

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
ECOSSISTEMAS

MACROFAUNA EDÁFICA E SUA RELAÇÃO COM AS
PROPRIEDADES QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO EM
SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE *Coffea*
***arabica* L.**

JANAINA BIRAL DOS SANTOS

VILA VELHA

FEVEREIRO / 2015

UNIVERSIDADE VILA VELHA – ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
ECOSSISTEMAS

MACROFAUNA EDÁFICA E SUA RELAÇÃO COM AS
PROPRIEDADES QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO EM
SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE *Coffea*
***arabica* L.**

Dissertação apresentada a Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

JANAINA BIRAL DOS SANTOS

VILA VELHA
FEVEREIRO / 2015

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

S237m Santos, Janaina Biral dos

Macrofauna edáfica e sua relação com as propriedades químicas e microbiológicas do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional de coffeea arábica L. / Janaina Biral dos Santos. – 2015.

62 f.: il.

Orientador: Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso.

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ecossistemas) – Universidade Vila Velha, 2015.

Inclui bibliografias.

1. Química do solo. 2. Biologia do solo. 3. Indicadores (Biologia). 4. Fauna edáfica I. Cardoso, Elke Jurandy Bran Nogueira. II. Universidade Vila Velha. III. Título.

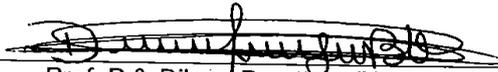
CDD 631.46

JANAINA BIRAL DOS SANTOS

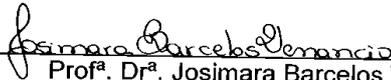
MACROFAUNA EDÁFICA E SUA RELAÇÃO COM AS
PROPRIEDADES QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO
EM SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE
Coffea arabica L.

Aprovada em 26 de Fevereiro de 2015,

Banca Examinadora:



Prof. Drº. Dilmar Baretta – (UDESC-CEO)



Profª. Drª. Josimara Barcelos Venancio - UENF



Profª. Drª. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso - UVV
Orientadora

O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano.

Isaac Newton.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por toda força e oportunidades concedidas.

À Universidade Vila Velha (UVV) pelo ensino, pesquisa e extensão.

À Fundação e Amparo a Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À professora Dra. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso, por sua orientação, conselhos, opiniões e correções.

Ao professor Alessandro Coutinho Ramos, pela oportunidade e apoio, porque, sem a sua ajuda, esse trabalho não teria se concretizado.

Aos laboratórios da Universidade Norte Fluminense (UENF) e da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ) pelo apoio na realização das análises.

Aos colegas do laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia, em especial, ao Frederico Jacob Eutrópio, pelo apoio e por esclarecer minhas dúvidas. Ao colega André Falcão pela ajuda e paciência na identificação dos insetos.

Ao professor Romildo Rocha Azevedo Junior pela parceria, apoio e ajuda durante todos esses anos.

Aos produtores de café do Estado do Espírito Santo, por terem cedido suas propriedades para elaboração do trabalho.

Ao professor Dilmar Baretta pelo apoio, conselhos e suporte na análise de dados, que foram determinantes para que esse trabalho fosse executado.

À professora Dra. Marie Luise Carolina Bartz pela gentileza em identificar as espécies de minhocas.

Ao professor Jamil de Moraes Pereira pelo incentivo e sugestões a este trabalho.

Aos meus amores, Vinícius e Walber, pelo apoio e companheirismos durante tantos anos de jornada.

Muito Obrigada a todos!

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. HIPÓTESES.....	6
3. OBJETIVOS	6
4. MATERIAL E MÉTODOS	7
4.1 Descrição da área de estudo.....	7
4.2 Amostragem de solo rizosférico	12
4.3 Análises químicas do solo	12
4.4 Determinação dos atributos microbiológicos do solo	15
4.5 Avaliação da macrofauna do solo	16
4.6 Análises estatísticas.....	18
5. RESULTADOS	21
5.1 Número total de indivíduos encontrados pelo método TSBF	21
5.2 Densidade total da macrofauna edáfica pelo método TSBF	22
5.3.Frequência relativa da macrofauna edáfica pelo método TSBF	23
5.4 Análise de Componentes Principais (ACP)	24
5.5 Análise Canônica Discriminante (ACD)	28
5.6 Densidade e diversidade de minhocas coletadas pelo método TSBF.....	32
5.6.1 Densidade total de minhocas coletadas pelo método TSBF.....	32
5.6.2 Diversidade de minhocas encontradas pelo método TSBF.....	33
5.6.3 Frequência relativa de minhocas coletadas pelo método TSBF.....	33
5.6.4 Análise de Componentes Principais (ACP) para minhocas (Oligochaeta)	35
5.6.5 Análise de Redundância (RDA) para minhocas (Oligochaeta).....	37
6. DICUSSÃO.....	41
7. CONCLUSÕES	46
8. REFERÊNCIAS.....	47

RESUMO

SANTOS, Janaina Biral, Universidade Vila Velha – ES, fevereiro de 2015.
Macrofauna edáfica e sua relação com as propriedades químicas e microbiológicas do solo nos sistemas de cultivo orgânico e convencional de *Coffea arabica* L. Orientadora: Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso.

O Estado do Espírito Santo destaca-se por ser o maior produtor de café do país. Com isso, existe um crescente interesse por práticas agrícolas conservacionistas que promovam a sustentabilidade e qualidade ambiental em agroecossistemas. Objetivou-se avaliar as relações entre a macrofauna edáfica, as características químicas e microbiológicas do solo e identificar quais os atributos mais efetivamente discriminam os sistemas de cultivo de *Coffea arabica*, cultivo orgânico (CO) e convencional (CC). Cada sistema de cultivo foi representado por três repetições verdadeiras e em cada área foi estabelecido um grid de amostragem e coletadas nove amostras de solo equidistantes entre si 30 m para avaliação da macrofauna edáfica em duas épocas contrastantes (verão e inverno), utilizando-se o método de escavação e triagem manual de monólitos (TSBF). Nos mesmos pontos de coletas da macrofauna foram coletadas amostras de solo rizosférico, para avaliação dos atributos químicos e microbiológicos do solo. A abundância da macrofauna e de espécies de minhocas foram submetidas à Análise de Componentes Principais (ACP) e os atributos químicos e microbiológicos foram utilizados na ACP, como variáveis ambientais explicativas. A macrofauna sofreu influência da sazonalidade, apresentando maior densidade no inverno. A abundância de grupos da macrofauna foi influenciada pelo tipo de manejo adotado nos sistemas de cultivo, sendo que o sistema de CO proporcionou maior diversidade de grupos taxonômicos. No grupo Oligochaeta predominaram as espécies exóticas em ambos os cultivos estudados. A ACP para a macrofauna edáfica ressaltou que a Umidade (Umid), a Matéria Orgânica (MO), o Fósforo (P), o Boro (B), o Cobre (Cu), o pH e o Nitrogênio (N), como atributos químicos, e a Fosfatase Ácida (fac), a Fosfatase Alcalina (fal) e o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), como atributos microbiológicos, foram os mais importantes para discriminar os sistemas de cultivos estudados. Para a abundância de espécies de minhocas identificadas, independentemente do sistema de cultivo, obteve-se maior correlação com o P, Cu,

B, MO, Umid e CBM. A Análise Canônica Discriminante (ACD) evidenciou uma boa separação entre os sistemas de cultivo de café. Os grupos taxonômicos da macrofauna edáfica que apresentaram maiores valores da Taxa de Discriminação Paralela (TDP) foram: Ortoptera (0,32), Isoptera (0,24), Coleoptera (0,21) e Araneae (0,14) no verão. Já no inverno, os grupos taxonômicos com maior potencial para separar os sistemas, foram: Gastrópoda (0,45), Chilopoda (0,16) e Oligochaeta (0,13). Assim sendo, este trabalho ressalta a importância da macrofauna edáfica como potencial indicador de qualidade do solo.

PALAVRAS-CHAVES: Bioindicadores, Biologia do solo; Fauna edáfica; Atributos químicos do solo.

ABSTRACT

SANTOS, Janaina Biral, M.Sc/, Universidade Vila Velha – ES, February 2015. **Soil macrofauna and its relation to chemical and microbiological properties of the soil in organic and conventional farming systems of *Coffea arabica* L.** Advisor: Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso.

The southeastern state Espírito Santo is the greatest coffee producer in Brazil. Many experimental trials are going on to incentivize conservative management systems to guarantee greater sustainability and environmental quality of agro-ecosystems. The objective of this study was to evaluate the relationships between the soil macrofauna and chemical or microbiological soil attributes that most effectively discriminate between organic (OC) and conventional (CC) *Coffea arabica* plantations. For each management we had three true replicates and, in each area, nine soil samples were collected to evaluate chemical and microbiological attributes. Macrofauna was sampled in summer and in winter at the same sampling points, using the TSBF monoliths. The same points of macrofauna collections rhizosphere soil samples were collected for evaluation of chemical and microbiological soil properties. The abundance of macrofauna and species of earthworms were Principal Component Analysis (PCA) and the chemical and microbiological parameters were used in the ACP, as explanatory environmental variables. The macrofauna impacted by seasonality, with higher density in winter. The abundance of macrofauna groups was influenced by the type of management adopted in cropping systems, and the CO system provided greater diversity of taxonomic groups. Among the Oligochaeta only exotic species were found. The PCA evidenced that Moisture (Umid), Organic Matter (OM), P, B, Cu, pH and N, Acid and Alkaline Phosphatase and Microbial Biomass Carbon (MBC) were the most important attributes to discriminate between the were the most important to discriminate the studied culture systems. In a Redundancy Analysis (RA) the earthworms, independently of the management system, were more correlated with P, Cu, B, MO, Umid and MBC. In the PCA there To the abundance of species identified worms, regardless of cropping system, higher correlation was obtained with the P, Cu, B, MO, Umid and CBM. Canonical Discriminant Analysis

(CDA) showed a good separation between the coffee-growing systems. The taxonomic groups of soil macrofauna which were higher Discrimination Rate Parallel (TDP) were: Orthoptera (0.32), Isoptera (0.24), Coleoptera (0.21) and Araneae (0.14) in the summer. In the winter, the taxonomic groups with the greatest potential to separate the systems were: Gastropoda (0.45), Chilopoda (0.16) and Oligochaeta (0.13). Therefore, this work highlights the importance of soil macrofauna as potential soil quality indicator.

KEY WORDS: Bioindicators, Chemical attributes, Soil Biology, Soil Fauna

1. INTRODUÇÃO

Para que ocorra a garantia da sustentabilidade das funções do solo, muitas práticas são aplicadas para que suas propriedades sejam mantidas e intensificadas, pois uma agricultura mal gerenciada pode favorecer um empobrecimento ou um desequilíbrio ecológico do solo [1,2].

Os diferentes tipos de manejos aplicados no solo e o uso de corretivos e fertilizantes podem promover alterações significativas na capacidade de oxigenação e retenção da umidade, no pH [3,4], principalmente, na matéria orgânica e na composição biológica do solo, por atuarem na decomposição de resíduos orgânicos e na ciclagem dos nutrientes [5,6].

Os sistemas de cultivo orgânicos possuem um potencial inerente para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, pelo menor gasto de combustível, melhorar a captura do Carbono (C) no solo [7] e manter a sustentabilidade dos agroecossistema [8], bem como uma elevada produtividade [9]. Por isso, esse sistema de cultivo se torna cada vez mais relevante, pois reduz o revolvimento do solo e favorece a recuperação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, quando comparado ao sistema de cultivo convencional [10].

Por se tratar de um sistema de monocultura e muitas vezes apresentar um ambiente homogêneo, pode acarretar na perda de diversidade biológica do solo [11]. Muitos processos de produção orgânica baseiam-se principalmente na fertilidade do solo como função direta do seu conteúdo de matéria orgânica. Em sistemas de cultivo orgânico há interações positivas entre a biota do solo, o que promove melhorias na estrutura e fertilidade do solo [12] sendo, um ambiente favorável a inúmeros processos biológicos [13]. Dentre os processos biológicos podemos destacar o aumento da colonização por fungos micorrízicos [14] da transformação da matéria orgânica, estocagem de nutrientes e do aumento da atividade biológica do solo [11].

Em contrapartida, o sistema de cultivo convencional pode afetar negativamente os organismos do solo, pois, muitas das vezes, neste sistema, os solos sofrem alterações, sejam elas por meio da compactação do solo ou da perda de minerais e nutrientes, com isso, reduzindo a microbiota do solo [15]. Este efeito

diminui a diversidade e a densidade dos macroinvertebrados e, conseqüentemente, afeta a qualidade do solo e a suas funções ecológicas [3].

Sistemas de produção alternativos que otimizam os benefícios da diversidade biológica dos solos estão sendo testados para aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção na cultura do cafeeiro [12], já que a cafeicultura é considerada como uma das principais atividades agrícolas do Estado do Espírito Santo e é destaque no cenário econômico e social [18].

Para o desenvolvimento de um sistema de cultivo sustentável, alguns indicadores são utilizados para a avaliação da qualidade do solo [19]. Esses indicadores devem ser sensíveis à modificação do solo, capazes de elucidar os processos do ecossistema, ser de fácil mensuração, ser facilmente quantificados, de fácil interpretação e comparáveis a outros indicadores de qualidade [6,20].

Com isso, a macrofauna invertebrada se enquadra nos parâmetros abordados, pois desempenha um papel chave de funcionamento do ecossistema, além de ocupar diversos níveis tróficos, exercendo interações com o aumento da qualidade e da quantidade dos resíduos vegetais, que são fonte de recurso alimentar e proteção [20].

A macrofauna edáfica é sensível às modificações no meio e praticamente responsiva, com relativa rapidez, ao impacto de diferentes tipos de sistema de produção [16]. São capazes ainda de modificar as características físicas, químicas e biológicas do solo, sendo instrumento importante para a avaliação da organização e funcionamento do solo [6].

Portanto, a macrofauna edáfica compreende os organismos invertebrados visíveis a olho, que apresentam diâmetro corporal entre 2 e 20 mm, e podemos encontrar mais de 20 grupos taxonômicos como: Formicidae (Hymenoptera), cupins (Isoptera), besouros (Coleoptera), minhocas (Oligochaeta), aranhas (Araneae), milipédias (Diplopoda), lacraias (Chilopoda), grilo (Orthoptera), opiliões (Opiliones), baratas (Blattodea), tatuzinhos (Isopoda), Larvas de Dipteros (Diptera), percevejos (Hemiptera), cigarras (Homoptera), pseudo-escorpiões (Pseudoscorpiones), escorpiões (Scorpiones), caracóis e lesmas (Gastropoda) [21].

Com base nos aspectos funcionais, podem ser classificados como, saprófagos: Blattodea, Dermaptera, Diplopoda, Diplura, Isopoda, Psocoptera e Symphyla que são atuantes na fragmentação de resíduos vegetais, em predadores:

Araneae, Chilopoda, Pseudoscorpionida e Hymenoptera que se alimentam de outros organismos, cuja função é manter o equilíbrio ecológico, as larvas de insetos, Diptera, Coleoptera, Lepidoptera e Neuroptera. Os Coleoptera, Collembola e Thysanoptera e os insetos sociais, tais como: Formicidae e Isoptera podem assumir ambas as funções, serem saprofágos e também predadores. Entretanto, os grupos Diptera, Homoptera, Heteroptera e Trichoptera são classificados como não edáficos e com funcionalidade desconhecida [22].

Além de a macrofauna ser um bom indicador de qualidade do solo, podemos também citar outros atributos, como os físicos (relacionados com o arranjo estrutural das partículas sólidas e a porosidade e ao movimento de água no perfil do solo) [23,24]. Ainda, os atributos químicos (relacionados à presença de nutrientes minerais do solo e à fertilidade do solo) e os atributos microbiológicos (os que controlam as alterações no solo, por meio da microbiota) [25,26].

Até o presente momento, no Estado do Espírito Santo não se registram estudos visando identificar indicadores de alterações físicas, químicas e biológicas do solo em áreas sob cultivo orgânico de produção de café, comparativamente àquelas sob cultivo convencional. Esses estudos são de suma importância para determinar a sustentabilidade dos sistemas de cultivo orgânico, para que um conjunto de dados mínimos sirva como referência em termos de avaliação da biodiversidade da macrofauna edáfica e seleção de indicadores de qualidade do solo. O cultivo orgânico envolve alternativas que trazem maior produtividade às culturas agrônômicas, utilizando processos naturais, de baixo custo e de baixo impacto ao meio ambiente e são de extrema importância para o desenvolvimento sustentável da agricultura. Estudos comparativos sobre as interações entre macrofauna edáfica e os atributos químicos e microbiológicos do solo permanecem escassos no Estado do Espírito Santo e em outros locais, apesar da produção cafeeira representar um grande destaque na economia e no âmbito social.

2. HIPÓTESES:

- 1) Os sistemas de cultivo orgânicos de café propiciam melhorias químicas e microbiológicas do solo, diferenciando-os daqueles cultivados convencionalmente, apresentando maior sustentabilidade e uma maior diversidade de organismos.
- 2) Existe relação entre os atributos químicos e microbiológicos do solo e a diversidade da macrofauna, especialmente de minhocas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar as relações entre a diversidade da macrofauna e as características químicas e microbiológicas do solo e identificar quais os atributos edáficos que mais efetivamente distinguem entre os dois sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CV) de *Coffea arabica*.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as comunidades de macrofauna edáfica, associadas ao cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) de café em dois períodos distintos (verão e inverno).
- Identificar quais os grupos principais da macrofauna edáfica que mais contribuem para separar os sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) de café, afim de selecionar os melhores indicadores.
- Avaliar quais as espécies de minhocas estão mais relacionadas aos sistemas orgânico (CO) e convencional (CC) de café.
- Avaliar o potencial da macrofauna edáfica e das variáveis explicativas do solo (químicas e microbiológicas) para avaliar a qualidade do solo.

- Verificar quais os atributos químicos e microbiológicos do solo se relacionam com os principais grupos da macrofauna do solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido sazonalmente, no verão (janeiro de 2013) e no inverno (julho de 2013), em três municípios da região serrana do estado do Espírito Santo – Brasil, compreendendo: 1) Santa Maria de Jetibá (20°0'267"S e 47'010"W), 2) Domingos Martins (20°21'572"S e 41°03'063"W) e 3) Marechal Floriano (20°261"S e 40°45'780"W) (Figura 1).

As propriedades foram selecionadas baseadas em características semelhantes de solo, altitude variando de 700 a 1.000m de altitude, histórico e proximidade dos sistemas orgânico e convencional, evitando assim que outras variáveis interferissem nos resultados.

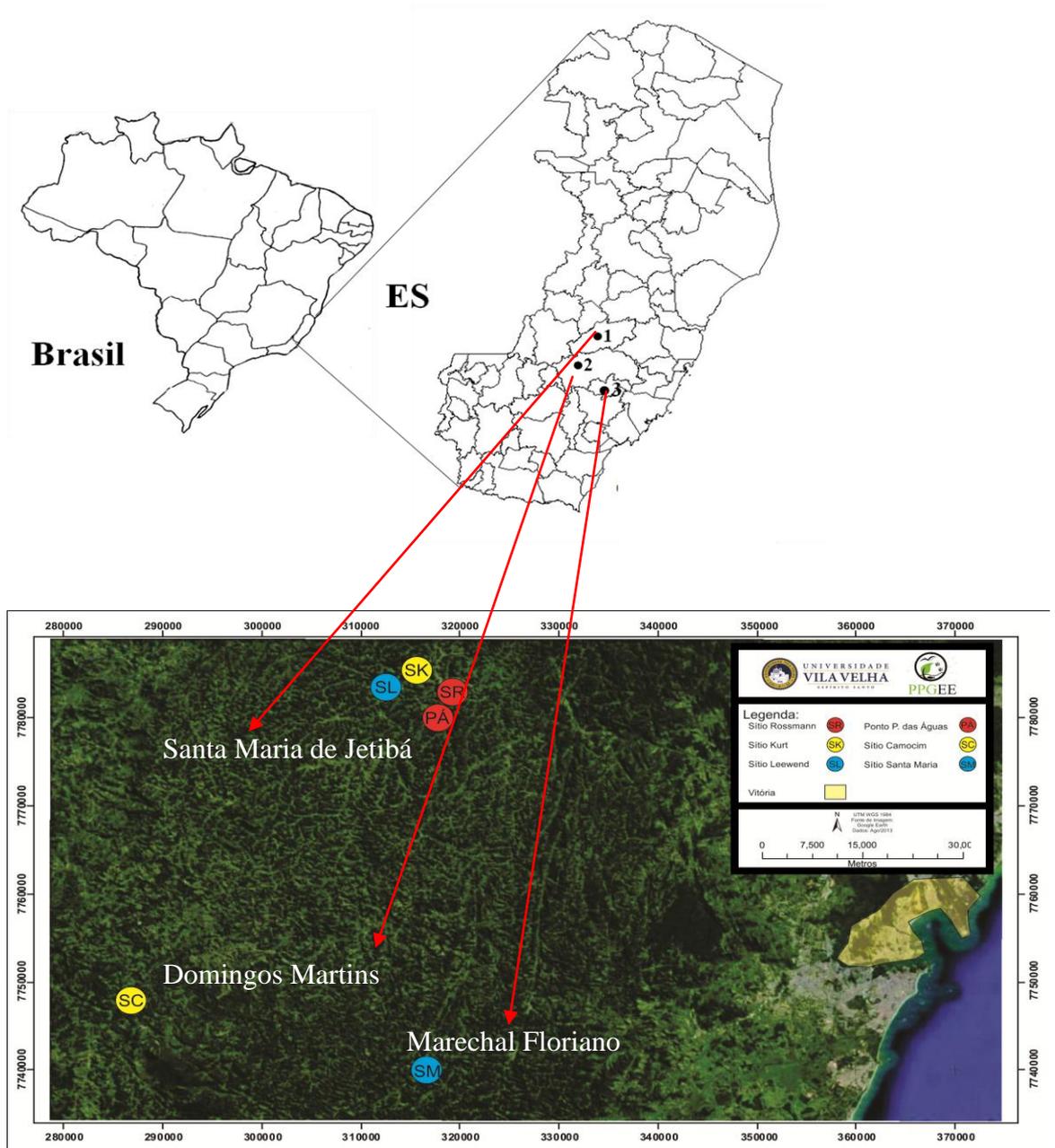


Figura 1. Localização dos municípios onde foram realizadas as coletas. Santa Maria de Jetibá (1), Domingos Martins (2) e Marechal Floriano (3), ES, Brasil.

Cada uma das três propriedades selecionadas foi considerada como uma réplica verdadeira do sistema de cultivo. A descrição dos sistemas de cultivos e o histórico dos sistemas de cultivos estão inseridos na Tabela 1 e no Quadro 1.

A área útil onde foram retiradas as amostras de solo, excluindo o efeito bordadura de 20 cm foi padronizada em todos os sistemas de cultivo. Em todas as propriedades, os cultivos estavam voltados para a encosta leste e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, segundo critérios da Embrapa [27]. A idade dos cultivos de CO e CC foram uniformizadas e padronizadas; ambos os sistemas de cultivo basearam-se em monocultura.

Tabela 1. Características das áreas estudadas nos sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) no Estado do Espírito Santo, Brasil.

Cultivo	Coordenadas	Município	Tipo Cultivo	Idade dos Cultivos	Espaçamento
CO	20°02.267'S 40°47.010'W	Santa Maria de Jetibá	Catuaí (1)	25 anos	2,7x3,0
CO	20°21.572'S 41°03.063'W	Domingos Martins	Var Iapar 59 (1)	4 anos	0,7x3,0
CO	20°03.636'S 40°45.231'W	Santa Maria de Jetibá	Catuaí (1)	20 anos	2,0x3,0
CC	20°03.007'S 40°49.017'W	Santa Maria de Jetibá	Catuaí (2)	15 anos	1,5x2,5
CC	20°26.761'S 40°45.780	Marechal Floriano	Catuaí var IAC44(2)	20 anos	0,7x1,5x3,0 (fd) ¹
CC	20°03.241'S 40°45.213'W	Santa Maria de Jetibá	Catuaí (2)	5 anos	1,5x2,5

¹(fd) fileira dupla

Quadro 1. Histórico das áreas estudadas nos sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) no Estado do Espírito Santo, Brasil.

Cultivo	Coordenadas	Histórico das áreas
CO	20°02.267'S 40°47.010'W	Faz uso de compostagem rudimentar na própria propriedade, com aplicação do composto de 3 a 4 kg planta ⁻¹ uma vez ao ano (entre novembro e dezembro). Composição: esterco de aves de corte, de bovinos e suínos. Faz uso de controle de pragas e doenças por meio de pulverização com urina de vaca a 4% no inverno (julho). Fez reposição de Fósforo (P) no início do ano (janeiro). Realiza uma capina manual por ano (antes da colheita). Faz roçadas por meio de roçadeira de 3 a 5 vezes por ano. A arruação é feita uma vez por ano (julho). A poda e a recepa é feita também uma vez ao ano após a colheita. A produtividade chega à 23 sc.ha ⁻¹
CO	20°21.572'S 41°03.063'W	Utilizam adubação com torta de mamona: <i>Ricinus communis</i> e esterco (compostagem de casca de eucalipto + esterco). Utilizam compostagem de outras áreas: Conceição do Castelo. Fez reposição de Fósforo (P) no início do ano (janeiro). Para o controle de pragas e doenças, fez uso de pulverização com urina de vaca a 4%. As capinas são realizadas manualmente, com 4 roças por ano, não faz esparramação de cisco e não faz arruação. A produtividade do cafeeiro é de 13,75 sc.ha ⁻¹
CO	20°03.636'S 40°45.231'W	A compostagem é feita de forma rudimentar na própria propriedade, utilizam compostagem a base de cana: <i>Saccharum officinarum</i> L., esterco bovinos, aves de corte e suínos. Não faz uso de controle de pragas e doenças. As capinas e roçadas são feitas de forma manual duas vezes ao ano. A produtividade do cafeeiro chega a 15 sc.ha ⁻¹ .
CC	20°03.007'S 40°49.017'W	Utilizam N-P-K (19-04-19) à base de nitrato e à base de amônia, cerca de 200 kg por planta, com aplicação três vezes ao ano (março, novembro e dezembro) e utilizam micronutrientes uma vez ao ano (novembro). Em 2012 fez uso de B e Zn. Fez controle de pragas e doenças, Utilizam o Verdadero (para controle do bicho mineiro: <i>Leucoptera coffeella</i> e ferrugem: <i>Hemileia vastatrix</i>) uma vez ao ano (entre outubro a dezembro). Faz uso de Roundup para controle de ervas daninhas. Faz arruação leve e esparrama o cisco (julho). A produtividade do cafeeiro é de 75 sc.ha ⁻¹ .
CC	20°26.761'S 40°45.780'W	Utilizam adubação de N-P-K três vezes ao ano, sendo a primeira adubação com a formulação 20-10-20 e a segunda e a terceira com 20-00-20 (outubro/novembro, dezembro/janeiro e março/abril, respectivamente, conforme a precipitação e as florações de cada ano e de acordo com as análises de solo que são realizadas a cada 2 anos na camada de 0-20 cm). São realizadas aplicações foliares com micronutrientes (B = 4%; Cu = 12%; Mn = 5%; Zn = 5%; K = 1% e S = 11%). Também é realizado o controle da ferrugem: <i>Hemileia vastatrix</i> e do bicho-mineiro: <i>Leucoptera coffeella</i> no solo por meio de aplicações dos ativos Cyproconazole (fungicida) + thiamethoxan (inseticida). É aplicado herbicida Glyphosate (nome comercial: Roundup WG) para controle de ervas daninhas.
CC	20°03.241'S 40°45.213'W	Também é realizado o controle da ferrugem: <i>Hemileia vastatrix</i> e do bicho-mineiro <i>Leucoptera coffeella</i> no solo por meio de aplicações dos ativos Cyproconazole (fungicida) + thiamethoxan (inseticida). É aplicado herbicida Glyphosate (nome comercial: Roundup WG) para controle de ervas daninhas.

Na primeira época de coleta, no verão (janeiro de 2013) a temperatura média e a precipitação encontrada foram de 23 °C e 257 mm respectivamente, registrada pela estação metrológica de Santa Maria em Marechal Floriano, enquanto que na

estação do inverno (julho de 2013) a temperatura média ficou entre 18,5 °C e a precipitação entre 60 mm.

Para a região de Santa Maria de Jetibá, foram utilizados os dados climáticos da Estação Agroclimatológica de Santa Teresa, onde se encontra a 998 m de altitude (19°98'86"S e 40°57'94"W). Na qual, os valores encontrados na estação do Verão (janeiro de 2013) a temperatura média foi de 21,2°C e a precipitação média de 269,6 mm. Já para os valores obtidos na segunda coleta no Inverno (julho de 2013) a temperatura média foi correspondente a de 16,7°C e para a precipitação média foi de 80,8 mm. Contudo, a tendência foi muito similar entre as regiões, conforme demonstrado na Figura 2.

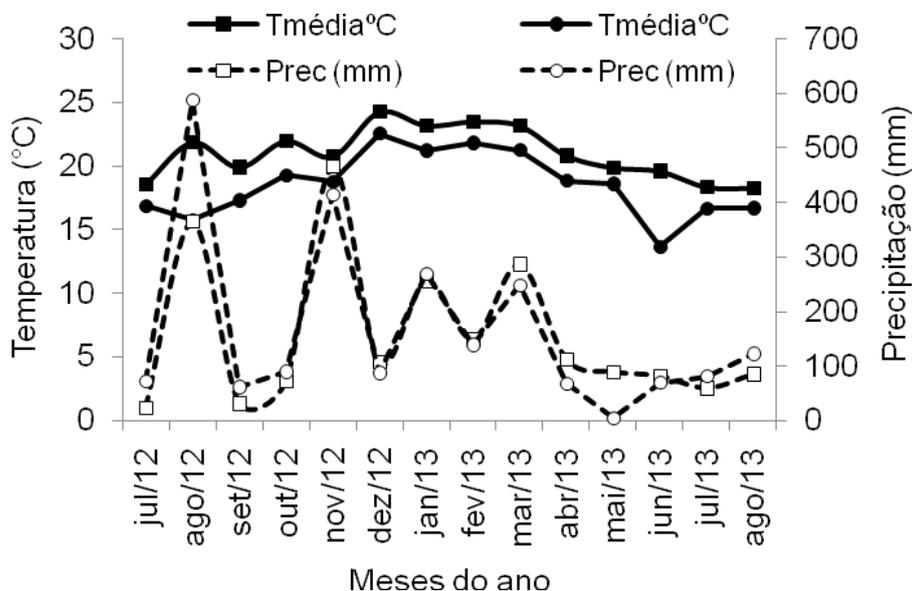


Figura 2. Média mensal de temperatura (°C): (■) e média mensal de precipitação (mm) (□) registrada pela estação meteorológica de Santa Maria de Marechal Floriano no período de julho de 2012 a agosto de 2013. Média mensal de temperatura (°C) (●) e a média mensal de precipitação (mm) (○), registrada pela estação Agroclimatológica de Santa Teresa, ES, no período de julho de 2012 a agosto de 2013.

No verão, as plantas do cafeeiro estavam em estágio produtivo, mais precisamente no pré/início de colheita.

No período de inverno, as plantas encontravam-se em estado vegetativo (pós-colheita) enquanto, no verão as plantas encontravam-se na fase reprodutiva. Em ambas as épocas de coletas tanto na fase reprodutiva quanto à fase vegetativa, as plantas de café não receberam qualquer tipo de irrigação.

4.2. Amostragem de solo rizosférico

As coletas das amostras de solo rizosférico foram realizadas em delineamento inteiramente casualizado, constando 2 sistemas de cultivo, sendo CO de *C. arabica* e CC de *C. arabica*) x 2 períodos (verão e inverno), cada um com três repetições verdadeiras e em cada área foi estabelecido um gride de amostragem e coletadas nove amostras de solo equidistantes entre si 30 m, perfazendo uma área de aproximadamente 1 h⁻¹.

Com esse espaçamento entre amostras pretendeu-se garantir a representatividade da amostra e, para tanto, foi deixada uma bordadura de 20 m.

Para garantir uma boa representatividade, em cada um dos 9 pontos, ou seja, em cada planta de café (sob a copa) foram retiradas 8 amostras de solo rizosférico, com auxílio de uma furadeira, na profundidade de 0-20 cm de profundidade, as quais, posteriormente, foram misturadas para formar uma amostra composta, seguindo a metodologia proposta por Tomé Jr. [28] e pela Embrapa [29].

As amostras compostas foram armazenadas em sacos plásticos de polietileno, conforme identificação dos pontos de coletas e acondicionadas em refratário de isopor contendo gelo para manutenção da temperatura. Após realização das coletas das amostras de solo, estas foram transportadas para o Complexo de Biopráticas Nossa Senhora da Penha e permaneceram armazenadas em geladeira para as análises químicas, microbiológicas e granulométricas, a fim de manter a integridade das amostras.

4.3. Análises químicas do solo

Para a determinação dos atributos químicos do solo, como o pH, o fósforo (P), o Cálcio (Ca), o Magnésio (Mg), o Potássio (K), o Fósforo (P), o Hidrogênio (H) +

Alumínio (Al) e o Alúmnio (Al) seguiu-se a metodologia recomendada por Raij et al., [30].

Para a determinação da umidade, as amostras de solo foram realizadas nas duas épocas, (verão e inverno), seguiu-se a metodologia aplicada pela Embrapa [29].

Para a avaliação dos parâmetros granulométricos, as amostragens do solo foram quantificadas somente em uma época do ano, em janeiro de 2013, conforme metodologia descrita pela Embrapa [29]. As características químicas do solo estão inseridas na Tabela 2 e as características granulométricas do solo estão na Tabela 3.

Tabela 2. Características químicas do solo na profundidade de 0-20 cm, em sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC), no Estado do Espírito Santo, Brasil.*

Características	Sistemas de cultivo			
	Cultivo Orgânico (CO)		Cultivo Convencional (CC)	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Umidade (%)	22,71 ^{Aa} ± 0,90	20,41 ^{Ab} ± 0,60	20,61 ^{Ba} ± 0,35	20,41 ^{Aa} ± 0,35
pH (H ₂ O)	6,00 ^{Aa} ± 0,16	6,13 ^{Aa} ± 0,16	5,70 ^{Aa} ± 0,13	6,11 ^{Aa} ± 0,11
P-resina (mg.dm ⁻³)	225,67 ^{Aa} ± 47,7	324,00 ^{Aa} ± 81,06	99,22 ^{Ba} ± 17,7	121,52 ^{Ba} ± 29,1
K (mmol.dm ⁻³)	4,92 ^{Aa} ± 0,47	5,61 ^{Aa} ± 0,48	4,97 ^{Aa} ± 0,25	5,09 ^{Aa} ± 0,28
Ca (mmol.dm ⁻³)	65,04 ^{Aa} ± 6,46	57,07 ^{Aa} ± 5,58	45,67 ^{Ba} ± 3,22	41,11 ^{Ba} ± 2,54
Mg (mmol.dm ⁻³)	16,52 ^{Aa} ± 0,89	14,81 ^{Aa} ± 0,85	12,627 ^{Ba} ± 1,04	11,70 ^{Ba} ± 0,97
N (%)	0,45 ^{Aa} ± 0,03	0,49 ^{Aa} ± 0,03	0,4 ^{Aa} ± 0,03	0,4 ^{Ba} ± 0,03
S (mg.dm ⁻³)	33,63 ^{Aa} ± 2,71	33,4 ^{Aa} ± 3,00	33,77 ^{Aa} ± 2,22	39,23 ^{Aa} ± 3,69
Al (mmol.dm ⁻³)	1,85 ^{Aa} ± 0,52	1,37 ^{Aa} ± 0,50	2,41 ^{Aa} ± 0,78	1,19 ^{Aa} ± 0,43
H+Al (mmol.dm ⁻³)	73,85 ^{Aa} ± 10,24	61,11 ^{Aa} ± 8,41	77,52 ^{Aa} ± 6,24	58,89 ^{Ab} ± 8,31

Continua para a primeira folha da tabela

Características	Sistemas de cultivo			
	Cultivo Orgânico(CO)		Cultivo Convencional (CC)	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Químicas do solo				
Na (mmol.dm ⁻³)	0,92 ^{Aa} ± 0,12	1,16 ^{Aa} ± 0,16	0,50 ^{Ba} ± 0,06	0,37 ^{Ba} ± 0,05
C (%)	2,94 ^{Aa} ± 0,22	2,80 ^{Aa} ± 0,20	2,47 ^{Aa} ± 0,10	2,40 ^{Aa} ± 0,10
MO (g/dm ⁻³)	50,77 ^{Aa} ± 3,75	48,25 ^{Aa} ± 3,45	42,56 ^{Aa} ± 1,80	41,39 ^{Aa} ± 1,76
T (mmol.dm ⁻³)	161,24 ^{Aa} ± 7,32	139,67 ^{Ab} ± 6,16	141,30 ^{Ba} ± 4,52	117,15 ^{Bb} ± 3,47
t (mmol.dm ⁻³)	89,24 ^{Aa} ± 7,07	80,02 ^{Ab} ± 6,42	66,19 ^{Ba} ± 3,38	59,45 ^{Ba} ± 3,14
m (%)	3,12 ^{Aa} ± 0,92	2,78 ^{Aa} ± 1,13	5,55 ^{Aa} ± 2,06	3,01 ^{Aa} ± 1,17
V (%)	56,52 ^{Aa} ± 39,7	57,92 ^{Aa} ± 4,57	46,78 ^{Aa} ± 13,9	51,33 ^{Aa} ± 3,36
Fe (mg.dm ⁻³)	33,81 ^{Aa} ± 4,95	35,09 ^{Aa} ± 5,39	57,17 ^{Ba} ± 3,51	48,58 ^{Aa} ± 4,05
Cu (mg.dm ⁻³)	2,86 ^{Aa} ± 0,47	1,79 ^{Aa} ± 0,39	3,03 ^{Aa} ± 0,58	2,19 ^{Ab} ± 0,38
Zinco (mg.dm ⁻³)	20,59 ^{Aa} ± 3,36	23,59 ^{Aa} ± 3,98	13,04 ^{Ba} ± 0,90	11,74 ^{Ba} ± 0,96
Mn (mg.dm ⁻³)	27,24 ^{Aa} ± 2,98	26,94 ^{Aa} ± 2,45	10,47 ^{Ba} ± 0,88	8,77 ^{Ba} ± 0,79
B (mg.dm ⁻³)	0,36 ^{Aa} ± 0,03	0,39 ^{Aa} ± 0,03	0,54 ^{Ba} ± 0,02	0,50 ^{Ba} ± 0,03

Conclusão para a última folha da tabela.

Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de cultivo, indica diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$). Letras minúsculas diferentes no mesmo tipo de cultivo, indica diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$). Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Nitrogênio, Enxofre (S), Alumínio (Al), Hidrogênio + Alumínio (H+Al), Sódio (Na), Carbono (C). Matéria Orgânica (MO), Saturação de bases (S.B), capacidade de troca de cátions a pH 7.0 (T), Capacidade de troca de cátions (t), percentagem de saturação por Alumínio (m), Percentagem de Saturação por bases (V), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Boro (B) e Hidrogênio (H).

Tabela 3. Médias e respectivos erros padrões das características granulométricas do solo na profundidade de 0-20 cm, em sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) no Estado do Espírito Santo, Brasil.*

Características Granulométricas	Sistemas de cultivo	
	Cultivo Orgânico (CO)	Cultivo Convencional (CC)
Areia (%)	12,06Aa ± 1,05	13,20Aa ± 1,25
Silte (%)	50,57Aa ± 3,78	53,72Aa ± 4,42
Argila (%)	37,36Aa ± 3,99	33,07Aa ± 3,57

Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de cultivo, indica diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$). Letras mainúsculas diferentes no mesmo tipo de cultivo, indica diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$). *Dados obtidos em conjunto por Janaina Biral dos Santos e Romildo Rocha Azevedo Junior.

4.4. Determinação dos atributos microbiológicos do solo

As determinações dos atributos microbiológicos foram realizadas nas mesmas épocas do ano (verão e inverno) e nos mesmos pontos de amostragem (Tabela 4). As amostras de solo coletadas em cada sistema de cultivo, tanto CO quanto CC, foram transportadas e acondicionadas em caixa de isopor contendo gelo e mantidas sob refrigeração ao chegar ao laboratório até o momento das análises. O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método da fumigação-extração, conforme metodologia de Vance et al. [31].

A atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal (C-CO₂), conforme metodologia descrita [32]. Os resultados de C-CO₂ e do CBM foram utilizados para calcular o quociente metabólico (qCO₂), conforme metodologia proposta por Anderson [33].

A avaliação da atividade enzimática da fosfatase ácida e alcalina foi realizada conforme metodologia aplicada por Tabatabai & Bremner [34].

Tabela 4. Média \pm erro padrão dos atributos microbiológicos do solo na profundidade de 0-20 cm, em sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC), (n=27) em duas épocas distintas, verão e inverno, no Estado do Espírito Santo, Brasil.*

Atributos Microbiológicos do solo	Sistema de cultivo			
	Orgânico		Convencional	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Fosfatase Alcalina (mg PNF.g ⁻¹ h ⁻¹)	3,55 ^{Aa} \pm 0,34	6,04 ^{Ab} \pm 0,44	1,88 ^{Ba} \pm 0,08	4,67 ^{Bb} \pm 0,30
Fosfatase Ácida (mg PNF.g ⁻¹ h ⁻¹)	5,41 ^{Aa} \pm 0,24	5,56 ^{Aa} \pm 0,27	4,27 ^{Ba} \pm 0,12	4,71 ^{Ba} \pm 0,20
CBM (mg C.g ⁻¹ de solo seco)	0,62 ^{Aa} \pm 0,02	0,60 ^{Aa} \pm 0,04	0,46 ^{Ba} \pm 0,01	0,37 ^{Bb} \pm 0,02
C-CO ₂ * (mg.g ⁻¹ de solo seco)	0,06 ^{Aa} \pm 0,00	0,07 ^{Ab} \pm 0,01	0,03 ^{Ba} \pm 0,00	0,04 ^{Bb} \pm 0,00
qCO ₂ (μg C-CO ₂ /mg CMB.g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	3,84 ^{Aa} \pm 0,20	5,17 ^{Ab} \pm 0,43	2,97 ^{Ba} \pm 0,32	4,17 ^{Bb} \pm 0,36

Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de cultivo, indica diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0.05). Letras minúsculas diferentes no mesmo tipo de cultivo, indica diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0.05). *Dados obtidos em conjunto por Janaina Biral dos Santos e Romildo Rocha Azevedo Junior.

4.5. Avaliação da macrofauna do solo

Em cada sistema de cultivo, CO e CC, onde os solos foram coletados para avaliar os outros atributos, foram retiradas 27 amostras de monolitos de solo, com auxílio de um marcador de chapa de ferro galvanizadas em cada época de coleta (verão e inverno), conforme metodologia recomendada pelo Programa *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) (25 x 25) por Anderson & Ingram [35].

Os pontos de coletas em cada propriedade foram registrados por meio do aparelho GPS e demarcados com placas de identificação para que fossem conduzidas posteriores coletas no mesmo local. Para avaliação da macrofauna, foram realizadas na camada de 0-20 cm de profundidade. As amostras de cada ponto foram armazenadas em sacos de polietileno e transportadas para o laboratório e acondicionadas em ambiente climatizado, contendo sistema de aeração por meio de instalação de cano de PVC, aproximadamente 15 cm com circuncisão por pano de perfex (Figura 4).

No laboratório foi feita a triagem manual e os indivíduos, visíveis a olho nu, foram fixados e preservados em álcool 70%, com exceção das minhocas que foram fixadas em álcool absoluto. Os invertebrados foram separados em nível de grandes grupos taxonomicos, quantificados e identificados com auxílio de microscópio estereoscópico e literatura específica (Figura 4). As minhocas foram identificadas em nível de família, gênero e espécie quando possível utilizando chaves de identificação e descrições de Michaelsen [36], Righi [37] e Blakemore [38].



Figura 4. Acondicionamento das amostras de solo para posterior triagem da macrofauna edáfica.



Figura 5. Triagem manual das amostras pelo método TSBF.

4.6. Análise estatística

O teste *t* de Student foi utilizado para detectar diferenças significativas nos dados dos atributos químicos, atributos microbiológicos, densidade total da macrofauna edáfica e a densidade total das minhocas (*Oligochaeta*) entre as estações do ano e entre os sistemas de cultivo e as médias foram comparadas pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para fazer a análise multivariada da abundância (Número total de indivíduos) cada grupo taxonômico da macrofauna nas diferentes áreas foi analisado o comprimento do gradiente e, como esse comprimento foi menor que três (resposta linear), optou-se pela Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando o programa CANOCO versão 4.5 [39].

As variáveis ambientais explicativas analisadas foram: potencial hidrogeniônico do solo (pH), os macronutrientes Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Nitrogênio (N), Enxofre (S), Alumínio (Al), Hidrogênio + Alumínio (H+Al), Sódio (Na), além de Carbono (C), Matéria Orgânica (MO), Saturação por bases (S.B), Capacidade de troca de cátions a pH 7.0 (T), Capacidade de troca de cátions (t), Percentagem por saturação de Alumínio (m), Percentagem de Saturação por bases

(V%) e os micronutrientes Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn), e Boro (B), assim como o nível de umidade do solo (Umid). Os atributos microbiológicos do solo como a Fosfatase ácida (pac), a Fosfatase alcalina (pal) e o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e os químicos significativos ($p \leq 0,05$) foram utilizados posteriormente na Análise de Componentes Principais (ACP) por meio do Programa CANOCO versão 4.0 [39] como variáveis ambientais explicativas das modificações da comunidade e da abundância da macrofauna edáfica.

Neste sentido, somente a umidade, juntamente com as variáveis ambientais, como o potencial hidrogeniônico do solo (pH), o Fósforo (P), o Enxofre (S), o Nitrogênio (N), o Cobre (Cu), o Boro (B) e a Matéria Orgânica (MO) e microbiológicos do solo: Fosfatase ácida (pac) Fosfatase alcalina (pal) e o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), que se mostraram significativos ($P < 5\%$), nos programas estatísticos SPSS 20.0, SAS [40] e foram utilizados como variáveis ambientais explicativas, aumentando-se assim a robustez da análise [41].

As variáveis ambientais e os principais atributos da macrofauna também foram submetidos à Análise Canônica Discriminante (ACD) para identificar quais deles foram mais relevantes na separação dos sistemas de cultivo [42,43].

Foram calculados os coeficientes canônicos padronizados (CCP), o coeficiente de correlação (r) e a taxa de discriminação paralela ($TDP = r \times CCP$). Os valores de TDP indicam força da variável, ou atributo, em discriminar as áreas estudadas nos quais os valores são considerados: $\leq 0,03$ (com classe de qualidade I, valor indicador: Baixo), 0,04-0,09 (com classe de qualidade II, valor indicador Médio), 0,10-0,20 (classe de qualidade III, valor indicador Bom), 0,21-0,41 (classe de qualidade IV, valor indicador Muito Bom), 0,42-0,80 (classe de qualidade V, valor indicador Ótimo) e 0,81 (classe de qualidade VI, com valor indicador Excelente) [43]. O coeficiente de relação r reflete o papel individual de cada variável e o coeficiente canônico padronizado explica a separação entre as áreas de acordo com uma visão multivariada dos dados.

Contudo, a TDP é geralmente adotada como sendo a melhor para identificar o peso de cada atributo do solo com a finalidade de separar os sistemas de cultivo estudados. Quando verificada diferença significativa entre as áreas estudadas por meio da ACD, foi realizado teste de comparação de médias nos valores de CCP, na função canônica 1, por meio do teste LSD ($p \leq 0,05$).

A abundância de espécies de minhocas foi submetida à Análise de Componentes Principais (ACP) e os atributos químicos e microbiológicos significativos e não colineares foram utilizados como variáveis explicativas. As variáveis químicas e microbiológicas foram submetidas ao programa CANOCO e analisados por meio dos valores de inflação quanto à possível multicolinearidade entre os dados, além de serem selecionadas quanto a sua maior importância para a separação dos sistemas de cultivo estudados pelo comando Forward Selection ($p \leq 0,05$) [39].

Adicionalmente, os atributos químicos e microbiológicos foram utilizados para testar a hipótese de possível correlação entre as variáveis ambientais e a abundância de minhocas por meio da Análise de Redundância (RDA).

5. RESULTADOS

5.1. Número total de indivíduos encontrados em TSBF

Foi encontrado um total de 203 indivíduos nas amostras de solo retiradas pelo método TSBF, no Verão, no sistema de CO. As ordens mais representativas foram: Oligochaeta, Coleoptera, Hymenoptera, Isoptera e o grupo Outros (menos frequentes).

No sistema de CC ainda no verão, foi encontrado um total de 129 indivíduos pelo método TSBF. As ordens taxonomicas mais representativas foram: Oligochaeta, Araneae, Coleoptera, Hymenoptera e o grupo Outros.

Já no inverno, no sistema de CO, foram encontrados 1854 indivíduos no método TSBF. As ordens taxonomicas mais representativa foram: Oligochaeta, Coleoptera, Gastrópoda, Hymenoptera, Isopoda, Isoptera, Chilopoda e o grupo Outros. No sistema de CC, ainda no inverno, as ordens taxonomicas mais representativas, foram: Oligochaeta, Coleoptera, Gastrópoda, Hymenoptera, Isoptera, Opiliones e o grupo Outros (Tabela 5).

Tabela 5. Grupos da macrofauna edáfica (número total de indivíduos) coletados pelo método TSBF na profundidade de 0-20 cm, em sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) em duas épocas distintas (verão e inverno), no Espírito Santo, Brasil, (n= 27).

Grupos da macrofauna	TSBF			
	Verão		Inverno	
	CO	CC	CO	CC
Oligochaeta	32	29	66	21
Araneae	2	10	4	7
Blattodea	7	3	6	0
Coleoptera	34	11	42	24
Dermaptera	3	0	0	0
Diplopoda	0	1	1	0
Gastropoda	6	4	146	16
Hemiptera	5	5	1	0
Hymenoptera	67	50	836	1002
Isopoda	0	0	12	2
Isoptera	19	2	527	27
Opilionida	1	1	0	23
Orthoptera	2	0	0	0
Pseudoscorpionida	0	0	3	7
Chilopoda	7	2	77	8
Outros*	18	11	133	31
Total	203	129	1854	1168

*Outros: Grupos menos frequentes da macrofauna edáfica

5.2. Densidade total da macrofauna edáfica em TSBF

Os valores de densidade total (Ind.m⁻²) variaram de 344 indivíduos encontrados no sistema de CO no Verão pelo método TSBF, em comparação aos 300 indivíduos encontrados no sistema CC. Já para o Inverno no CO, também no método de coleta TSBF, os valores de densidade total (Ind.m⁻²) variaram de 1323 indivíduos encontrados no sistema de CO, para um total de 919 no sistema de CC (Figura 6). No Inverno, houve diferença significativa entre os valores de densidade total de indivíduos no sistema de cultivo orgânico ($p= 0,009$).

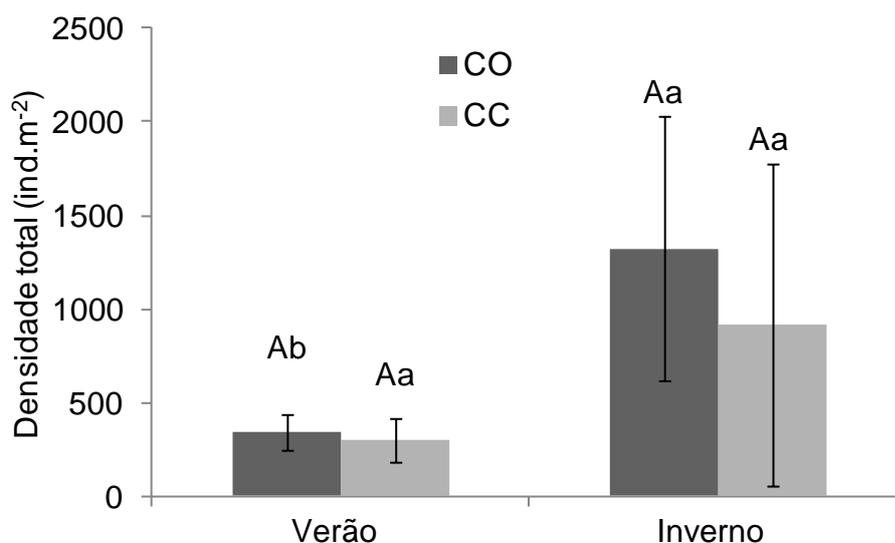


Figura 6. Densidade total da comunidade da macrofauna invertebrada nos sistemas de cultivo orgânico (CO) e cultivo convencional (CC) em duas épocas distintas, verão (janeiro de 2013) e inverno (julho de 2013), Espírito Santo, Brasil. Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de cultivo, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$). Letras minúsculas diferentes no mesmo tipo de cultivo, indica diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

5.3. Frequência relativa da macrofauna edáfica pelo método TSBF

No Inverno, os grupos taxonômicos Chilopoda, Isoptera, Isopoda, Gastrópoda, Coleoptera, Oligochaeta e o grupo Outros (grupos menos frequentes) foram os grupos mais representativos no sistema de CO. Já no sistema de CC temos os grupos, Pseudoscorpionida, Araneae e Hymenoptera. Os grupos taxonômicos Blattodea e Hemiptera tiveram ocorrência alta no sistema de CO, em contrapartida, o grupo táxonômico Opilionida só ocorreu no CC (Figura 7 B).

Os grupos taxonômicos que se destacaram com maior frequência relativa no sistema CO foram: Isopoda, Chilopoda, Coleoptera, Blattodea e o grupo Outros (grupos menos frequentes). Já os grupos Dermaptera e Ortoptera só ocorreram no sistema de CO. No sistema CC, os grupos da macrofauna que mais se destacaram foram: Araneae, Oligochaeta, Oligochaeta, Hemiptera, Hemiptera, Opilionida e o

grupo taxonômico Diplopoda teve ocorrência alta, somente no sistema CC no verão (Figura 7 A).

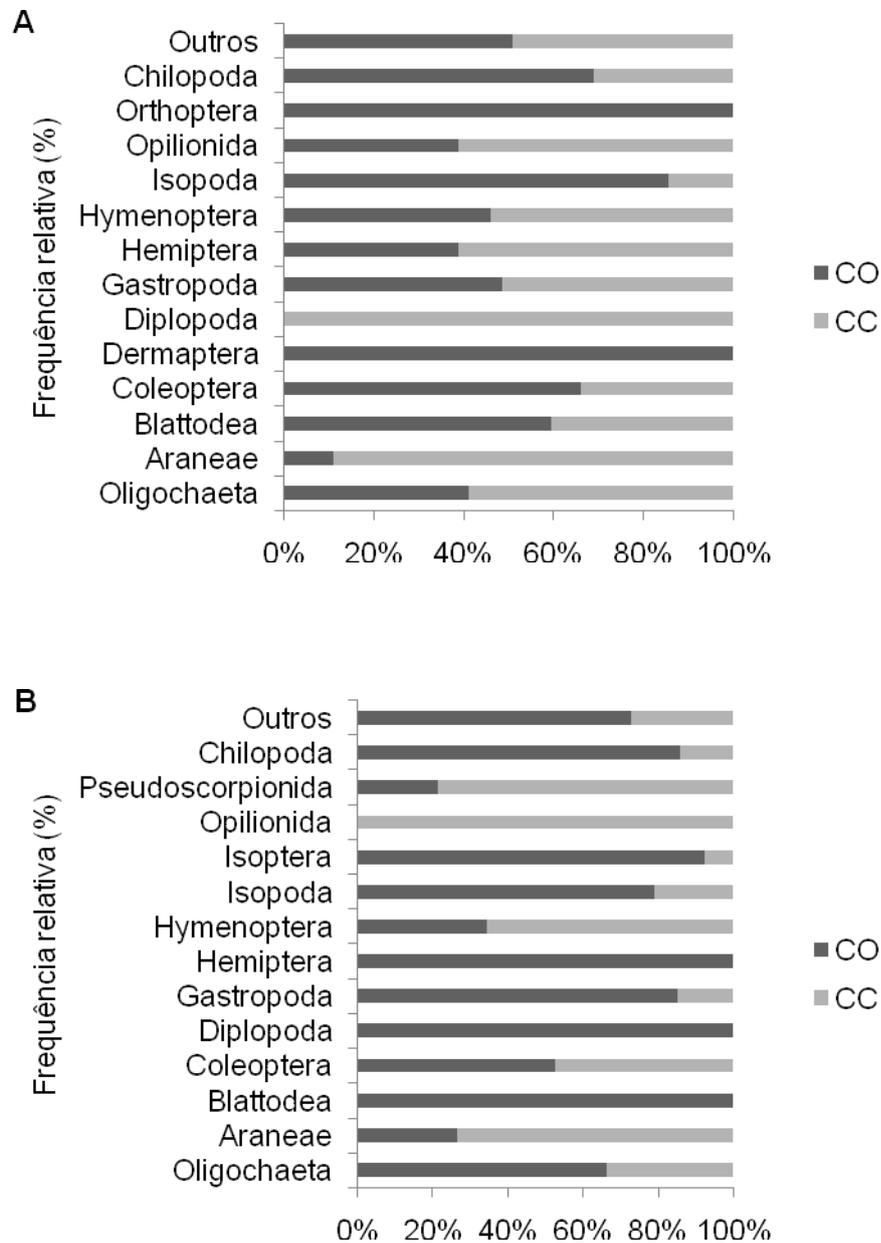


Figura 7. Frequência relativa dos principais grupos da macrofauna edáfica coletada até 20 cm, nos sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC), em duas épocas distintas, no verão= **A** (janeiro de 2013) e no inverno= **B** (julho de 2013), Espírito Santo, Brasil (n=27). Outros= Outros grupos menos frequentes.

5.4. Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise de Componentes Principais (ACP) da macrofauna em TSBF, no verão, revelou que os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) explicaram 64,4% da variabilidade total dos dados, na qual 36,3% são explicados pela CP1 e 28,1% pela CP2 (Figura 8 A).

Para o sistema de CO no Verão, nota-se uma maior representatividade de organismos pertencentes à macrofauna edáfica, relacionada à esquerda do gráfico. Denota-se uma maior associação dos grupos taxonômicos, ou seja, uma maior abundância e uma maior diversidade de grupos taxonômicos associados ao sistema de CO, juntamente, também a maiores valores dos atributos químicos e microbiológicos do solo.

O grupo Oligochaeta ficou mais associado à Fosfatase Ácida (pac) e ao Nitrogênio (N). Os grupos Dermaptera e Chilopoda, ficaram mais associados à Matéria Orgânica, Umidade e ao Carbono da Biomassa Microbiana (CBM). Os grupos taxonômicos Isoptera, Coleoptera, Orthoptera e o grupo Outros ficaram mais associados a Fosfatase alcalina (pal). Os grupos taxonômicos Araneae, Hymenoptera, Hemiptera, Blattodea e Opiliones ficaram mais associados ao Enxofre (S), Fósforo (P) e ao potencial hidrogeniônico (pH). Já o grupo Gastrópoda teve uma baixa associação aos atributos químicos do solo.

Das variáveis ambientais, ou seja, dos atributos químicos, os que mais estiveram associados ao sistema de CO, foram: a MO, o N, o P, o S, o pH, e a Umid. Dos parâmetros microbiológicos, temos que o CBM, a pac e a pal foram mais representativos no CO. Assim, a hipótese a princípio de que os sistemas de CO propiciam melhorias químicas, microbiológicas e uma elevada abundância de grupos da macrofauna do solo é confirmanda.

Ainda no verão, a macrofauna edáfica coletada no método de TSBF, o grupo taxonômico Diplopoda ficou mais associado ao Boro (B) e ao Cobre (Cu) no sistema de CC, no qual se pode observar que houve uma menor representatividade da macrofauna edáfica (à direita do gráfico).

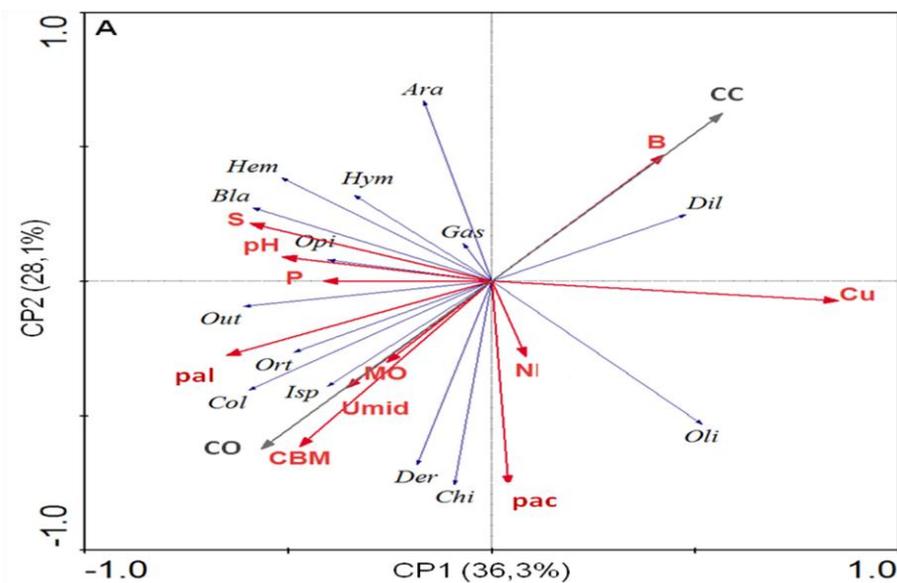
O sistema CO teve uma maior diversidade de grupos taxonômicos da macrofauna edáfica tanto no verão quanto no inverno.

No Inverno, as análises das variáveis pela ACP nos dois primeiros eixos explicaram: 67,6% da variabilidade dos dados, sendo, 43,9% (CP1) e 23,7% (CP2) (Figura 8 B). Os atributos químicos que mais contribuíram para uma maior associação da macrofauna edáfica em TSBF no sistema de CO foram: a MO, o N, o P, o S, o pH, a Umid, e, para os microbiológicos: o CBM, a pac e a pal.

No inverno, no sistema de CO, os grupos taxonômicos, Outros, Isopoda, Diplopoda e Hemiptera tiveram uma maior associação a P e ao pH. Os grupos taxonômicos Gastropoda, Chilopoda, Blattodea, Hymenoptera, Oligochaeta, Isopoda e Coleoptera estão mais associados ao CBM, a pac, a pal, o N), a MO e a Umid.

No sistema de CC, houve uma menor correlação com os grupos da macrofauna e aos atributos químicos. Os grupos taxonômicos Araneae, Pseudoscorpionida, Opilionida estão mais associados a Cobre, Enxofre, e Boro.

É importante ressaltar que os grupos da macrofauna do solo e as variáveis ambientais explicativas ocorreram de forma diferenciada entre as áreas de CO e de CC nas duas épocas de coleta.



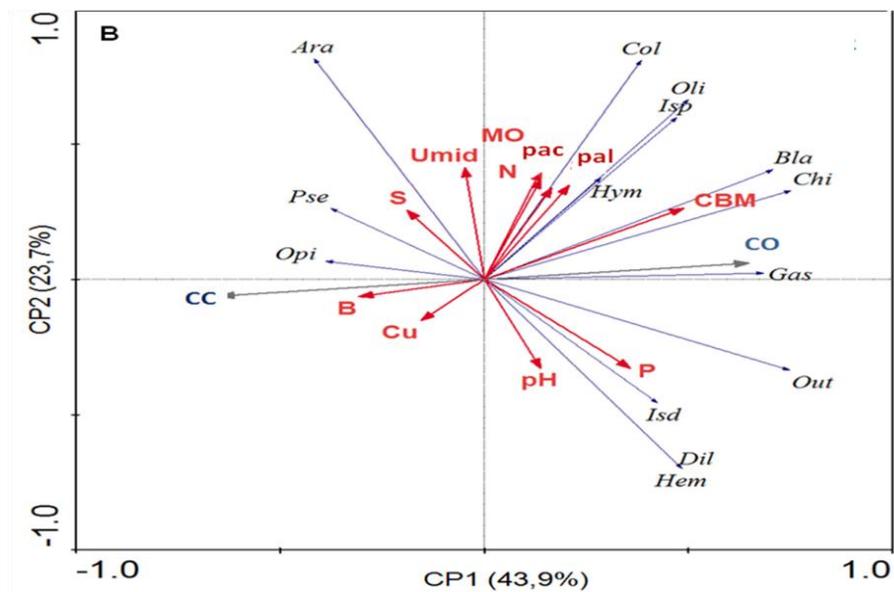


Figura 8. Análise de Componentes Principais 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando os sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) no verão= **A** (janeiro de 2013) e no inverno= **B** (julho de 2013). Grupos taxonômicos da macrofauna (→em itálico) Oli: Oligochaeta, Dil: Diplopoda Ara: Araneae, Hym: Hymenoptera, Hem: Hemiptera, Bla: Blattodea, Gas: Gastropoda, Opi: Opilionida, Col: Coleoptera, Isd: Isopoda, Isp: Isoptera, Ort: Orthoptera, Pse: Pseudoscorpianida, Out: Outros, Der: Dermaptera, Chi: Chilopoda e as variáveis ambientais explicativas (→ tracejado), Cu: Cobre, N: Nitrogênio, B: Boro, S: Enxofre, pH: potencial hidrogeniônico do solo, P: Fósforo, pal: Fosfatase alcalina, pac: Fosfatase ácida, MO: Matéria Orgânica, Umid: Umidade, CBM: Carbono da Biomassa Microbiana.

5.5. Análise Canônica Discriminante (ACD)

O teste de estatístico multivariado Wilks' *Lambda* para os atributos da macrofauna invertebrada, indicaram haver diferença significativa entre os sistemas de cultivo, nas duas épocas amostradas. Foi observada alta correlação canônica para a época verão (0,66) e para o inverno (0,73) ($p < 0,0001$) quanto às funções canônicas discriminantes 1 (FCD1) e 2 (FCD2), sendo assim realizada uma ACD para cada época de amostragem.

O modelo utilizado da ACD explicou boa parte da variabilidade presentes nos sistemas de cultivo. Portanto, essas duas funções foram ajustáveis para explicar as variações encontradas da macrofauna do solo em relação em cada época de amostragem. Altos valores de correlação também indicam elevada associação entre a abundância de grupos da macrofauna edáfica e os dois sistemas de cultivos.

A figura 9, estão indicados os coeficientes canônicos padronizados (CCP) da FCD1 e da FCD2, para os dois sistemas de cultivo, CO e CC, considerando todos os grupos da macrofauna analisados. O CCP explica o comportamento multivariado dos diferentes grupos taxonômicos da macrofauna edáfica, para promover separação entre os sistemas de CO e CC, em resposta ao estudo das variáveis independentes, analisadas simultaneamente.

De maneira geral, observou-se que nas duas épocas de amostragem, que a FCD1 separou o sistema de CO do sistema de CC (Figura 9A e 9B). A diferença em termos de desvios dos valores de CCP em relação ao centróide diminui no inverno (julho de 2013), mas em ambas as épocas não ocorreu uma sobreposição dos centróides do sistema de CO sobre o sistema de CC.

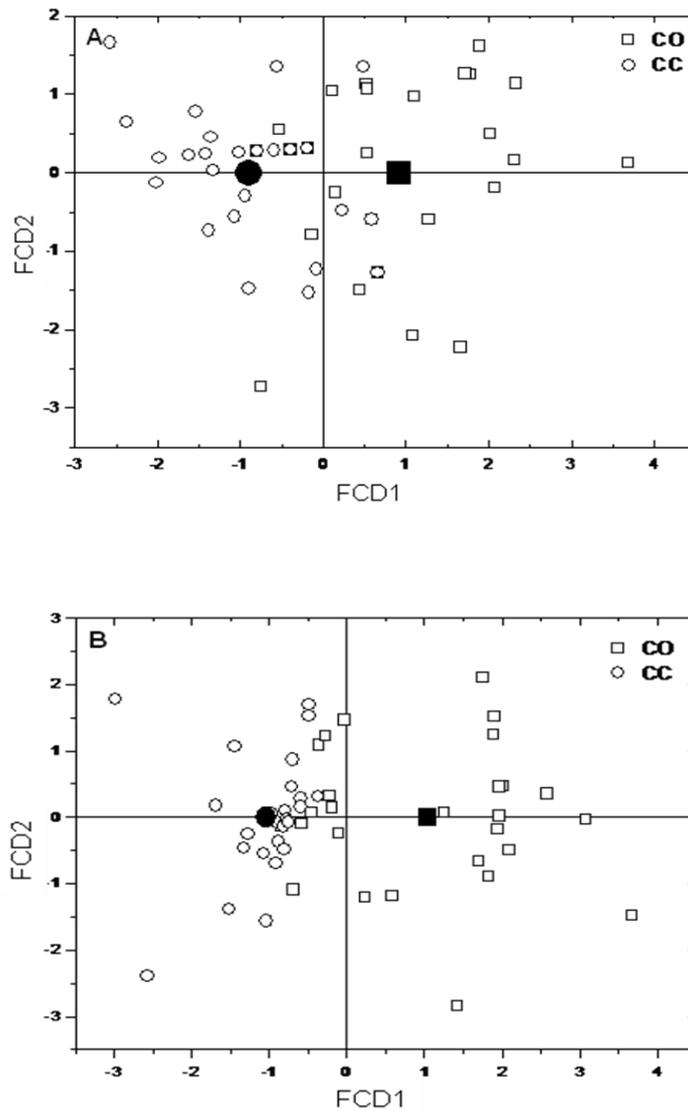


Figura 9. Coeficientes Canônicos Padronizados (CCP) das Funções Canônicas Discriminantes 1 e 2 (FCD1 e FCD2), discriminando os sistemas de cultivo orgânico CO (□) e convencional CC (○) de *C. arabica*, considerando a macrofauna do solo, no verão= **A** (janeiro de 2013) e no inverno= **B** (julho de 2013). O símbolo cheio representa o valor médio de CCP (centróide) para cada área (n=27).

A distribuição polarizada entre os sistemas de cultivo CO e CC indicam alta dissimilaridade em relação à abundância de grupos da macrofauna edáfica e entre

os sistemas de cultivo estudados. O posicionamento dos centróides de cada função discriminante, nas duas épocas, também reforça a dissimilaridade entre os dois sistemas de cultivo.

O valor de taxa de discriminação paralela (TDP) resulta do produto entre os coeficientes canônicos padronizados (CCP) e de correlação (r). O r mostra informações univariadas (contribuição individual) de cada grupo da macrofauna, independente dos demais. Portanto, para melhor avaliação do efeito de separação gerada pela macrofauna edáfica dentro dos sistemas de cultivo é o TDP, representado pelo produto entre o CCP (comportamento univariado) e o r [43].

A Tabela 6 demonstra o potencial de cada atributo da macrofauna edáfica para discriminar a qualidade de solo, uma vez que contribuíram mais para a separação entre os sistemas de cultivo. Valores positivos de TDP indicam efeitos de separação entre os sistemas de cultivo, enquanto que os negativos indicam semelhanças daquele atributo entre os sistemas de cultivo [43].

Dentre os grupos da macrofauna que mais contribuíram no verão para separar os sistemas de CO e CC, destacaram-se: Orthoptera (0,32), Isoptera (0,24), Coleoptera (0,21) e Araneae (0,14). Já no inverno, os grupos taxonômicos com maior potencial para separar os sistemas foram: Gastrópoda (0,45), Chilopoda (0,16) e Oligochaeta (0,13), respectivamente.

Tabela 6. Taxa de Discriminação Paralela (TDP) dos atributos da macrofauna edáfica, em duas épocas distintas, no verão e no inverno, independentemente dos sistemas de cultivo de café (n= 54).

TSBF	FCD1 (Verão)			FCD1 (Inverno)		
	<i>r</i>	CCP	TDP	<i>r</i>	CCP	TDP
Grupos da macrofauna						
Oligochaeta	-0,47	0,03	-0,01	0,39	0,33	0,13
Araneae	-0,52	-0,26	0,14	-0,23	-0,12	0,03
Blattodea	0,41	0,22	0,09	0,02	0,30	0,01
Coleoptera	0,52	0,40	0,21	0,16	0,21	0,03
Dermaptera	0,41	0,21	0,09	0,00	0,00	0,00
Diplopoda	0,21	-0,16	-0,03	0,37	0,13	0,05
Gastropoda	0,15	0,07	0,01	0,80	0,56	0,45
Hemiptera	0,02	0,00	0,00	0,31	0,13	0,04
Hymenoptera	-1,28	0,06	-0,08	-0,05	-0,02	0,00
Isopoda	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,22	-0,06
Isoptera	0,54	0,45	0,24	0,22	0,15	0,03
Opilionida	-0,52	0,00	0,00	-0,25	-0,24	0,06
Orthoptera	1,44	0,23	0,32	0,00	0,00	0,00
Pseudoscorpionida	0,00	0,00	0,00	-0,13	-0,16	0,02
Chilopoda	0,32	0,26	0,08	0,39	0,42	0,16
Outros ¹	-0,42	0,13	-0,06	0,22	0,22	0,05

¹Outros= soma de outros grupos menos frequentes. Valores em negrito representam os atributos mais importantes para discriminar os sistemas de cultivo.

5.6. Densidade e diversidade de minhocas coletadas pelo método TSBF

5.6.1. Densidade total de minhocas coletadas pelo método TSBF

Os valores de densidade total (Ind.m⁻²) variaram de 36 indivíduos encontrados no sistema de CO no verão no método TSBF, em comparação a 9 (Ind.m⁻²) no sistema de CC. Já para o Inverno no CO, na qual foi utilizado o método de coleta TSBF os valores de densidade total (Ind.m⁻²) variaram de 16 indivíduos encontrados no sistema de CO, para um total de 8 (Ind.m⁻²) encontrados no sistema de CC (Figura 10). No verão, foi encontrada uma maior de densidade total de minhocas (Ind.m⁻²) no sistema de CO ($p= 0,0006$).

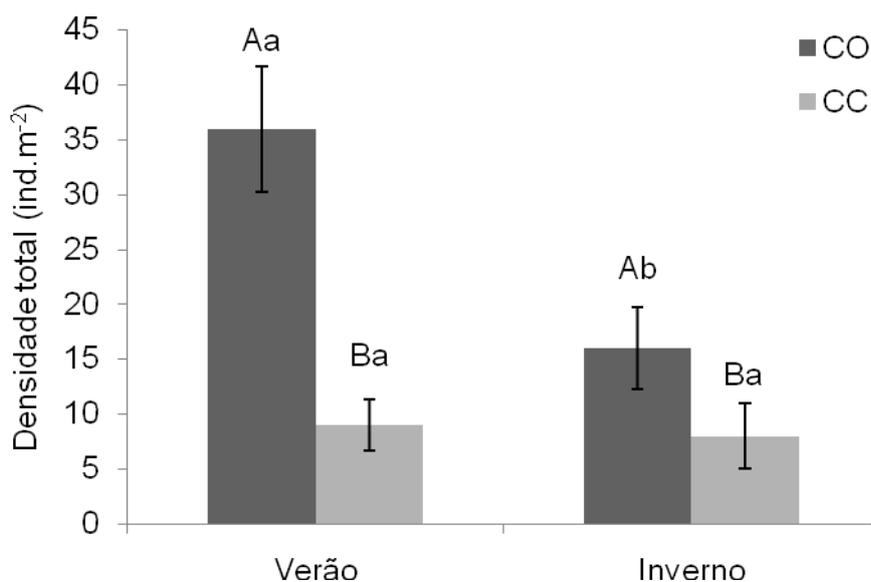


Figura 10. Densidade total de minhocas coletadas pelo método TSBF em sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) no verão (janeiro de 2013) e no inverno (julho de 2013), Espírito Santo, Brasil. Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de cultivo, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0.05$). Letras minúsculas diferentes no mesmo tipo de cultivo indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0.05$).

5.6.2. Diversidade de minhocas encontradas pelo método TSBF

As espécies de minhocas identificadas nos dois sistemas de cultivos são apresentadas na Tabela 7. O sistema de cultivo CO teve a maior diversidade de espécies de minhoca no verão. Cinco espécies foram encontradas em geral, das quais, quatro foram observadas no sistema de CO e quatro espécies também no CC. Todas as espécies encontradas nos diferentes sistemas de cultivo, CO e CC são exóticas.

Tabela 7. Espécies de minhocas (número de indivíduos coletados) em sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC), utilizando o método (TSBF) em duas épocas distintas (verão e no inverno), no Estado do Espírito Santo, Brasil.

Família/Gênero/Espécie	Nativa/Exótica	TSBF ^b			
		Verão		Inverno	
		CO	CC	CO	CC
Glossoscolecidae					
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	Exótica	46	9	1	0
Megascolecidae					
<i>Amyntas corticis</i>	Exótica	0	1	0	0
<i>Amyntas</i> sp.	Exótica	3	1	0	0
Megascolecidae sp.	Exótica	0	0	1	0
Acanthodrilidae					
<i>Dichogaster gracilis</i>	Exótica	3	1	0	0
Juvenis*		7	1	24	14
Total		59	13	26	14

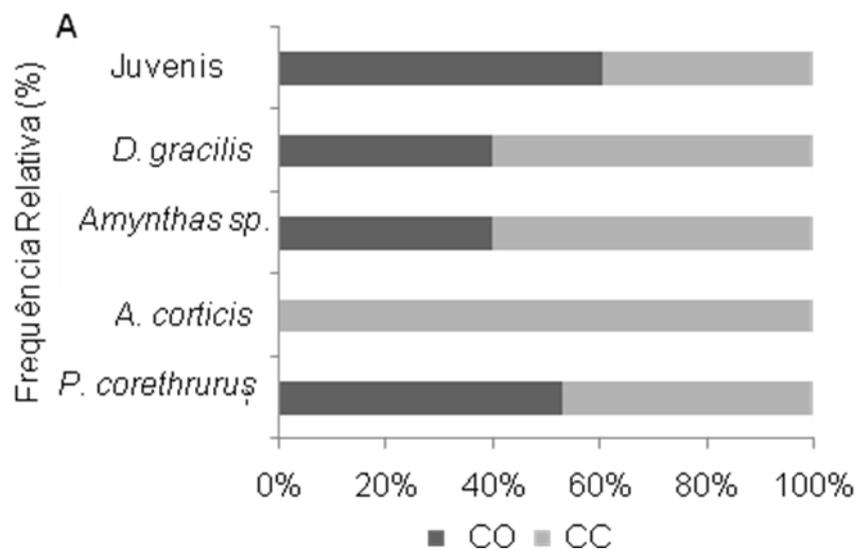
*Juvenis= juvenis não identificados independentemente da família,

^b Número de indivíduos transformados por área (indivíduos m⁻²).

5.6.3. Frequência relativa de minhocas coletas pelo método TSBF

As minhocas que se destacaram com maior frequência relativa no inverno foram às juvenis, com predominância no CO. Em geral não é possível fazer a classificação taxonômica de minhocas juvenis, visto que estas não apresentam

escutelo. E esta estrutura é de fundamental importância na taxonomia de Oligochaetas. Sem escutelo, isso só é possível com uso da biologia molecular. Entre as minhocas adultas, passíveis de classificação taxonômica, sobressaiu-se a espécie *Pontoscolex corethrurus*, também no CO (Figura 11A e 11B), seguida de *Amyntas* sp. e de *Dichogaster gracilis*. Já no CC houve também a predominância *Pontoscolex corethrurus*, mas em número bem menor do que em CO, seguido de duas espécies de *Amyntas* (Megascolecidae) e de *Dichogaster gracilis*, com apenas um representante para cada uma dessas espécies, apenas no verão (Figura 11 A). Já no período do Inverno, no sistema de CO, houve a presença do gênero Megascolecidae sp., não sendo possível ser identificado, nem a nível de espécie e nem a nível de gênero. (Figura 11 B).



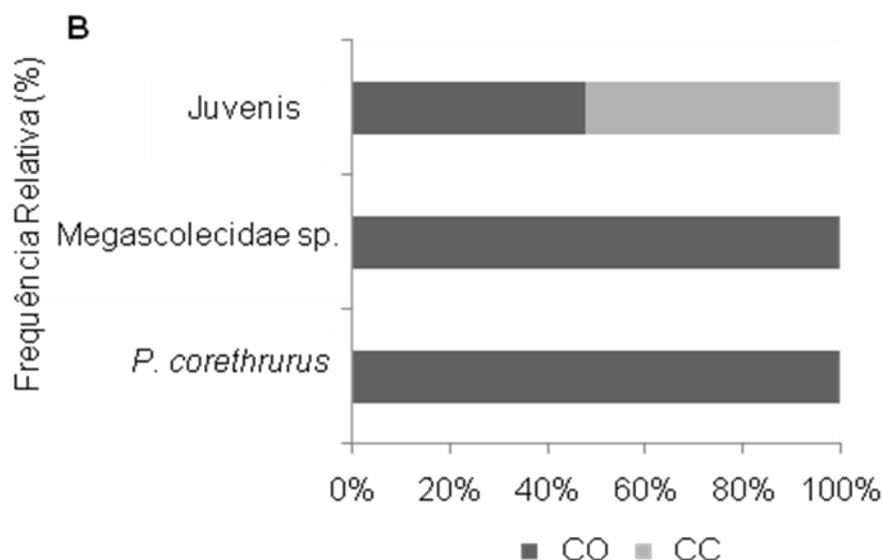


Figura 11. Frequência relativa das principais espécies de minhocas coletadas em método TSBF, nos sistemas de cultivo orgânico (CO) e convencional (CC) no verão= **A** (janeiro de 2013) e no inverno= **B** (julho de 2013), Espírito Santo, Brasil (n=27). Legenda: Juvenis, *D. gracilis*: *Dichogaster gracilis*, *P. corethrurus*: *Pontoscolex corethrurus*, *Amyntas* sp., *A. corticis*: *Amyntas corticis*, Megascolecidae sp.

5.6.4. Análise de Componentes Principais para minhocas (Oligochaeta)

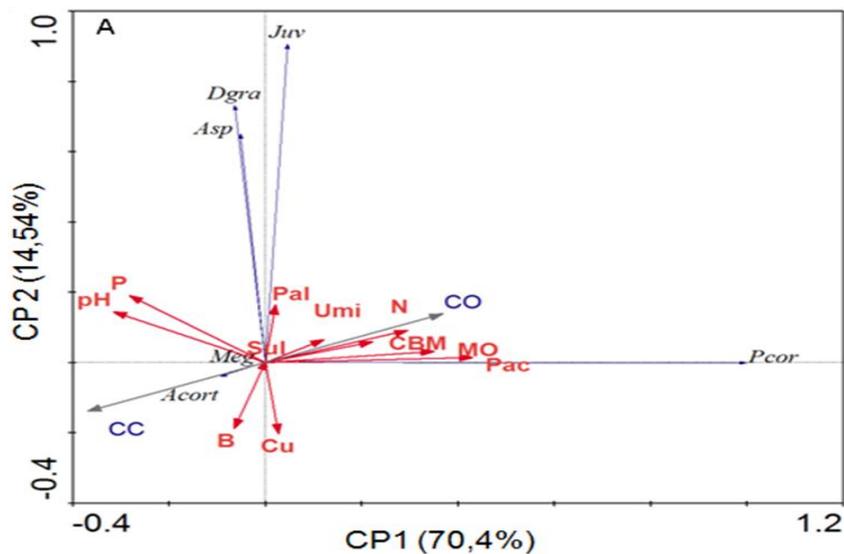
A diversidade de minhocas, nos sistemas de cultivos estudados, foi avaliada por meio de uma Análise de Componentes Principais (ACP). Esta análise revelou que os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) explicaram 84,94% da variabilidade total dos dados de abundância de espécies de minhocas no Verão, sendo 70,4% explicados pela CP1 e 14,54% explicados na CP2 (Figura 12A e 12B)

No inverno foi observado um aumento na explicação das variabilidades dos dados, com 93,3%, sendo 74,5% explicados pela CP1 e 18,8% explicados pela CP2 (Figura 12B).

No verão, os atributos químicos, tais como a Umidade, a Matéria Orgânica (MO), o Nitrogênio (N), o pH e o Fósforo (P), além dos atributos microbiológicos, da temperatura do solo (pac), da temperatura do ar (pal) e do Carbono Microbiológico (CBM) ficaram mais

associados ao sistema de CO, praticamente assumindo a posição direita do gráfico (Figura 12A). A pac ficou mais associada a *Pontoscolex corethrurus* e a pal ficou mais associada às minhocas juvenis. (Dgra) *Dichogaster gracilis* e as minhocas do gênero (Asp) *Amyntas* sp., ficaram mais associadas aos maiores valores de P e ao pH do solo. Porém, os micronutrientes, o Boro e o Cobre ficaram mais relacionados ao sistema de CC e às minhocas *Amyntas corticis*. Já o gênero *Megascolecidae* sp., teve uma baixa relação com o S (Enxofre).

No inverno, os sistemas de CO e o CC permaneceram próximos ao centro do gráfico, diferentemente o que ocorreu no verão, o que mostra que ocorreram mudanças entre as épocas do ano nos atributos químicos e microbiológicos do solo (Figura 12B). Assim, mesmo o sistema de CO continuou tendo uma maior relação com os atributos químicos e microbiológicos do solo. As minhocas juvenis e as minhocas *Pontoscolex corethrurus* ficaram mais associadas a MO, a Umid. e ao CBM no sistema de CO. Já as minhocas *Amyntas corticis*, *Dichogaster gracilis* e outras do gênero *Amyntas* sp. ficaram mais dispostas ao centro do gráfico, não tendo uma forte associação em nenhum dos sistemas estudados. O pH do solo relacionou-se com a minhoca do gênero *Megascolecidae* sp.



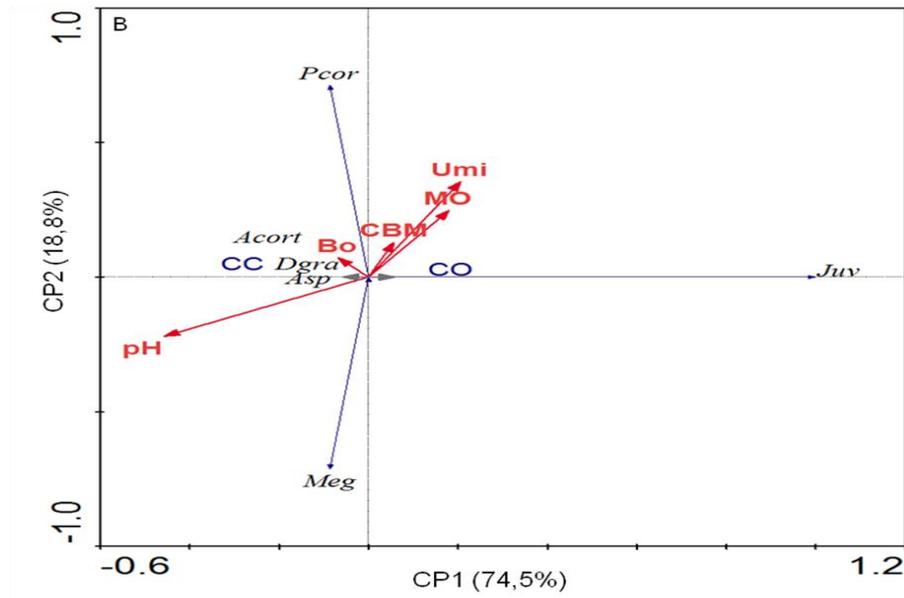


Figura 12. Análise de Componentes Principais 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as épocas. Minhocas coletadas em TSBF (→em itálico) no verão= **A** (janeiro de 2013) e no inverno= **B** (julho de 2013). *Acort*: *Amyntas corticis* (Megascolecidae), *Asp*: *Amyntas sp.* (gênero), *Dgra*: *Dichogaster gracilis* (Acanthodrilidae), *Meg*: Megascolecidae sp., *Pcor*: *Pontoscolex corethrurus* e as variáveis ambientais explicativas (→) tracejado, Cu: Cobre, N: Nitrogênio, Bo: Boro, Sul: Enxofre, pH: potencial hidrogeniônico do solo, P: Fósforo, pal: Fosfatase alcalina, pac: Fosfatase ácida, MO: Matéria Orgânica, Umid: Umidade, CBM: Carbono da Biomassa Microbiana.

5.10. Análise de Redundância (RDA) para minhocas (Oligochaeta)

Para a análise de redundância aplicada às minhocas foram utilizadas as espécies de minhocas mais abundantes como variáveis resposta e os atributos químicos e microbiológicos do solo como variáveis ambientais explicativas.

As variáveis já foram pré-selecionadas por meio do teste de correlação de Pearson e o “forward selection” evitando autocorrelação entre os atributos. Os

resultados oriundos das permutações de Monte Carlo sugerem alta relação entre as variáveis ambientais (atributos químicos e microbiológicos e as variáveis resposta (minhocas) (P-value= 0,0020). Assim a hipótese inicial da dissertação, de que existe relação entre alguns atributos químicos e microbiológicos do solo em relação às espécies de minhocas foi confirmada.

Para o Verão, a RDA explicou 88,59% da variação total dos dados, sendo que destes, 70,4% são explicados pelo eixo 1 e apenas 18,5% pelo eixo 2 (Figura 13A).

Para o Inverno, a RDA explicou 98,2% da variabilidade total dos dados, sendo que destes, 86,2% são explicados pelo eixo 1 e apenas 12% pelo eixo 2 (Figura 13 B).

Observa-se na Figura 13 que independente da época de coleta, os atributos químicos e microbiológicos do solo testados, apenas alguns (Cobre, Carbono da Biomassa Microbiana, Boro, Umidade, Matéria Orgânica, pH) apresentaram diferenças de um sistema de cultivo para o outro ($p < 0,05$).

No verão, a família Megascolecidae e a espécie *Dichogaster gracilis* estão fortemente relacionadas ao pH do solo. Já os atributos Umidade, Matéria Orgânica, Cobre e o Carbono da Biomassa Microbiana estão mais associados às espécies de minhocas juvenis e a *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae) (Figura 13A).

No inverno, as espécies juvenis ficaram dispostas mais ao centro do eixo enquanto o gênero Megascolecidae sp., além da espécie *Dichogaster gracilis* apresentaram correlação com o pH. *Pontoscolex corethrurus* esteve mais relacionada com o Boro (Figura 13B). Assim houve uma alta correlação entre os atributos químicos e microbiológicos do solo e as minhocas também no inverno.

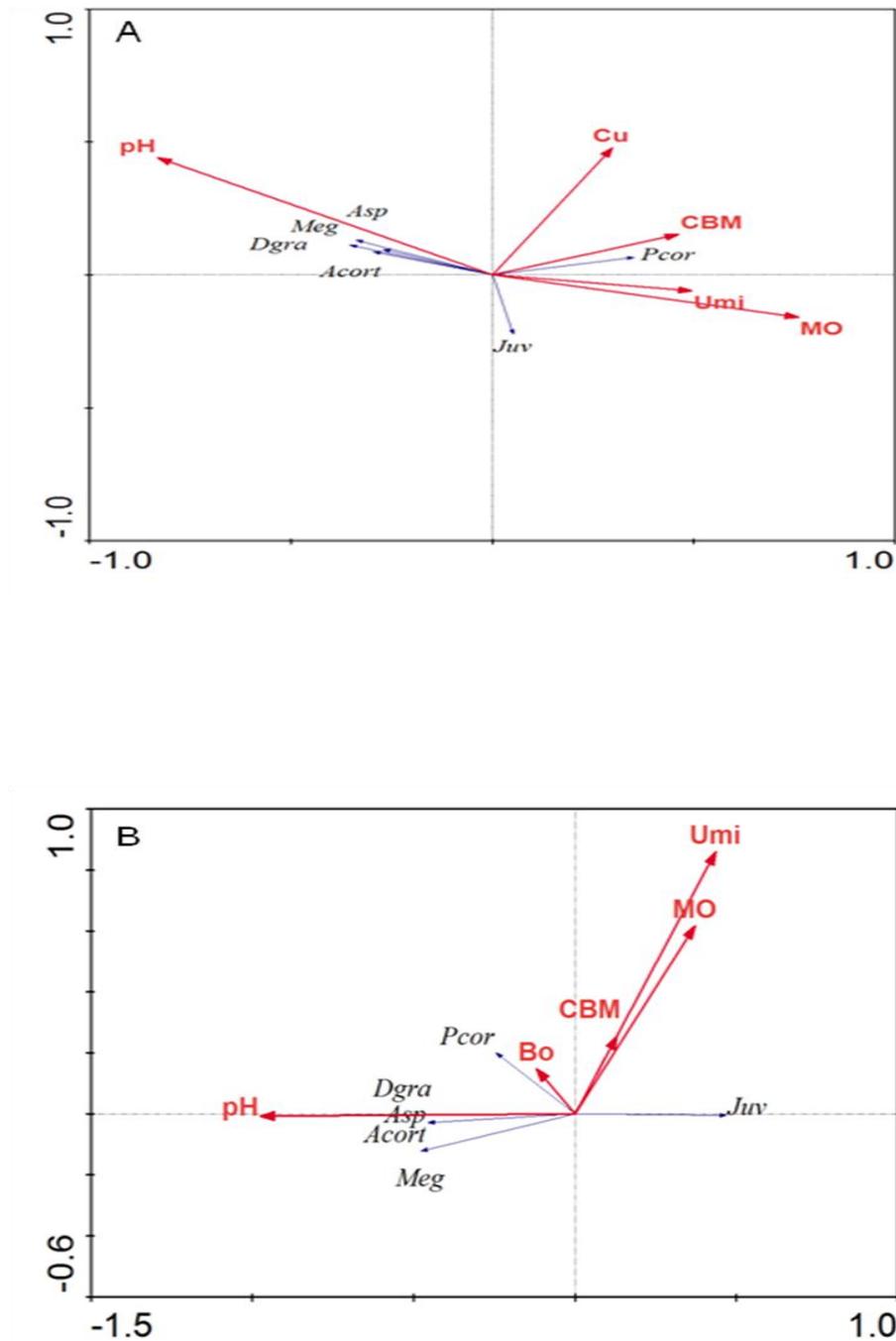


Figura 13. Análise de Redundância independente dos sistemas de cultivos: verão= **A** (janeiro de 2013) e inverno= **B** (julho de 2013), referente a minhocas coletadas pelo método TSBF e sua relação com os atributos químicos e microbiológicos do solo. Minhocas coletadas em TSBF (→em itálico) *Acort*: *Amyntas corticis* (Megascolecidae), *Asp*: *Amyntas sp.* (gênero), *Dgra*: *Dichogaster gracilis* (Acanthodrilidae), *Meg*:

Megascolecidae sp. (gênero), *Pcor*: *Pontoscolex corethrurus* e as variáveis ambientais explicativas (→) tracejado, Cu: Cobre, B: Boro, pH: potencial hidrogeniônico do solo, MO: Matéria Orgânica, Umid: Umidade, CBM: Carbono da Biomassa Microbiana.

6. DISCUSSÃO

O sistema de CO apresentou maior densidade total (ind. m²) para a macrofauna edáfica amostrada no inverno, diferentemente dos resultados encontrados na literatura, que relatam maior densidade total de indivíduos no Verão. Pimentel et al. [44], em estudos com a macrofauna edáfica em diferentes culturas, encontraram maior densidade total (Ind. m²) no verão em cultivos com café consorciados. Então, sugere-se que, devido às práticas de manejo aplicadas ao CO este sistema contribuiu para uma maior densidade e riqueza da macrofauna no inverno. O CO tem maior diversidade ecológica, também em nível de funcionalidade, por ser menos impactado por práticas agrícolas inadequadas para o ambiente [45].

O sistema de CO é um ambiente ecológico mais estável e heterogêneo, desenvolvido com base no equilíbrio nutricional, com fontes diversas de cobertura vegetal e de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade da macrofauna, o que oferece um maior número de habitats e nichos [46].

Trabalho de Teixeira et al. [47], corrobora o presente estudo pois, ao avaliarem a atividade da fauna edáfica em sistemas de cultivo de café conilon arborizado, na região de Sooretama-ES, verificaram que a sazonalidade é um fator que contribui para a diferença na densidade total dos organismos da macrofauna edáfica. Outro fator importante para a variabilidade numérica da macrofauna edáfica está na sazonalidade. Fernandes et al. [48], em trabalho com café, ressaltaram que há uma maior mobilidade dos organismos da fauna edáfica no período chuvoso e já Silva et al. [49], realçaram a importância da sazonalidade, devido ao período do verão ser mais propício para a reprodução, resultando no aumento de indivíduos da comunidade edáfica, contradizendo os resultados do presente estudo.

Por outro lado, o uso de controle biológico de pragas por meio de predadores invertebrados exóticos pode diminuir drasticamente a abundância de espécies nativas, favorecendo espécies dominantes [50], mas, de modo geral, sistemas orgânicos apresentam uma maior ocorrência de grupos taxonômicos funcionais em relação aos sistemas convencionais [34]. Essas informações corroboram o presente estudo.

Referentes às minhocas coletadas em amostras de TSBF, no sistema de CO, estas apresentaram maior densidade total (ind. m²) no Verão. Vários fatores podem

ter influenciado a abundância de grupos taxonômicos da macrofauna edáfica em sistemas agrícolas e apenas alguns são claramente relacionados ao sistema de CO. Por exemplo, um incremento de matéria orgânica pode ter contribuído para a abundância de minhocas [52,53].

Coincidentemente, no verão, antes das amostragens com coleta de TSBF, houve uma adição de material oriundo de compostagem orgânica no solo das áreas estudadas. Isso pode ter influenciado a abundância de Oligochaeta e reforça a importância da macrofauna edáfica como facilitadora da distribuição da matéria orgânica ao longo das camadas do solo [54] o que contribui para uma maior atividade microbiana no geral [55].

Bartz et al. [56] também encontraram maior número de espécies, de densidade populacional e de biomassa de minhocas em café orgânico, no inverno (julho) juntamente com as minhocas juvenis. Mas a contribuição de indivíduos juvenis no inverno em ambos os sistemas de cultivo, ressalta a importância da adição de novos indivíduos na comunidade edáfica. Por outro lado, o uso de controle biológico de pragas pode diminuir drasticamente a abundância de espécies nativas favorecendo espécies dominantes [50], mas de modo geral, sistemas orgânicos apresentam uma maior ocorrência de grupos taxonômicos funcionais em relação a sistemas convencionais [34] o que corrobora o presente estudo.

Aquino et al. [57], em estudos de populações de minhocas em diferentes cultivos de café orgânico e convencional na Costa Rica, também encontraram uma alta diversidade de minhocas, inclusive a *Pontoscolex corethrurus*, considerada como espécie exótica e cosmopolita.

Já a presença das outras quatro espécies também exóticas, a *Amyntas corticis*, a *Amyntas* sp., a *Dichogaster gracilis* representam uma problemática à nível ecológico. Visto que, estes organismos estão amplamente distribuídos e adaptáveis à diversas condições ambientais, colocando em risco o aparecimento de espécies nativas [58].

Em relação à frequência relativa da macrofauna coletada em TSBF, foi constatada a presença dos grupos taxonômicos Orthoptera e Dermaptera no CO só no verão e Hemiptera, Isopoda e o Blattodea somente no inverno. Esses grupos tróficos são importantes no equilíbrio do solo e no fluxo na cadeia alimentar [5,59,60]

Tanto na ACP quanto na RDA, a presença dos atributos químicos, como o Cobre e o Boro podem ter sido um fator limitante na ocorrência da macrofauna e das espécies de minhocas. Sistemas de cultivos que utilizam fungicidas à base de cobre para controle de pragas (bicho mineiro) e de ferrugem foliar nos plantios de café podem causar impactos ecológicos não só na comunidade de minhocas, mas também na comunidade edáfica em geral. Principalmente o cobre é um metal pesado que pode ser tóxico aos seres vivos já em concentrações bastante moderadas. Zaller et al. [61], em testes ecotoxicológicos em casa de vegetação, com minhocas, em plantio de milho, soja e algodão, descreveram que o herbicida glifosato minhocas e fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Entretanto, há vários outros trabalhos que demonstram que este herbicida não prejudica os FMA nem invertebrados terrestres, pelo menos em estudos com soja.

Bartz et al. [62,56] reportaram efeitos prejudiciais em minhocas devido ao uso de glifosato e sistemas de plantio direto e em plantações de café em sistema de manejo convencional devido ao uso de fungicidas à base de cobre.

Partelli et al. [63], ao utilizarem índices de similaridade (Cluster) também encontraram o Carbono da Biomassa Microbiana como principal atributo microbiológico, em diferentes camadas de solo, na qual constataram uma maior proximidade entre o sistema de cultivo orgânico de café a um fragmento de Mata Atlântica como referência. Vários estudos em outros sistemas de uso de solo destacaram o CBM como o principal atributo microbiológico indicado [25,41].

Mesmo na Análise de Componentes Principais, a ACP para a macrofauna edáfica, demonstrou-se que, para as duas estações do ano, os atributos químicos, microbiológicos foram os atributos mais importantes para caracterizar o sistema de CO. Porém, para o sistema de CC houve uma menor associação com esses atributos e uma maior com os nutrientes minerais, o Boro no verão e o Cobre e Boro no inverno.

Silva et al. [64] relatam que, ao utilizarem adubação orgânica em cultivos de café conilon em Linhares-ES, 120 dias após a adubação orgânica, o pH teve incrementos lineares, atingindo valores de até 6,5 [65], o que Corrobora os maiores valores de pH encontrados no presente estudo.

Resultados semelhantes na elevação do pH do solo foram encontrados por Ferreira et al. [66], ao avaliarem a fertilidade do solo cultivado com café conilon em

Santa Tereza-ES. No sistema de CO, na análise da ACP, houve também uma maior associação com o P. Fernandes et al. [48], encontraram aumentos na CTC do solo, no Ca, no B, no K) e no teor de P em função da adubação orgânica. Em nosso trabalho os maiores valores P e pH no CO, tanto na Análise de Componentes Principais da macrofauna edáfica, quanto na Análise de Redundância das minhocas, também estão relacionados à calagem e a resíduos de adubações fosfatadas anteriores. Pimentel et al. [67], em diferentes culturas agrícolas, inclusive no café, verificaram que P, pH e CBM ficaram mais correlacionados com os solos de café orgânico.

A maior associação das fosfatases ácida e alcalina com o CO nas duas estações do ano indica maior disponibilização do P por meio dessas enzimas [68], sendo que no CC a maior aplicação de fertilizantes e outros insumos podem resultar na inibição da atividade das fosfatases [69,70]. No sistema CO a aplicação de composto orgânico juntamente com a torta de mamona e a pulverização das plantas de café com urina de vaca justifica uma maior associação do N com o CO.

Moura et al. [71], em estudos de sistemas de CO com café, observaram um maior controle da ferrugem e da cercosporiose em café arábica [72] devido à aplicação de adubação orgânica rica em nitrogênio.

Machado et al. [73], relatam que a matéria orgânica e o teor de argila estavam correlacionados com a maior fertilidade de solos de cafezais e Silva et al. [68] também mostraram que o teor de argila se correlaciona com a fertilidade em latossolos, resultando em maior produtividade de café arábica no estado de Minas Gerais. Este fator também se correlaciona com a umidade, visto que o incremento no teor de argila aumenta a capacidade de retenção de água de um solo. E a maior umidade está geralmente mais ligada com o sistema CO. Em nosso estudo as características granulométricas encontradas em ambos os sistemas de cultivo não apresentaram diferenças significativas. Entretanto, Thomazini et al. [74], em estudos com atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café, relataram que, quando o solo não sofre revolvimento e é mantida a cobertura do solo, há uma menor dispersão de argila.

Para os parâmetros apresentados nos TDPs, a representatividade dos grupos taxonômicos, o Orthoptera (0,32), o Coleoptera (0,21), o Isoptera (0,24) e o grupo Araneae (0,14) com predominância no verão, denotam-se a sensibilidade desses

grupos taxonômicos às alterações climáticas e sazonais, razão de suas prevalências no verão, coincidentemente com a floração do cafeeiro. O que contribui com uma gama de diversidade de recurso alimentar, apresentando características funcionais ecológicas. O grupo Orthoptera atua na fragmentação dos resíduos vegetais, o grupo Coleoptera, atua na polinização e na saprofagia e o grupo Isopetra, atua na formação de grupos sociais, visto que, desempenham um papel importante e crucial na funcionalidade do solo. Já o grupo Araneae desempenha um importante papel ecológico, de manter o equilíbrio ecológico e na transferência de energia na cadeia alimentar [75,76,77].

Já no inverno, os parâmetros apresentados na TDPs, a representatividade dos grupos taxonômicos, o Gastropoda (0,45) e o grupo Oligochaeta (0,13) podem estar relacionado a uma maior disponibilidade de alimento, em função de a retirada dos TSBF ter coincido com a fase de colheita, na qual há maior cobertura vegetal, devido maior aporte de folhas, galhos e sementes no solo, mantendo um microclima, menos sujeito a alterações, proporcionando, assim, favorecimento a colonização e o desenvolvimento desse grupo [59]. O grupo Chilopoda (0,16) reforça a importância ecológica e funcional deste grupo, pois estão inseridos na cadeia trófica como predadores, são considerados como indicadores de qualidade do solo. Marques et al. [78], em estudos com a macrofauna em diferentes coberturas vegetais, inclusive em estudos com café, também encontraram a presença do grupo Araneae e do grupo Chilopoda em métodos de coleta de monolitos de solo, ambos os grupos podem habitar a serapilheira e também espaços no solo.

A aplicação do TDP no verão permitiu obter um valor indicativo para a macrofauna estudada entre 'bom e muito bom'. Já para o inverno, o valor indicativo para a macrofauna estudada independente dos sistemas de cultivo ficaram entre 'ótimo e bom'. Com isso, a análise de TDPs, possibilita ser um instrumento auxiliador na escolha dos atributos da macrofauna edáfica que são mais sensíveis para promover diferenças independentes dos sistemas de cultivos estudados, favorecendo assim, uma ampla visão da qualidade do solo [41].

7. CONCLUSÕES

- O sistema de manejo orgânico e convencional mostraram-se discrepantes no cultivo de *Coffea arabica*.

- O sistema de cultivo orgânico apresentou os maiores teores de Matéria Orgânica (MO), Umidade (Umid), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Enxofre (S), potencial hidrogeniônico do solo (pH), Fosfatase ácida (pac), Fosfatase alcalina (pal) e Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).

- O sistema de cultivo convencional apresentou teores mais elevados de Boro (B) e Cobre (Cu).

- Alguns atributos químicos e microbiológicos, assim como certos invertebrados foram bons indicadores para discriminar os cultivos de café convencionais e orgânicos.

- Os grupos da macrofauna do solo Araneae, Blattodea, Chilopoda, Coleoptera, Dermaptera, Gastrópoda, Isoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Oligochaeta, Orthoptera, Opiliones e o grupo Outros foram os mais abundantes no cultivo orgânico no verão.

- A classe Diplopoda foi mais abundante no cultivo convencional no verão. No inverno, os grupos Araneae, Opiliones e Pseudoscorpionida foram mais abundantes no sistema CC.

- No cultivo de café as minhocas são bons indicadores da qualidade do solo e discriminam o cultivo orgânico do convencional, tanto no verão quanto no inverno.

Os melhores 'indicadores' são os grupos, Orthoptera, o Isoptera, o Coeloptera e o Araneae no verão. Já no inverno, temos, o grupo Gastropoda, o grupo Chilopoda e o grupo Oligochaeta, os quais contribuem para a separação das épocas amostradas, independentes dos sistemas de cultivos estudados.

- Sugere-se a maior utilização de métodos estatísticos multivariados, tais como a Análise de Componentes Principais e a Análise de Redundância que são adequados para avaliar a variabilidade de parâmetros ecológicos em agroecossistemas.

8. REFERÊNCIAS

Esta dissertação seguiu as normas da revista *European Journal of Soil Biology* para a confecção da lista de referências.

Disponível em: <http://www.journals.elsevier.com/european-journal-of-soil-biology/1164-5563/guide-for-authors>.

- [1] R. Lal, Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. 304 (2004) 1623-1627.
- [2] P.K.R. Nair, V.D. Nair, B.M. Kumar, S.G. Haile, Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal, *Environ. Sci. Policy*. 12 (2009) 1099-1111.
- [3] M. Albrecht, B. Schmid, M.K. Obrist, B. Schüpbach, D. Kleijn, P. Duelli, Effects of ecological compensation meadows on arthropod diversity in adjacent intensively managed grassland, *Biol. Conserv.* 143 (2010) 642-649.
- [4] A.N. Andersen, B.D. Hoffmann, W.J. Müller, A.D. Griffiths, Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses, *J. Appl. Ecol.* 39 (2002) 8-17.
- [5] C. Ponce, C. Bravo, D.G. de León, M. Magaña, J.C. Alonso, Effects of organic farming on plant and arthropod communities: A case study in Mediterranean dryland cereal, *Agric. Ecosyst. Environ.* 141 (2011) 193-201.
- [6] L. Rousseau, S.J. Fonte, O. Téllez, R. van der Hoek, P. Lavelle, Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua, *Ecol. Indic.* 27 (2013) 71-82.
- [7] N. El-Hage, M. Müller-Lindenlauf, Organic agriculture and climate change. *Renew. Agric. Food Syst.* 25 (2010) 158-169.
- [8] J.E. Ferreira Gabriel, L.R.A. Gabriel Filho, C.P. Cremasco, E.J. Simon, Análise sistemática e estatística da produtividade de lavouras cafeeiras agroquímicas e orgânica na região da Alta Paulista, *Ver. Energ. na Agric.* 26 (2011) 52-64.
- [9] C. Puech, J. Baudry, A. Joannon, S. Poggi, S. Aviron, Organic vs. Conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies?, *Agric. Ecosyst. Environ.* 194 (2014) 48-57.
- [10] J.W. Doran, M.R. Zeiss, Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality, *Appl. Soil. Ecol.* 15 (2000) 3-11.

- [11] S.J. Scherr, J.A. McNeely, Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of “ecoagriculture” landscapes., *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 363 (2008) 477-494.
- [12] K.M. Goh, G.E. Bruce, M.J. Daly, Sensitive indicators of soil organic matter sustainability in orchard floors organic, conventional and integrated apple orchards in New Zealand, *Biol. Agric. Hortic.* 17 (2000) 197–205.
- [13] J.D. Glover, J.P. Reganold, P.K. Andrews, Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State, *Agric. Ecosyst. Environ.* 80 (2000) 29–45.
- [14] C. Lamine, S. Bellon, Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences, *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany), 29 (2009) 97-112.
- [15] R.L.F. Vasconcellos, J.C. Segat, J. a. Bonfim, D. Baretta, E.J.B.N. Cardoso, Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages, *Eur. J. Soil Biol.* 58 (2013) 105–112.
- [16] G. Hole, A.J. Perkins, J.D. Wilson, I.H. Alexander, P.V. Grice, A.D. Evans, Does organic farming benefit biodiversity?, *Biol. Conserv.* 122 (2005) 113–130.
- [17] J. Haggar, M. Barrios, M. Bolaños, M. Merlo, P. Moraga, R. Munguia, A. Ponce, S. Romero, G. Soto, C. Staver, E.M.F. Virginio, Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America, *Agrofor. Syst.* 82 (2011) 285–301.
- [18] S. Frederico, *Cafecultura Científica Globalizada e as Montanhas capixabas: A Produção de café arábica nas Regiões do Caparaó e Serrana do Espírito Santo/ Global Scientific coffee growing and the Montanhas Capixabas: the production of Arabic coffee growing in Caparó and Serrana regions of the Espírito Santo state (Brazil)*, *Soc. & Nat.* 25 (2013) 7–20.
- [19] S.C. Antunes, B.B. Castro, C. Moreira, F. Gonçalves, R. Pereira, Community-level effects in edaphic fauna from an abandoned mining area: integration with chemical and toxicological lines of evidence., *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 88 (2013) 65–71.
- [20] M.J. Swift, A.-M.N. Izac, M. van Noordwijk, Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes: are we asking the right questions?, *Agric.*

- Ecosyst. Environ. 104 (2004) 113–134.
- [21] D. Baretta, J.C.P. Santos, J.C. Segat, E.V. Geremia, L.C.I. Oliveira Filho, M.V. Alves, Fauna edáfica e qualidade do solo, (2011) 119–170.
- [22] M.E.F. Correia, L.C.M. Oliveira, Fauna do solo: aspectos gerais e metodológicos, Embrapa Documentos, 112, (2000) 4-40.
- [23] T.A.M. Effgen, R.R. Passos, F.V. Andrade, J.S.S. Lima, E.F. Reis, E.N. Borges, Propriedades físicas do solo em função de manejos em lavouras de cafeeiro conilo, Rev. Ceres. 59 (2012) 414–421.
- [24] T.A.M. Effgen, R.R. Passos, J.S.S. Lima, E.N. Borges, M.C.J.D. Dardengo, E.F. Reis, Atributos químicos do solo e produtividade de lavouras de cafeeiro conilon submetidas a diferentes tratos culturais no sul do Estado do Espírito Santo, J. Biosci. 24 (2008) 7–18
- [25] C.R.D. Maluche-Baretta, C.V.T. Amarante, O. Klauberg Filho, Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs, Pesq. Agrop. Bras. 41 (2006) 1531–1539.
- [26] M. Kaschuch, G. Albeton, O. Hungria, Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability, Soil Biol. Biochem. 42 (2010) 1–13.
- [27] EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Rio de Janeiro (2006) 412.
- [28] J.B. Tomé Jr, Manual para interpretação de análises de solo . Guaíba, RS. Agropec., (1997) 247.
- [29] EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Manual de Métodos de Análise de Solo, 2 ed., Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo (1997) 212.
- [30] B. van Raij, J.C. Andrade, H. Cantarella, J.A. Quaggio, Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais., IAC, Campinas (2001) 285.
- [31] E.D. Vance, P.C. Broockss, D.S. Jenkinson, An extraction method for measuring soil microbial biomass C, Soil Biol. Biochem. 19 (1987) 703–707.
- [32] K. Alef, Soil respiration, in: K. Alef, P. Nannipieri (Eds.), Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, Amsterdam, (1995) 234–245.
- [33] T. Anderson and K. Domsch, The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions

- such as pH , on the microbial biomass of forest soils, *Soil Biol. Biochem.* 25 (1993) 393–395.
- [34] M.A. Tabatabai, J.M. Bremner, Use of r-nitrofenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1 (1969) 301–307.
- [35] A.N. Anderson, J.S.I. Ingram, *Tropical soil biology and fertility, a handbook of methods*, 2 ed., Wallingford: CAB International (1993) 221.
- [36] W. Michaelsen, *Oligochaeta*, Series Das Tierreich 10. Friedländer and Sohn, Berlin., (1900) 1860-1937.
- [37] G. Righi, Colombian earthworms. In: Van Der Hammen, T. (Ed), *Studies on Tropical Andean Ecosystems*. Cramer (Borntraeger), Berlin-Stuttgart, (1995) 485-607.
- [38] R.J. Blakemore, *Cosmopolitan earthworms – an Eco-taxonomic Guide to the Peregrine Species of the world*. Kippax - VermEcology, (2002) 426.
- [39] C.J.F. ter Braak, P. Smilauer, *CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (Version 4)*. Microcomputer Power, New York (1998) 500.
- [40] SAS INSTITUTE, *SAS/STAT: User's Guide Statistics. Version 9.2*, SAS Institute, Cary, 1999.
- [41] D. Baretta, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” *Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucaria angustifolia no Estado de São Paulo, Tese (Doutorado Em Solos E Nutr. Plantas)*. (2007) 158.
- [42] D. Baretta, J.C.P. Santos, S.R. Figueiredo, O. Klauberg-Filho, Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense, *Bras. Cie. Solo.* (2005) 715–724.
- [43] D. Baretta, G.G. Brown, E.J.B.N. Cardoso, Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*, *Acta Zoológica Mex.* 2 (2010) 135–150.
- [44] M.S. Pimentel, H. De Polli, A.M.Aquino, M.E.F. Correia, J.R.C. Rouws, *Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems*, *Agrop. Bras.* 46 (2011) 546–553.
- [45] G. Rahmann, *Biodiversity and organic farming: What do we know?*, *Agric. For. Res.* 3 (2011) 189–208.

- [46] S. Siegrist, D. Schaub, L. Pfiffner, P. Mäder, Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland, *Agric. Ecosyst. Environ.* 69 (1998) 253–264.
- [47] A.F.R. Teixeira, V.M. Silva, E.S. Mendonça, Fauna edáfica em sistemas arborizados de café conilon em, *Coffee Sci.* 9 (2014) 385–393.
- [48] A.L.T. Fernandes, F. Santinato, R.T. Ferreira, R. Santinato, Adubação orgânica do cafeeiro, com uso de esterco de galinha, em substituição à adubação mineral, *Coffee Sci.* 4 (2013) 486–499.
- [49] J. Silva, I. Jucksch, R.C. Tavares, Invertebrados edáficos em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais, *Bras. Agroecol.* 7 (2012) 112–125.
- [50] D.W. Crowder, T.D. Northfield, M.R. Strand, W.E. Snyder, Organic agriculture promotes evenness and natural pest control., *Nature.* 466 (2010) 109–12.
- [51] J. Bengtsson, J. Ahnström, A.-C. Weibull, The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis, *J. Appl. Ecol.* 42 (2005) 261–269.
- [52] G. Lebbink, H. van Faassen, C. van Ouwerkerk, L. Brussaard, The Dutch Programme on Soil Ecology of Arable Farming Systems: Farm management monitoring programme and general results, *Agric. Ecosyst. Environ.* 51 (1994) 7–20.
- [53] K.B. Zwart, S.L.G.E. Burgers, J. Bloem, L.A. Bouwman, L. Brussaard, G. Lebbink, et al., Population dynamics in the belowground food webs in two different agricultural systems, *Agric. Ecosyst. Environ.* 51 (1994) 187–198.
- [54] P. Mäder, A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, U. Niggli, Soil fertility and biodiversity in organic farming., *Science.* 296 (2002) 1694.
- [55] R.E. Masto, P.K. Chhonkar, D. Singh, A.K. Patra, Changes in soil quality indicators under long-term sewage irrigation in a sub-tropical environment, *Environ. Geol.* 56 (2009) 1237–1243.
- [56] M.L.C. Bartz, G.G. Brown, A. Pasini, J.D.O. Fernandes, Earthworm communities in organic and conventional coffee cultivation, *Pesqui. Agrop. Bras.* 44 (2009) 928–933.
- [57] A.M. Aquino, E. Melovrignio Filho, M.S.F. Ricci, F. Casanoves, Populações de minhocas em sistemas agroflorestais com café convencional e orgânico,

- Ciência Agrotec. 32 (2008) 1184–1188.
- [58] G.G. Brown, Exotic, Peregrine, and Invasive Earthworms in Brazil : Diversity , Distribution , and Effects on Soils and Plants, *Caribb. J. Sci.* 42 (2006) 339–358.
- [59] A. Morón-Ríos, M.Á. Rodríguez, L. Pérez-Camacho, S. Rebollo, Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a Mediterranean old-field, *Eur. J. Soil Biol.* 46 (2010) 91–96.
- [60] S. Bird, R.N. Coulson, D.A. Crossley Jr, Impacts of silvicultural practices on soil and litter arthropod diversity in a Texas pine plantation, *Forest Ecol. Manag.* (2000) 65-80.
- [61] J.G. Zaller, F. Heigl, L. Ruesch, A. Grabmaier, Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem., *Sci. Rep.* 4 (2014) 5634.
- [62] M.L.C. Bartz, G.G. Brown, M.G. da Rosa, O.K. Filho, S.W. James, T. Decaëns, D. Baretta, Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil, *Appl. Soil Ecol.* 83 (2014) 59–70.
- [63] F.L. Partelli, H.D. Vieira, E.P.D.B. Ferreira, A.P. Viana, M.A. Martins, S. Urquiaga, Chemical and Microbiological Soil Characteristics under Conventional and Organic Coffee Production Systems, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 43 (2012) 847–864.
- [64] V.M. Silva, A.R.F. Teixeira, E.F. Reis, A.C. Benassi, E. S. Mendonça, Atributos químicos do solo em sistemas de adubação orgânica de café conilon, *Coffee Sci.* 8 (2013) 469–477.
- [65] V.C.A. Theodoro, M.I.N. Alvarenga, R.J. Guimaraes, C.A.S. Souza, Alterações químicas do solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro, *Bras. Cienc. Solo.* 27 (2003) 1039–1047.
- [66] J.T.P. Ferreira, E.P. Ferreira, M.L. Oliveira, G. S. Silva, J.S. Oliveria Filho, J.W.G. Santos, Avaliação da fertilidade dos solos cultivados com café conilon (*Coffea canephora*) no município de Santa Teresa - ES, *Enciclopédia Biosf.* 9 (2013) 356–366.
- [67] M.S. Pimentel, A.M. De Aquino, M. Elizabeth, F. Correia, J.R. Costa, S. Freire, et al., Soil biological attributes in organic coffee farming, pastures and forests in medium paraíba river, fluminense region-rj, brazil, *Coffee Sci.* 1 (2006) 85–

93.

- [68] S.A. Silva, J.S.S Lima, Atributos físicos do solo e sua relação espacial com a produtividade do café arábica, *Coffee Sci.* 8 (2013) 395–403.
- [69] P. Nannipieri, L. Giagnoni, G. Renella, E. Puglisi, B. Ceccanti, G. Masciandaro, et al., Soil enzymology: classical and molecular approaches, *Biol. Fertil. Soils.* 48 (2012) 743–762.
- [70] P. Nannipieri, L. Giagnoni, L. Landi, G. Renella, Phosphorus in Action, 26 (2011) 215–243.
- [71] W.M. Moura, P.C. Lima, L.C. Fazuoli, T.C.S. A.B.T. Condé, Desempenho de cultivares de café em sistema de cultivo orgânico na Zona da Mata Mineira, *Coffee Sci.* 8 (2013) 256–264.
- [72] S. Santos, P.E. De Souza, E.A. Pozza, J.C. Miranda, Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro, *Pesq. Agrop. Bras.* 7 (2005) 783–791
- [73] J.L.F. Machado, L. V., O. J. P. Rangel, E. S. Mendonça, Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, *Coffee Sci. Lavras.* 9 (2014) 289–299.
- [74] A. Thomazini, H.C.A. Azevedo, P.L. Pinheiro, E.S Mendonça, Atributos físicos do solo em diferentes sistema de manejo de café na região sul do Espírito Santo, *Coffee Sci.* 8 (2013) 450–459.
- [75] C.S.P. Oliveira, M.P. Mendes, M.N. Duarte, W.C. Rodrigues, Composição e diversidade da fauna de grilos (Orthoptera: *Grylloidea*) em um fragmento de Floresta Pluvial Atlântica do Estado do Rio de Janeiro, *Ent. Bras.* 6 (2013) 184–192.
- [76] E. Diehl, E. Diehl-Fleig, E.Z. De Albuquerque, L.K. Junqueira, Richness of Termites and Ants in the State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil, *Sociob.* 61 (2014) 145–154.
- [77] C.H. Vergara, E.I. Badano, Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: The importance of rustic management systems, *Agric. Ecosyst. Environ.* 129 (2009) 117–123.
- [78] D.M. Marques, A. Bortolotti, L. Marques, E.A. Moreira, G.S. Pinto, Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais, *J. Biosci.* 30 (2014) 1588–1597.

