



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA

SAÚDE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE
CAFÉ NO NORDESTE DO BRASIL

FILIPPE MOREIRA SOUSA

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2023

FILIPPE MOREIRA SOUSA

**SAÚDE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ NO
NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação 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 obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Cristiano Tagliaferre
Coorientadora: Patrícia Anjos Bittencourt
Barreto Garcia

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2023

S696s

Sousa, Filipe Moreira.

Saúde do solo em sistemas de produção de café no Nordeste do Brasil. /

Filipe Moreira Sousa, 2023.

72f. : il.

Orientador (a): DSc. Cristiano Tagliaferre.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referência F. 67 - 71.

1.Cafeeiro (*Coffea arabica* e *Coffea canephora*). 2. Carbono orgânico do solo. 3. Nitrogênio. 4. Fauna edáfica. I. Tagliaferre, Cristiano. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. T.III.

CDD. 633.73

Catálogo 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

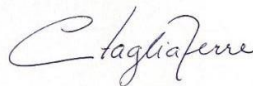
Campus de Vitória da Conquista, BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “SAÚDE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ NO NORDESTE DO BRASIL”.

AUTOR (A): Filipe Moreira Sousa

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



Cristiano Tagliaferre, D.Sc. (UESB)



João Carlos Medeiros D.Sc. (UFSB)



Jaqueline Dalla Rosa, D.Sc. (UFSB)

Data de realização: 14 de Dezembro de 2023.

DEDICATÓRIA

A Deus, que me deu forças para concluir;
A minha família, por estar sempre ao meu lado;
Aos meus colegas e orientador, por todas as contribuições;
A todos, pelo carinho, apoio e motivação.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder força nos momentos desafiadores e por guiar meus passos ao longo desta jornada. Sua misericórdia e sabedoria foram fontes constantes de inspiração.

A minha família, em especial, a minha falecida mãe Alvacélia; as minhas irmãs Hellem e Erika; ao meu falecido irmão João Pedro; e a minha avó Alaíde, pelo carinho, apoio e motivação.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo à pesquisa e à concessão da bolsa de estudos.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e Solos.

Ao meu orientador, Prof. Dsc. Cristiano Tagliaferre, pelos ensinamentos, paciência e orientação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela dedicação e por compartilhar os conhecimentos.

Aos Professores Divino Miguel e Patrícia Anjos Bittencourt Barreto Garcia, pelos ensinamentos e disposição para esclarecer dúvidas e contribuírem com este estudo.

A toda equipe do Laboratório de Solos e Biomassa Florestal da UESB, pela contribuição.

Aos meus colegas do Laboratório de Hidráulica, Irrigação e Drenagem: Ana, Bismarc, Genilson e Rosilene, pelo companheirismo durante a realização da pesquisa.

Ao Pós-Doc. Paulo Monroe e às colegas Talita Oliveira e Kyegla Beatriz, pelas contribuições.

Um agradecimento especial à Maria Caroline Aguiar Amaral, por me ajudar em todos os momentos.

À banca examinadora, pela disponibilidade e contribuições nesta pesquisa.

Aos meus amigos: Pedro, Mauricio, Micaela, Lorrane, Luana e Samara, pelo carinho, apoio e amizade.

E a todos que, de algum modo, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO GERAL

SOUSA, F.M. **Saúde do solo em sistemas de produção de café no Nordeste do Brasil.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2023. 74. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)*

O cafeeiro (*Coffea arabica L.* e *Coffea canephora L.*) é uma cultura de grande importância socioeconômica para o Brasil, destacando-se como o maior produtor e exportador mundial. Nesse cenário, há uma busca incessante por tecnologias que melhorem a produção, principalmente, as que solucionem problemas na implantação da cultura. Um dos problemas é a falta de entendimento acerca dos impactos ambientais, principalmente na qualidade do solo do cafeeiro irrigado, necessitando, portanto, de estudos mais aplicados sobre esse tema. Assim, objetiva-se com este estudo avaliar a qualidade do solo em solos cultivados com cafeeiro, sob diferentes sistemas de irrigação e de manejo. As coletas foram realizadas em três propriedades rurais próximas, em áreas de lavouras de café arábica e área de mata nativa. O estudo foi composto por quatro tratamentos (Fragmento de mata nativa; cafeeiro com sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com Trifluralina; cafeeiro com sistema de irrigação por gotejamento superficial; e cafeeiro em sequeiro). As coletas de solo foram feitas em três profundidades (0-10, 10-20, 20-30 cm) e avaliadas as seguintes características: densidade, umidade, fracionamento de classes de agregados, diâmetro médio ponderado, estoque de carbono orgânico, estoque de nitrogênio e relação C/N nas diferentes classes de agregados, mesofauna e macrofauna edáfica, análise de serapilheira como nitrogênio total e relação C/N. De modo geral, o cafeeiro com irrigação superficial apresentou os melhores resultados dos indicadores químicos, enquanto a mata nativa apresentou os melhores resultados para os indicadores físicos; os indicadores biológicos não mostraram diferenças para os índices entre as áreas, porém apresentaram diferentes correlações para os fatores analisados. Conclui-se que as áreas de fragmento de mata nativa proporcionaram melhores indicadores físicos de qualidade do solo, como estabilidade de agregados e diâmetro médio. Os sistemas de cultivo, com uso da irrigação por gotejamento superficial e aplicação de cama de cavalo, proporcionaram melhores indicadores químicos de qualidade do solo, como estoques de C e N e a relação C/N. Os indicadores químicos e físicos da qualidade do solo foram mais expressivos nas camadas superficiais, em todos os sistemas estudados. Os indicadores de qualidade do solo e serapilheira influenciam e são fortemente influenciados por diferentes grupos faunísticos os quais, atuantes como engenheiros ecossistêmicos dos solos (Oligochaeta, Blattodea, Formicidae), influenciaram indicadores físicos e químicos do solo, assim como a serapilheira.

Palavras-chave: carbono orgânico do solo; nitrogênio; fauna edáfica.

*Orientador: Prof. Dr. Cristiano Tagliaferre, UESB

*Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto Garcia, UESB

GENERAL ABSTRACT

SOUSA, F.M. **Soil health in coffee production systems in Northeast Brazil**. Vitória da Conquista – BA, UESB, 2023. 74. (Dissertation: Master Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)*

The coffee plant (*Coffea arabica L.* and *Coffea canephora L.*) is a crop of great socio-economic importance for Brazil, standing out as the world's largest producer and exporter. In this context, there is an incessant search for technologies that improve production, especially those that address issues in the establishment of the crop. One problem is the lack of understanding of environmental impacts, especially on the soil quality of irrigated coffee, requiring more applied studies on this subject. Thus, the objective of this study is to assess soil quality in coffee-cultivated soils under different irrigation and management systems. Samples were collected from three adjacent rural properties, including areas of arabica coffee cultivation and native forest. The study comprised four treatments (Native forest fragment; coffee with subsurface drip irrigation with trifluralin; coffee with surface drip irrigation; Rainfed coffee). Soil samples were collected at three depths (0-10, 10-20, 20-30 cm). Soil characteristics such as density, moisture, aggregate size distribution, weighted mean diameter, organic carbon stock, nitrogen stock, and C/N ratio in different aggregate classes, mesofauna and macrofauna, and litter analysis such as total nitrogen and C/N ratio were evaluated. Overall, coffee with surface irrigation showed the best results for chemical indicators, while the native forest exhibited the best results for physical indicators. Biological indicators showed no differences in indices between areas but exhibited different correlations for the factors analyzed. It is concluded that native forest fragment areas provided better physical soil quality indicators such as aggregate stability and mean diameter. Cultivation systems using surface drip irrigation and horse manure application provided better chemical soil quality indicators such as carbon and nitrogen stocks and the C/N ratio. Chemical and physical soil quality indicators were more pronounced in the surface layers across all studied systems. In coffee-growing areas, litter is predominantly composed of coffee leaves. Soil and litter quality indicators influence and are strongly influenced by different faunal groups, with those acting as soil ecosystem engineers (Oligochaeta, Blattodea, Formicidae) influencing both physical and chemical soil indicators, as well as litter.

Keywords: Soil organic carbon; nitrogen; and soil fauna.

*Advisor: Prof. Dr. Cristiano Tagliaferre, UESB

*Coadvisor: Profa. Dra. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto Garcia, UESB

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1. Valores médios de porcentagem de macroagregados (Macro), microagregados (Micro), fração silte+argila (S+A) em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT).28
- Figura 1.2. Valores médios de porcentagem de macroagregados, microagregados e da fração silte+argila em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm.29
- Figura 1.3. Valores de diâmetro médio ponderado do solo em fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT)30
- Figura 1.4. Estoque de carbono total em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm.31
- Figura 1.5. Estoque de carbono em função das profundidades e da área no estoque de carbono nos macroagregados, microagregados e da fração silte+argila em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm.32
- Figura 1.6. Estoque de nitrogênio no solo na amostra total e na fração silte+argila, em fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm.33
- Figura 1.7. Estoque de nitrogênio em função das áreas estudadas e das profundidades em macroagregados e microagregados do solo em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm.34
- Figura 1.8. Relação C/N na fração silte+argila, em função da profundidade em solos de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm.35
- Figura 1.9. Relação C/N em macroagregados do solo, em solos de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT)36
- Figura 2.1. Peso seco total e das frações folha e outros, relação C/N da serapilheira nas áreas de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), letras maiúsculas representam a fração total, letras minúsculas as frações adjacentes.....56
- Figura 2.2. Resultados dos índices da fauna do solo em associação com propriedades

selecionadas de solo e serapilheira. As setas verdes são as propriedades do solo: umidade solo (US), estoque de carbono do solo (ECS), estoque de nitrogênio do solo (ENS), C/N do solo (RCNS), densidade do solo (DES). As setas roxas representam as propriedades da serapilheira: nitrogênio total da serapilheira (NSP), C/N da serapilheira (RCNSP). As setas vermelhas representam os índices da fauna do solo: Shannon da macrofauna (Shan macro), Shannon da mesofauna (Shan meso), Pielou da macrofauna (Pie macro), Pielou da mesofauna (Pie meso), riqueza da macrofauna (Riq macro), riqueza da mesofauna (Riq meso), abundância da macrofauna (Abu macro), abundância da mesofauna (Abu meso)58

Figura 2.3. Resultados dos grupos da fauna do solo em associação com propriedades selecionadas de solo e serapilheira. As setas verdes são as propriedades do solo rotuladas como: umidade solo (US), estoque de carbono do solo (ECS), estoque de nitrogênio do solo (ENS), C/N do solo (RCNS), densidade do solo (DES). As setas roxas representam as propriedades da serapilheira do solo rotulados como: nitrogênio total da serapilheira (NSP), C/N da serapilheira (RCNSP). As setas vermelhas representam os grupos da fauna do solo.61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise física do solo dos sistemas estudados.	23
Tabela 2. Análise química do solo dos sistemas estudados.	23
Tabela 1. Análise de variância da porcentagem de agregados, relação C/N, estoque de carbono e estoque de nitrogênio, submetidos a diferentes sistemas de irrigação e de manejo em diferentes profundidades.	27
Tabela 1.1. Análise física do solo dos sistemas estudados.	23
Tabela 2.2. Análise química do solo dos sistemas estudados.	23
Tabela 3.1. Características do solo obtidas para as áreas estudadas e usadas na análise de componentes principais (PCA).	26
Tabela 4.1. Índices ecológicos de macrofauna entre diferentes áreas.	58
Tabela 5.2. Índices ecológicos de mesofauna entre diferentes áreas.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abu macro	Abundância da macrofauna
Abu mesa	Abundância da mesofauna
CENT	Lavoura de cafeeiro com sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com uso de trifluralina
CSEQ	Cafeeiro arábica com grevilha em sequeiro
CSUP	Lavoura de cafeeiro com sistema de irrigação por gotejamento superficial
COS	Carbono orgânico do solo
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
C/N	Carbono/nitrogênio
DES	Densidade do solo
Di	Diâmetro médio da fração agregada
DMP	Diâmetro médio ponderado
Ds	Densidade (kg dm^{-3})
ECS	Estoque de carbono do solo
ENS	Estoque de nitrogênio do solo
es	Espessura da camada considerada (cm)
EST. C	Estoque de carbono
EST. N	Estoque de nitrogênio
i	Peso total da amostra
m	Fator de conversão
ma	Massa da amostra (g)
MA	Macroagregados
mi	Proporção do agregado
MI	Microagregados
MN	Fragmento de mata nativa
ms	Massa da amostra seca (g)
mu	Massa da amostra úmida (g)
N	Nitrogênio
NSP	Nitrogênio da serapilheira

Pie macro	Pielou da macrofauna
Pie meso	Pielou da mesofauna
RCNS	Relação C/N do solo
RCNSP	Relação C/N da serapilheira
Riq macro	Riqueza da macrofauna
Riq meso	Riqueza da mesofauna
SAF	Sistemas agroflorestal
Shan macro	Shannon da macrofauna
Shan meso	Shannon da mesofauna
S+A	Tração silte mais argila
TSBF	<i>Tropical Soil Biology and Fertility Method</i>
TFSA	Terra fina seca ao ar
UR	Umidade (%)
US	Umidade do solo
V	Volume do cilindro (cm ³)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
3. ARTIGO I.....	16
3.1 Resumo	18
3.2 Abstract.....	19
3.3 Introdução.....	20
3.4 Materiais e métodos.....	21
3.5 Resultados.....	26
3.6 Discussão	37
3.7 Conclusão	41
3.8 Referências	42
4. ARTIGO II	45
4.1 Resumo	46
4.2 Abstract.....	47
4.3 Introdução.....	48
4.4 Materiais e métodos.....	51
4.5 Resultados.....	56
4.6 Discussão	63
4.7 Conclusão	66
4.8 Referências	67
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor mundial de café, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2023), posicionado à frente de países como Vietnã, Colômbia e Indonésia. Além disso, o país se destaca como maior exportador desse produto, o que ressalta sua grande importância. No Brasil, os estados responsáveis pelas maiores participações na produção, são, em ordem decrescente: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Rondônia (CONAB, 2023).

Segundo a primeira estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), para a safra de café de 2023, a projeção é de uma produção de 54,94 milhões de sacas de café beneficiado. Essa previsão inicial representa um aumento de 7,9% em relação à colheita de 2022, que alcançou um total de 50,9 milhões de sacas.

O cafeeiro, originário de altitudes elevadas, apresenta um porte arbustivo, crescimento de ramos dimórficos, tanto ortotrópicos quanto plagiotrópicos, raiz pivotante, é auto-fértil com uma pequena polinização cruzada, possui folhas de coloração verde e seus frutos são considerados drupas. Para obter uma absorção ideal de nutrientes, bem como promover um desenvolvimento e produção mais eficientes, é crucial que o cafeeiro tenha uma boa disponibilidade de água ao longo de todo o seu ciclo (Matiello et al., 2016).

O processo de preparação do solo e implantação da cultura do café abrange uma variedade de aspectos que demandam análise detalhada. Dado seu caráter perene, uma vez estabelecida, a cultura enfrenta consideráveis desafios na correção. Mínimos detalhes podem impactar a longevidade do cultivo, a qualidade do produto, a produtividade e os custos de produção, resultando diretamente na diminuição da rentabilidade (Parecido, 2020).

O desenvolvimento agrícola e o aumento da produtividade exigem o aprimoramento de técnicas de manejo. Nesse sentido, lavouras de cafeeiros em sequeiro têm migrado para o cultivo de café irrigado, por meio do sistema de gotejamento.

Atualmente, é amplamente reconhecido que um manejo eficiente é fundamental para alcançar uma produção agrícola satisfatória, e a irrigação se destaca

entre as práticas essenciais. Cerca de 18% da área cultivada é atualmente submetida à irrigação, contribuindo significativamente com 44% da produção agrícola global. A irrigação pode ser definida como a aplicação artificial de água, proporcionando ao solo uma umidade adequada para atender às necessidades hídricas das plantas, especialmente em períodos nos quais as chuvas são insuficientes ou irregularmente distribuídas (Guedes et al., 2018).

A qualidade do solo é a sua capacidade em funcionar dentro do ecossistema, visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e impulsionar a saúde da fauna e da biota. Esta qualidade pode ser avaliada pelo uso de indicadores físicos, químicos e biológicos (Rocha, 2021). Este conceito de qualidade do solo foi desenvolvido para poder avaliar a condição de um solo sob um manejo específico (Sarmiento et al., 2018). Normalmente, os produtores utilizam análises químicas para avaliação da qualidade do solo, porém, com a diversificação dos sistemas de cultivos e possibilidade de serviços ambientais e certificação de fazendas, tem crescido o interesse por atributos que avaliem a qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas de cultivos como forma de avaliar as práticas agrícolas (Ribeiro, 2019).

Os indicadores de qualidade de solo têm sido empregados para avaliação dos impactos da atividade agrícola. Eles podem representar a qualidade física, química e biológica do solo e estão diretamente relacionados aos processos do solo (Ribeiro, 2019).

O adequado manejo do solo desempenha um papel crucial na manutenção do equilíbrio ou desequilíbrio de seus atributos, sendo necessário dedicar atenção às práticas já implementadas nos sistemas produtivos, como é o caso da irrigação. A gestão inadequada da irrigação intensifica os riscos associados à degradação física do solo, resultando na redução da macroporosidade, porosidade total e aumento na densidade do solo (Dantas et al., 2012). Assim, objetiva-se com este estudo avaliar a qualidade do solo em solos cultivados com café, sob diferentes sistemas de irrigação e de manejo.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4890-primeiro-levantamento-da-safra-2023-de-cafe-indica-uma-producao-de-54-94-milhoes-de-sacas>.

Dantas J. d'Á. N.; Oliveira T. S.; Mendonça E. S.; Assis C. P. Qualidade do solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi,CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.1, p.18-26, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100003>

Guedes, P. T.; Milane, P. H.; Katz, I. Comparativo do aumento de produtividade do café irrigado para o café de sequeira–plano financeiro para implantação do sistema de irrigação. In: **VII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica**. 2018.

Matiello, J. B., Santinato, R., Garcia, A. W. R., Almeida, S. R., Fernandes, D. R. Cultura de café no Brasil: manual de recomendações. São Paulo: **Futurama Editora**, 2016.

Parecido, R. J. **Nutrição e produtividade da cultura do café arábica afetadas pela forma de aplicação de calcário e gesso na cultura já implantada**. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

Ribeiro, G. M. **Bioindicadores de qualidade de solo sob cultivo do cafeeiro em função da adubação convencional e orgânica**. 2019 Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, SP.

Rocha, A. F. B.; Siquieroli, A. C. S.; Silva, A. D. A.; Carneiro, A. M. D. L.; Vasconcelos, B. N. F.; Gondim, D. D. R. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroecológicos no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e62940, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-62940>

Sarmiento, E.; Fandino, S.; Gomez, L. Indexes of soil quality. **A systematic review. ECOSISTEMAS**, Móstoles, v. 27, n. 3, p. 130-139, 2018. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>.

ARTIGO I

Carbono orgânico em agregados do solo em lavouras de
cafeeiro

***Situação: submetido**

Artigo

Carbono orgânico em agregados do solo em lavouras de cafeeiro

Filipe Moreira Sousa a*, Cristiano Tagliaferre a*
Patrícia Anjos Bittencourt Barreto Garcia a*

Departamento de Engenharia Agrícola e Solos,
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA 45.031-900,
Brasil

*Autor para correspondência:

Filipe Moreira Sousa

Departamento de Engenharia Agrícola e Solos Universidade Estadual do Sudoeste da
Bahia

Vitória da Conquista, BA 45031-900, Brasil

E-mail: filipegcn2@gmail.com

Resumo

A cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L. e *canephora*) desempenha um papel de grande relevância socioeconômica para o Brasil, destacando-se como o principal produtor e exportador global. Diante desse contexto, existe uma contínua busca por tecnologias inovadoras que visem aprimorar a produção, com foco especial na resolução de desafios enfrentados durante a implantação dessa cultura. Uma questão recorrente são os impactos dos manejos usados nas culturas na qualidade do solo. Assim, este estudo visa investigar os efeitos dos diferentes manejos de áreas cultivadas com café irrigado, sobre as características edáficas, relacionadas à qualidade química e física do solo. As coletas de solo foram realizadas em três propriedades rurais próximas, em áreas de lavouras de café arábica e área de mata nativa. O estudo foi composto por quatro tratamentos (Fragmento de mata nativa; Cafeeiro com sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com uso de Trifluralina; Cafeeiro com sistema de irrigação por gotejamento superficial; Cafeeiro em sequeiro). As coletas de solo foram feitas em três profundidades (0-10, 10-20, 20-30 cm). Foram avaliadas as características do solo, como densidade, umidade, fracionamento de classes de agregados, diâmetro médio ponderado, estoque de carbono orgânico, estoque de nitrogênio e relação C/N nas diferentes classes de agregados. De modo geral, o cafeeiro com irrigação por gotejamento superficial apresentou os melhores resultados dos indicadores químicos, enquanto a mata nativa apresentou os melhores resultados para os indicadores físicos. As áreas de fragmento de mata nativa proporcionaram os melhores indicadores de estabilidade de agregados e o diâmetro médio. Os sistemas de cultivo, com uso da irrigação por gotejamento superficial e aplicação de cama de cavalo, proporcionaram maiores estoques de C e N e relação C/N. Os indicadores químicos e físicos da qualidade do solo foram mais expressivos nas camadas superficiais, em todos os sistemas estudados.

Palavras-chave: macroagregados, microagregados, estoque de carbono.

Abstract

The cultivation of coffee plants (*Coffea arabica* L. and *canephora*) plays a crucial socio-economic role in Brazil, standing out as the primary global producer and exporter. Given this context, there is a continuous search for innovative technologies aimed at improving production, with a special focus on resolving challenges faced during the implementation of this crop. A recurring issue is the impact of management practices used in coffee cultivation on soil quality. This study aims to investigate the effects of different management practices in areas cultivated with irrigated coffee on soil characteristics related to the chemical and physical quality of the soil. Samples were collected from three adjacent rural properties, including areas of arabica coffee cultivation and native forest. The study comprised four treatments (Native forest fragment; Coffee with subsurface drip irrigation with trifluralin; Coffee with surface drip irrigation; Rainfed coffee). Soil samples were collected at three depths (0-10, 10-20, 20-30 cm). Soil characteristics such as density, moisture, aggregate size distribution, weighted mean diameter, organic carbon stock, nitrogen stock, and C/N ratio in different aggregate classes were evaluated. Overall, coffee with surface irrigation showed the best results for chemical indicators, while the native forest exhibited the best results for physical indicators. The native forest fragment areas provided the best indicators of aggregate stability and average diameter. Cultivation systems, using surface drip irrigation and horse manure application, provided higher stocks of C and N and C/N ratio. Chemical and physical indicators of soil quality were more pronounced in the surface layers in all studied systems.

Keywords: Macroaggregates, microaggregates, carbon stock.

Introdução

O cafeeiro (*Coffea arábica L. e canephora*) é uma cultura de elevada relevância socioeconômica para o Brasil, principal produtor mundial de café (CONAB, 2023) e maior exportador global. O país lidera a produção de café, superando nações como Vietnã, Colômbia e Indonésia. De acordo com a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), em sua primeira estimativa para a safra de café em 2023, projetou-se uma produção de 54,94 milhões de sacas de café beneficiado. Essa previsão inicial indica uma produção 7,9% superior à colhida em 2022, que totalizou 50,9 milhões de sacas. Os estados brasileiros que exibem a maior participação na produção de cafés são, respectivamente, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Rondônia (Embrapa, 2023).

O desenvolvimento agrícola e o aumento da produtividade exigem o aprimoramento de técnicas de manejo. Nesse sentido, lavouras de cafeeiros em sequeiro têm migrado para o cultivo de café irrigado, por meio do sistema de gotejamento.

O manejo eficiente dos recursos hídricos desempenha um papel crucial na sustentabilidade agrícola, influenciando diretamente a qualidade do solo e, por conseguinte, a produtividade das culturas. Em meio aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda global por alimentos, a otimização do manejo de irrigação emerge como uma estratégia essencial para maximizar a eficiência no uso da água e promover condições ideais para o desenvolvimento das plantas. Aprimorar a eficiência na utilização da água de irrigação na produção de café é, portanto, um imperativo para estabelecer a sustentabilidade dessa atividade agrícola (Ho et al., 2022).

O sistema de gotejamento requer precaução durante os tratos culturais, a fim de evitar danos aos tubos gotejadores, como, por exemplo, a capina manual realizada durante a fase inicial da cultura (Lima, 2011), que pode danificar o sistema de irrigação. Isso leva à implementação do gotejamento enterrado, conhecido como sistema subsuperficial.

A técnica de irrigação por gotejamento subsuperficial é aplicada em uma variedade de culturas, como cana-de-açúcar, algodão, melão, batata e culturas folhosas.

Este tipo de sistema de irrigação tem aumentado tanto a produtividade quanto a qualidade dos cultivos, ao mesmo tempo em que reduz os custos de produção. Ademais, destaca-se por sua notável capacidade de adaptação a uma ampla diversidade de condições climáticas e tipos de solo, conforme observado por Gomes (2019); além de reduzir as perdas decorrentes de fenômenos, como evaporação, escoamento superficial e percolação profunda, desde que seja manejado adequadamente (Vignatti et al., 2018).

No entanto, é imperativo adotar medidas de proteção contra obstruções externas no tubo gotejador, tais como o crescimento de raízes em direção ao orifício ou a formação de vácuo durante a drenagem do sistema, o que poderia resultar na sucção de partículas do solo. Uma estratégia adotada para prevenir complicações decorrentes da intrusão radicular consiste na aplicação do herbicida Trifluralina, reconhecido por sua eficácia no controle de gramíneas e dicotiledôneas, amplamente empregado no manejo de plantas daninhas. Contudo, são inexistentes as informações disponíveis das implicações resultantes do uso deste herbicida, especialmente no que tange à qualidade do solo.

Diante desse cenário, levantamos a hipótese de que diferentes estratégias de manejo terão impactos significativos na qualidade do solo em cultivos de cafeeiros. A otimização da disponibilidade hídrica, quando realizada de maneira criteriosa, não apenas influenciará a produtividade, mas também provocará alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Desse modo, este estudo visou investigar os efeitos dos diferentes manejos de áreas cultivadas com café, sobre as características edáficas relacionadas à saúde do solo.

Material e métodos

Descrição da área de estudo

As áreas cultivadas com café arábica (*Coffea arabica*), que compuseram este estudo, foram compostas por três propriedades rurais, submetidas a diferentes sistemas de manejo, e um fragmento de mata nativa, utilizado como sistema de

referência. Os tratamentos foram localizados próximos ao povoado do Capinal, município de Vitória da Conquista-BA, sob as coordenadas geográficas de 14°58'15'' de latitude Sul e 40°45'06'' de longitude Oeste, com altitude média de 843 m. O clima da região é classificado como tropical de altitude, de acordo com a classificação de Köppen. A estação chuvosa na região compreende os meses de novembro a abril, o total pluviométrico anual é de cerca de 711 mm e as médias térmicas mostram máximas de 25,7 °C e mínimas de 17 °C, com média anual de 21,3 °C. A classe dos solos estudados é latossolo vermelho amarelo.

Foram consideradas três áreas de cultivo de café com diferentes manejos, a saber:

1 - Sistema agroflorestal (SAF) de café arábica com grelha em sequeiro, quando não há manutenção do SAF, com espaçamento de 3,70 x 0,5 m, implantado há 12 anos, anteriormente cultivado com café em monocultivo há 36 anos sem irrigação (CSEQ);

2 - Lavoura de café com sistema de irrigação por gotejamento superficial com adubação orgânica com cama de cavalo (proveniente do haras da propriedade), com espaçamento de 3,80 x 0,7 m, implantado há 12 anos, anteriormente cultivado com café há 30 anos (CGS);

3 - Lavoura de café com sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com uso de Trifluralina, com espaçamento de 3,70 x 0,5m, implantado há 16 anos, anteriormente cultivado com café há 30 anos (CGE);

4 - Fragmento de mata nativa do tipo mata de cipó, situada próxima às propriedades (MN).

Nos sistemas de cultivo, foram estabelecidos quatro talhões (30 x 30 m), na parte central de cada sistema, separados por 30 m entre si. Em cada talhão, foram determinados quatro pontos de coleta. Uma amostra composta de solo de cada área foi encaminhada para análise física (Tabela 1) e química (Tabela 2) de rotina, na profundidade 0-20 cm.

Tabela 1. Análise física do solo dos sistemas estudados

Identificação	Frações das amostras totais %			Comp. Granulométrica (g/Kg de TFSA)				Classe textural
	200-20 mm	20-2 mm	<2 mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm	
CSEQ	0	0	100	310	110	70	510	Argila
CGS	0	0	100	490	70	10	430	Argila arenosa
CGE	0	0	100	355	135	10	500	Argila arenosa
MN	0	0	100	380	85	35	500	Argila arenosa

Tabela 2. Análise química do solo dos sistemas estudados

Identificação	pH	mg/dm	cmol _c /dm ³ de solo								
			(H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	S.B.
CSEQ	4,9	3	0,08	5,2	1,8	0,2	7,0	-	7,1	7,3	15,1
CGS	5,3	2	0,06	4,2	2,0	0,2	4,2	-	6,3	6,5	10,8
CGE	5,0	2	0,2	1,8	1,4	0,5	4,2	-	3,5	4,0	8,2
MN	4,4	1	0,1	1,0	0,5	0,9	7,0	-	1,8	3,4	10,4

	%			g/dm
	V	m	PST	M.O.
CSEQ	47	3	-	42
CGS	58	3	-	22
CGE	43	13	-	26
MN	15	53	-	45

Em cada ponto, também foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo, em três profundidades (0-10, 10-20, 20-30 cm), para análise de carbono orgânico, nitrogênio total e densidade do solo. As amostras deformadas de solo foram secas ao ar, homogêneas e tamisadas em peneirade 2 mm de malha para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). Uma amostracomposta de solo de cada área foi encaminhada para análise química e física de rotina, na profundidade 0-20 cm.

Densidade do solo

A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico. Foram coletadas amostras indeformadas, com o uso de cilindro metálico de volume conhecido, em seguida, as amostras foram pesadas e levadas para a estufa a 105 °C até peso constante, sendo pesadas novamente para obtenção da massa seca das amostras. A densidade foi calculada por meio da Equação 1:

$$D_s = \frac{m_a}{V}$$

Em que D_s : densidade do solo, em kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3}); m_a : massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g; V : volume do cilindro, em cm^3 .

Fracionamento em classes de agregados

O fracionamento em classes de agregados foi realizado no solo das três profundidades estudadas. Amostras de 100 g de solo (TFSA) foram passadas em peneira de 2.000 μm e, posteriormente, colocadas em um Becker de 500 mL contendo água destilada, por cinco minutos. Após repouso, a amostra foi tamisada em peneira de 250 μm , em movimentos repetitivos, por quatro minutos. A fração restante no topo da peneira de 250 μm foi coletada e denominada macroagregados (>250 μm). Em seguida, a fração restante foi tamisada em peneira de 53 μm , repetindo o mesmo processo de agitação. A fração restante na peneira de 53 μm foi coletada e denominada microagregados (250-53 μm) e a fração remanescente foi coletada e denominada fração silte+argila (<53 μm). Todas as frações foram colocadas em estufa, com circulação de ar forçado a 60°C, por 72 horas; e após esse período, foi calculada a porcentagem do peso de cada fração. A eficiência do fracionamento dos agregados foi avaliada pela somadas massas das três classes, em função da massa inicial das amostras de solo (Monroe et al., 2016; Gama-Rodrigue et al., 2010).

Diâmetro médio ponderado

O diâmetro médio ponderado dos agregados foi determinado empregando-se a equação abaixo e utilizado para indicar estabilidade da fração agregada, por meio da equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} \cdot \bar{D}_i$$

Em que: DMP - diâmetro médio ponderado; D_i – diâmetro médio da fração agregada (mm); m_i - proporção do agregado (%); i - peso total da amostra (g); m - fator de conversão =

100.Carbono Orgânico do

Solo

O carbono orgânico (COS) do solo foi determinado nas profundidades estudadas nas classes de agregados, por oxidação úmida, com dicromato de potássio, com calor externo e titulação com sulfato de ferro e amônio, segundo método modificado de Yeomans e Bremner (1988). Os estoques de COS, em cada camada e cada classe de agregados, foram determinados multiplicando-se o carbono orgânico total da amostra pela densidade do solo e a espessura da camada. O cálculo do estoque COS de cada camada e cada classe de agregados foi feito a partir da equação.

$$\text{estoque de COS} = \text{COS} \cdot Ds \cdot es$$

Em que: estoque de COS: estoque total de carbono orgânico em determinada profundidade e classe de agregados (Mg ha^{-1}); COS: teor de carbono orgânico do solo na profundidade amostrada e na classe de agregados (g kg^{-1}); Ds : densidade do solo na profundidade amostrada (g cm^{-3}); e es : espessura da camada considerada (cm).

Nitrogênio Total no Solo

O N total do solo foi determinado pelo método Kjeldahl, com adaptações. Os estoques de N total do solo em cada camada e cada classe de agregados foram

determinados multiplicando-se o N total do solo da amostra pela densidade do solo (método dos anéis volumétricos) e a espessura da camada. O cálculo do estoque N de cada camada amostrada e cada classe de agregados foi calculado a partir da equação.

$$\text{estoque de N} = N \text{ total} \cdot Ds \cdot es$$

Relação C/N

O cálculo da relação C/N de cada camada amostrada e cada classe de agregados foi calculado pela relação entre COS pelo N total.

Análise estatística

Os dados foram analisados quanto à homogeneidade, pelo teste de Cochran; e normalidade, pelo teste de Lilliefors; e submetidos à ANOVA. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 4 x 3 (quatro sistemas x três profundidades) com quatro repetições. As comparações das médias dos tratamentos foram realizadas pelo Teste de LSD de Fisher (*Least Significant Difference*) a 5% de significância. Os valores de estoque de nitrogênio da fração silte+argila foram transformados utilizando-se o XLSTAT® pelo método BOX-COX lambda 0.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos programas STATSOFT Software Statística® v.10.0 (STATSOFT, 1974 - 2009), XLSTAT® software Version 19.2.2 (ADDINSOFT, 2019) e os gráficos foram construídos com o software SIGMAPLOT® v.11.0 (SYSTAT, 2010) (*Systat Software inc.*).

Resultados

A análise de variância, a 5% de probabilidade para as variáveis estudadas, está apresentada na Tabela 3, na qual é possível observar que houve efeito da interação dos tratamentos em pelo menos uma das classes de agregados e para todas as variáveis analisadas. Efeitos isolados dos tratamentos ocorreram para agregados, estoque de carbono e estoque de nitrogênio.

Tabela 3 – Análise de variância da porcentagem de agregados, relação C/N, estoque de carbono e estoque de nitrogênio, submetidos a diferentes sistemas de irrigação e de manejo em diferentes profundidades

TRATAMENTO	GL	AGREGADOS (%)				C/N (g kg ⁻¹)			
		MA	MI	S+A	TOTAL	MA	MI	S+A	TOTAL
SISTEMAS	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,36	0,05	0,09	
PROFUNDIDAD									
E	2	0,01	0,08	0,18	0,19	0,82	0,15	0,18	
Sistemas * PROF	6	0,01	0,10	0,01	0,95	0,41	0,01	0,44	
ERRO	36								
TOTAL	47								
		EST. C (mg ha ⁻¹)				EST. N (mg ha ⁻¹)			
		MA	MI	S+A	TOTAL	MA	MI	S+A	TOTAL
SISTEMAS	3	0,01	0,07	0,14	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PROFUNDIDAD									
E	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
* PROF	6	0,80	0,14	0,18	0,01	0,46	0,16	0,01	0,01
ERRO	36								
TOTAL	47								

Estoque de Carbono (EST. C); Estoque de Nitrogênio (EST. N); Relação C/N (C/N); Macroagregados (MA); Microagregados (MI); Fração Silte+Argila (S+A); Amostra Total (TOTAL). Resultados em negrito apresentaram diferença significativa. Teste Fisher a 5% de probabilidade.

Na Figura 1, estão apresentados os valores médios de porcentagem de macroagregados, microagregados, fração silte+argila em solos de fragmento de mata nativa, cafeeiro em sequeiro, cafeeiro com irrigação superficial, cafeeiro com irrigação enterrada.

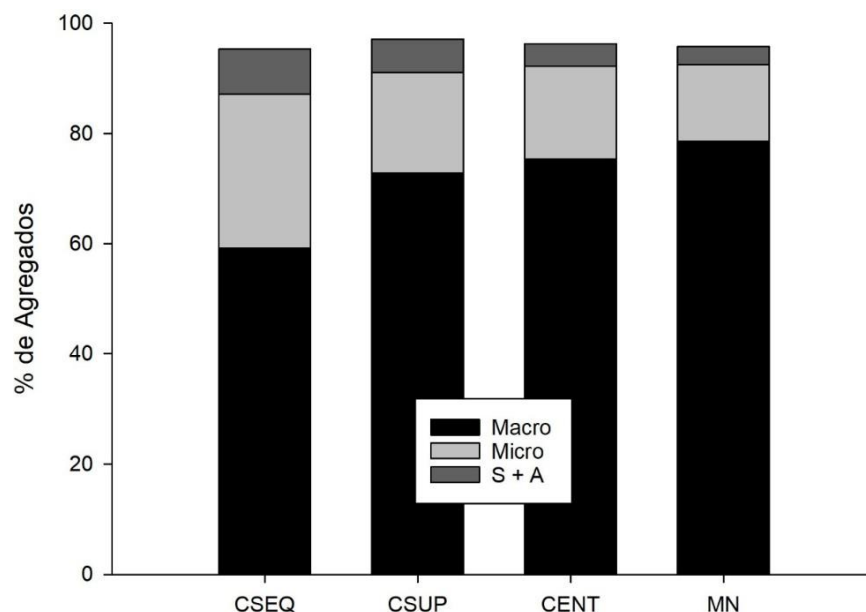
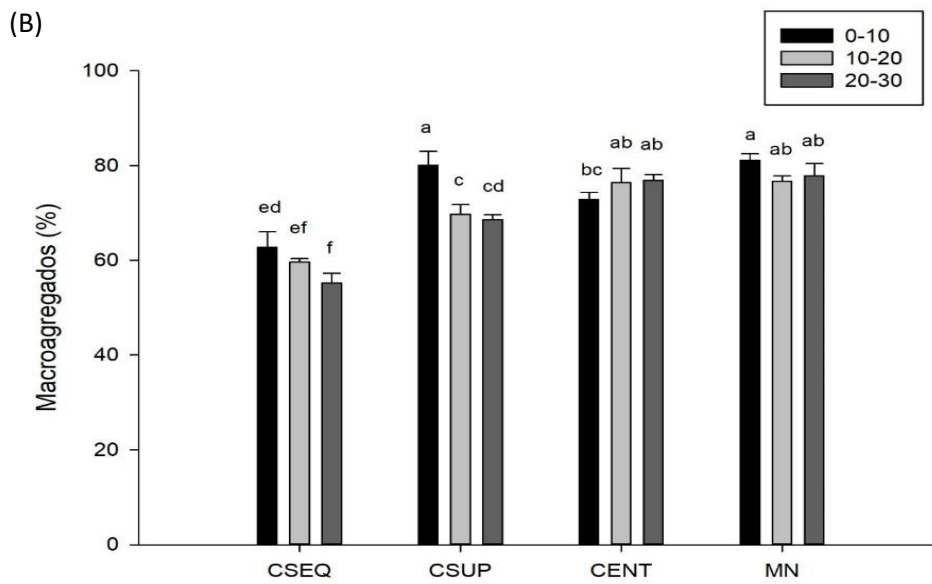
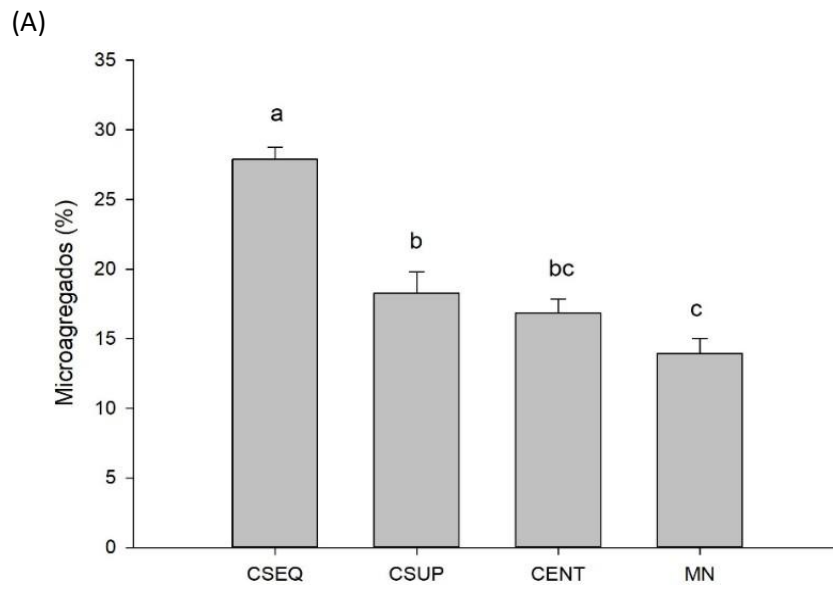


Figura 1. Valores médios de porcentagem de macroagregados (Macro), microagregados (Micro), fração silte+argila (S+A) em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT).

A porcentagem de microagregados apresentou diferença significativa apenas entre as áreas com o maior valor no CSEQ, seguido do CSUP e CENT; e os menores valores na MN, tendo tendência inversa à porcentagem de macroagregados (Figura 2A).

A porcentagem de macroagregados foi de 81,105% na MN e de 80,07% no CSUP, na profundidade de 0-10 cm, em que a MN apontou os maiores valores de macroagregados em todas as profundidades avaliadas. O CSEQ apresentou os menores valores, principalmente na profundidade de 20-30 cm (55,24%), diferenciando-se das demais áreas (Figura 2B).

Para a proporção da fração de silte+argila, constatou-se uma interação significativa entre as áreas estudadas e as profundidades do solo. Essa interação evidenciou uma tendência inversa em relação à proporção de macroagregados. A maior proporção da fração silte+argila ocorreu no CSEQ, na profundidade de 20-30 cm (2,255%), ao passo que as proporções mais baixas foram registradas na MN, sobretudo na profundidade de 0-10 cm (0,99%) (Figura 2C).



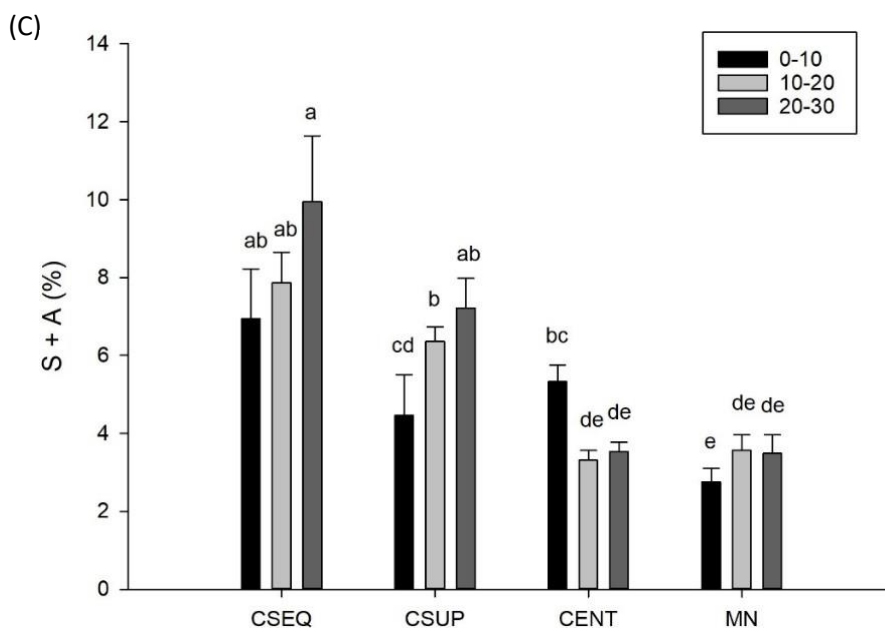


Figura 2. Valores médios de porcentagem de macroagregados, microagregados e da fração silte+argila em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

Os resultados concernentes ao diâmetro médio ponderado evidenciaram um impacto estatisticamente significativo na interação entre as áreas e as profundidades analisadas. De maneira notável, foram identificados valores superiores tanto no CSUP quanto na MN, particularmente na profundidade de 0-10 cm (0,92 e 0,93 mm, respectivamente). Em contrapartida, os valores mais reduzidos foram registrados no CSEQ (Figura 3).

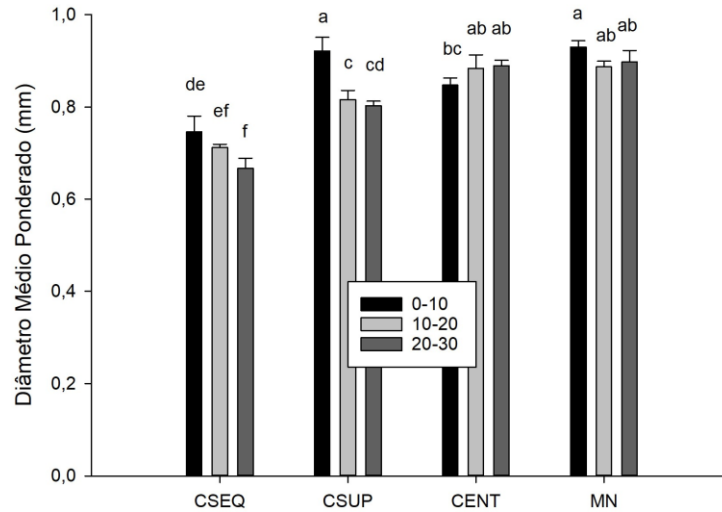


Figura 3. Valores diâmetro médio ponderado do solo em fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

O estoque de carbono total apresentou efeito significativo na interação das áreas com as profundidades, com os maiores valores no sistema CSUP, na profundidade de 0-10 cm ($52,36 \text{ Mg ha}^{-1}$), enquanto os menores valores foram observados na MN, em todas as profundidades estudadas (0-10 = $25,85$, 10-20 = $24,37$ e 20-30 = $25,30 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 4). Comparando-se o sistema de gotejamento enterrado com o superficial, constata-se que o estoque de carbono total foi inferior na área de gotejamento subsuperficial em todas as profundidades avaliadas, sendo superior apenas na MN.

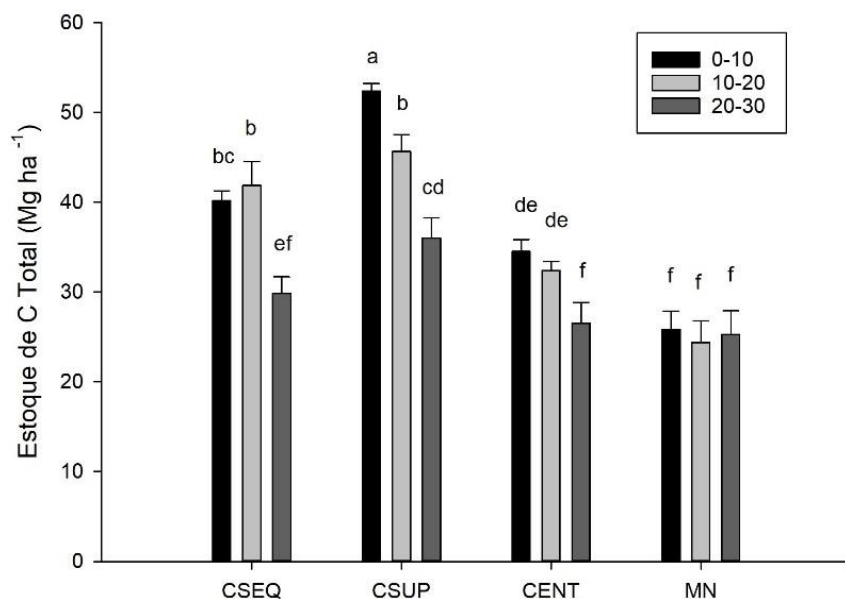


Figura 4. Estoque de carbono total em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

Para o estoque de carbono nos macroagregados do solo, houve diferença para profundidades e para as áreas, independentemente, com os maiores estoques nas profundidades de 0-10 cm ($47,09 \text{ Mg ha}^{-1}$) e menores nas profundidades de 20-30 cm ($35,05 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 5A). Em relação às áreas, no sistema CSUP, foram observados os maiores valores ($53,54 \text{ Mg ha}^{-1}$) em comparação às demais (Figura 5B). Para microagregados do solo e fração silte+argila, houve diferença apenas nas áreas estudadas, no qual o sistema CSUP ($38,48$ e $62,73 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente) apresentou os maiores estoques de carbono (Figura 5CD).

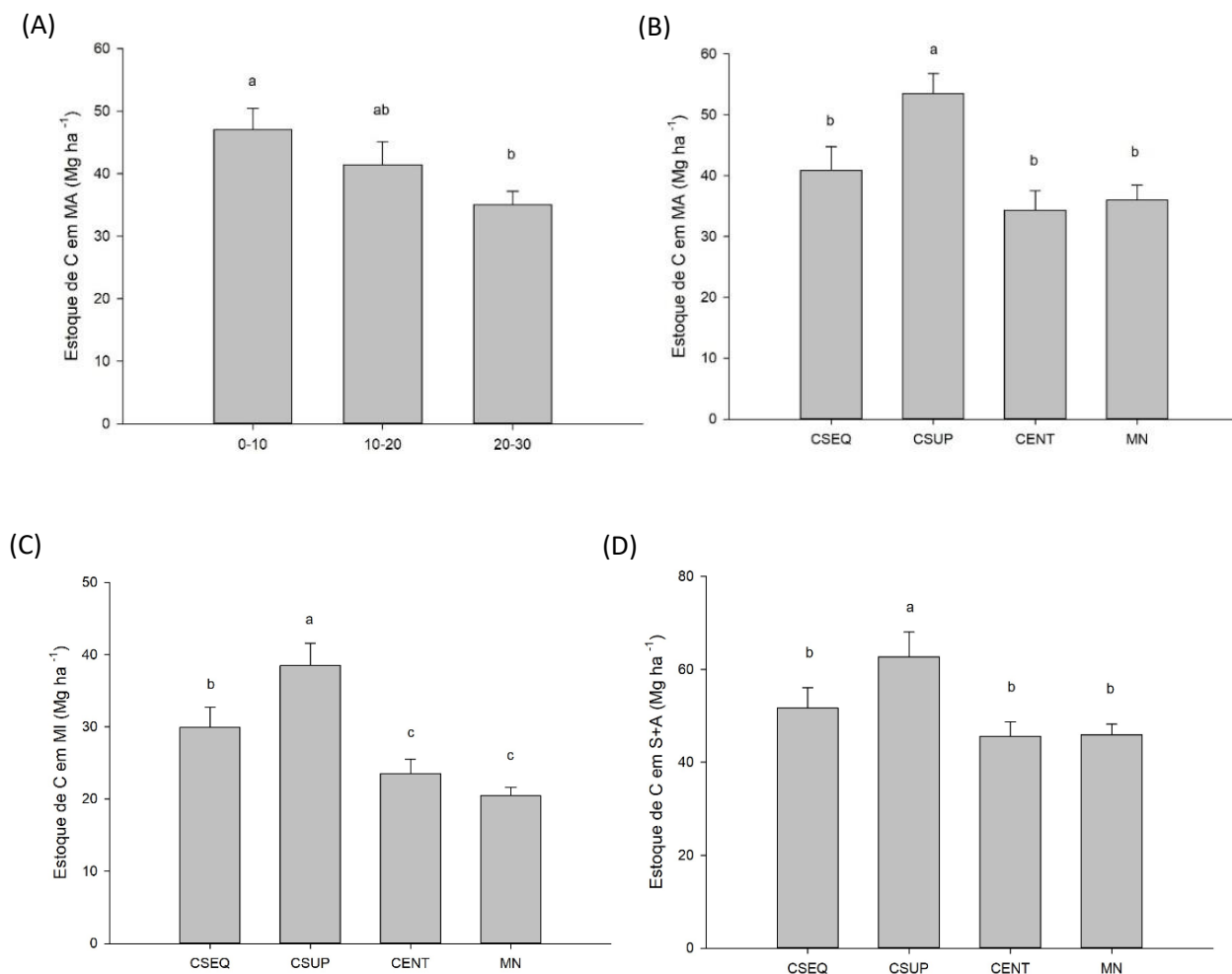


Figura 5. Estoque de carbono em função das profundidades e da área no estoque de carbono nos macroagregados, microagregados e da fração silte+argila em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

Para o estoque de nitrogênio total, houve efeito significativo na interação entre as áreas e as profundidades analisadas. Notavelmente, foram observados valores mais elevados no sistema CSEQ, na profundidade 0-10 cm ($39,68 \text{ Mg ha}^{-1}$). Em contrapartida, os menores valores foram registrados na MN, na profundidade de 10-20 cm ($12,51 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 6A).

Para o nitrogênio da fração silte+argila, foi observado efeito significativo na interação entre as áreas e as profundidades analisadas, cujos os valores mais elevados foram verificados no sistema CSUP, na profundidade de 0-10 cm ($60,32 \text{ Mg ha}^{-1}$); e no CSEQ, na profundidade 10-20 ($55,17 \text{ Mg ha}^{-1}$). Nas demais

áreas e profundidades, o comportamento foi semelhante (Figura 6B). Em todas as áreas, houve predominância dos maiores valores, ocorrendo nas profundidades mais superficiais, com uma exceção na área CENT, em que a profundidade de 20-30 cm foi maior do que a 10-20 cm.

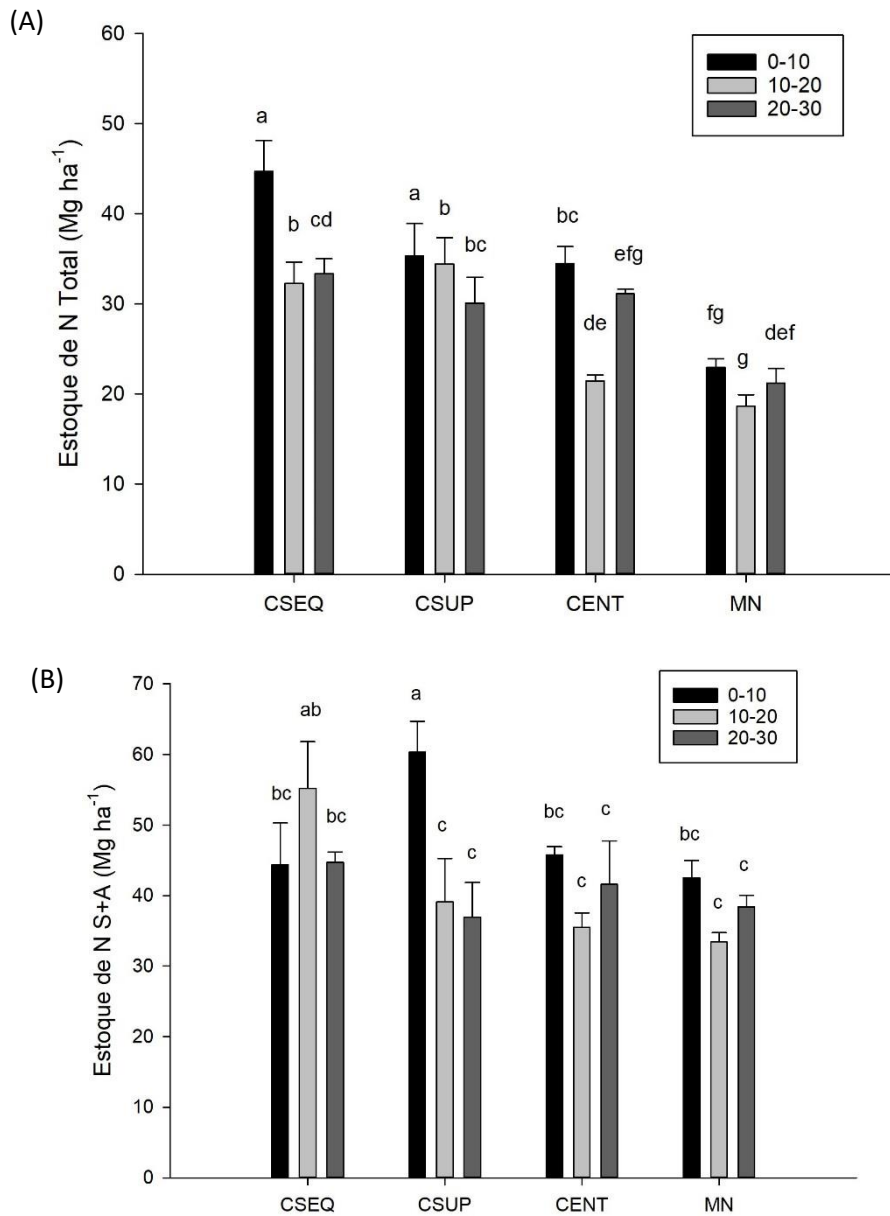


Figura 6. Estoque de nitrogênio no solo na amostra total e na fração silte+argila, em fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

Para o estoque de nitrogênio nos macros e microagregados, houve diferença para as profundidades e para as áreas isoladamente. Os maiores valores foram verificados no

sistema CSEQ (33,77 Mg ha⁻¹), na profundidade 0-10 cm (34,37 Mg ha⁻¹), enquanto os menores valores foram verificados na MN (20,94 Mg ha⁻¹), na profundidade de 10-20 cm (26,70 Mg ha⁻¹) (Figura 7AB).

Nos microagregados, os valores mais elevados de nitrogênio foram registrados nos sistemas CSEQ e CSUP (26,96 e 26,36 Mg ha⁻¹, respectivamente) e na profundidade 0-10 cm (25,01 Mg ha⁻¹), enquanto os valores mais baixos foram identificados na MN (15,30 Mg ha⁻¹) e nas profundidades 10-20 e 20-30 cm (20,44 e 20,16 Mg ha⁻¹, respectivamente) 36(Figura 7CD). O gotejamento enterrado foi igual ao da mata nativa.

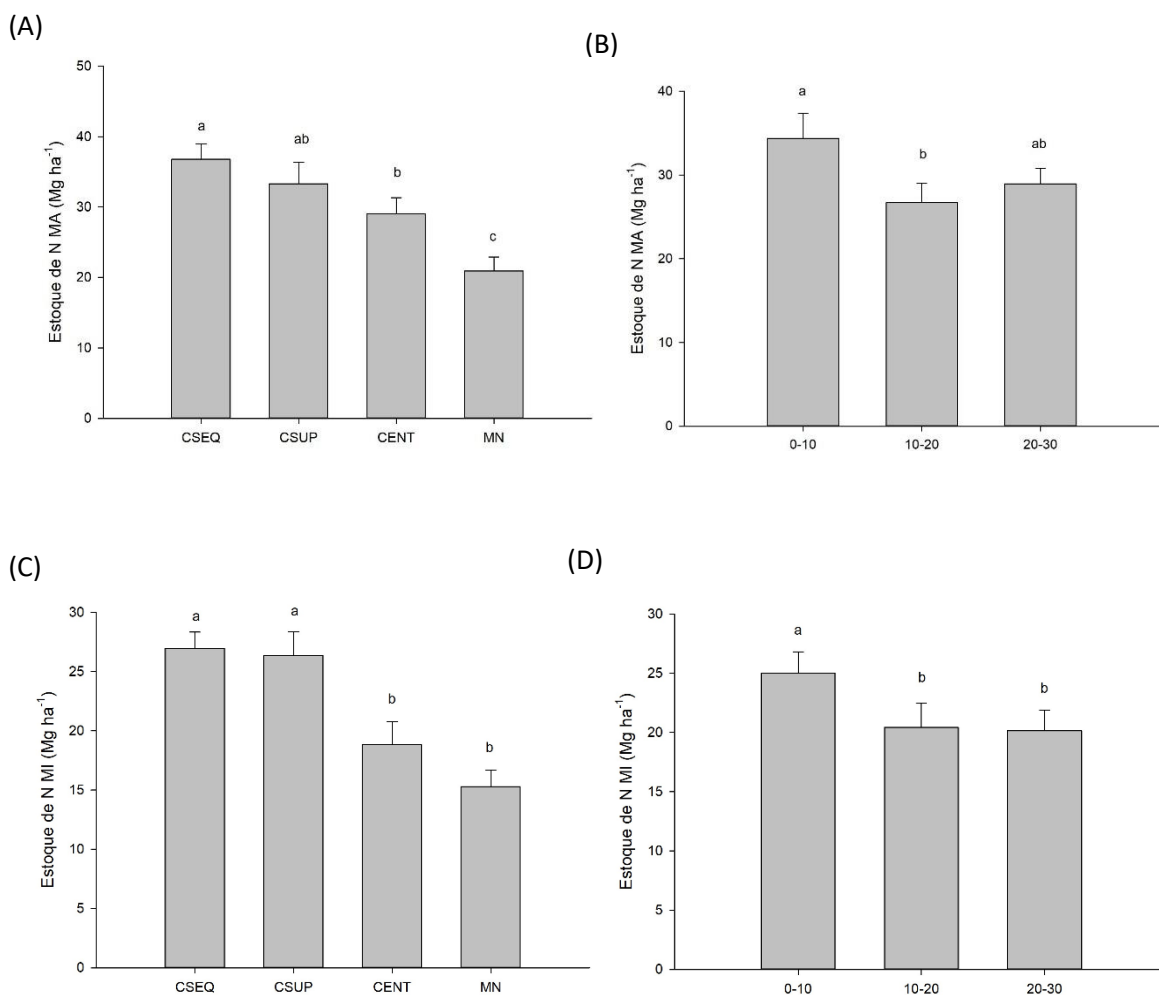


Figura 7. Estoque de nitrogênio em função das áreas estudadas e das profundidades em macroagregados e microagregados do solo em solos de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

A relação C/N foi afetada pelos fatores estudados apenas para a fração de silte+argila (Figura 8), cujos os valores mais elevados foram observados no sistema CSUP, na profundidade de 10-20 cm (18,14). As outras áreas apresentaram comportamentos semelhantes.

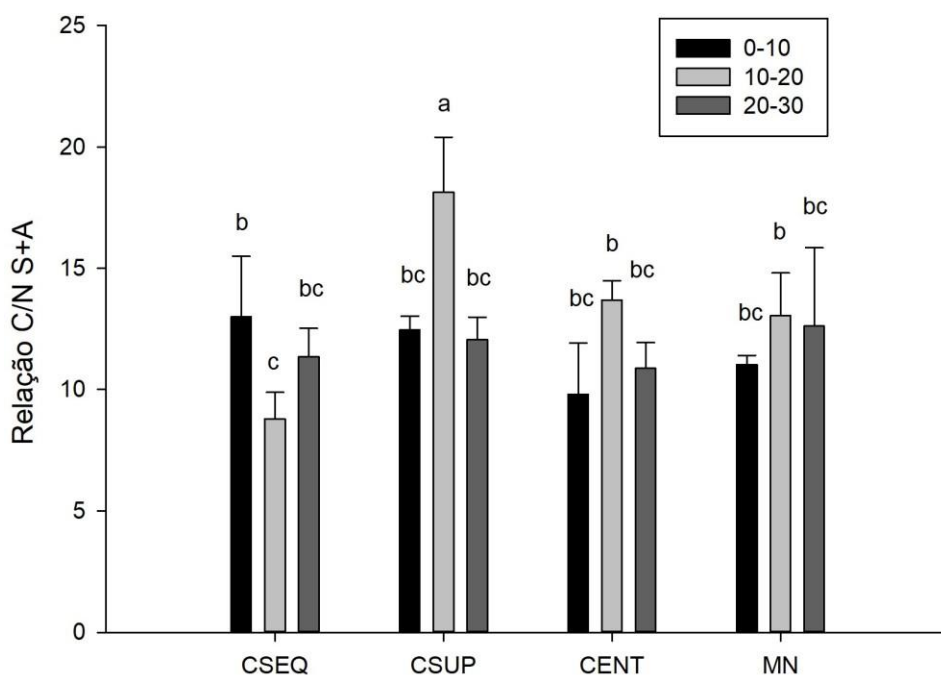


Figura 8. Relação C/N na fração silte+argila, em função da profundidade em solos de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

Em relação aos macroagregados, os valores mais expressivos da relação C/N foram identificados na área MN (2,87) e no sistema CSUP (2,8) (Figura 9), enquanto as áreas CSEQ e CENT não se diferenciaram.

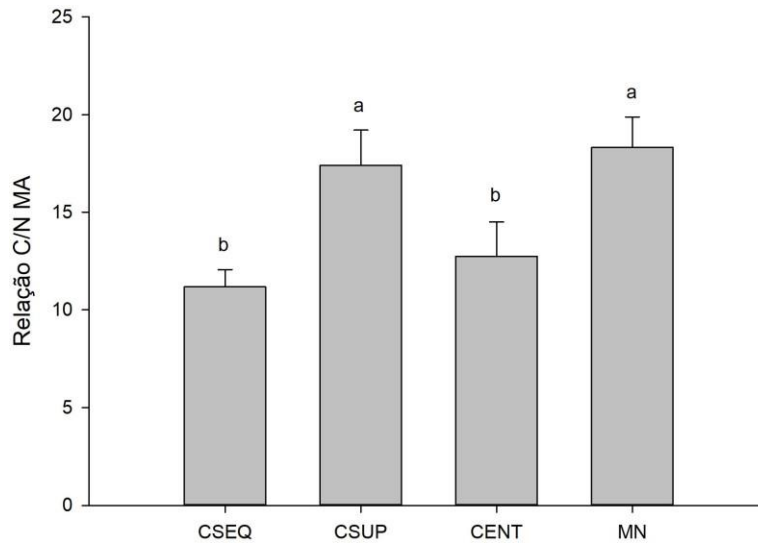


Figura 9. Relação C/N em macroagregados do solo, em solos de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

Discussão

Os elevados percentuais de macroagregados identificados na Mata Nativa (MN), comparados às frações microagregados e silte+argila, podem ser atribuídos à ausência de práticas agrícolas nessa área. A utilização dessas práticas é uma das principais causas da desestruturação dos macroagregados. Além disso, a MN, por ser uma floresta fechada, beneficia-se da redução direta do impacto das gotas de chuva no solo. Enquanto no CSUP, esse maior percentual foi devido à deposição regular de matéria orgânica, pela adubação da cama de cavalo. Além da irrigação, que apresenta um papel importante como agente ligante na formação de poros e no processo de umedecimento e secagem do solo, uma vez que esse processo une as partículas menores presentes no solo, deixando-as mais coesas, gerando maior dificuldade para separá-las (PIRES & BACCHI, 2010), colaborando para formação de macroagregados.

As maiores porcentagens de macroagregados foram observadas na camada de 0-10 cm de solo, sendo semelhante ao observado por Campos et al. (2016), em trabalho com diferentes culturas agrícolas, que se deve principalmente à elevada deposição de substratos orgânicos nessa profundidade. A matéria orgânica, proveniente de resíduos de plantas e microrganismos, têm a capacidade de se incorporar nas camadas superficiais do solo,

desempenhando um papel significativo na formação dos macroagregados. Existe uma interação complexa entre a decomposição de materiais orgânicos e a formação de agregados do solo (Wang et al., 2019). Quanto à porcentagem de microagregados, os maiores valores foram observados no sistema CSEQ; e os menores na MN, semelhante que ocorre na fração silte+argila.

Por outro lado, a variação percentual da fração silte+argila segue uma tendência oposta. Na camada de 0-10 cm da Mata Nativa (MN), observou-se o menor percentual, enquanto no sistema CSEQ a 20-30 cm de profundidade, identificou-se o valor mais elevado. Isso ocorre devido ao rompimento dos macroagregados, uma vez que tanto a formação dos microagregados quanto a presença da fração silte+argila são influenciadas por esse processo. Os agregados do solo são formados a partir da reunião de partículas minerais (areia, silte e argila) e matéria orgânica, que possuem ação cimentante (Santos, 2019). Maia (2006) observou diminuição significativa da fração silte+argila, atribuída primeiramente ao não-revolvimento do solo e, posteriormente, ao aumento da cobertura do solo promovida pela vegetação.

O maior valor do DMP foi observado no CSUP e na MN, devido à deposição de adubos orgânicos, pois a cama de cavalo melhora a estrutura do solo, aumentando a formação de agregados e influenciando o DMP. Já para a MN, em comparação com as outras áreas agricultáveis, podem ser justificadas pelo baixo revolvimento do solo que impede o fracionamento dos agregados de maior tamanho. Resultados semelhantes foram observados por Coutinho (2017) e Bochner (2007).

Os altos valores de estoque de carbono no CSUP, principalmente na profundidade de 0-10 cm, podem ser atribuídos à aplicação de água por meio de irrigação superficial, juntamente com a aplicação de cama de cavalo como adubo orgânico; a junção desses dois fatores favorece a decomposição da matéria orgânica. Além disso, a aplicação da água na camada superficial favorece a distribuição de nutrientes e nos ciclos de umedecimento e secagem do solo, o que favorece a mineralização do C e N (Melo, 2003), contribuindo com o estoque de carbono por meio do desenvolvimento da vegetação, nesse caso, da cultura do café

O incremento de carbono está relacionado às frações aportadas de matéria orgânica, principalmente a matéria orgânica particulada, que está relacionada a material recentemente adicionado ao solo (Rossi et al., 2012; Silva et al., 2015).

Os menores valores de estoque de carbono na MN são diferentes do esperado, e pode ser atribuído às espécies presentes e pela atividade microbiana, características de matas nativas. Essa rápida decomposição pode resultar em uma liberação acelerada de carbono para a atmosfera, conferindo menos estoques comparados aos outros sistemas estudados. Os valores superiores nas áreas com culturas perenes são justificados pelo grande aporte de resíduo proveniente da própria cultura, que é depositado ao solo e que, com o passar do tempo, parte desses resíduos é decomposto e parte é incorporado à matéria orgânica do solo (Carvalho et al., 2010).

Além disso, o carbono da MN pode ser explicado também pela maior porcentagem de macroagregados, que deixa o carbono ocluso ou protegido, conferindo maior estabilidade e menor taxa de decomposição. Isso prejudica outros fatores que favorecem os ciclos do carbono. Também reduz a disponibilidade desse nutriente, já que muitos ficam retidos dentro dos agregados que, conseqüentemente, reduz o desenvolvimento vegetal e da microbiota do solo. Entretanto, todos os outros manejos estudados utilizam da aplicação de nutrientes, principalmente o CSUP, com a adubação orgânica.

O estoque de carbono nos agregados do solo fracionado foi semelhante à amostra total nas diferentes áreas. No CSUP, observou-se os valores mais elevados de estoque de carbono nos macroagregados, com maiores concentrações na profundidade de 0-10 cm e menores valores a 20-30 cm. Essa distribuição está relacionada à maior deposição de substratos orgânicos nessa camada e à concentração dos nutrientes aplicados (Rossi et al., 2012; Silva et al., 2015). Uma distinção entre as amostras totais pode ser notada na fração silte+argila, na qual a MN não apresenta diferenças significativas em relação ao CSEQ e ao CENT. Isso se deve à maior disponibilidade desse carbono à decomposição. Essa diferenciação destaca a influência da distribuição de carbono na estabilidade das frações do solo e a importância da análise detalhada das diferentes frações para compreender as dinâmicas do carbono no solo.

Os valores de estoque de N, na fração total de agregados, foram superiores nas áreas CSEQ e CSUP, na profundidade de 0-10 cm, que podem ser atribuídos principalmente pela adubação nitrogenada, que é frequentemente usada na cultura a longo prazo, e a adição de adubos orgânicos normalmente aumenta o estoque de C e N do solo (Ladha et al., 2011; Liu et al., 2013). A adubação nitrogenada é de extrema importância para o cultivo do cafeeiro, devido ao papel crucial que o nitrogênio desempenha no crescimento, desenvolvimento e na qualidade da planta, além da mineralização do nitrogênio que ocorre de forma natural, principalmente na camada superficial. Segundo Alves et al. (2005), as raízes abaixo da camada superficial podem recuperar parte do N, não significando propriamente perdas, mas uma redução do estoque.

No CENT, a adubação nitrogenada é realizada em profundidade, devido ao uso da fertirrigação. Além disso, é aplicada a Trifluralina, um herbicida que tem o efeito significativo de reduzir drasticamente a decomposição da matéria orgânica, já que impede o desenvolvimento de outras plantas. Em contrapartida, na Mata Nativa (MN), não há a prática de adubação nitrogenada, e o acúmulo de nitrogênio depende, principalmente, dos processos naturais de nitrificação, desnitrificação e mineralização. Esses processos são cruciais no ciclo do nitrogênio e sua ocorrência natural na MN pode contribuir para o menor valor de estoque de nitrogênio em comparação com as áreas agrícolas. O teor de nitrogênio, nos macroagregados e microagregados do solo, foi semelhante ao obtido na amostra total.

No que diz respeito à fração silte+argila, os valores mais elevados foram observados nas profundidades de 0-10 cm, o que pode ser conferido pela característica dessa fração, que possui uma considerável área superficial e carga elétrica negativa. Tais atributos contribuem significativamente para a ampliação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo (Alleoni et al., 2005). Esse fenômeno reflete na habilidade dessa fração de reter íons nutrientes, especialmente íons de nitrogênio, em sua superfície. Essa capacidade de retenção impede a lixiviação desses íons, especialmente sob condições de irrigação e precipitação pluviométrica, resultando em uma maior disponibilidade de nitrogênio no solo.

A relação C/N para a fração silte+argila revelou resultado superior na área de estudo CSUP, na profundidade de 10-20 cm, provavelmente, devido aos mais elevados valores de carbono total nessa mesma profundidade; enquanto os teores de nitrogênio total (N total) atingiram os menores valores também nessa profundidade, proporcionado pela adubação orgânica constante. A qualidade dessa matéria orgânica interfere na relação C/N. Tais resultados diferem dos encontrados por Cantarella (2007) o qual afirma que, ao incorporar ao solo resíduos com uma elevada relação carbono/nitrogênio (C/N), os microrganismos presentes no solo utilizam o nitrogênio (N) proveniente dessa matéria orgânica, juntamente com o nitrogênio já presente no solo, para a síntese de sua biomassa. Esse processo resulta na redução da relação C/N da matéria orgânica adicionada, simultaneamente, diminuindo a disponibilidade de nitrogênio para outras plantas. Os menores valores foram registrados na profundidade de 10-20cm no sistema CSEQ.

Na relação C/N dos macroagregados, a diferença encontrada entre as áreas estudadas é igualmente justificada pela diferença observada nos teores de carbono (C), que se manifestam em níveis superiores; e nos teores de nitrogênio (N), que se apresentaram em níveis inferiores, tanto na MN quanto no CSUP.

Conclusão

As áreas de fragmento de mata nativa proporcionaram melhores indicadores físicos de qualidade do solo, como estabilidade de agregados e seu diâmetro médio.

Os sistemas de cultivo, com uso da irrigação por gotejamento superficial e aplicação de cama de cavalo, proporcionaram melhores indicadores químicos de qualidade do solo, como estoques de C, N e relação C/N.

Os indicadores químicos e físicos da qualidade do solo foram mais expressivos nas camadas superficiais, em todos os sistemas estudados.

Referências

Addinsoft, 2019. XLSTAT Statistical and Data Analysis Solution. Long Island, NY, USA Retrieved from. <https://www.xlstat.com>.

Alleoni LRF, Iglesias CSM, de Castro Mello S, de Camargo OA, Casagrande JC, Lavoretti NA. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. *Acta Sci Agron*. 2005;27(4):729-737. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026560022>

Alves BJR, Zotarelli L, Araújo ES, Fernandes FM, Heckler JC, Medeiros AFA, Boddey RM, Urquiaga S. Data from: Balanço de N em rotação de culturas sob plantio direto em Dourados. [dataset]. In: infoteca [internet]. Dourados. 2005 [cited 2023 Nov 20]. Available from: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/626863>

Bochner JK. Serviços ambientais gerados pela floresta de mata atlântica na qualidade do solo. Seropédica: Departamento de floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2007.

Carvalho JLN, Avanzi JC, Silva MLN, Mello CR, Cerri CEP. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2010; 277:289-34, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB [cited 2023 Nov 20]. Available from: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4890-primeiro-levantamento-da-safra-2023-de-cafe-indica-uma-producao-de-54-94-milhoes-de-sacas>.

Coutinho FS, Pereira MG, Menezes CEG, Guareschi RF, Assunção S A. *Floresta e Ambiente*. 2017; 24. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.091914>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa [cited 2023 Nov 20]. Available from: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/80992551/produktividade-media-dos-cafes-do-brasil-equivale-a-289-sacas-por-hectare-em-2023>

Ladha JK, Reddy CK, Padre AT, van Kessel C. Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. *J Environ Qual*. 2011;40(6):1756- 1766. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0064>

Lima P L T. Aplicação da trifluralina no controle da intrusão radicular de tubogotejadores enterrados sob lavoura cafeeira. Lavras: Universidade Federal de Lavra; 2011.

Liu E, Yan C, Mei X, Zhang Y, Fan T. Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in northwest China. *Plos One*. 2013;8(2):e56536. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056536>

Maia SMF, Xavier, FADS, Oliveira TSD, Mendonça EDS, Araújo Filho JAD. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, 2006; 837:848 - 30. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500018>

PIRES LF, BACCHI OOS. Mudanças na estrutura do solo avaliada com uso de tomografia computadorizada. *Pesq. agropec. bras*. 2010; 391:400- 45. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000400007>

Rossi CQ, Pereira MG, Giácomo SG, Betta M, Polidoro JC. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*. 2012; 38:46-43. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100005>

Santos A. Glomalina em agregados de solos em diferentes sistemas florestais e pasto. Vitória da Conquista: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia; 2018.

Silva VMD, Teixeira AFR, Souza JLD, Guimarães GP, Benassi AC, Mendonça EDS. Estoques de carbono e nitrogênio e densidade do solo em sistemas de adubação orgânica de café conilon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2015; 1436:1444-39. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140520>

Vignatti R. Data from: Efeito da trifluralina via gotejamento subsuperficial no desenvolvimento vegetativo de genótipos de café conilon (*Coffea canephora*)

[dataset]. In: sbicafe [internet]. Viçosa. 2018 [cited 2023 Nov 20]. Available from:
http://sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11651/183_44-CBPC-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Wang Y, Li M, Pei J, An T, Saeed MF, Shan T, Xu Y, Wang J. Dynamics of maizestraw-derived nitrogen in soil aggregates as affected by fertilization. *J. Sedimento do Solo*. 2019; 2882:2890-19. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02288-5>

ARTIGO II

Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em lavouras de cafeeiro

***Situação: não submetido**

Artigo

Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em lavouras de cafeeiro irrigado

Filipe Moreira Sousa a*, Cristiano Tagliaferre a*
Patrícia Anjos Bittencourt Barreto Garcia a*

Departamento de Engenharia Agrícola e Solos,
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA 45.031-900,
Brasil

*Autor para correspondência:

Filipe Moreira Sousa

Departamento de Engenharia Agrícola e Solos Universidade Estadual do Sudoeste da
Bahia

Vitória da Conquista, BA 45031-900, Brasil

E-mail: filipegccn2@gmail.com

Resumo

A cafeicultura desempenha um papel fundamental na economia brasileira, sendo o país líder mundial na produção e exportação de café. Nesse contexto, a busca por tecnologias inovadoras é constante, visando melhorar a eficiência da produção, com ênfase na superação dos desafios durante a implantação dessa cultura. Uma preocupação frequente refere-se aos efeitos dos manejos adotados nas culturas sobre a fauna edáfica e a serapilheira. Portanto, objetivou-se, com este trabalho, estudar o efeito de diferentes manejos de solos irrigados sobre a serapilheira e fauna do solo, em cultivos de café e floresta nativa. As coletas de solos foram realizadas em três propriedades rurais, em áreas de lavouras de café arábica e área de mata nativa. O estudo foi composto por quatro tratamentos (fragmento de mata nativa; café com sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com uso de Trifluralina; café com sistema de irrigação por gotejamento superficial; café em sequeiro). Foram avaliadas as seguintes características: densidade, umidade, estoque de carbono orgânico, estoque de nitrogênio e relação C/N, mesofauna e macrofauna edáfica, análise de serapilheira, como nitrogênio total e relação C/N. Os indicadores biológicos não mostraram diferenças para os índices entre as áreas, entretanto, apresentaram diferentes correlações para os fatores analisados. Os indicadores de qualidade do solo e a serapilheira influenciaram e foram fortemente influenciados pelos diferentes grupos faunísticos. Os grupos faunísticos atuantes como engenheiros ecossistêmicos dos solos (Oligochaeta, Blattodea, Formicidae) influenciaram os indicadores físicos e químicos do solo e a serapilheira. A serapilheira das áreas de café é majoritariamente constituída por folhas de café.

Palavras-chave: saúde do solo, biologia do solo, irrigação.

Abstract

Coffee cultivation plays a fundamental role in the Brazilian economy, with the country being the world leader in coffee production and export. In this context, the constant pursuit of innovative technologies aims to improve production efficiency, with a focus on overcoming challenges during the implementation of this crop. A recurring concern is the effects of adopted soil management practices on soil fauna and litter. Therefore, the objective of this study was to investigate the effect of different irrigated soil management practices on litter and soil fauna in coffee crops and native forest. Samples were collected from three adjacent rural properties, including areas of arabica coffee cultivation and native forest. The study comprised four treatments (Native forest fragment; Coffee with subsurface drip irrigation with trifluralin; Coffee with surface drip irrigation; Rainfed coffee). Soil characteristics such as density, moisture, organic carbon stock, nitrogen stock, and C/N ratio, as well as mesofauna and macrofauna, and litter analysis such as total nitrogen and C/N ratio, were evaluated. Overall, biological indicators showed no differences in indices between areas but exhibited different correlations for the factors analyzed. Concluding that the litter layer in coffee-growing areas is mainly composed of coffee leaves, soil and litter quality indicators influence and are strongly influenced by different faunal groups, with those acting as soil ecosystem engineers (Oligochaeta, Blattodea, Formicidae) influencing soil physical and chemical indicators, as well as litter.

Keywords: Soil health, soil biology, irrigation.

Introdução

O cultivo do cafeeiro (*Coffea Arabica* e *Coffea canephora*) destaca-se significativamente no contexto socioeconômico do Brasil, que detém a posição de principal produtor mundial de café, conforme dados da CONAB (2023), além de ser o maior exportador global. O país lidera a produção desse grão, superando nações como Vietnã, Colômbia e Indonésia. Com base na primeira estimativa da CONAB, para a safra de café em 2023, antecipa-se uma produção de 54,94 milhões de sacas de café beneficiado. Essa projeção inicial levou a um aumento de 7,9% em relação à safra de 2022, que atingiu a marca de 50,9 milhões de sacas. Os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Rondônia destacam-se como os principais contribuintes para a produção de cafés, conforme dados da Embrapa (2023).

A manutenção da produtividade das lavouras e a preservação da qualidade física, química e biológica do solo constituem um dos principais desafios enfrentados pelo setor agropecuário, que busca por práticas de produção sustentável, especialmente, em regiões tropicais e subtropicais, como o Brasil, onde os processos erosivos e as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) costumam ser mais acentuados do que em áreas de clima temperado. Isso destaca a importância de conduzir pesquisas que avaliem os efeitos das práticas de manejo sobre o acúmulo de resíduos vegetais e a vida do solo.

As espécies perenes e florestais favorecem o acúmulo de serapilheira sobre o solo, pela contínua deposição de resíduos vegetais em maior espaço de tempo, e desempenham papel importante na dinâmica dos ecossistemas (Oliveira et al., 2020). A serapilheira é de grande importância para a manutenção da ciclagem de C e de nutrientes e do fluxo de energia em tais ecossistemas (Wardle et al., 2004), sendo também a principal via de transferência no fluxo de nutrientes, desempenhando um papel essencial na manutenção dos ecossistemas florestais, uma vez que possibilita o retorno de nutrientes e carbono da biomassa vegetal para o solo, por meio da decomposição (Godinho et al., 2014).

A extensão no qual os processos de ciclagem ocorrem é determinada pela velocidade de decomposição, que, por sua vez, é regulada por um conjunto de fatores que condicionam a quantidade do material que se acumula sobre o solo. Dentre os principais fatores que regulam a decomposição estão a qualidade da serapilheira, a atividade dos organismos do solo e as condições do ambiente (Oliveira et al., 2020). A fauna do solo é

determinante para a fragmentação dos resíduos vegetais e regula a decomposição da serapilheira e das taxas de mineralização de N do solo (Sofu et al., 2020). Além disso, a fauna do solo pode alterar diretamente a estrutura e a função das comunidades microbianas do solo, fragmentando a serapilheira através da alimentação e excreção (Ristok et al., 2019).

Entre as propriedades biológicas do solo, a fauna do solo tem sido identificada como um importante indicador da conservação do solo (Li et al., 2021; Brown et al., 2015), principalmente, por sua sensibilidade às mudanças causadas pelo uso da terra, em sua diversidade, tipologia funcional e distribuição (Wang et al., 2015; Lindenmayer et al., 2008; Riutta et al., 2012). A mesofauna edáfica, que inclui organismos entre 0,2 e 2 mm de comprimento (Berude et al., 2015), atua particularmente na desintegração e transformação da serapilheira, desempenhando um papel importante na rotação e incorporação de resíduos orgânicos nas partículas minerais do solo (Nascimento et al., 2021); enquanto a macrofauna compreende organismos com tamanho entre 2,1 e 20 mm e são capazes de modificar a estrutura do solo por meio da construção de galerias e ninhos, como é o caso das minhocas, formigas e cupins (Brady e Weill, 2013).

A fauna edáfica tem efeito complexo na decomposição da serapilheira, já que pode abranger diversas interações em escala espaço-temporal (Frouz, 2018). Inclusive, a ação da fauna sobre os resíduos vegetais afeta a atividade microbiana, uma vez que os excrementos faunísticos (fezes) constituem fonte de alimento e favorecem a interação entre os microrganismos e a matéria orgânica (Kaneda et al., 2013; Frouz e Šimek, 2009). Além disso, as características inerentes aos tipos de resíduos vegetais, como a recalcitrância, devido aos altos teores de lignina e compostos aromáticos, conferem alta resistência à decomposição, o que dificulta a penetração de organismos do solo, enquanto resíduos vegetais com baixa recalcitrância, menor relação C/N, menores teores de lignina e polifenóis tendem a favorecer a atividade da mesofauna e, com isso, a agregação do solo (Nascimento et al., 2021).

Portanto, objetivou-se, com este trabalho, estudar o efeito de diferentes manejos de solos sobre a serapilheira e fauna do solo, em cultivos de café e floresta nativa.

Material e métodos

Descrição da área de estudo

As áreas cultivadas com café arábica (*Coffea arabica*), que compuseram este estudo, foram compostas por três propriedades rurais, submetidas a diferentes sistemas de manejo e um fragmento de mata nativa, utilizado como sistema de referência. Os tratamentos foram localizados próximos ao povoado do Capinal, município de Vitória da Conquista-BA, sob as coordenadas geográficas de 14°58'15'' de latitude Sul e 40°45'06'' de longitude Oeste, com altitude média de 843 m. O clima da região é classificado como tropical de altitude, de acordo com a classificação de Köppen. A estação chuvosa na região compreende os meses de novembro a abril, o total pluviométrico anual é de cerca de 711 mm e as médias térmicas mostram máximas de 25,7 °C e mínimas de 17 °C, com média anual de 21,3 °C. O solo dessas áreas é classificado como latossolo vermelho amarelo.

Foram consideradas três áreas de cultivo de café com diferentes manejos, a saber:

1 - Sistema agroflorestal (SAF) de café arábica com grelha em sequeiro, em que não há manutenção do SAF, com espaçamento de 3,70 x 0,5 m, implantado há 12 anos, anteriormente cultivado com café em monocultivo há 36 anos sem irrigação (CSEQ);

2 - Lavoura de café com sistema de irrigação por gotejamento superficial, com adubação orgânica com cama de cavalo (proveniente do haras da propriedade), com espaçamento de 3,80 x 0,7 m, implantado há 12 anos, com 30 anos de cultivo com café (CGS);

3 - Lavoura de café com sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com uso de Trifluralina, com espaçamento de 3,70 x 0,5 m, implantado há 16 anos, com 30 anos de cultivo com café (CGE);

4 - Fragmento de mata nativa do tipo mata de cipó, situada próxima às propriedades (MN).

As análises física e química dos solos, nos sistemas estudados, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1.1 Análise física do solo nos sistemas estudados

Identificação	Frações das amostras totais %			Comp. Granulométrica (g/Kg de TFSA)				Classe textural
	200-20 mm	20-2 mm	<2 mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm	
CSEQ	0	0	100	310	110	70	510	Argila
CGS	0	0	100	490	70	10	430	Argila arenosa
CGE	0	0	100	355	135	10	500	Argila arenosa
MN	0	0	100	380	85	35	500	Argila arenosa

Tabela 2.1 Análise química do solo nos sistemas estudados

Identificação	pH	mg/dm	cmol _c /dm ³ de solo								
	(H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	S.B.	t	T
CSEQ	4,9	3	0,08	5,2	1,8	0,2	7,0	-	7,1	7,3	15,1
CGS	5,3	2	0,06	4,2	2,0	0,2	4,2	-	6,3	6,5	10,8
CGE	5,0	2	0,2	1,8	1,4	0,5	4,2	-	3,5	4,0	8,2
MN	4,4	1	0,1	1,0	0,5	0,9	7,0	-	1,8	3,4	10,4

	%			g/dm
	V	m	PST	M.O.
CSEQ	47	3	-	42
CGS	58	3	-	22
CGE	43	13	-	26
MN	15	53	-	45

Nas áreas, foram delimitados quatro talhões de 30 x 30 m, separados de 30 m entre si. Em cada talhão foram determinados quatro pontos de coleta, para as coletas de solo, fauna e serapilheira.

Coleta de solo

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo, na profundidade 0-10 cm, para análise de carbono orgânico, nitrogênio total e densidade do solo. As amostras deformadas de solo foram secas ao ar, homogeneizadas e

tamizadas em peneira de 2 mm de malha, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

Densidade do solo

A determinação da densidade do solo foi feita por meio do método do anel volumétrico (Teixeira, 2017), com amostras de solo indeformadas, com auxílio de anéis volumétricos de volume conhecido e, posteriormente, conduzidos à estufa a 105 °C, por 48 horas, até peso constante, para posteriormente serem pesadas. A densidade do solo foi calculada segundo a equação:

$$D_s = m_s/V.$$

Em que: m_s é massa do solo seca a 105 °C, em g; e V é o volume do anel, em cm^3 .

Umidade do solo

A umidade do solo foi calculada por meio da equação:

$$USR = \left(\frac{m_u - m_s}{m_s} \right) 100$$

Em que UR: umidade do solo em %; m_s : massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g; m_u : massa da amostra de solo úmido, em g.

Coleta da mesofauna

A mesofauna edáfica foi avaliada pelo método do funil de Berlese Tullgren, com adaptações (Aquino et al., 2006), por meio do qual foram identificados e contabilizados organismos vivos com diâmetro corporal menor que 2 mm. Em cada ponto amostral, quatro em cada tratamento, um monólito de solo foi retirado, com auxílio de um gabarito (0,25 m de largura \times 0,25 m de comprimento

\times 0,10 m de altura) e conduzido ao laboratório. As amostras foram submetidas à luz de lâmpadas incandescentes de 20 W e os organismos foram recolhidos em frascos coletores, contendo álcool 70%. Posteriormente, foram triados com o

auxílio de lupa estereoscópica e identificados ao nível de grandes grupos taxonômicos, de acordo com as descrições fornecidas por Dindal (1989).

Coleta de macrofauna

A amostragem da macrofauna do solo foi realizada conforme a metodologia

proposta por Anderson e Ingram (1993), pelo método TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility Method*). Em cada ponto amostral, quatro em cada tratamento, um monólito de solo foi retirado, com auxílio de um gabarito (0,25 m de largura \times 0,25 m de comprimento \times 0,10 m de altura), e conduzido para laboratório. As amostras foram triadas manualmente, com auxílio de pinças metálicas e os organismos encontrados foram conservados em solução de álcool 70% ou 92% (anelídeos), em frascos plásticos devidamente etiquetados, e, posteriormente, identificados a nível de grandes grupos taxonômicos.

Coleta de serapilheira

Para determinação da serapilheira acumulada, foram determinados quatro pontos amostrais em cada tratamento. A serapilheira foi coletada com auxílio de um gabarito (0,25 m de largura \times 0,25 m de comprimento \times 0,10 m de altura). O material foi triado e separado nas frações folhas, galhos, material reprodutivo e miscelânea e, posteriormente, acondicionado em sacos de papel kraft, e conduzido à estufa de circulação de ar forçada à temperatura de 60 °C, até peso constante, para obtenção da massa seca.

Carbono Orgânico do Solo

O carbono orgânico (COS) do solo foi determinado nas profundidades estudadas e nas classes de agregados (macroagregados, microagregados e da fração silte+argila), por oxidação úmida, com dicromato de potássio, com calor externo e titulação com sulfato de ferro e amônio, segundo método modificado de Yeomans e Bremner (1988). Os estoques de COS foram determinados multiplicando-se o carbono orgânico total da amostra pela densidade do solo e a espessura da camada. O cálculo do estoque COS, para cada classe de agregados, foi feito a partir da equação.

$$\text{estoque de COS} = \text{COS} \cdot D_s \cdot e_s$$

Em que: estoque de COS: estoque total de carbono orgânico em determinada profundidade e classe de agregados, unidade; COS: teor de carbono orgânico do solo na profundidade amostrada e na classe de agregados (g kg^{-1}); D_s : densidade do solo na profundidade amostrada (g cm^{-3}); e e_s : espessura da camada considerada (cm).

Nitrogênio Total no Solo

O N total do solo foi determinado pelo método Kjeldahl, com adaptações. Os estoques de N total, para cada classe de agregados, foram determinados multiplicando-se o N total do solo da amostra pela densidade do solo e a espessura da camada. O cálculo do estoque N de cada camada e classe foi feito a partir da equação.

$$\text{estoque de N} = N \text{ total} \cdot Ds \cdot es$$

Em que: estoque de N: estoque total de N do solo em determinada profundidade e classe de agregados; N total: teor de N total do solo na profundidade amostrada (g kg^{-1}); Ds: densidade do solo na profundidade amostrada e na classe de agregados (g cm^{-3}); e es: espessura da camada considerada (cm).

Relação C/N

O cálculo da relação C/N para cada classe de agregados foi calculado pela relação entre COS pelo N total. O mesmo procedimento foi utilizado para serapilheira.

Nitrogênio da serapilheira

O N total do serapilheira foi determinado pelo Método de Kjeldahl adaptado (Método N-001/2).

Análise estatística

Os dados foram analisados quanto à homogeneidade pelo teste de Cochran e normalidade pelo teste de Lilliefors, e submetidos à ANOVA. As médias das análises de solo e serapilheira foram comparadas pelo Teste de LSD de Fisher (*Least Significant Difference*) a 5% de significância.

Os índices de riqueza, abundância, equitabilidade de Pielou e Shannon foram calculados com o auxílio do programa PAST 4.03 (Hammer et al., 2001). Os modelos lineares generalizados foram calculados por meio do software estatístico R (v3.1.2, *R Development Core Team*, 2014).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos programas STATSOFT Software Statistica® v.10.0 (STATSOFT, 1974 - 2009), XLSTAT® software Version 19.2.2 (ADDINSOFT, 2019) e os gráficos foram construídos com o software

Resultados

As características do solo, obtidas para as áreas estudadas e usadas na análise de componentes principais, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 3.1. Características do solo obtidas para as áreas estudadas e usadas na análise de componentes principais (PCA)

Sistemas de cultivo	Riq macro	Abu macro	Shan macro	Pie macro	Riq meso	Abu meso	Shan meso	Pie meso
CSEQ	10	101	1,504	0,648	9	120	1,424	0,666
CSUP	9	102	1,698	0,773	8	51	1,558	0,758
CENT	7	71	1,371	0,723	10	80	1,614	0,724
MN	8	152	1,115	0,539	8	54	1,629	0,772

	US	DES	ECS	ENS	RCNS	NSP	RCNSP	PSSP
CSEQ	12,28	1,235	40,20	39,68	9,94	0,313	22,949	14,065
CSUP	21,92	1,248	52,36	42,70	11,94	0,367	19,138	14,11
CENT	18,76	1,221	30,01	24,08	13,64	0,190	37,332	5,84
MN	20,12	0,970	28,31	13,89	19,72	0,147	47,855	20,4975

Umidade solo (US), estoque de carbono do solo (ECS), estoque de nitrogênio do solo (ENS), C/N do solo (RCNS), densidade do solo (DES). As setas roxas representam as propriedades da serapilheira: nitrogênio total da serapilheira (NSP), C/N da serapilheira (RCNSP).

Foram observadas diferenças significativas para a relação C/N da serapilheira, tendo a MN apresentado valor superior, enquanto as áreas com CSEQ e o CSUP exibiram valores mais reduzidos (Figura 1).

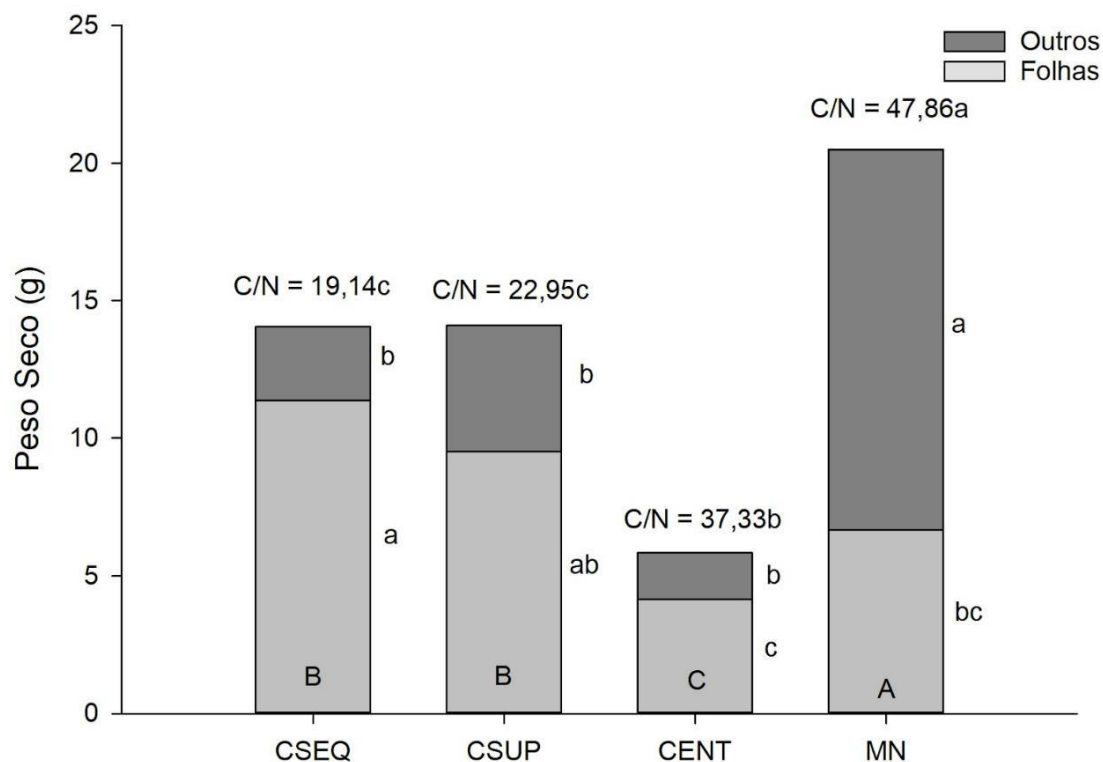


Figura 1 Peso seco total da serapilheira e das frações folha e outros (galhos, cascas e miscelânea), relação C/N da serapilheira nas áreas de fragmento de mata nativa (MN), cafeeiro em sequeiro (CSEQ), cafeeiro com irrigação superficial (CSUP), cafeeiro com irrigação enterrada (CENT), letras maiúsculas representam a fração total, letras minúsculas as frações adjacentes. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

A análise de peso seco total revelou diferenças estatisticamente significantes, evidenciando desempenho superior na MN e desempenho inferior no CSUP e CSEQ. Com relação à fração de folhas, também foram observadas diferenças estatisticamente significativas, com os valores mais baixos registrados em MN e CENT, contrastando com valores mais elevados nas demais áreas. Para a fração

denominada "outros", a dinâmica apresentou uma tendência quase inversa, embora tenha se destacado com o maior valor na MN (Figura 1).

Macrofauna e mesofauna

Para estas características, foram coletados um total de 2918 indivíduos nos quatro sistemas avaliados, pertencentes a dois filos, o Arthropoda e o Annelida, distribuídos em 18 grupos e divididos em macrofauna e mesofauna. Os grupos dominantes foram Blattodea (59,56%), Formicidae (11,32%) e Isopoda (8,48%), para a macrofauna; e Coleoptera (37,28%), Acari (29,83%) e Formicidae (14,34%), para a mesofauna.

Os 18 grupos de fauna do solo encontrados incluíram Acari, Araneae, Blattodea, Chilopoda, Coleoptera, Dermaptera, Formicidae, Isopoda, Larva Diptera, larva de Neuroptera, Poduromorpha, Symphypleona, Heteroptera, Hymenoptera, larva de Coleoptera, larva de Diptera, larva de Lepidoptera, Oligochaeta e Tricoptera. Destes, oito grupos foram encontrados em todas as áreas; Acari, Dermaptera, Larva Neuroptera, Poduromorpha e Symphypleona foram encontrados apenas nas coletas de mesofauna; e Heteroptera, Hymenoptera, Larva Coleoptera, Larva Diptera, Larva Lepidoptera, Oligochaeta e Tricoptera apenas nas de macrofauna.

Os índices de Shannon-Wiener, abundância, riqueza e o de Pielou não apresentaram diferença significativa nos modelos lineares generalizados para macro e mesofauna (Tabela 2 e 3).

Tabela 4.1. Índices ecológicos de macrofauna entre diferentes áreas

Área	Riqueza	Abundância	Shannon	Pielou
CSEQ	10a	101a	1,504a	0,648a
CSUP	9a	102a	1,698a	0,773a
CENT	7a	71a	1,371a	0,723a
MN	8a	152a	1,115a	0,539a

Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

Tabela 5.1. Índices ecológicos de mesofauna entre diferentes áreas

Área	Riqueza	Abundância	Shannon	Pielou
CSEQ	9a	120a	1,424a	0,666a
CSUP	8a	51a	1,558a	0,758a

CENT	10a	80a	1,614a	0,724a
MN	8a	54a	1,629a	0,772a

Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

A correlação entre os indicadores relacionados à fauna do solo, nas quatro áreas, juntamente com indicadores do solo foi analisada por PCA. O F1 e o F2 explicaram 56,00% e 23,37% da variação, respectivamente (Figura 2). Os grupos que afetaram a distribuição no primeiro eixo foram abundância da macrofauna, Shannon da macrofauna, Pielou da macrofauna, Shannon da mesofauna, Pielou da mesofauna, densidade do solo, estoque de nitrogênio e de carbono do solo, relação C/N nitrogênio total da serapilheira e relação C/N da serapilheira. Os grupos que afetaram a distribuição no segundo eixo foram riqueza e abundância da mesofauna (Figura 2).

A umidade do solo, a relação C/N do solo e o peso seco da serapilheira correlacionaram positivamente com os indicadores Shannon e Pielou da mesofauna e abundância da macrofauna, e negativamente com abundância e riqueza da mesofauna. O estoque tanto de carbono quanto de nitrogênio do solo e o nitrogênio total da serapilheira correlacionaram positivamente com Shannon e Pielou e riqueza da macrofauna. A relação C/N da serapilheira correlacionou negativamente com Shannon, Pielou e riqueza da macrofauna (Figura 2).

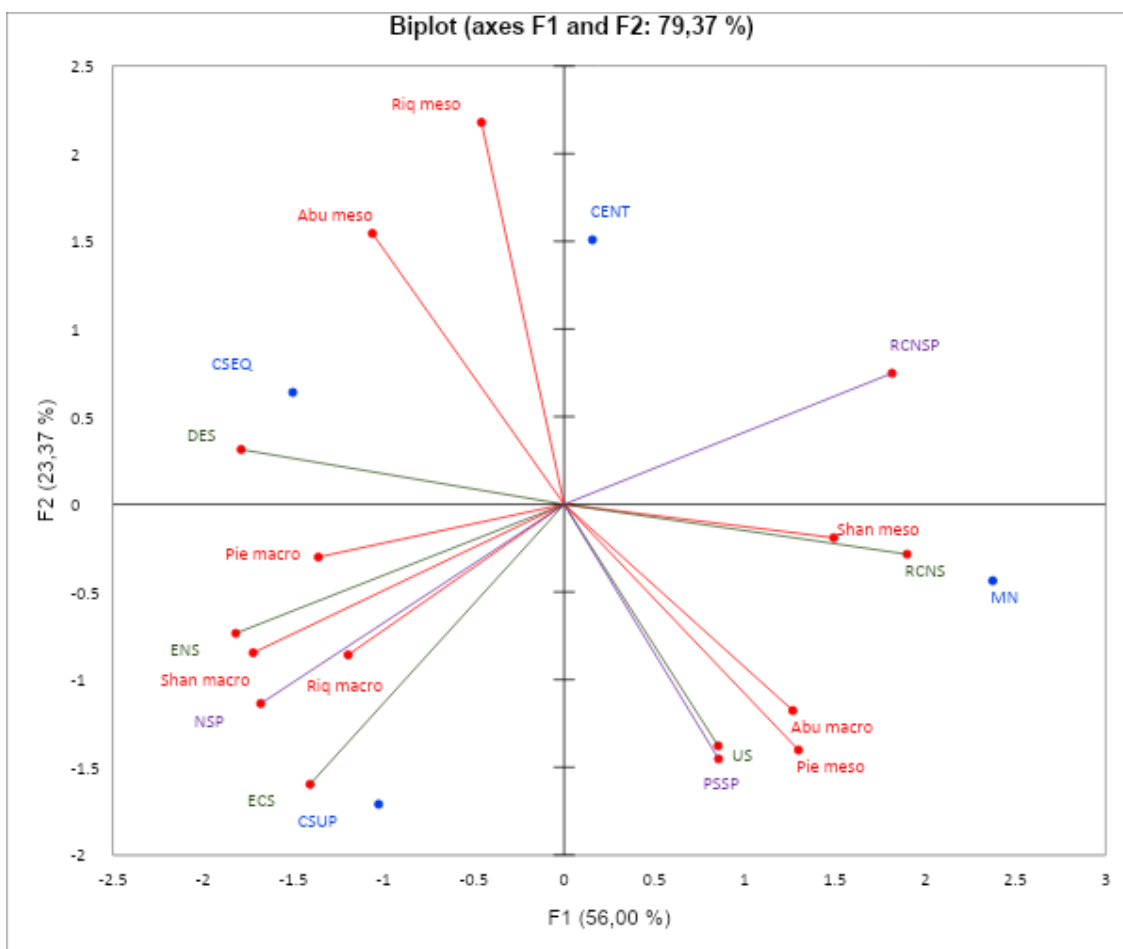


Figura 2 Resultados dos índices da fauna do solo em associação com propriedades selecionadas de solo e serapilheira. As setas verdes são as propriedades do solo: umidade solo (US), estoque de carbono do solo (ECS), estoque de nitrogênio do solo (ENS), C/N do solo (RCNS), densidade do solo (DES). As setas roxas representam as propriedades da serapilheira: nitrogênio total da serapilheira (NSP), C/N da serapilheira (RCNSP). As setas vermelhas representam os índices da fauna do solo: Shannon da macrofauna (Shan macro), Shannon da mesofauna (Shan meso), Pielou da macrofauna (Pie macro), Pielou da mesofauna (Pie meso), riqueza da macrofauna (Riq macro), riqueza da mesofauna (Riq meso), abundância da macrofauna (Abu macro), abundância da mesofauna (Abu meso).

Os grupos faunísticos, juntamente com indicadores do solo, foram classificados por PCA, sendo que o F1 e o F2 explicaram 47,07 e 32,51% da variação, respectivamente. Os grupos que afetaram a distribuição no primeiro eixo foram Araneae, Chilopoda, larva de Coleoptera, larva de Diptera, larva de Lepidoptera, Oligochaeta, Tricoptera, densidade do solo, estoque de nitrogênio e de carbono do solo, relação C/N do solo, nitrogênio total da serapilheira e relação C/N da serapilheira. Os grupos que afetaram a distribuição no segundo eixo foram Blattodea, Heteroptera, umidade do solo e peso seco da serapilheira (Figura 3A).

A umidade do solo, a relação C/N do solo e da serapilheira e o peso seco da serapilheira correlacionaram positivamente com Chilopoda, Blattodea e Coleoptera, negativamente com Oligochaeta e Hymenoptera. O estoque de carbono do solo correlacionou positivamente com Formicidae, Araneae, Larva Diptera, Larva Lepidoptera, Tricoptera; e negativamente com Isopoda, Heteroptera e larva de Coleoptera. O nitrogênio total da serapilheira, densidade do solo e o estoque de nitrogênio do solo correlacionaram positivamente com Oligochaeta e Hymenoptera; e negativamente com Chilopoda, Blattodea e Coleoptera (Figura 3A).

Os grupos da mesofauna do solo, juntamente com indicadores do solo, foram classificados por PCA, em que o F1 e o F2 explicaram 55,06 e 24,97% da variação, respectivamente. Os grupos que afetaram a distribuição no primeiro eixo foram Blattodea, Dermaptera, Formicidae, larva de Diptera, Poduromorpha, densidade do solo, estoque de nitrogênio e de carbono do solo, relação C/N do solo, nitrogênio total da serapilheira e relação C/N da serapilheira. Os grupos que afetaram a distribuição no segundo eixo foram Acari, Isopoda, Symphypleona e peso seco da serapilheira (Figura 3B).

A umidade do solo, a relação C/N da serapilheira correlacionaram positivamente com Acari e Poduromorpha; e negativamente com Formicidae, Araneae e Coleoptera. O estoque de carbono e de nitrogênio do solo e o nitrogênio total da serapilheira se correlacionaram positivamente com Formicidae, Araneae e Coleoptera; e negativamente com Acari e Poduromorpha. A densidade do solo se correlacionou positivamente com Isopoda e Chilopoda; e negativamente com Blattodea, Dermaptera, Symphypleona e larva de Diptera. A relação C/N do solo e peso seco da serapilheira se correlacionaram positivamente com Blattodea, Dermaptera, Symphypleona e larva de Diptera; e negativamente com Isopoda e Chilopoda (Figura 3B).

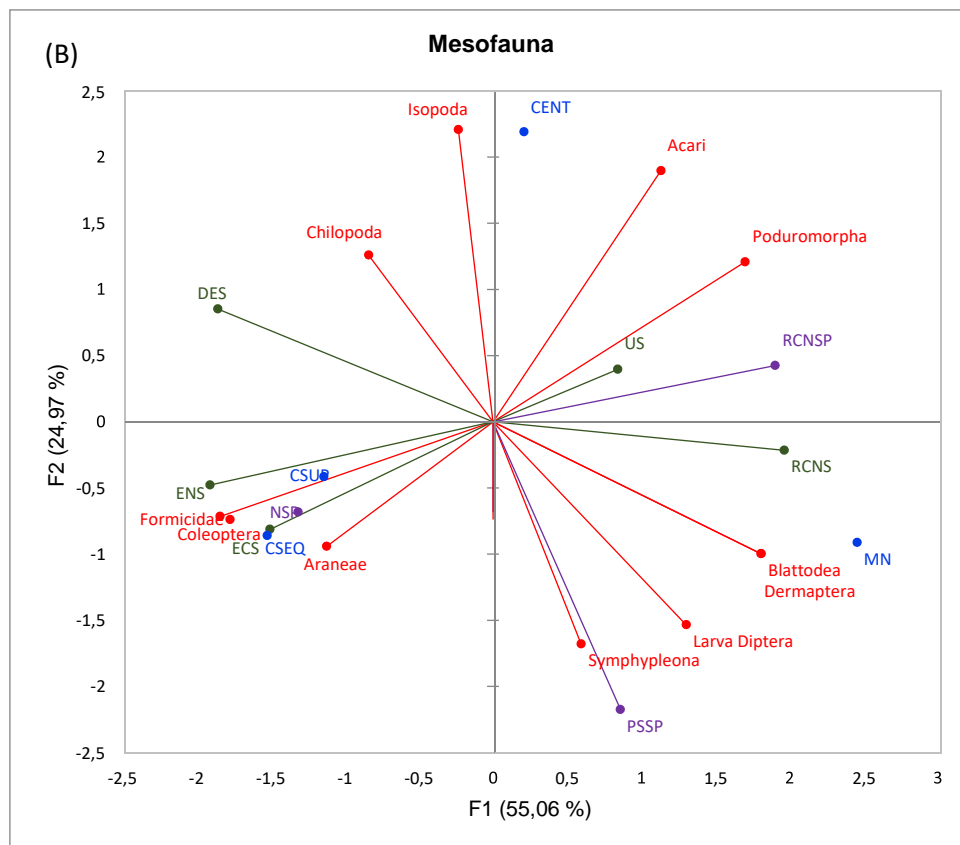
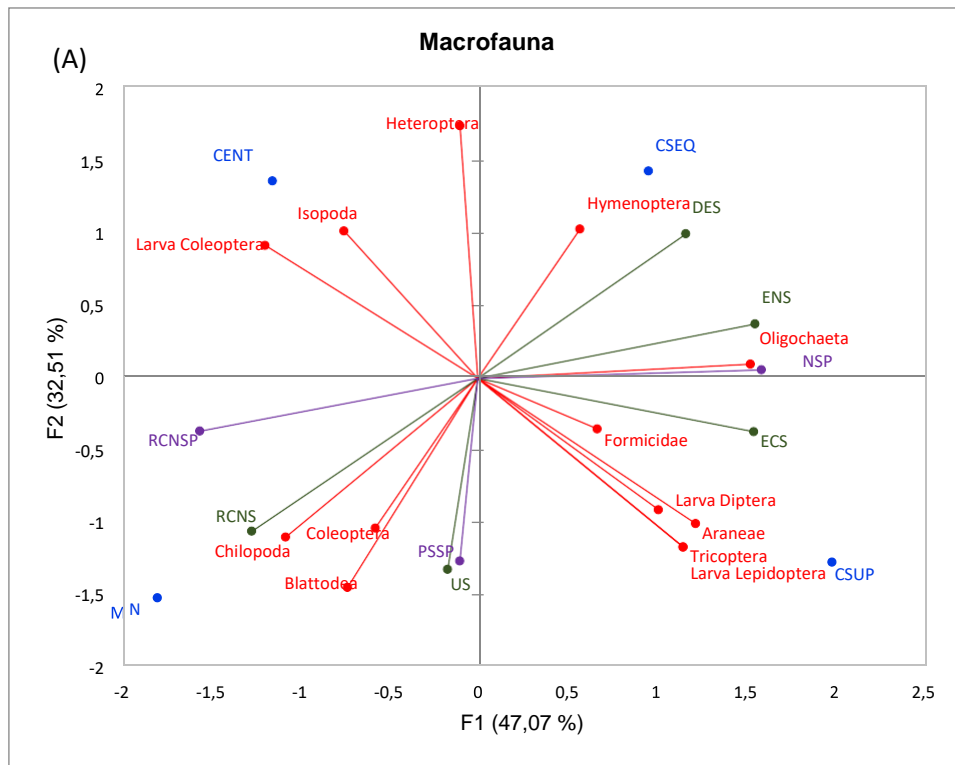


Figura 3 Resultados dos grupos da fauna do solo em associação com propriedades selecionadas de solo e serapilheira. As setas verdes são as propriedades do solo rotuladas como: umidade solo (US), estoque de carbono do solo (ECS), estoque de nitrogênio do solo (ENS), C/N do solo (RCNS), densidade do solo

(DES). As setas roxas representam as propriedades da serapilheira do solo rotulados como: nitrogênio total da serapilheira (NSP), C/N da serapilheira (RCNSP). As setas vermelhas representam os grupos da fauna do solo.

Discussão

Os baixos valores da relação C/N da serapilheira, nas áreas de cultivo do café em comparação a MN, estão relacionados à dominância de folhas dos cafeeiros que, geralmente, têm uma concentração significativa de nitrogênio. Este macronutriente é essencial para o crescimento da planta, e a incorporação de N exerce uma influência significativa nas composições químicas da serapilheira, conforme relatado por Liu et al. (2016). A adubação utilizada na cultura também contribuiu para os elevados valores de N, já que adubações nitrogenadas são essenciais para a cultura. Abranches (2016), em seus estudos, evidenciou que a aplicação de ureia resulta em um aumento significativo no acúmulo de nitrogênio nas folhas. Independentemente da forma de adubação nitrogenada, há respostas no acúmulo de N foliar (Caixeta et al., 2021).

Os maiores valores de peso seco evidenciados na MN, em comparação com as áreas de exploração com a cafeicultura, evidenciam que, nessa área, há um acúmulo de serapilheira e maior diversificação do material orgânico, incluindo folhas, galhos e outros detritos vegetais. Em contraste, áreas com cafeicultura podem exibir uma serapilheira com menor diversidade e quantidade, devido às práticas agrícolas, como a remoção de parte da cobertura vegetal e uso de produtos de controle de ervas daninhas, como a Trifluralina, utilizado em uma das áreas.

Correlacionando a serapilheira com a relação C/N, já que é um bom indicador da suscetibilidade da serapilheira à degradação, segundo Petit-Aldana et al. (2019), se o resíduo inicial for rico em C e pobre em N, a decomposição será lenta, mas ao contrário, com altas concentrações de N, este poderá ser transformado em amônia, impedindo que ocorra uma atividade biológica adequada. Tal fato pode ter ocorrido no presente estudo. Com o fracionamento da serapilheira, as áreas com cafeeiro apresentaram maiores valores para a fração folha, o que é explicado por ser um monocultivo e grande parte da serapilheira ser resultante de resíduos da poda.

Os índices de Shannon, Pielou e riqueza de macrofauna apresentaram uma correlação positiva com os estoques de C e N do solo e o N total da serapilheira correlacionando-se com a área de CSUP, que apresenta os melhores resultados para esses nutrientes. Isso se deve ao fato de que uma equitabilidade relativamente alta pode indicar uma distribuição mais uniforme de espécies, o que pode influenciar positivamente a ciclagem de nutrientes, associado com a demanda nutricional de cada grupo. A introdução de N pode potencializar o impacto da fauna na decomposição da serapilheira, mediante o incremento da densidade da fauna edáfica (Ochoa-Hueso et al., 2013).

A umidade e o peso seco da serapilheira apresentaram os melhores resultados na MN e se correlacionam positivamente, principalmente com a abundância em macrofauna e Pielou em mesofauna; e negativamente com a abundância e riqueza em mesofauna. A fauna em si é muito sensível à disponibilidade hídrica e essa sensibilidade pode ser positiva ou negativa, variando para o grupo e para as espécies. Já o peso seco indica uma maior disponibilidade de matéria orgânica, que cria um ambiente mais favorável para uma maior riqueza e abundância.

Na macrofauna, os Oligochaeta apresentam um papel importante, como engenheiros ecossistêmicos correlacionando positivamente, principalmente como N total da serapilheira. Isso se dá principalmente pelo motivo de que as minhocas fragmentam a serapilheira à medida que a consomem, aumentando a área de superfície disponível para a ação de microrganismos decompositores que contribui para o enriquecimento de N (Edwards & Lofty, 1972). A mistura mecânica realizada pelas minhocas no solo promove uma distribuição mais homogênea dos resíduos orgânicos, influenciando a decomposição e a liberação de nitrogênio. Em sua alimentação, promovem a mineralização do nitrogênio do solo, deixando disponíveis para as plantas. Outra correlação é com a densidade do solo que, segundo Batista et al. (2023), estes organismos, ao ingerirem minerais e materiais orgânicos do solo, os eliminam como fezes de maior densidade do que antes do material ser ingerido, principalmente em períodos pós-chuvas.

O grupo Formicidae também são engenheiros ecossistêmicos. Por meio de suas atividades escavadoras e de transporte de material orgânico, desempenham um papel relevante na alteração da estrutura do solo e na modulação dos processos de decomposição da matéria orgânica. Estas formigas transportam ativamente material orgânico, incluindo restos de plantas e detritos, para seus ninhos, exercendo influência sobre a quantidade de carbono orgânico presente no solo. Esse comportamento de transporte de material orgânico por formigas contribui para a ciclagem de nutrientes e para a distribuição espacial de carbono no ambiente edáfico. Formigas apresentam a capacidade de alterar as propriedades físicas e químicas do solo por meio de atividades associadas à construção de ninhos. Esse processo envolve a mistura do solo para a criação de estruturas de nidificação, bem como a acumulação de matéria orgânica resultante dos excrementos e do material utilizado na construção do ninho (Frouz et al., 2003). Assim, justifica-se a correlação positiva com os estoques de C e N do solo e o N total da serapilheira.

O grupo Blattodea, que tem como seu principal representante encontrado os cupins, que também são engenheiros ecossistêmicos, tiveram uma correlação positiva com o peso seco da serapilheira, umidade, relação CN, principalmente do solo. A correlação com a umidade se deve em razão dos cupins construírem ninhos subterrâneos e túneis para abrigar suas colônias. Essas estruturas retêm água no solo, criando microambientes úmidos próximos aos ninhos, além de facilitarem a infiltração da água por meio dos túneis. Cupins subterrâneos preferem níveis mais elevados de umidade do solo para escavação de túneis e alimentação (Richardson et al., 2023; Anyango et al., 2020). A serapilheira tem um papel importante para os cupins, já que é parte do material consumido. Além disso, algumas famílias de cupins são conhecidas por forragear em folhas mortas, galhos e outros detritos orgânicos, incluindo a serapilheira. A relação C/N também está ligada aos cupins na decomposição da serapilheira, já que o material orgânico transportado para suas casas cria um ambiente favorável para microrganismos decompositores.

Na mesofauna, o grupo isópoda tem correlação positiva com a densidade. Isópodos habitam a camada superficial do solo, onde encontram matéria

orgânica em decomposição, sendo funcionalmente classificados como saprófagos (Bardgett, 2005), e respondem positivamente ao aporte de matéria orgânica no solo (Loureiro et al., 2006; Correia et al., 2008). A densidade do solonessa camada afeta a disponibilidade de alimentos para esses organismos.

Em geral, grande parte do grupo Araneae que habitam a serapilheira é considerada predadora importante de outros invertebrados edáficos. Portanto, são importantes para o equilíbrio ecológico das comunidades de fauna edáfica (Bardgett, 2005). O grupo Araneae são predominantemente carnívoras e se alimentam, principalmente, de insetos e colêmbolos (Birkhofer e Wolters, 2012; Pekar e Toft, 2015). Isso justifica a correlação positiva com relação aos grupos Formicidae e Coleoptera, que fazem parte da dieta de grande parte das espécies de aranhas.

O grupo Acari teve uma correlação com a umidade do solo, pois as mesmas habitam a serapilheira ou os poros do solo preenchidos com ar. No entanto, são sensíveis à umidade e ao aporte de matéria orgânica no solo, sendo encontrados em ambientes úmidos e raramente em ambientes secos (Assad, 1997; Bardgett, 2005; Moitra et al., 2009; Sylvain et al., 2014).

Conclusões

A serapilheira das áreas de cafeeiro é majoritariamente constituída por folhas de café que apresentam maiores valores de N, ocorrendo comportamento contrário com a mata nativa, que apresenta uma serapilheira mais diversificada.

Os índices faunísticos de riqueza, abundância, Pielou e Shannon não se diferenciaram entre as áreas.

Os indicadores de qualidade do solo e serapilheira influenciam e são fortemente influenciados por diferentes grupos faunísticos.

Os grupos faunísticos atuantes como engenheiros ecossistêmicos dos solos (Oligochaeta, Blattodea, Formicidae) influenciaram os indicadores físicos e químicos do solo, assim como a serapilheira.

Referências

Abranches JL. Abranches, J. L. (2018). Resposta da cultura do café arábica à aplicação de ureia revestida. Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2018.

Addinsoft, 2019. XLSTAT Statistical and Data Analysis Solution. Long Island, NY, USA Retrieved from. <https://www.xlstat.com>.

Anyango JJ, Bautze D, Fiaboe KK, Lagat ZO, Muriuki AW, Stöckli S, et al. The impact of conventional and organic farming on soil biodiversity conservation: a case study on termites in the long-term farming systems comparison trials in Kenya. *BMC Ecol.* 2020; 20:1-14. <https://doi.org/10.1186/s12898-020-00282-x>

Assad, M. L. L. Biologia dos solos dos cerrados. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M., (Ed.). Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. p. 363-443. 1997.

Banerjee S, Sanyal AK, Moitra MN. Abundance and group diversity of soil mite population in relation to four edaphic factors at Chintamani Abhayaranya, Narendrapur, South 24-Parganas, West Bengal. In: *Proceedings of the Zoological Society.* 2009; 62:57-65. <https://doi.org/10.1007/s12595-009-0008-2>

Bardgett, R. *The biology of soil: a community and ecosystem approach.* Oxford university press; 2005.

Batista I, Machado DL, Correia MEF, Spinelli MHM, Corá JE. Soil macrofauna correlations with soil chemical and physical properties and crop sequences under no-tillage. *Rev Bras Cienc Solo.* 2023; 47:e0230006. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20230006>

Berude, MC, Galote, JKB, Pinto, PH, Amaral, AA. A Mesofauna Do Solo E Sua Importância Como Bioindicadora. *Enciclopédia Biosfera.* 2015; 1, 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4781.1969.tb04998.x>.

Birkhofer K, Wolters V. The global relationship between climate, net primary production and the diet of spiders. *Global Ecol Biogeogr.* 2012;21(2):100-108. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00654.x>

Brown GG, Niva CC, Zagatto MRG, Ferreira SA, Nadolny HS, Cardoso GBX, Santos A, Martinez GA, Pasini A, Bartz MLC, Sautter KD, Thomazini MJ, BarettaD, Silva E, Antonioli ZI, Decaëns T, Lavelle PM, Sousa JP, Carvalho F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: Parron LM, Garcia JR, Oliveira EB, Brown GG, Prado RB, editors. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília,DF: Embrapa. 2015; 121-54.

Caixeta EA, Junior KSF, Brigante GP, de Souza Dias M, de Avila MAP. Avaliação de diferentes fontes de nitrogênio na cultura do café. Rev Bras Eng Biossist. 2021;15(4):617-631. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p617-631>

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB [cited 2023 Nov 20]. Available from: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4890-primeiro-levantamento-da-safra-2023-de-cafe-indica-uma-producao-de-54-94-milhoes-de-sacas>.

Correia, M. E. F.; et al. Aspectos ecológicos dos Isopoda terrestres. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2008. 23 p.

Edwards CA, Lofty JR. Effects of Agriculture on Earthworm Populations. In: Biology of Earthworms; 1977.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa [cited 2023 Nov 20]. Available from: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/80992551/produktividade-media-dos-cafes-do-brasil-equivale-a-289-sacas-por-hectare-em-2023>

Frouz J. Effects of soil macro and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. Geoderma. 2018;332:161-72. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.039>

Frouz J, Holec M, Kalčík J. The effect of *Lasius niger* (Hymenoptera, Formicidae) ant nest on selected soil chemical properties. Pedobiologia. 2003;47(3):205-212. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00184>

Godinho TO, Caldeira MVW, Rocha JHT, Caliman JP, Trazzi PA. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. *Cerne*. 2014; 20: 11-20. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602014000100002>

Liu Q, Yin R, Tan B, You C, Zhang L, Zhang J, et al. Nitrogen addition and plant functional type independently modify soil mesofauna effects on litter decomposition. *Soil Biol Biochem*. 2021;160:108340. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108340>

Li Y, Ma L, Wang J, Shao M, Zhang J. Soil faunal community composition alters nitrogen distribution in different land use types in the Loess Plateau, China. *Appl Soil Ecol*. 2021;163:103910. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103910>

Lindenmayer, D, Hobbs, RJ, Montague-Drake, R, Alexandra, J, Bennett, A, Burgman, M, Cale, P, Calhoun, A, Cramer, V, Cullen, P, Driscoll, D, Fahrig, L, Fischer, J, Franklin, J, Haila, Y, Hunter, M, Gibbons, P, Lake, S, Luck, G, MacGregor, C, McIntyre, S, McNally, R, Manning, A, Miller, J, Mooney, H, Noss, R, Possingham, H, Saunders, D, Schmiegelow, F, Scott, M, Simberloff, D, Sisk, T, Tabor, G, Walker, B, Wiens, J, Woinarski, J, Zavaleta, E. A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecol. Lett*. 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01114.x>

Loureiro S, Sampaio A, Brandão A, Nogueira AJ, Soares AM. Feeding behaviour of the terrestrial isopod *Porcellionides pruinosus* Brandt, 1833 (Crustacea, Isopoda) in response to changes in food quality and contamination. *Sci Total Environ*. 2006;369(1-3):119-128. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.05.023>

Nascimento, MS, Barreto-Garcia, PAB, Monroe, PHM, Scoriza, RN & De Souza Gomes, V. Interaction between edaphic mesofauna and organic carbon within water-stable aggregates in forestry systems: A case study in northeastern Brazil. *Catena*. 2021; 202: 105269, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105269>

Pekár S, Toft S. Trophic specialisation in a predatory group: the case of prey-specialised spiders (Araneae). *Biol Rev*. 2015; 90(3):744-761. <https://doi.org/10.1111/brv.12133>

Petit-Aldana J, Rahman MM, Parraguirre-Lezama C, Infante-Cruz A, Romero- Arenas O. Litter decomposition process in coffee agroforestry systems. *J Forest Environ Sci.* 2019; 35(2):121-139. <https://doi.org/10.7747/JFES.2019.35.2.121>

Ochoa-Hueso R, Maestre FT, de Los Ríos A, Valea S, Theobald MR, Vivanco MG, et al. A deposição de nitrogênio altera o ciclo do nitrogênio e reduz o conteúdo de carbono do solo em ecossistemas mediterrâneos semiáridos de baixa produtividade. *Poluição Ambiental.* 2013;179:185-193. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.060>

Oliveira, AMD, Barreto-Garcia, PAB., Novaes, ABD, Carvalho, FFD, Meireles, IEDS. Decomposição da serapilheira foliar em plantios de bambu, nim indiano e eucalipto. *Ciência Florestal.* 2020; 30: 845-855. <https://doi.org/10.5902/1980509838190>

R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Richardson S, Sun Q. Effects of soil moisture on tunneling, survivorship, and food consumption of the Formosan and eastern subterranean termites (Blattodea: Rhinotermitidae). *Environ Entomol.* 2023; nvad049. <https://doi.org/10.1093/ee/nvad049>

Ristok, C., Leppert, K.N., Scherer-Lorenzen, M., Niklaus, P.A., Bruelheide, H., 2019. Soil macrofauna and leaf functional traits drive the decomposition of secondary metabolites in leaf litter. *Soil Biol. Biochem.* 2019; 135: 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.06.007>

Riutta, T, Slade, EM, Bebber, DP, Taylor, ME, Malhi, Y, Riordan, P, Macdonald, DW, Morecroft, MD. Experimental evidence for the interacting effects of forest edge, moisture and soil macrofauna on leaf litter decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, 2012; <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.02.028>

Sofo, A., Mininni, A.N., Ricciuti, P. Comparing the effects of soil fauna on litter decomposition and organic matter turnover in sustainably and conventionally

managed olive orchards. *Geoderma*. 2022; 372: 114393. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114393>

Sylvain ZA, Wall DH, Cherwin KL, Peters DP, Reichmann LG, Sala OE. Soil animal responses to moisture availability are largely scale, not ecosystem dependent: insight from a cross-site study. *Glob Change Biol*. 2014; 20(8):2631- 2643. <https://doi.org/10.1111/gcb.12522>

Wardle, DA, Bardgett, RD, Klironomos, JN, Setälä, H, Van der Putten, WH, Wall, D H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*. 2004; 304: 1629–1633. <https://doi.org/10.1126/science.1094875>

Wang, Z, Yin, X, Li, X. Soil mesofauna effects on litter decomposition in the coniferous forest of the Changbai Mountains, China. *Appl. Soil Ecol*. 2015; doi:10.1016/j.apsoil.2015.03.010.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise abrangente dos indicadores físicos e químicos de qualidade do solo revelou variações significativas entre diferentes áreas de estudo. O fragmento de mata nativa destacou-se positivamente, apresentando indicadores físicos, como densidade, umidade, estabilidade de agregados e diâmetro médio ponderado, em condições mais favoráveis. Por outro lado, práticas de manejo que envolvem irrigação por gotejamento superficial, aliadas à aplicação de cama de cavalo, demonstraram benefícios em indicadores químicos, como estoques de carbono e nitrogênio, além da relação C/N. A distribuição dos índices faunísticos, embora não tenha apresentado diferenças estatísticas significativas, em termos de riqueza, abundância, Pielou e Shannon, revelou nuances interessantes. A abundância, embora superior em algumas áreas, não se traduziu necessariamente em maior diversidade, evidenciando a complexidade das interações ecológicas nos diferentes ambientes estudados. A importância do estudo das camadas superficiais do solo foi destacada, uma vez que os indicadores químicos e físicos da qualidade do solo mostraram-se mais expressivos nesses estratos. Além disso, a composição da serapilheira, predominantemente constituída por folhas de cafeeiro nas áreas de cultivo, contrastou com a diversidade observada na serapilheira da mata nativa. É crucial salientar a influência recíproca entre os indicadores de qualidade do solo, a serapilheira e os diferentes grupos faunísticos. Os organismos considerados engenheiros ecossistêmicos, como Oligochaeta, Blattodea e Formicidae, desempenharam papéis significativos na influência sobre os indicadores físicos e químicos do solo, bem como na decomposição da serapilheira. Essas conclusões ressaltam a interconexão complexa entre os diversos elementos dos ecossistemas estudados, enfatizando a importância de estratégias de manejo sustentáveis que considerem não apenas os aspectos agrônômicos, mas também a ecologia do solo e a biodiversidade associada.