, *Pheidole*, *Pogonomyrmex*, *Solenopsis* e *Tetramorium*



Figura 6B. Formicidae: Ponerinae: *Anochetus*

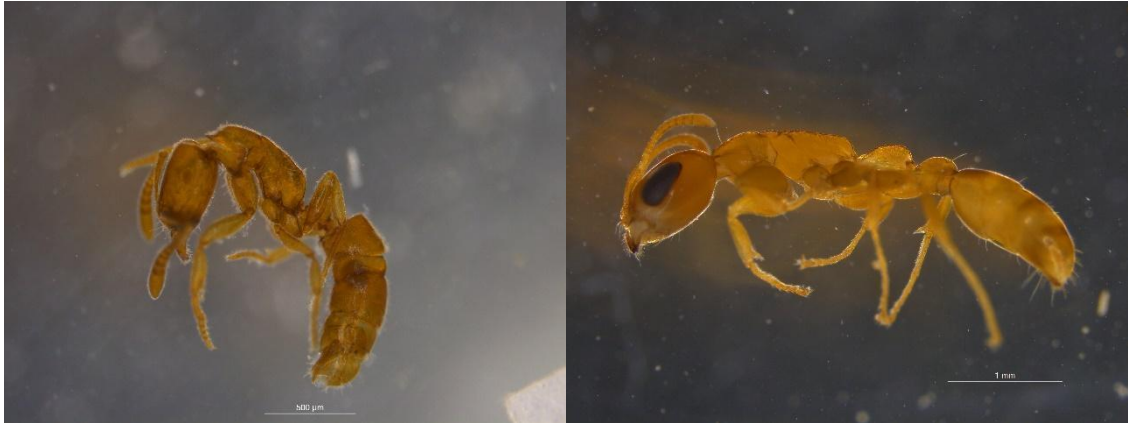


Figura 7B. Formicidae: *Hypoponera* e *Pseudomyrmecinae*.



Figura 8B. Isoptera: Apicotermitinae e Nasutitermitinae