



FLORA FERREIRA CAMARGO

**INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E
BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS
AGROECOLÓGICOS NA ÁREA DE
PRESERVAÇÃO AMBIENTAL SERRA DA
MANTIQUEIRA, MG**

LAVRAS - MG

2016

FLORA FERREIRA CAMARGO

**INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA
QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS
AGROECOLÓGICOS NA ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL
SERRA DA MANTIQUEIRA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Nelson Venturin

Orientador

Prof. Dr. Luís Cláudio Maranhão Froufe

Coorientador

LAVRAS - MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Camargo, Flora Ferreira.

Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira, MG / Flora Ferreira Camargo. – Lavras : UFLA, 2016.

241 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Nelson Venturin.

Bibliografia.

1. Agricultura de montanha. 2. *Pteridium sp.* 3. Sistemas de uso do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

FLORA FERREIRA CAMARGO

**INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA
QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS
AGROECOLÓGICOS NA ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL
SERRA DA MANTIQUEIRA, MG**

***PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL INICADORS OF SOIL
QUALITY IN AGROFORESTRY IN APA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 27 de junho de 2016.

Prof. Dr. Renato Luiz Grisi Macedo UFLA

Prof. Dr. Marx Leandro Neves Silva UFLA

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho UFLA

Prof. Dr. Nelson Venturin
Orientador

Prof. Dr. Luís Cláudio Maranhão Froufe
Coorientador

LAVRAS - MG

2016

A Nilton e Alice dedico...

AGRADECIMENTOS

A minha filha Alice e meu marido Nilton, me faltam palavras para dizer o quanto sou grata por tudo.

A minha mãe Cássia, meu irmão Ariel e a minha avó Maria Lea pelo incentivo. Ao meu pai Ivo que vive, em mim.

Ao Nino Amazonas, amigo, sempre disposto a me ajudar, apoiar e incentivar na realização desse estudo.

Aos agentes pioneiros na construção do Núcleo de Estudos em Agroecologia da Serra da Mantiqueira em especial ao Bruno, Pedro, a Taciana, e aos professores Renato Luiz Grisi Macedo e Itamar Ferreira de Souza por me concederem a oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Marcelo por abrir as portas e me ensinar a amar ainda mais aquela região e a agroecologia.

A toda equipe do sítio Araucária, em especial ao Jorge e toda sua família; Neimar, Dona Tereza (*in memoriam*) e seu Afonso pelo carinho, amizade e apoio em campo.

Aos alunos da Pós-Graduação Kamila, Elias, Diana, Rafael e Erick.

À equipe da Cauré Agronegócio da Mantiqueira, em especial ao Antônio e sua família.

À equipe do laboratório do Pesquisador George Brow, em especial a Alessandra, a qual nada disso seria possível, uma pessoa como poucas, que sempre me incentivou e me ajudou.

A Dani e ao Professor Marx Leandro Neves Silva do Departamento de Ciência do Solo que sempre estiveram dispostos a me ajudar.

Aos alunos da graduação Karina, Clarissa, Genilson, Gabriel, Raul, Rubens e Tiago.

Aos meus orientadores Nelson Venturin e Luís Cláudio Maranhão Froufe em especial por abrir as portas da EMBRAPA FLORESTAS para esta pesquisa.

A Dulce e ao Theo do Laboratório de Física do solo da Universidade Federal de Lavras.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder a bolsa de doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por viabilizar a presente pesquisa.

Muito agradecida.

“Todo problema começou quando começamos a querer dominar a natureza ao invés de cooperar com ela. Cada espécie tem sua função, para cooperar, criar mais abundância vida e complexidade ao seu redor. Nossa principal função biológica é espalhar sementes, e nosso ato mais político é comer. O universo inteiro é um instrumento de criação de recursos e tem como lei para prover isso o amor incondicional... neste chão tudo dá.”

Gotsch. E.

“Os riscos que se apresentam à humanidade, criados pela civilização, restituem para o homem a aventura de retomar seu destino e controlá-lo. Terá que desvendar um desconhecido chamado ele mesmo, diante dos riscos que criou seu sistema econômico e sua relação com a natureza que é a essência de seu projeto civilizatório.”

Tauk, S.M.

RESUMO GERAL

A Área de Preservação Ambiental (APA) Serra da Mantiqueira compreende um ecossistema considerado prioritário para a conservação da biodiversidade e constantemente ameaçado pela pressão antrópica. A inserção dos sistemas agroflorestais (SAFs) agroecológicos em unidades agrícolas vem melhorando os meios de subsistência, reduzindo a pressão sobre os ecossistemas protegidos e integrando a conservação da paisagem. Contudo ainda há escassez de informações a respeito desses modelos. Objetivou-se avaliar a qualidade do solo desse modelo na região a fim de constituir ferramenta que possa auxiliar na tomada de decisão para sua implantação pelos agricultores.. Foram conduzidos dois estudos independentes: um que procurou caracterizar esse modelo como unidade produtiva de referência, visando contribuir para sua difusão na região; e outro em que foram avaliadas as alterações nos atributos dos solos desses sistemas. Foram avaliados dois SAFs com três e seis anos de implantação, comparando-os com cultivo de oliveira, pastagem e área e regeneração natural dominada por samambaias, tendo como sistema de referência a floresta nativa, por fim foram gerados índices para estimativa da qualidade do solo dessas áreas, construídos pelo método desenvolvido por Velásquez, Lavelle e Andrade (2007). Para os atributos, foram realizadas análises de rotina e para as correlações entre estes e os sistemas de manejo foram utilizadas técnicas multivariadas. Com base nos resultados dos atributos físicos, os SAFs apresentaram boa qualidade do solo em relação ao sistema de referência, notadamente, a densidade do solo e a estabilidade de agregados. Para os atributos químicos, pode-se inferir que o nível de fertilidade referente ao teor de matéria orgânica nos SAFs aproxima-se do sistema de referência indicando os benefícios do manejo agroecológico em questão. A análise de agrupamento relacionada aos atributos químicos e físicos do solo indicou uma tendência desses sistemas em atingir a sustentabilidade. O SAF com seis anos propiciou condições mais próximas do ambiente de referência para a colonização de grupos da fauna edáfica que apresentaram maior capacidade de transformação e resiliência dentro desse sistema. O maior índice de qualidade do solo foi apresentado pela floresta nativa seguido pelo SAF com seis anos. Portanto pode-se concluir que os SAFs têm capacidade de aumentar a qualidade do solo nessa região aproximando-se da condição de referência ao longo do tempo. O manejo e implantação deste modelo de SAF demonstraram potencial para restauração da qualidade do solo, podendo substituir, como modelo de produção sustentável, as áreas dominadas por *Pteridium* na APA Serra da Mantiqueira.

Palavras-chave: Agricultura de montanha. *Pteridium sp.* Conservação do solo. Unidade de Conservação. Sistemas de uso do solo.

GENERAL ABSTRACT

Serra da Mantiqueira is a protected area that comprises an ecosystem considered a priority for biodiversity conservation and is constantly threatened by human activity. The adoption of Agroforestry Systems has improved livelihood, reduced the pressure on protected ecosystems and integrated landscape conservation. However, there is still lack of information regarding these models. Our objective was to assess soil quality of Agroforestry systems in this region in order to build a tool to support decision making when farmers want to convert their production. We conducted two independent studies: one to characterize this model as a reference productive unit, in order to incentivize its adoption in the region; and another to assess the changes in soil attributes in these systems. We evaluated two agroforestry systems three- and six-year old, compared them to Olive tree plantations, pastures and an area under natural regeneration dominated by ferns, having a native forest as the reference ecosystem. Then, we calculated indices to estimate soil quality, using the method developed by Velásquez *et al.* (2007). We performed routine soil analyzes and tested for correlations between attributes and each management system using multivariate analyzes. Our results showed that the agroforestry systems had good soil quality compared to the reference ecosystem, notably soil density and aggregate stability. Regarding the chemical attributes, we can infer that fertility level related to organic matter content in the agroforestry systems is similar to the reference ecosystem, indicating the benefits of agroecological management. The grouping analyzes related to the chemical and physical properties of soils indicated these systems tend to achieve sustainability. The six-year old agroforestry system was closer to the reference ecosystem and may have appropriate conditions for colonization by soil fauna that presented higher transformation capacity and resilience within these systems. The native forest showed the highest index for soil quality, followed by the six-year old agroforestry system. Therefore, we conclude that the agroforestry systems have the capacity to improve soil quality in this region, approaching the conditions in the reference ecosystem along time. The management and implementation of this agroforestry model showed to have potential for soil quality restoration and could substitute, as a sustainable production alternative, the areas dominated by *Pteridium* in Serra da Mantiqueira.

Keywords: Mountain agriculture. *Pteridium sp.* Soil conservation. Native conservation. Soil use systems.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Roçada, berços e consórcio com vegetação nativa. 76
- Figura 2 - Mistura de plantio, abertura dos berços. 77
- Figura 3 - Aspectos da adubação verde. 80

CAPÍTULO 3

- Figura 1 - Distribuição e estabilidade dos agregados estáveis em água menores que 2 mm, nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira. 125
- Figura 2 - Resistência do solo a penetração e umidade gravimétrica em diferentes sistemas de uso e manejo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira. 129
- Figura 3 - Análise de componentes principais das médias dos atributos do solo para diferentes sistemas de manejo na APA Serra da Mantiqueira, MG. 136
- Figura 4 - Dendrograma de agrupamento das variáveis físicas e químicas para a profundidade de 0-20 cm em diferentes sistemas de manejo e uso do solo na APA Serra da Mantiqueira. 140

CAPÍTULO 4

- Figura 1 - Comportamento da umidade relativa, temperatura e precipitação médias no ano de 2015, nos municípios de Alagoa e Bocaína de Minas, MG. 166

Figura 2 - Distribuição dos indivíduos da fauna edáfica encontrados na serrapilheira, no verão(B) e no inverno (A) em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.	187
Figura 3 - Biplot da análise dos componentes principais (ACP) na época chuvosa, 2015, sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo considerando; A) análise dos componentes da abundância da fauna com componentes da química do solo e B) influência dos fatores da PCA (F1 e F2) na divisão dos sistemas de uso do solo.	193
Figura 4 - Biplot da análise dos componentes principais (ACP) época chuvosa, 2015, sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo considerando; A) análise dos componentes da abundância da fauna com componentes da física do solo. B) influência dos fatores da PCA (F1 e F2) na divisão dos sistemas de uso do solo.....	196

CAPÍTULO 5

Figura 1 - Mapa da localização da área de estudo dentro da APASM.....	221
Figura 2 - Projeção dos sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo no espaço fatorial definido pela análise ACP dos subindicadores. (A) Analise de coinerchia dos subindicators com fator 1 e 2 da ACP. (B) Projeção dos sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo no plano definido pelo fator 1 e 2.....	234

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Caracterização dos municípios do estudo localizados na APASM.....	71
------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Composição granulométrica e razão silte e argila para Cambissolo Háplico distrófico típico em três profundidades sob diferentes sistemas de uso do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.	105
Tabela 2 - Atributos da fertilidade do solo para Cambissolo Háplico distrófico típico nas profundidades de 0-10, 10 -20 e 20-40 cm em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira. (Continua)	112
Tabela 3 - Atributos físicos dos solos nas profundidades de 0-10, 10- 20 e 20-40 cm em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.....	119
Tabela 4 - Diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio de partículas (DMP) e porcentagem dos agregados na classe >2 mm , classe 2–1 mm e < 1 mm nas profundidades de 0-10, 10- 20 e 20-40 cm em diferente sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.	126

Tabela 5 - Resistência do solo e penetração (RP) e umidade gravimétrica (Θ) em Cambissolo Haplíco Distrófico submetido a diferentes tipos de manejo e uso do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.	130
Tabela 6 - Condutividade Hidráulica do solo (K) em diferentes sistemas de uso e manejo na APA Serra da Mantiqueira.....	132
Tabela 7 - <i>Loadings</i> dos atributos químicos e físicos do solo para as duas primeiras componentes da ACP na profundidade de 0-20 cm para diferentes sistemas de manejo na APA Serra da Mantiqueira, MG.....	134
Tabela 8 - P-valores do teste Tukey entre os contrastes de tratamentos testando os dois primeiros componentes principais dos atributos químicos e físicos dos solos para a profundidade de 0-20cm.....	137

CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Características químicas, na época chuvosa, de um Cambissolo Haplíco típico distrófico, na camada de 0–10 cm, em diferentes sistemas de uso de solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira, MG.....	171
Tabela 2 - Características físicas, na época chuvosa, de um Cambissolo Haplíco típico distrófico, na camada de 0–10 cm, em diferentes sistemas de uso de solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira, MG.....	172
Tabela 3 - Número de indivíduos coletados por nível taxonômico da fauna invertebrada na serrapilheira e no solo a 10 cm de profundidade em diferentes sistemas de uso e manejo do solo	

	e remanescente florestal nativo na APA da Serra da Mantiqueira. (Continua).....	176
Tabela 4 -	Índices de diversidade da fauna edáfica nas duas épocas de coletas sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo na APA Serra da Mantiqueira.	183
Tabela 5 -	Biomassa (peso fresco em g.m ²) por grupo taxonômico da fauna invertebrada na serrapilheira e no solo a 10 cm de profundidade em sistemas de uso do solo e remanescente florestal nativo na APA da Serra da Mantiqueira. (Continua) ..	189

CAPÍTULO 5

Tabela 1 -	Representação do resultado dos Subindicadores de cada variável (Morfologia, Macrofauna e Física). (Continua)	231
Tabela 2 -	Valores médios do GISQ para cada sistema de uso e manejo estudado e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira, MG.....	235

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	17
1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Indicadores de qualidade do solo	21
2.1.1	Indicadores físicos da qualidade do solo	21
2.1.2	Indicadores químicos da qualidade do solo	23
2.1.3	Indicadores biológicos da qualidade do solo	25
2.2	Avaliação da qualidade do solo	27
2.2.1	Índice de qualidade do solo	29
2.3	Sistemas agroflorestais	31
2.3.1	Sob a perspectiva agroecológica	33
2.3.2	E conservação da biodiversidade	35
2.4	Contexto do estudo	38
2.4.1	Objetivos	40
2.4.2	Organização da tese	42
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	45
	REFERÊNCIAS	47
	CAPÍTULO 2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS AGROECOLÓGICOS: USO E MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO NA APA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG	59
1	INTRODUÇÃO	61
2	MATERIAL E MÉTODOS	63
2.1	Características físicas da região de estudo	63
2.2	Uso do solo na região do estudo	68
2.3	O Núcleo de Estudos em Agroecologia da Serra da Mantiqueira	72
2.4	Coleta de dados	73
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.1	Histórico de uso	75
3.2	Caracterização dos modelos agroflorestais	75
3.2.1	Preparo da área e plantio	76
3.2.2	Adubação, fertilização e fitossanidade	79
3.2.3	Manejo e arranjo produtivo	83
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS	89
	CAPÍTULO 3 INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS AGROECOLÓGICOS NA ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL SERRA DA MANTIQUEIRA	95
1	INTRODUÇÃO	97

2	MATERIAL E MÉTODOS	101
2.1	Caracterização dos sistemas utilizados	102
2.2	Determinação dos atributos do solo	104
2.3	Análise dos dados	107
2.3.1	Análises multivariadas	107
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	111
3.1	Caracterização dos atributos químicos do solo	111
3.2	Caracterização dos atributos físicos do solo	118
3.3	Efeito dos sistemas de uso e manejo sobre os atributos do solo	133
4	CONCLUSÃO	143
	REFERÊNCIAS	145
	CAPÍTULO 4 INDICADORES BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO UTILIZANDO MACROFAUNA INVERTEBRADA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS AGROECOLÓGICOS NA APA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG	159
1	INTRODUÇÃO	161
2	MATERIAL E MÉTODOS	165
2.1	Caracterização da área do estudo	165
2.2	Coleta de dados	169
2.3	Análise dos dados	172
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	175
3.1	Densidade, diversidade e biomassa da fauna edáfica	175
3.2	Macrofauna edáfica e relações com atributos do solo	192
4	CONCLUSÃO	201
	REFERÊNCIAS	203
	CAPÍTULO 5 INDICADOR GERAL DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USOS E MANEJO NA APA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG	217
1	INTRODUÇÃO	219
2	MATERIAL E MÉTODOS	221
2.1	Áreas de estudo	221
2.2	Amostragem	224
2.2.1	Macrofauna do solo	224
2.2.2	Atributos físicos e químicos do solo	225
2.2.3	Atributos morfológicos do solo	225
3	ANÁLISE DOS DADOS	227
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	231
5	CONCLUSÃO	237
	REFERÊNCIAS	239

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de produção agrícola em montanhas necessitam de tecnologias conservacionistas para sua manutenção devido a sua fragilidade e à alta suscetibilidade à degradação do solo relacionada às condições topográficas. São ambientes importantes para a preservação dos recursos hídricos, fauna e flora.

A Serra da Mantiqueira é formada por uma cadeia de montanhas de importância estratégica para as regiões mais populosas do país, abriga remanescentes de Mata Atlântica sendo considerada área nacional prioritária para a conservação da biodiversidade.

A Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira (APASM) foi criada em 1985, pelo Decreto nº 91.304 com a perspectiva de conservação do conjunto paisagístico e da cultura regional. A APASM é uma Unidade de Conservação Federal de Uso Direto classificada pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) como Unidade de Uso Sustentável, cujo objetivo básico é proteger a diversidade biológica, promover e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais permitindo a sua exploração, seu aproveitamento econômico e sua ocupação de forma planejada e regulamentada (BRASIL, 2000).

A APA Serra da Mantiqueira (APASM) é uma Unidade de Conservação que sofre com pressões antrópicas desordenadas causadas pelo uso e planejamento inadequado do solo. Faz-se necessário o ordenamento do território visando controlar o uso, ocupação do solo e a exploração dos recursos naturais através do desenvolvimento de atividades rurais sustentáveis.

As Áreas de Preservação Ambiental (APAs) são criadas com a finalidade de promover o uso sustentável de recursos permitindo seu aproveitamento econômico. No entanto a topografia aparece como um fator

limitante para algumas atividades socioeconômicas nesta unidade de conservação, principalmente as atividades agrícolas. Esse fato, associado às condições climáticas e ao tipo de solo, reforçam a tendência ao predomínio de atividades pecuárias. As pastagens são predominantes na paisagem regional e têm apresentado problemas de erosão hídrica e degradação do solo. Quando abandonadas e em determinadas altitudes, essas áreas são dominadas por samambaias (*Pteridium aquilinum*), limitando o manejo e uso desses locais.

Os sistemas produtivos agroecológicos dispensam o uso dos agroquímicos, aumentam a resiliência da agricultura e propõem rendimentos produtivos elevados, assim sugerem desenvolvimento agrícola sustentável atento às complexidades que envolvam o produtor e o território, priorizando o respeito ao ambiente, a soberania alimentar, energética e tecnológica.

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são sistemas produtivos que integram espécies perenes e que, se baseados em técnicas agroecológicas, podem complementar os serviços realizados pelas Unidades de Conservação e até ampliar o papel dessas áreas através de corredores entre os remanescentes, realizando a conectividade dos componentes estrutural e funcional da paisagem. A implantação de SAFs agroecológicos pode representar uma alternativa favorável para diminuir o isolamento de fragmentos florestais. Além desses benefícios, a utilização dessa categoria de SAFs na recuperação de áreas degradadas, além de gerar renda, deve contribuir significativamente para a melhoria das propriedades físico-químicas dos solos.

Diante desta complexidade de potenciais benefícios torna-se importante evidenciar a contribuição dos SAFs agroecológicos na conservação do solo através de indicadores físicos, químicos e biológicos de sua qualidade. Um atributo indicador de qualidade do solo é uma variável que permite avaliar a tendência de modificação, e suas propriedades, relacionadas ao tipo de manejo do solo os quais podem se tornar requisitos da sustentabilidade do sistema.

A busca por avaliar a qualidade do solo de forma mais ampla, integrada, dinâmica e efetiva vem gerando a necessidade de construir um aprofundamento nos conjuntos de indicadores dessa qualidade em sistemas produtivos de referência. Há, portanto, carência de informações para se validar e ou ajustar esse sistema de manejo, de modo que sua difusão aconteça em bases científicas.

Torna-se importante fornecer subsídios para a manutenção da produção biológica sustentável na região demonstrando a importância do monitoramento dos solos com vistas à preservação de sua qualidade para uma produção continuada, tendo em vista a importância das avaliações da qualidade do solo relacionadas à segurança alimentar, conservação da água e a capacidade de manutenção produtiva do modelo apresentado ao longo do tempo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indicadores de qualidade do solo

Em sistemas produtivos a avaliação da qualidade do solo por meio do monitoramento de seus indicadores físicos, químicos e biológicos do solo é fundamental para a sustentabilidade produtiva dos ambientes, pois fornece subsídios para a escolha de práticas de manejo que permitam a conservação dos ecossistemas. Para o monitoramento da qualidade dos solos se faz necessário avaliar a sua capacidade e estado atual comparando-os com o solo em estado natural, pois representa condições ecológicas de equilíbrio ambiental, ou com parâmetros ideais, que estejam ligados a conservação e valores ótimos da produção e que devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação (DORAN e PARKIN, 1994) No monitoramento da qualidade do solo, diversos parâmetros químicos, físicos e biológicos têm sido considerados como indicadores de qualidade e mudanças do solo. A escolha do método e dos parâmetros depende dos objetivos, recursos disponíveis e condições do contexto local e da pesquisa além das características do solo analisado.

2.1.1 Indicadores físicos da qualidade do solo

A qualidade dos atributos físicos afeta diretamente o espaço poroso do solo, sendo a estrutura do solo um dos indicadores mais importantes para o desenvolvimento das plantas e a atividade de organismos (AGUIAR, 2008). A estrutura pode ser avaliada por meio da densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo. Estes indicadores mostram o efeito do manejo do solo, sendo de fácil mensuração, com respostas rápidas e de razoável precisão (DORAN; PARKIN, 1994). Esses mesmos autores (DORAN; PARKIN, 1994) classificam os atributos físicos do solo como alteráveis pelo tipo de manejo

como: densidade do solo, resistência à penetração, permeabilidade, aeração, agregação, porosidade e umidade do solo e permanentes como: textura do solo, mineralogia, densidade de partículas e cor, podem ser elencadas como atributos físicos permanentes, inerentes às propriedades de cada solo e que servem para classificá-lo pedologicamente. Os atributos físicos alteráveis são os mais utilizados como indicadores por estarem sujeitos às maiores alterações, em função dos sistemas de manejo (STEFANOSKI et al., 2013).

Sabendo que as propriedades físicas do solo são interdependentes e que, conseqüentemente, a modificação de uma delas normalmente leva à modificação de todas as demais.

Indicadores físicos da qualidade do solo têm sido investigados nas diferentes condições de uso e manejo e são fundamentais para entender os processos de degradação (RAMOS et al., 2014). O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua textura e mineralogia, as quais influenciam a resistência e a resiliência a determinada prática agrícola (CAVALIERI et al., 2009; REYNOLDS; ELRICK, 2002; SILVA et al., 2010).

A estrutura é uma propriedade sensível ao manejo, pode ser analisada segundo variáveis relacionadas a estabilidade de seus agregados, suas diferentes formas e tamanhos (ALBUQUERQUE et al., 1995). Normalmente essa alteração induz uma deterioração de sua qualidade, em decorrência da retirada da cobertura vegetal e o excessivo uso da mecanização.

A estrutura e infiltração afetam diretamente a perda de água e de solo e, conseqüentemente, a qualidade da água (HATCH; KEITH; MURPHY, 2002; PANACHUKI et al., 2011; VOLK; COGO; STRECK, 2004). Esses atributos influenciam na disponibilidade de água e ar para as plantas, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular.

A qualidade estrutural, ou seja, o conjunto da porosidade, densidade, estabilidade de agregados e infiltração de água no solo são afetados pelo uso e manejo do solo (LANZANOVA et al., 2007).

Para Mota, Freire e Assis Junior (2013) atributos como densidade do solo, teor de matéria orgânica, estabilidade de agregados, resistência à penetração e condutividade hidráulica podem ser alterados pelo uso e manejo do solo, sendo bastante utilizados como indicadores da qualidade física do solo, pois são sensíveis às variações do manejo ao qual o solo está submetido. Portanto, podem ser utilizados como fonte para a interpretação da dinâmica de processos físicos do solo no tempo.

2.1.2 Indicadores químicos da qualidade do solo

As alterações nos indicadores químicos são resultados do desenvolvimento dos sistemas e ocorre em função do tempo e da condução de cada sistema de uso e manejo do solo. A exploração agrícola com o passar do tempo conduz ao aumento da heterogeneidade do solo por meio de modificações, como desmatamento, preparo da terra, alternância de culturas, uso de fertilizantes e incorporação de resíduos orgânicos fazendo com que uma mesma área com cultivo ou não em distintos sistemas de manejos apresente variação nos atributos químicos do solo (MILINDRO et al., 2016).

A fertilidade é a capacidade que o solo tem de ceder elementos essenciais às plantas. Este é um conceito que apresenta restrições devido às diferentes capacidades de absorção de nutrientes entre as diferentes espécies de plantas. Considerando que o solo é a base para produção sustentável, é necessário adotar práticas de manejo que conservem e ou restaurem sua fertilidade.

Em geral os atributos químicos do solo com exceção do pH apresentam maior variação que as propriedades físicas (SILVA; CHAVES, 2001). Desse

modo é necessária uma análise criteriosa dos atributos químicos do solo para os tratamentos avaliados.

Dentre os indicadores químicos do solo destacam-se o pH, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, teor de fósforo, potássio e magnésio, saturação de alumínio e por bases entre outros (SHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000). Elementos que juntos podem ser úteis como indicadores da qualidade do solo e podem indicar as necessidades nutricionais das plantas, contaminação ou poluição.

As características químicas do solo apresentam-se como um indicador funcional global, pois sintetiza o processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica, em ambientes naturais, fundamentalmente, sobre o solo (GREEN; TROWBRIDGE; KLINKA, 1993; SWIFT; HEAL; ANDESON, 1979).

A matéria orgânica é considerada como eficiente indicador para determinar a qualidade do solo modificada por sistemas de manejo (CONCEIÇÃO et al., 2005). Está diretamente relacionada aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Além da influência do manejo das culturas e o preparo do solo, esse atributo é influenciado também pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, atuando na melhoria dos processos biológicos de decomposição e mineralização. Além de aumentar a capacidade de troca catiônica do solo, sustenta a comunidade microbiana e da fauna do solo e a formação de agregados podendo influenciar na atividade biológica do solo, no desenvolvimento de raízes e como consequência na produtividade primária, sendo a sua avaliação uma forma de verificar se as condições estão favoráveis ao estabelecimento, manutenção e produtividade da comunidade biológica do solo.

Com a maior frequência dos cultivos e os elevados rendimentos alcançados, haverá maior exportação de nutrientes via colheita e, conseqüentemente, maiores demandas por fertilização, ambas são causas da

variabilidade antrópica. Este fato requer a realização, de um acompanhamento mais frequente e detalhado dos atributos químicos do solo. A incorporação de corretivos e fertilizantes pode causar o desequilíbrio do sistema e, em consequência, a aceleração ou retardamento dos processos de ciclagem de nutrientes e de formação e ou decomposição da matéria orgânica.

2.1.3 Indicadores biológicos da qualidade do solo

A fauna do solo é um termo utilizado quando se deseja referenciar a comunidade de invertebrados que vive permanentemente ou que passa um ou mais ciclos de vida no solo (AQUINO, 2005). A fauna do solo é dividida em micro, meso e macrofauna de acordo com seu tamanho corporal. A atividade biológica da fauna do solo e serrapilheira está concentrada na camada superior a 20 cm do solo, abaixo dessa profundidade há uma diminuição na riqueza taxonômica, na densidade e biomassa desses organismos (RUIZ; LAVELLE; JIMENEZ, 2008).

A macrofauna edáfica do solo compreende uma grande quantidade e variedade de animais invertebrados que vivem na serapilheira e no solo, sendo representados por organismos com tamanhos e diâmetros variados, geralmente maiores que 1 cm de comprimento ou menores que 2 mm de diâmetro corporal (LAVELLE et al., 1997). O tamanho dos indivíduos da macrofauna e suas características morfológicas, tanto corporais quanto do aparelho bucal contribuem para a movimentação do solo e a fragmentação da matéria orgânica, assim contribuindo para as mudanças nas características físicas e químicas do solo (LAVELLE et al., 1997) e favorecendo a ciclagem de nutrientes no solo.

São mais de 20 grupos taxonômicos entre eles cupins, formigas, minhocas, besouros, tatuzinhos, aranhas, centopeias, piolhos-de-cobra, baratas, tesourinhas, grilos, caracóis, escorpiões, percevejos, cigarras, larvas de mosca e de mariposas (LAVELLE; SPAIN, 2001). Os componentes da macrofauna têm o

corpo em tamanho suficiente para romper as estruturas dos horizontes minerais e orgânicos do solo ao se alimentar, movimentar e construir galerias no solo (ANDERSON, 2009).

Alguns membros da macrofauna do solo, como os cupins, as formigas, as minhocas e as larvas de coleópteros, são citados como “engenheiros do ecossistema”, por terem a capacidade de modificar o ambiente físico e químico onde vivem (LAVELLE et al., 1997).

A habilidade dos animais do solo em transportar, ingerir, ou modificar a estrutura física do solo é positivamente relacionada ao tamanho do corpo. Os organismos maiores do solo (minhocas, térmitas e formigas), devido ao seu tamanho corporal, influenciam as propriedades físicas do solo e a biota menor (ácaros e principalmente microrganismos), atingem principalmente, a decomposição da serrapilheira e as reações químicas que ocorrem nesses ambientes.

A combinação dos efeitos químicos, físicos e biológicos dos animais do solo nas propriedades e em seus processos de preferência alimentar, como resíduos de raízes, deterioração de raízes e brotos, também pode influenciar significativamente o crescimento das plantas, ambos positivamente ou negativamente (BROWN et al., 2006). A função dos invertebrados no solo depende principalmente de seus hábitos alimentares, de sua mobilidade e da posição que ocupam no espaço. A divisão dos grupos funcionais da meso e macrofauna do solo podem ser feitas em saprófagos, micrófagos, predadores, insetos sociais e fitófagos.

Para manutenção da qualidade do solo e da sustentabilidade de seu uso, é fundamental que a abundância e diversidade de espécies da macrofauna edáfica seja promovida (MERLIM et al., 2005; SILVA et al., 2006, 2008) sendo indicadores da biodiversidade do solo e da intensidade das atividades biológicas (VELÁSQUEZ; LAVELLE; ANDRADE 2007).

A crescente utilização com a fauna do solo como bioindicadora está relacionada com a facilidade de sua estimativa e com a eficiente representação do ambiente que esses promovem (BROWN JÚNIOR, 1991; ESPÍRITO-SANTO FILHO, 2005). A macrofauna pode ser coletada e avaliada usando diversos métodos de coleta, incluindo armadilhas de queda (*Pitfall trapping*) e extração manual (ANDERSON; INGRAM, 1993). Não existe um método de coleta que extraia completamente todos os grupos de animais invertebrados do solo e que seja ao mesmo tempo, universalmente aceito.

Alguns estudos de biodiversidade da fauna buscam atribuir valores por meio de índices de diversidade com o objetivo de facilitar a avaliação, permitindo que ambientes de diferentes locais sejam comparados (LAVELLE et al., 2006; PAOLETTI, 1999).

Estudos evidenciam que a maior diversidade biológica estabelece um equilíbrio do solo por um período de tempo maior, sendo importante objeto de estudo em avaliação de qualidade do ambiente e da sustentabilidade dos sistemas de produção (LAVELLE et al., 2006). Pode-se verificar florestas primárias, com densidade e biomassa de macrofauna duas a três vezes maiores do que em sistemas manejados (RUIZ; LAVELLE; GIMENEZ, 2008).

Os organismos da fauna do solo sendo sensíveis às modificações tanto físicas quanto químicas e biológicas no solo podem ser utilizados como indicadores de sua qualidade, por meio dos processos relacionados com o manejo adotado (MALUCHE-BARRETA; AMARANTE; KLAUBERG-FILHO, 2006).

2.2 Avaliação da qualidade do solo

O solo é um recurso natural vivo e dinâmico que condiciona e ampara a produção de alimentos, devendo regular o balanço global do ecossistema. No ambiente edáfico, existem diversas relações que controlam os processos e os

aspectos ligados à sua variação no tempo e no espaço. Qualquer modificação nessas relações pode alterar diretamente sua estrutura e ou fertilidade (CARNEIRO et al., 2009), podendo resultar em prejuízos para o solo e para as culturas.

A preocupação com a qualidade do solo tem sido destaque, considerando seu papel diante dos aspectos e serviços ecossistêmicos perante a crescente degradação ambiental. Nesse contexto, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo e uso do solo se apresenta como uma opção para contribuir com a sustentabilidade econômica e ambiental dos agroecossistemas (BARRETO et al., 2006) principalmente que estão perdendo sua capacidade produtiva, visto que estes possibilitam sua melhoria ou manutenção em relação aos seus atributos (CARNEIRO et al., 2009). As avaliações da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo são úteis na análise da interferência antrópica sobre o ambiente, pois consideram a relação entre solo e demais componentes do ecossistema (D'ANDREA et al., 2002).

A qualidade do solo é definida como a capacidade de funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade agrícola e biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana, das plantas e animais (DORAN; PARKIN, 1994), sendo fortemente influenciados pelo seu uso e manejo (SEYBOLD; HERRICK; BREJDA, 1999). Geralmente a qualidade do solo é determinada por um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos que representam as diferentes características do solo, influenciando suas diversas funções. Esses atributos podem ou não ter bom desempenho e exercer influência na produção e produtividade dos agroecossistemas. Portanto esses atributos podem avaliar a relação entre o manejo e a qualidade do solo, classificando-os (DORAN; PARKIN, 1994).

Os indicadores do solo são ferramentas que permitem o monitoramento de qualidade e do estado do solo a médio e longo prazo e devem ser de fácil

replicação e mensuração em condições de campo, e devem ser sensíveis às variações de manejo (PARRON et al., 2015) além de ser confiáveis metodologicamente e envolverem baixos custos na sua mensuração. Os indicadores podem ser utilizados em duas avaliações distintas ou complementares: uma avalia a variação do indicador do solo no tempo dentro de um sistema e a outra compara diferentes sistemas entre si. Portanto, a definição e delimitação dos indicadores precisam estar relacionadas fundamentalmente com os processos de transformação daquele manejo em questão (MAIA; NOVOTNY; RITTL, 2013).

Identificar indicadores que atendam ao conceito de qualidade do solo é difícil devido às várias características químicas, físicas e biológicas que controlam os diferentes processos biogeoquímicos e suas variações em decorrência do tempo e do espaço (PINTO, 2014). Para isso, a variação dos atributos do solo na vegetação nativa é muito menor quando comparada com a dos solos de uso agrícola, podendo ela ser considerada um referencial contribuindo para a avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas (FREITAS et al., 2014; TÓTOLA; CHAER 2002)

A qualidade perfeita para um solo não é conhecida, e o ideal irá diferir entre os vários tipos de solo, seu manejo e cultivos, por isso, é necessária a determinação de referenciais que possam servir de base para a interpretação e comparação, principalmente em unidades de referência em sistemas produtivos (TÓTOLA; CHAER, 2002).

2.2.1 Índice de qualidade do solo

Tendo em vista que a avaliação quantitativa e qualitativa da qualidade de um solo envolve um processo complexo com diversas propriedades e variáveis, a elaboração de índices de Qualidade do Solo (IQS), englobando os aspectos físicos, químicos e biológicos se torna uma forma de agregar e

simplificar um conjunto de informações de diversas naturezas (VELASQUEZ; LAVELLE; ANDRADE, 2007). O IQS evidencia ser um dos mais importantes indicadores para o bom desenvolvimento e manutenção da sustentabilidade dos sistemas produtivos na agricultura.

A proposição de índices de qualidade do solo tem crescido ao longo do tempo junto à necessidade das análises de sustentabilidade ambiental na gestão de sistemas produtivos agrícolas. A maioria dos estudos concentra-se na identificação de um índice que possa ser aplicável dependendo da função para a qual o índice de qualidade do solo está sendo gerado (MELO FILHO; SOUZA; SOUZA, 2007), uma série de atributos do solo pode ser reunida a fim de auxiliar na avaliação dos solos em relação à degradação ambiental e avaliar as práticas de manejo utilizadas (ALVARENGA et al., 2012; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009)

Karlen e Stott (1994) propuseram um dos métodos mais utilizados para determinação do índice de qualidade do solo, este método apresenta uma estrutura de cálculo na qual as funções principais e seus respectivos indicadores são selecionados de acordo com o grau de importância para a determinação do índice. Esses pesquisadores sugeriram a utilização de um modelo desenvolvido por Wymore (1993) para normalização dos indicadores, gerando uma escala de 0 a 1, que, quanto mais próximo de 1, maior a qualidade do solo relacionada às variáveis ou propriedades analisadas.

Um índice de qualidade do solo deve identificar um conjunto de propriedades do solo de acordo com critérios como: elucidar processos do ecossistema e determinar suas relações com o modelo estudado, e além de integrar as propriedades dos atributos já mencionados, relacioná-los com os respectivos processos nos quais eles estão envolvidos, o índice deve ser acessível e de fácil aplicação para diferentes perfis de usuários em campo e

quando possível ser componente de bancos de dados já existentes (DORAN; PARKIN, 1994).

O desenvolvimento desses índices de qualidade do solo permite caracterizar uma situação atual, prevenindo situações de risco. Podem ainda subsidiar a elaboração e ou redefinição de normas específicas para o uso dos solos em regiões mais suscetíveis a impactos ambientais. Especificamente em áreas de proteção ambiental com restrições ao uso do solo, reconhecidos como de grande importância para a manutenção da biodiversidade, há necessidade emergencial de instrumentos como esses que permitam monitorar a sustentabilidade dos sistemas de produção nesses locais sob pena da intensificação das atividades produtivas comprometerem de forma irreparável a diversidade de seus recursos naturais.

2.3 Sistemas agroflorestais

Uma das estratégias ao modelo convencional de produção agrícola usada para alcançar alta produtividade e promover a sustentabilidade no tempo tem sido o uso de cultivos consorciados como em Sistemas Agroflorestais (SAFs). A principal razão mencionada para a utilização destes sistemas é a de que esses permitem aumento na eficiência de uso dos recursos ambientais (PARK; BENJAMIN; WATKINSON, 2002). A eficiência e a vantagem de um sistema consorciado dependem fundamentalmente da complementaridade entre as culturas componentes. Vários fatores podem ter impacto significativo no rendimento e na taxa de crescimento das culturas componentes como a competição entre os cultivos, o tipo de cultivar e o arranjo espacial de plantio (DIMA et al., 2007). As interações podem ser de natureza competitiva ou complementar no uso de radiação solar, água e nutrientes, sendo o recurso mais limitante definido pela combinação das características das plantas, clima, solo e manejo do sistema (RAO; NAIR; ONG, 1997).

Atualmente existem diferentes definições de Sistemas Agroflorestais (SAFs). A legislação brasileira, através da Resolução do CONAMA n.º 425, de 25 de maio de 2010 e a Instrução Normativa 9 n.º 4, de 8 de setembro de 2009, define SAFs como sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas e arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas e forrageiras em uma mesma unidade de manejo de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes.

Para MacDicken e Vergara (1990) e Macedo (2000), há também associação com animais em uma mesma superfície, podendo ser instalados e manejados de forma simultânea, escalonada ou sequencial no tempo e no espaço podendo apresentar caráter temporário ou permanente. Para Young (1991), deve haver interações ecológicas e econômicas entre componentes lenhosos e não lenhosos.

De acordo com Nair (1993), o arranjo espacial ou sequência temporal permite uma interação ecológica, através da estrutura e função de cada espécie, e econômica, complexas englobando vários tipos de combinações em todas as regiões ecológicas e geográficas do mundo. Devido a esta enorme diversidade de sistemas agroflorestais, vários critérios podem ser usados para classificar os SAFs. Os mais comumente usados são a estrutura do sistema (composição e arranjo dos componentes), função, escala socioeconômica, nível de manejo e extensão ecológica (NAIR, 1985).

Portanto, o termo Sistema Agroflorestal abrange um amplo arcabouço compreendendo desde sistemas simples que envolvem o cultivo de apenas duas espécies promovendo poucas interações, pouca flexibilidade no desenho e relações ecológicas estreitas, até sistemas altamente diversificados e multiestratificados sob preceitos ecológicos e possibilidades de autossuficiência. Os modelos que possuem muitas espécies e buscam reproduzir nos SAFs os

processos do ecossistema florestal potencializam a geração de uma diversidade de serviços ecossistêmicos e produtos. São sistemas fundamentados em interações propostas pelas condições climáticas, ambientais e fisiológicas determinantes para o crescimento e o desenvolvimento dos cultivos, interações essas que envolvem diversos processos tanto físicos, como químicos e biológicos, extremamente complexos.

2.3.1 Sob a perspectiva agroecológica

Desde a segunda década do século XXI, o modelo agrícola industrial que vigora é proveniente da Revolução Verde, baseada em sistemas agrícolas de larga escala, especializados e dependentes de insumos industriais, baseado no uso de fertilizantes, equipamentos agrícolas e combustíveis que derivam de fontes de energia fóssil cada vez mais escassa e dispendiosa, que tendem ao esgotamento. O debate atual está focado nas transformações climáticas que estão cada vez mais extremas e frequentes, enquanto os sistemas agrícolas intensivos se mostram menos resistentes e sustentáveis e mais vulneráveis a essas mudanças.

Gliessman (2001) afirma que a sustentabilidade não é um conceito absoluto, mas, ao contrário, só existe mediante contextos gerados como articulação de um conjunto de elementos que permitem a durabilidade ao longo do tempo dos mecanismos de reprodução social e ecológica. A agroecologia contempla as propriedades da sustentabilidade, a estabilidade biológica e a conservação dos recursos naturais considerando a equidade e adequabilidade ambiental.

Para Almeida (1999), Altieri (2001), Caporal e Costabeber (2000), Gliessman (2001), Guzmán (1995), Leff (2001), Noorgard (1989) e Toledo (1993) a agroecologia é uma ciência de caráter multidisciplinar que apresenta princípios, conceitos e metodologias na avaliação de agroecossistemas e tem por

objetivo o desenvolvimento do seu equilíbrio como um todo. Para Norgaard e Sikor (2002), a agroecologia enfatiza o conhecimento na análise e interpretação das relações complexas entre pessoas, cultivos, solo, água e animais visando proporcionar as bases científicas para apoiar o processo de transição do modelo de agricultura convencional para estilos de agriculturas de base ecológica e sustentáveis.

De acordo com Farrel e Altieri (2002), dentro da perspectiva agroecológica, o SAF é um nome genérico utilizado para descrever sistemas tradicionais de uso da terra, nos quais as árvores são associadas no espaço e ou no tempo com espécies agrícolas anuais e ou animais conduzidos por uma lógica agroecológica.

Altieri e Koohafkan (2008) sugerem que sistemas produtivos que atuam nessa lógica possuem uma maior resistência aos eventos climáticos ao traduzir-se em menor vulnerabilidade e maior sustentabilidade em longo prazo. Evidências de que os desenhos e práticas agroecológicas contribuem para a resiliência do sistema produtivo em face da mitigação e adaptação às mudanças climáticas são apresentadas por Altieri et al. (2015), Altieri e Nicholls (2009, 2010, 2012), Holt-Gimenez (2002), Lin (2007), Machin-Sosa (2010), Murgueitio et al. (2011), Philpott et al. (2009), Rosset et al. (2011), Schoeneberger et al. (2012) e Vázquez (2011).

Nos SAFs sob manejo agroecológico, quando as plantas cultivadas são introduzidas em consórcio, podem preencher todos os nichos, inclusive, considerando nesse arranjo espécies nativas remanescentes, espécies da regeneração ou reintroduzidas (PENEIREIRO, 1999).

Para Gotsch (1995), os SAFs conduzidos por uma lógica agroecológica transcendem qualquer modelo ou pacote tecnológico pronto e sugerem sustentabilidade por partir de conceitos básicos fundamentais como: a escolha e combinação das espécies, a densidade adequada, capina e podas seletivas e a

cobertura do solo com material vegetal. Aproveitando os conhecimentos locais e desenhando sistemas adaptados para cada área considerando o potencial natural do lugar de implantação.

Os SAFs são uma importante ferramenta no processo de conversão e aceitação dos sistemas de produção agroecológicos sendo uma evidência de estágio avançado de evolução do sistema produtivo quando um agroecossistema adota tecnologias agroflorestais sob essas bases (ALTIERI, 2002; GLIESSMAN, 2001).

2.3.2 E conservação da biodiversidade

Historicamente, a biologia da conservação tem concentrado seus esforços dentro das Unidades de Conservação (UCs) (VANDERMEER et al., 2008). Medidas conservacionistas são importantes para a manutenção dos ecossistemas da Mata Atlântica, os remanescentes de Mata Atlântica encontram-se fragmentados e estão inseridos em um mosaico urbano-agrícola (LIRA, 2012). Estudos realizados por Ribeiro et al. (2009) e Tabarelli et al. (2010) revelaram que mais de 80% dos fragmentos de Mata Atlântica possuem menos de 50 hectares e grande parte destes compostos por florestas secundárias.

As técnicas de proteção e manejo visam, portanto, minimizar problemas relacionados à erosão da biodiversidade provocada por essa fragmentação do *habitat*, com um enfoque baseado em valores estéticos e teorias ecológicas (DIEGUES, 1998). Considera-se que os ambientes agrícolas não são legítimos o suficiente para merecer esforços de conservação (VANDERMEER et al., 2008). Porém devido à pressão antrópica exercida nesse bioma, a criação de UCs apenas não garantirá a conservação das populações nativas (FONSECA et al., 2009). E essa abordagem se torna limitada justamente pela incapacidade de incorporar o homem a sua gestão e implantação. As UCs por si só não são capazes de manter algumas populações em longo prazo (NEWMARK, 1995).

Dentro das Unidades de Conservação de uso integral, como a APASM torna-se fundamental a adoção dos princípios da agroecologia como referencial produtivo. Adotar tais princípios significa buscar orientar uma maior sustentabilidade ambiental na agricultura e um desenvolvimento com mais equidade social, com geração de mais renda e de mais ocupações no meio rural, respeitando as diferenças culturais das pessoas implicadas (CAPORAL; PAULUS; COSTABEBER, 2009).

A área necessária para a manutenção da biodiversidade através da instalação de reservas estaria fora dos limites possíveis do ponto de vista econômico e político (GOULART et al., 2009).

Nesse contexto, sistemas agrícolas alternativos têm chamado a atenção de muitos ecólogos. Os SAFs, apesar de não substituírem as áreas florestais, oferecem melhores condições para a conservação da biodiversidade através da viabilização da conectividade entre áreas florestais. Trabalhos realizados na Mata Atlântica (CASSANO et al., 2009; PARDINI et al., 2009) e ao redor do mundo (BEENHOUWER et al., 2013; BOHN et al., 2014; SCHROTH et al., 2004) referem-se aos SAFs como exemplo de uma das estratégias utilizadas para aumentar os efeitos benéficos à conservação da biodiversidade quando comparados a sistemas agrícolas convencionais.

Schroth et al. (2011) e Vieira et al. (2009) assinalam a característica dos SAFs de aliar a coexistência e interação da prática agrícola com a conservação. Esses mesmo autores descrevem que com a implantação dos SAFs diminui a necessidade de abertura de novas áreas.

Para Souza e Piña-Rodrigues (2013), são práticas que podem servir para a recuperação de áreas degradadas. O desenvolvimento de tecnologias de recuperação de fragmentos degradados, estabelecimento de corredores florestais e paisagens de maior porosidade, constituem-se num dos maiores desafios para as atividades de restauração da biodiversidade em paisagens fragmentadas

(VIANA; TABANEZ, 1996). Com o aumento da fragmentação das paisagens, através da adoção de sistemas agroflorestais de alta diversidade e mosaicos de uso da terra diversificados, pode-se obter resultados complementares aos dos corredores ecológicos.

Trabalhos realizados na Mata Atlântica da Região Cacaueira do Sul da Bahia (CASSANO et al., 2009; PARDINI et al., 2009) citaram os SAFs como exemplo de uma das estratégias utilizadas para aumentar os efeitos benéficos da permeabilidade da matriz, demais trabalhos podem ser encontrados em Fonseca et al. (2009).

Tratando-se da conservação, os SAFs podem colaborar na manutenção da biodiversidade através de, pelo menos, três hipóteses de acordo com Schroth et al. (2004): a) do desmatamento, em que a pressão do desmatamento é reduzida, pois no lugar do cultivo intensivo, há produção maior em áreas menores reduzindo as taxas de desmatamento. b) da matriz quando o benefício dos SAFs pode se estender ao nível de paisagem, levando a um aumento das taxas de povoamento, migração e colonização de espécies permitindo um fluxo genético mínimo e c) do *habitat* de que os SAFs podem proporcionar *habitat* para espécies dependentes de ambientes florestais.

Priess (2007), por exemplo, apresentou dados empíricos dos efeitos negativos do aumento da distância, entre as áreas de floresta e as áreas de cultivo de café, sobre a diversidade de polinizadores e frutificação do café nas florestas tropicais do Sulawesi, na Indonésia.

Apesar da importância dos sistemas agroflorestais em termos de conservação da biodiversidade, bem como em termos de produção agrícola, cabe ressaltar que esses ambientes não são capazes de substituir os ambientes florestais, mas sim devem ser usados como ferramentas auxiliares à preservação destes (GOULART et al., 2009).

2.4 Contexto do estudo

Segundo a Agenda 21, as montanhas são um dos mais frágeis ecossistemas do planeta e um dos mais importantes para a produção de água e para a proteção de florestas e animais silvestres (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 1992), porém muito suscetíveis à degradação e consequentemente à perda da biodiversidade (LOPEZ NETTO, 2013).

Na maioria das vezes, são paisagens altamente fragmentadas, possuindo limitações para mecanização e predominantemente geridas por agricultores familiares (GÉRARD et al., 2012) sendo recomendado que os países desenvolvam políticas oferecendo incentivos a agricultores locais para que adotem práticas conservacionistas e tecnológicas apropriadas a esses ambientes (ONU, 1992).

Os sistemas de produção agrícola em montanha apresentam desvantagens inerentes à fragilidade de seus solos, às particularidades referentes ao isolamento e topografia que dificultam a produção e comercialização, como exemplo as alterações causadas pelas mudanças climáticas têm apresentado impactos ambientais e ou socioeconômicos maiores sobre a agricultura de montanha devido a essa sua maior vulnerabilidade e também a menor capacidade de resistência (VON DACH et al., 2013).

Em vários estados brasileiros pratica-se a agricultura de montanha. Com base nisso, não se pode ignorar a existência dessa realidade, sendo necessárias pesquisas e transferência de tecnologias produtivas adequadas para que o agricultor tenha condições de produzir de forma sustentável, tendo em vista a escassez de trabalhos nesse aspecto no país. No Brasil, existem poucas pesquisas sobre ambientes produtivos de montanha. Segundo López Netto, Aquino e Assis (2011), são necessários mais estudos a respeito das particularidades desses ambientes em todos os âmbitos criando condições necessárias que promovam a

proteção desses ecossistemas e o desenvolvimento de comunidades sustentáveis montanhosas.

Grande parte dos remanescentes preservados ou em regeneração da Mata Atlântica se encontra em áreas de montanha e a previsão do aumento do uso de terras agricultáveis nas próximas décadas representa uma ameaça aos remanescentes desse ecossistema. É fundamental haver informações específicas sobre sua ecologia, seu potencial de recursos naturais e suas atividades socioeconômicas considerando principalmente seu papel na captação e distribuição da água da chuva nas bacias hidrográficas associadas a grandes metrópoles.

A Mata Atlântica compreende um conjunto de diferentes ecossistemas, abriga alta diversidade e é um bem ambiental categorizado como Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira de 1988 e homologada como Reserva da Biosfera no ano de 1992 pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). Portanto considerada área prioritária para a proteção da biodiversidade, porém sendo constantemente ameaçada pela pressão antrópica.

A Serra da Mantiqueira é uma cadeia de montanhas que divide os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, com altitudes que chegam até os 2.700 m acima do nível do mar. Está caracterizada como área de recarga hídrica, sendo formadora de importantes bacias hidrográficas localizadas nas partes mais elevadas do Corredor Central da Mata Atlântica. Apresenta remanescente desse ecossistema com alta riqueza de espécies da fauna e flora e a presença de espécies endêmicas de importância para investigação científica e para a conservação da biodiversidade (DRUMMOND et al., 2005).

Os SAFs são uma alternativa de produção agrícola que alia a produção de alimentos com a conservação dos recursos naturais, ajudam a impedir e reverter o processo de degradação do meio ambiente, ao mesmo tempo em que

possuem potencial para recuperar remanescentes florestais (MEYER, 2011). O funcionamento adequado dos sistemas agroflorestais contribui na manutenção da biodiversidade em níveis similares ao de ecossistemas naturais (MONTAGNINI; NAIR, 2004).

Os SAFs sob manejo agroecológico são exemplos de práticas agroecológicas que através do manejo da diversificação e manejo do solo melhoram a resiliência dos agroecossistemas, através do incremento de material orgânico com uma maior cobertura do solo, ciclagem de nutrientes, retenção de umidade, maior infiltração, regulação microclimática, redução da compactação dos solos, redução da erosão do solo e uso eficiente da água (THORLAKSON; NEUFELDT, 2012).

Este tipo de sistema apresenta vantagens ambientais e socioeconômicas, a adoção dos SAFs pode representar uma resposta ao desafio de conciliar a sustentabilidade ambiental e a produção de alimentos através do uso eficiente dos recursos naturais, do solo, da hidrologia e da biodiversidade. A diversificação de espécies pode reduzir significativamente a vulnerabilidade dos agroecossistemas, portanto, o desafio está em determinar os desenhos e manejos agroecológicos que aumentem a diversidade dos SAFs e que sejam facilmente implementados pelos agricultores.

A inserção dos Sistemas Agroflorestais sob bases agroecológicas em propriedades e paisagens agrícolas está emergindo como uma das mais promissoras abordagens, melhorando os meios de subsistência rural, reduzindo a pressão sobre os ecossistemas protegidos e integrando a conservação da paisagem. Contudo ainda há escassez de informações a respeito desses modelos de produção agrícola.

2.4.1 Objetivos

Este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

- a) Sistematizar informações para caracterizar um modelo de sistemas agroflorestais agroecológicos, sendo unidade produtiva de referência e projeto piloto de sistema conservacionista de manejo na APA Serra da Mantiqueira, um protótipo proposto pelo Núcleo de Estudo em Agroecologia e Produção Orgânica da Serra da Mantiqueira (NEA Serra da Mantiqueira) na APA Serra da Mantiqueira e que vem sendo difundido nesta região.
- b) Avaliar as alterações nos atributos físicos e químicos do solo decorrentes da conversão da floresta nativa, assim como selecionar os atributos indicadores que melhor representem a qualidade do solo considerada na perspectiva deste estudo como sendo mais próxima das condições do ambiente de referência representado pelo remanescente florestal nativo. Com isso pretende-se testar a hipótese de que os SAFs agroecológicos quando comparados aos demais sistemas de manejo e uso do solo propiciam melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo na APA Serra da Mantiqueira.
- c) Avaliar o efeito do uso e manejo do solo sobre a diversidade, densidade e biomassa da fauna edáfica e sua relação com os atributos químicos e físicos do solo em SAFs agroecológicos, testa a hipótese de que esses sistemas apresentam composição da fauna mais próxima ao ambiente de referência determinado pelo remanescente florestal nativo quando comparado aos outros sistemas de uso e manejo do solo.
- d) Realizar análise complementar da qualidade do solo, em SAFs agroecológicos de diferentes idades comparando-os a outros sistemas de manejo e uso do solo, tendo como ambiente de

referência um remanescente florestal nativo, por meio de índice global de qualidade do solo gerado com base nos atributos físicos, químicos, morfológicos e da fauna edáfica pelo método desenvolvido por Velásquez, Lavelle e Andrade (2007).

2.4.2 Organização da tese

O trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro a introdução geral. No segundo capítulo, apresenta-se uma caracterização e revisão bibliográfica sobre os SAFs agroecológicos e a relação das principais práticas de manejo que compõem o sistema com a qualidade do solo. Sua proposta é a apresentação detalhada do sistema, feita a partir da vivência da equipe ao longo de dois anos de trabalho em conjunto com o produtor e a organização proponente do sistema e visa trazer para discussão científica as bases do sistema, fomentando a discussão a respeito da viabilidade do mesmo no meio acadêmico.

No terceiro capítulo, é feita uma análise de indicadores físicos e químicos da qualidade do solo nos SAFs agroecológicos com auxílio de técnicas de análise multivariada. Pois com o contexto de crescente degradação ambiental dentro da APA Serra da Mantiqueira se faz necessário compreender se esse modelo proposto pode ser uma alternativa para a recuperação destas áreas, conciliando conservação dos recursos naturais e produção e se é possível recomendar esses sistemas com vista à manutenção da qualidade do solo e da produção de alimentos na região.

No quarto capítulo, é realizada uma análise dos indicadores biológicos da qualidade do solo utilizando macrofauna invertebrada considerando que para manutenção da qualidade do solo e da sustentabilidade de seu uso, é fundamental que a abundância e diversidade de espécies da macrofauna edáfica seja promovida (MERLIM et al., 2005; SILVA et al., 2006, 2008).

No quinto capítulo, é realizada uma análise da qualidade do solo por meio de um índice que aborda diferentes atributos químicos, físicos, morfológicos e da fauna do solo. Considera-se que o cálculo de indicadores de qualidade do solo que envolve diversas classes de atributos permite uma avaliação mais abrangente e holística dos impactos causados pelo manejo e usos da terra. Portanto a possibilidade de generalização dos dados encontrados para áreas mais extensas nesse tipo de avaliação, dessa forma, é maximizada.

Esta avaliação se justifica, principalmente, pelo caráter inovador do sistema, que ainda não havia sido avaliado. Todos os sistemas de uso e manejo do solo que compõem esta tese foram desenvolvidos em áreas de cultivo comercial, explorando a condição real de campo. A área de regeneração natural dominada por samambaias (*Pteridium aquilinum*) foi escolhida para comparação no estudo, pois representa um dos problemas ambientais na APA Serra da Mantiqueira. Bem como a área de pastagem, pois esse sistema de uso do solo representa frequente degradação e perda de solos nessa região. O cultivo convencional de oliveira foi escolhido também a título de comparação no estudo por representar um sistema de produção em expansão na região.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A condição especial em que se encontra esse modelo de SAF possui como frente produtiva o consórcio entre culturas permanentes (frutíferas) com culturas anuais (hortaliças e grãos), adubação verde e plantas nativas, com introdução de novas práticas agroecológicas, apresentam potencial para mitigar limitações edafoclimáticas para o cultivo de frutas, grãos e hortaliças na região. Esse tipo de sistema é incipiente na região, demandando a continuidade dos estudos para assegurar respostas a respeito da longevidade e sustentabilidade ambiental e econômica do sistema. Trata-se de um sistema inovador, na região que foi primeiramente proposta pelo NEA Serra da Mantiqueira, sem pesquisas prévias e só então, após bons resultados, tem despertado a atenção da comunidade científica. No cenário atual, o sistema abordado neste estudo chama a atenção pelos princípios conservacionistas e de manejo do solo e da água adicionado às elevadas produtividades e a excelentes condições fitossanitárias alcançadas.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a qualidade do solo desses sistemas na APA Serra da Mantiqueira, com base em atributos indicadores, a fim de constituir ferramenta que possa auxiliar o monitoramento da sua sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91p. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 115-119, dez. 1995.
- ALMEIDA, J. **A construção social de uma nova agricultura**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999. 216 p.
- ALTIERI M.; NICHOLLS, C. Agroecology scaling up for food sovereignty and resiliency. **Sustainable Agriculture Reviews**, Dordrecht, v. 11, n. 1, p. 1–29, 2012.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001. 110 p. (Síntese Universitária, 54).
- ALTIERI, M. A. et al. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems'. **Agronomy for Sustainable Development**, France, v. 35, n. 3, p. 869–890, Jan. 2015.
- ALTIERI, M. A.; KOOHAFKAN, P. **Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities**. Malasya: Third World Network, 2008. 63 p.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Cambio climatico y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. **LEISA Revista de Agroecologia**, Lima, v. 24, p. 5-9, 2009.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Editora Agropecuária, 2002. 592 p.
- ALTIERI, M.; NICHOLLS, C. **Diseños agroecológicos para incrementar la biodiversidad de entomofauna benéfica en agroecosistemas**. Medellín: Editora Academia Espanola, 2010. 96 p.

ALVARENGA, C. C. et al. Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQS RA) na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, out./nov. 2012.

ANDERSON, J. M. Why should we care about soil fauna? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 8, p. 835-842, ago. 2009.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd. ed. Oxford: CABI, 1993. 221 p.

AQUINO, A. M. de. Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema. In: AQUINO A. M. de; ASSIS, L. R. (ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 47-75.

BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 4, p. 415-425, out./dez. 2006.

BEENHOUWER, M. de; AERTS, R.; HONNAYA, O. A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Oxford, v. 175, p. 1-7, 2013.

BOHN, J. L. et al. Implications of mayan agroforestry for biodiversity conservation in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico. **Agroforestry Systems**, Germany, v. 88, n. 2, p. 269-285, Apr. 2014.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de Julho de 2000. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 jul. 2000.

BROWN, G. G. et al. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. et al. (Ed.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Editora da UENF, 2006. p. 217-242.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: perspectivas para uma nova Extensão Rural. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 16-37, jan./mar. 2000.

CAPORAL, F. R.; PAULUS, G.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: uma ciência do campo da complexidade**. Brasília: MDA/SAF, 2009. 111 p.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, nov. 2009.

CASSANO, C. R. et al. Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cocoa producing region of southern Bahia, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, Holanda, v. 18, n. 3, p. 577-603, Oct. 2009.

CAVALIERI, K. M. V. et al. Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um Cambissolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 477-485, jun. 2009.

BROWN JÚNIOR, K. S. Conservation of neotropical environments: insects as indicators. In: COLLINS, N. M.; THOMAS, J. A. (Ed.). **The conservation of insects and their habitats**. London: Academic Press, 1991. p. 349-404.

CONCEICAO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, Oct. 2005.

COSTA, A. et al da. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 235-244, mar./abr. 2009.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Biological indicator attributes of soil quality under management systems in the cerrado region of the southern Goiás state, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-923, dez. 2002.

DIEGUES, A. C. **The myth of untamed nature in the brazilian rainforest**. São Paulo: NUPAUB, 1998. 179 p.

DIMA, K. V. et al. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratios. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 100, n. 2, p. 249-256, Feb. 2007.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 1-20.

DRUMMOND, G. M. et. al. **Biodiversidade de Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 22. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

ESPÍRITO-SANTO FILHO, K. **Efeito de distúrbios ambientais sobre a fauna de cupins (Insecta: Isoptera) e seu papel como bioindicador**. 2005. 104 p. Tese (Mestrado em Zoologia) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2005.

FARRELL, J. G.; ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.

FONSECA, C. R. et al. Towards an ecologically sustainable forestry in the Atlantic Forest. **Biological Conservation**, Amsterdam, v. 142, n. 1, p. 1144-1154, June 2009.

FREITAS, L. de et al. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, Roraima, v. 8, n. 2, p. 155-164, maio/ago. 2014.

GÉRARD, M. et al. FAO's current engagement in sustainable mountain development. **Mountain Research and Development**, Washington, v. 32, n. 2, p. 226-230, May 2012.

GLIESSMAN, S. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Universidade de UFRGS, 2001. 656 p.

GÖTSCH, E. **Break-through in agriculture**. Rio de Janeiro: Editora AS-PTA, 1995. 15 p.

GOULART, F. F. et al. Análises agroecológicas de dois paradigmas modernos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 76-85, June 2009.

GREEN, R. N.; TROWBRIDGE, R. L.; KLINKA, K. Towards a taxonomic classification of húmus forms. **Forest Science**, Bethesda, v. 29, p. 1-48, Feb. 1993.

GUZMÁN, E. S. **El marco teórico de la agroecología**. La Rábida: Universidad Internacional de Andalucía, 1995. 189 p.

HATCH, D.; KEITH, G.; MURPHY, D. Nitrogen. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CAB International, 2002. p. 19-21.

HOLT-GIMÉNEZ, E. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Santa Cruz, v. 93, n. 1, p. 87-105, dez. 2002.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 53-72.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LAVELLE, P. et al. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, New Jersey, v. 33, n. 4, p. 159-193, May 1997.

LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, France, v. 42, n. 1, p. 3-15, Oct. 2006. Suplemento.

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

LEFF, E. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis: PNUMA, 2001. 343 p.

LIN, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, USA, v. 144, n. 2, p. 85-94, May 2007.

LIRA, P. K. Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. **Forest Ecology and Management**, Austrália, v. 278, n. 1, p. 80-89, Aug. 2012.

LÓPEZ NETTO, A. **Políticas públicas para o desenvolvimento rural sustentável em ambientes de montanha no Brasil e na Argentina**. 2013. 183 p. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

LÓPEZ NETTO, A.; AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. de. **Agricultura de montanha: uma prioridade latente na agenda da pesquisa**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 64 p.

MACDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. Introduction to agroforestry. In: MACDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. (Ed.). **Agroforestry: classification and management**. New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 1-30.

MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: Editora da UFLA, 2000. 157 p.

MACHIN-SOSA, B. et al. **Revolución agroecológica: el movimiento de campesino a campesino de la ANAP en Cuba**. Habana: ANAP, 2010. 80 p.

MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H.; RITTIL, T. F. Soil organic matter: chemical and physical characteristics and analytical methods: a review. **Current Organic Chemistry**, Hilversum, v. 17, n. 24, p. 2985-2990, Dec. 2013.

MALUCHE-BARRETA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; KLAUBERG-FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 1531-1539, out. 2006.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade sub-superficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 31, n. 10, p. 1599-1608, out. 2007.

MERLIM, A. de O. et al. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 1, p. 57-61, Jan. 2005.

MEYER, M. Sistemas agrofloretais na Zona da Mata: experiências, aprendizados e propostas para a sustentabilidade. In: PORRO, R.; MICCOLLIS, A. (Org.). **Políticas públicas para o desenvolvimento agroflorestral no Brasil**. Belém: ICRAF, 2011. p. 48-58.

MILINDRO, I. F. et al. Atributos químicos como indicadores de qualidade do solo sob manejo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, Belém, v. 10, n. 3, p. 1-5, out. 2016.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v. 61, n. 3, p. 281-295, July 2004.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JUNIOR, R. N. de. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, out. 2013.

MURGUEITIO, E. Z. et al. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management**, Austrália, v. 261, n. 10, p. 1654-1663, May 2011.

NAIR, P. K. Classification of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v. 3 n. 2, p. 97-128, June 1985.

NAIR, P. K. **Ramachandran**: an introduction to agroforestry. Netherlands: Springer Science & Business Media, 1993. 634 p.

NAIR, P. R. **Agroforestry systems in the tropics**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 211 p.

NEWMARK, W. D. Extinction of mammal populations in western North American national parks. **Conservation Biology**, Melbourne, v. 9, n. 3, p. 512-526, June 1995.

NORGAARD, R. B. A base epistemológica da agroecologia. In: ALTIERI, M. A. (Ed.). **Agroecologia**: as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA, 1989. p. 42-48.

NORGAARD, R. B.; SIKOR, T. O. Metodologia e prática da agroecologia. In: ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba: Agropecuária, 2002. p. 53-83.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Agenda 21**. Brasília: Câmara dos Deputados, 1992. 472 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Desarrollo sostenible de la montaña**. [S.l.: s.n.], 2005. Disponível em: <<http://daccess-ddsny.un.org/doc>>. Acesso em: 2 jul. 2015.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1777-1785, set./out. 2011.

PAOLETTI, M. G. (Ed). **Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes: practical use of invertebrates to assess sustainable land use**. Amsterdam: Elsevier, 1999. 446 p.

PARDINI, R. et al. The challenge of maintaining Atlantic forest biodiversity: a multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agro-forestry mosaic in southern Bahia. **Biological Conservation**, Massachusetts, v. 142, n. 6, p. 1178-1190, June 2009.

PARK, S. E.; BENJAMIN, L. R.; WATKINSON, A. R. Comparing biological productivity in cropping systems: a competition approach. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 39, n. 3, p. 416-426, June 2002.

PARRON, L. M. et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. 370 p.

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. 1999. 138 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

PHILPOTT, S. M. et al. A multiscale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Zurich, v. 128, n. 1/2, p. 12, Oct. 2009.

PIMENTEL, M. S. et al. Atributos biológicos do solo sob manejo orgânico de cafeeiro, pastagem e floresta em região do médio Paraíba fluminense-RJ. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 85-93, jul./dez. 2006.

PINTO, C. R. O. **Efeito do uso do solo sobre seus atributos na microrregião de Chapadinha-MA**. 2014. 85 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) -

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

PRIESS, J. A. Linking deforestation scenarios to pollination services and economic returns in coffee agroforestry systems. **Ecological Applications**, Washington, v. 17, n. 2, p. 407-417, Mar. 2007.

RAMOS, M. R. et al. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, Kassel, v. 115, n. 1, p. 131-40, 2014.

RAO, M. R.; NAIR, P. K. R.; ONG, C. K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v. 38, n. 1/3, p. 3-50, July 1997.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. Pressure infiltrometer. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Physical methods: part 4: methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 826-836.

RIBEIRO, M. C. et al. The brazilian atlantic forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Amsterdam, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, June 2009.

ROSSET, P. M. et al. The Campesino-to-Campesino agroecology movement of ANAP in Cuba. **Journal of Peasant Studies**, Netherlands, v. 38, n. 3, p. 161-191, July 2011.

RUIZ, N.; LAVELLE, P.; JIMENEZ, J. **Soil macrofauna field manual: technical level**. Rome: FAO, 2008. 100 p.

SCHOENEBERGER, M. et al. Branching out: agroforestry as a climate change mitigation and adaptation for agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, Oxford, v. 67, n. 5, p. 128-136, Sept./Oct. 2012.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of 355 forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology Management**, Austrália, v. 138, n. 1/3, p. 335-356, Nov. 2000.

SCHROTH, G. et al. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. In: _____. **Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes**. Washington: Island Press, 2004. p. 487-502.

SCHROTH, G. et al. Conservation in tropical landscape mosaics: the case of the cacao landscape of southern Bahia, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, Holanda, v. 20, n. 8, p. 1635-1654, July 2011.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Nova Jersey, v. 164, n. 4, p. 224-234, Apr. 1999.

SILVA, A. P. et al. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241-280.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, set./dez. 2001.

SILVA, R. F. da et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 697-704, out./dez. 2006.

SILVA, R. F. da. et al. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 725-731, out./dez. 2008.

SOUZA, M. C. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na floresta ombrófila densa, Paraty, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 89-98, jan./fev. 2013.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, dez. 2013.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDESON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkley: University of California Press, 1979. 372 p.

TABARELLI, M. et al. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, Massachusetts, v. 143, n. 10, p. 2328-2340, Oct. 2010.

THORLAKSON, T.; NEUFELDT, H. Reducing subsistence farmers' vulnerability to climate change: evaluating the potential contributions of agroforestry in western Kenya. **Agriculture & Food Security**, Nairobi, v. 1, n. 1, p. 1-62, 2012.

TOLEDO, V. M. La racionalidad ecológica de la producción campesina. In: GUZMÁN, E. S.; MOLINA, M.G. de (Ed.). **Ecología, campesinado e historia**. Madrid: La Piqueta, 1993. p. 197-218.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 196-275.

VANDERMEER, J. et al. Refocusing conservation in the landscape: the matrix matters. In: HARVEY, C. (Ed.). **Conservation in tropical agricultural landscapes**. Heredia: INBio, 2008. p. 75-104.

VÁZQUEZ, L. Cambio climático, incidencia de plagas y prácticas agroecológicas resilientes. In: RIOS, H.; VARGAS, D.; FUNES-MONZOTE, F. R. (Comp.). **Innovación agroecológica, mitigación y adaptación al cambio climático**. La Habana: Johnson y Nair, 2011. p. 1-27.

VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, Leicestershire, v. 39, n. 12, p. 3066-3080, Dec. 2007.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, jul./ago. 2007.

VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Atlantic Moist Forest. In: SCHELHAS, J.; GREENBERG, R. (Ed.). **Forest patches in tropical landscapes**. Washington: Island Press, 1996. p. 151-167.

VIEIRA, D. L. M. et al. Agro-sucessional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **Restoration Ecology**, Malden, v. 17, n. 4, p. 451-454, July 2009.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 28, n. 8, p. 763-774, jul./ago. 2004.

VON DACH, S. W. et al. (Ed.). **Mountain farming is family farming: a contribution from mountain areas to the international year of family farming**. Rome: FAO, 2013. 100 p.

WYMORE, A. W. **Model-based systems engineering**. Boca Raton: CRC Press, 1993. 710 p.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB International, 1991. 275 p.

CAPÍTULO 2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS AGROECOLÓGICOS: USO E MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO NA APA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG

RESUMO

A perspectiva de uma economia em expansão no país com a previsão do aumento do uso de terras agricultáveis nas próximas décadas representa uma ameaça aos remanescentes de Mata Atlântica. Os ambientes de agricultura de montanha na Área de Preservação da Serra da Mantiqueira (APASM) são ambientes frágeis, muito suscetíveis a sistemas de usos degradantes do solo, portanto interromper o processo de degradação pelo qual a região passa e fornecer alternativas de manejo e uso do solo conservacionista é fundamental para evitar não apenas uma irreparável perda de biodiversidade como também promover o desenvolvimento de práticas sustentáveis na produção agrícola. Paralelamente a esse contexto, diversos países recomendam programas de incentivo a Sistemas Agroflorestais (SAFs) para promover o desenvolvimento rural sustentável em ambientes de montanha, porém no Brasil, as questões cultural, social e econômica podem influenciar o agricultor familiar montanhês a não implantar essas alternativas em suas propriedades. Com esta motivação, esse estudo tem por objetivo caracterizar um sistema conservacionista e de manejo agroecológico para cultivos diversificados, tendo como carro chefe a produção de frutíferas de clima temperado consorciadas com espécies olerícolas e culturas anuais e vem sendo difundido e praticado, na região, na APA Serra da Mantiqueira em propriedade no município de Bocaina de Minas, MG. Esse sistema é caracterizado por preconizar em seu manejo algumas técnicas como a manutenção da cobertura do solo, plantio direto, adubação verde, condução de espécies da regeneração natural, baixa utilização de insumos comerciais externos e a supressão completa do uso de agroquímicos por se tratar de um sistema de produção orgânica.

Palavras-chave: Frutíferas de clima temperado. Agricultura biodinâmica. Produção orgânica. Agricultura familiar de montanha.

**CHAPTER 2 AGROECOLOGIC AGROFORESTRY SYSTEMS: SOIL
USE AND CONSERVATIONIST MANAGEMENT IN THE PROTECTED
AREA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG, BRAZIL**

ABSTRACT

The perspective of an economy under expansion in the country together with the expectation of increased use of arable land in the next decades represents a threat to Atlantic Forest remnants. The environments of mountain agriculture in the protected area Serra da Mantiqueira are fragile ecosystems, very susceptible to degrading soil use systems, therefore, it is of fundamental importance to stop the degradation process in the region and provide alternatives for soil management and conservationist use. This could avoid irreparable biodiversity loss and could promote the development of sustainable agricultural production. In parallel, several countries recommend programs that encourage agroforestry systems to promote rural sustainable development in mountain ecosystems. In Brazil, however, cultural, social and economic issues may influence mountain family farmers not to adopt these alternatives on their lands. Our objective is to characterize a conservationist system for agroecologic management used to cultivate several products, especially the production of fruits originated from temperate climates intercropped with species for oil production and annuals, common in the protected area Serra da Mantiqueira, Bocaina de Minas, MG, Brazil. This system is characterized for giving priority to techniques such as the maintenance of soil cover, direct planting, the use of green manure, coexistence with natural regeneration, low use of commercial fertilizers and the complete absence of agrochemicals since they adopt an organic production system.

Key-words: Temperate climate fruits. Biodinamic agriculture. Organic production. Mountain agriculture.

1 INTRODUÇÃO

A evolução dos sistemas produtivos tem sido uma constante, visando aumentar os rendimentos sob a ótica da nova ordem de conservação dos recursos naturais. Na Mata Atlântica, *hotspot* de biodiversidade, está localizada a Serra da Mantiqueira uma cadeia de montanhas que abriga remanescentes e um vasto número de espécies endêmicas. A Serra da Mantiqueira está localizada em ponto equidistante às três maiores metrópoles brasileiras: Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte; uma região relevante para a economia nacional. São consideradas importantes áreas de recarga hídrica responsáveis por proporcionar bens e serviços à população abastecendo as principais bacias hidrográficas da região.

A região abriga um mosaico composto por 17 unidades de conservação públicas, sendo que 434.108 hectares correspondem à Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Mantiqueira (APASM). A APA da Mantiqueira abrange, total ou parcialmente, áreas de 25 municípios nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, apresentando duas subdivisões principais: a primeira corresponde aos municípios das vertentes do Vale do Paraíba e a segunda aos municípios do Sul de Minas. A região do Sul de Minas, caracterizada por hegemônica realidade rural, tem como atividade econômica predominante a pecuária extensiva. A economia pouco diversificada com padrões de renda relativamente mais baixos, o alto índice de êxodo rural, a ocupação desordenada do solo com altos índices de erosão, o assoreamento de cursos d'água e a perda da fertilidade do solo são problemas encontrados frequentemente na região.

Contudo, dentre os sistemas de uso da terra, os Sistemas Agroflorestais agroecológicos quando projetados e executados corretamente, considerando a diversidade de espécies e diferentes práticas, podem ser estratégicos quanto à sua inserção em políticas de erradicação da pobreza, segurança alimentar e

sustentabilidade ambiental. Esses sistemas podem ser entendidos como um paradigma emergente, substituto da agricultura convencional, por incorporar elementos integradores procurando ver e planejar a propriedade como um organismo vivo, ajudando a proteger e manter a capacidade de produção agrícola, reduzindo a necessidade de insumos externos, utilizando os benefícios da interação entre seus componentes e obtendo uma maior diversidade de produtos.

Os SAFs agroecológicos reforçam a resistência a flutuações climáticas constituindo sistemas resilientes de produção, além de perpetuar o conhecimento local e os valores sociais e culturais. São sistemas que ajudam a criar uma cobertura do solo contra a erosão permanente, minimizam os danos das inundações e melhoram o abastecimento de mananciais. Esses sistemas ampliam os benefícios econômicos, trazendo oportunidade de transformação de produtos, permitindo equilibrar a oferta de produtos agrícolas e florestais com a prestação e valorização de serviços ambientais.

Pesquisas com SAFs vêm enfocando principalmente a funcionalidade ecológica realizando análises de características biofísicas deixando muitas vezes de considerar os aspectos práticos do manejo do solo para o agricultor. Torna-se importante ampliar os estudos sobre esses aspectos contribuindo para a aceitabilidade e sua adoção pelos produtores rurais sendo importante então a definição de parâmetros que possam respaldar a utilização desse modelo na região.

Nesse contexto o objetivo deste estudo é aumentar a aceitabilidade desses sistemas pelos produtores partindo da caracterização dos mesmos para a percepção da viabilidade e potencialidade desses sistemas de uso do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Características físicas da região de estudo

Na porção mineira da ASPAM, estão localizadas as maiores altitudes médias do estado variando entre 1.200 e mais de 1.800 metros. O relevo é nitidamente escarpado e as declividades maiores que 70% com vales profundos de até 700 metros com relevo escarpado (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, 1983). É um ambiente formado por cristas, vertentes íngremes e vales; características dos municípios que compõem o estudo.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região pode ser classificado como Cwb (subtropical de altitude), clima temperado úmido, significando balanço hídrico altamente positivo ao longo do ano. Os invernos frios são menos úmidos que os verões que apresentam chuvas elevadas e temperaturas moderadas incluindo cerca de 80% da quantidade total de precipitação (CARVALHO et al., 2005). A temperatura média anual fica em torno de 18 °C. Maiores valores de temperatura correspondem aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro sendo que a média desses meses mais quentes fica entre 20 a 26 °C, sendo as mais elevadas encontradas em janeiro. Nessa região, as massas de ar quente trazem umidade pela evaporação do Oceano Atlântico (SILVA, 2014). A temperatura média dos meses mais frios, que são junho e julho, varia entre 10 °C a 14 °C (SANTOS et al., 2015). Durante pelo menos quatro meses, a temperatura é superior a 10 °C (SÁ JUNIOR, 2009).

A elevada precipitação anual, oscilando entre 1.400 chegando a pouco mais de 2.000 mm por ano, é uma característica marcante nas Terras Altas da Mantiqueira. Ávila (2011) identificaram uma precipitação média anual variando de 1.841 mm a 2.756 mm de 2006 a 2012, com 88,3% entre setembro e março. Os meses de maiores precipitações são: dezembro e janeiro com média de 250

mm e fevereiro com mais de 50% do total anual de chuvas. Os de menores precipitações são: junho, julho (15 mm) e agosto. Os maiores índices pluviométricos são identificados nas áreas mais elevadas da região (maior exposição à circulação atmosférica) (INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS, 2009). As médias mensais variam de 341 mm, no trimestre mais chuvoso (dezembro a fevereiro) e a precipitação média inferior a 60 mm geralmente no trimestre mais seco (junho a agosto) (CARVALHO et al., 2005). Durante os meses de menor incidência de chuva, ocorre a formação de neblina, fornecendo água em um processo determinado de precipitação horizontal, importante para o ecossistema em estudo e essencial para sua manutenção (HALMILTON; JUVIK; SCATENA, 1995). Na Serra da Mantiqueira, a alta pluviosidade decorre da influência da topografia na umidade atmosférica, a região do Alto rio Grande está onde ocorrem os maiores índices pluviométricos na bacia localizada no Atlântico Sul Anticiclone, uma zona de alta pressão que impede a formação de nuvens, leva a um período seco característico durante as geadas de inverno e inverno ocasionais nos locais de estudo (CETEC, 1983).

O Estado de Minas Gerais possui aproximadamente 50% de seu território localizado no Domínio da Mata Atlântica, sendo que a vegetação nativa predominante na Serra da Mantiqueira é de remanescentes desse bioma. Nas regiões de 500 a 1.500 m para latitudes entre 16° S e 24° S, predominam as Florestas Ombrófilas Densas Montanas e, acima desse nível, encontram-se a Floresta Ombrófila Densa Altomontana e florestas mistas, com a presença de araucária (*Araucaria angustifolia*). Na transição para as regiões mais altas, aparecem os bosques de candeias (*Eremanthus spp*) e os campos de altitude (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). Os remanescentes florestais na região estão compostos em sua grande maioria por formações secundárias em estágios diferentes de recuperação, mesmo nas regiões mais inacessíveis, essa

paisagem predominantemente fragmentada é resultado do uso do solo na região dominada por pastagens naturais ou exóticas manejadas com o uso do fogo.

Na região, é comum a regeneração natural ocorrer ao mesmo tempo em que a colonização por densas populações de samambaia (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.) que são dominantes em áreas de montanhas desflorestadas na Serra da Mantiqueira e possuem capacidade de propagação invasiva e adaptação muito altas (RIBEIRO et al., 2013). Nos locais de estudo, predominam as Florestas Ombrófilas Densas Montanas censo IBGE (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991), também denominadas Florestas Ombrófilas Altomontanas (OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000), porém considerando que os limites entre Floresta Altomontana e Montana não são precisos, pode ocorrer uma transição gradual no local de pesquisa. Para Oliveira-Filho et al. (2007), a formação que ocorre a partir de 1.000 m de altitude, considerando a mesma faixa latitudinal, é denominada Tropical Superomontana.

A região do estudo é constituída por rochas do complexo cristalino (gnaisses, xistos cristalinos, quartzito, etc.) onde as formas de relevo se caracterizam por escarpas envolvendo anfiteatros de drenagem, cristas subparalelas, vertentes retilíneas, vales encaixados (ALMEIDA, 1967; ALMEIDA; CARNEIRO, 1998) e altas colinas, colinas de topos arredondados, vertentes côncavo-convexas e drenagem dendrítica (ARAÚJO, 2006). De acordo com Radambrasil (BRASIL, 1983), a unidade litológica mais comum na região Sul da Serra da Mantiqueira é o grupo Andrelândia. Suas encostas íngremes e solos pouco profundos, com textura arenosa, fazem com que haja alto risco potencial de erosão (SANTOS et al., 2015).

A distribuição dos solos na Serra da Mantiqueira é influenciada principalmente pela sua topografia. Os solos em geral são ácidos, com baixa fertilidade natural, ricos em ferro e alumínio trocáveis (BENITES et al., 2003, 2005) e caracterizados por alta concentração de matéria orgânica (JUNQUEIRA

JUNIOR et al., 2008; MENEZES et al., 2009). A alta concentração de matéria orgânica sustenta ecossistemas ricos em biodiversidade e biomassa vegetal, ilustrando a importância dos mecanismos de ciclagem biogeoquímica de nutrientes.

De modo geral, os solos da bacia do Alto Rio Grande apresentam sérios problemas físicos, como o encrostamento superficial e o baixo armazenamento de água. Estas condições predominam na região, sendo importante mapeá-las adequadamente para fins de subsídio para trabalhos ligados à simulação e à interpretação de cenários futuros de uso do solo e seus impactos sobre a hidrologia da região (COSTA; HERMMAN, 2006).

De acordo com Menezes et al. (2009), os solos predominantes na área são Cambissolos, com profundidade variando de 0,70 a 1,20 m, incluindo o horizonte C, e cujo material de origem consiste em rochas graníticas e ganisses com textura média, raso a moderadamente profundo (<1,5 m), com relevo variando de ondulado a montanhoso, fator que contribui através do intemperismo para a presença dessa tipologia (ALVARENGA et al., 2012; MENEZES et al., 2009). Esses solos resultam em sistemas instáveis pelo fato de apresentarem, além do *solum* pouco espesso, pouca permeabilidade e encrostamento superficial (CURI et al., 1994).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006), o solo no local de estudo é o Cambissolo Háptico (CX). Segundo Araújo (2006), a tipologia de solo predominante é Cambissolo Háptico Distrófico típico, como mostra a Figura 4.

Na porção mineira da APASM estão localizadas as maiores altitudes médias do estado, variando entre 1.200 e mais de 1.800 m, o relevo é nitidamente escarpado e as declividades maiores que 70% com vales profundos de até 700 m com relevo escarpado, um ambiente formado por cristas, vertentes

íngremes e vales (CETEC, 1983). De acordo com Radambrasil (BRASIL, 1983), a unidade litológica mais comum nessa região, Sul da Serra da Mantiqueira é o grupo Andrelândia. A Serra da Mantiqueira é uma região de cabeceiras de fundamental importância para o Sudeste brasileiro, suas encostas íngremes e solos pouco profundos, com textura arenosa fazem com que haja alto risco potencial de erosão (SIMAS et al., 2005).

A distribuição dos solos na Serra da Mantiqueira é influenciada principalmente pela sua topografia com solos em geral ácidos, baixa fertilidade natural e ricos em ferro e alumínio trocáveis (BENITES et al., 2003, 2005) caracterizados também por alta concentração de matéria orgânica (JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2008; MENEZES et al., 2009). Essa matéria orgânica sustenta ecossistemas ricos em biodiversidade e biomassa vegetal, ilustrando a importância dos mecanismos de ciclagem biogeoquímica de nutrientes (CURI et al., 1994).

De modo geral, os solos dessa bacia apresentam sérios problemas físicos e de instabilidade provenientes do *solum* pouco espesso como o encrostamento superficial e a baixa permeabilidade de água (COSTA; HERMMAN, 2006), além da pobreza em nutrientes. De acordo com Menezes et al. (2009), Cambissolos são os solos predominantes na área do estudo com profundidade rasa variando de 0,70 a 1,20 m incluindo o horizonte C, cujo material de origem consiste em rochas graníticas e ganisses com textura média, o relevo variando de ondulado a montanhoso é um fator que contribui através do intemperismo para a presença dos Cambissolos (ALVARENGA et al., 2012; MENEZES et al., 2009).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região pode ser classificado como Cwb (subtropical de altitude), clima temperado úmido, significando balanço hídrico altamente positivo ao longo do ano, os verões que apresentam cerca de 80% da quantidade total de precipitação (CARVALHO et al., 2005). Nesta região as massas de ar quente trazem umidade pela evaporação

do Oceano Atlântico (SILVA, 2014). A temperatura média anual fica em torno de 1 °C (SÁ JUNIOR, 2009).

2.2 Uso do solo na região do estudo

A população que reside na APASM habita quase em sua totalidade ambientes rurais, onde predominam em números os estabelecimentos com áreas de até 10 ha ocupados majoritariamente pela agricultura familiar, porém ocupando uma área inferior aos estabelecimentos não familiares (ICMBIO, 2013). As áreas de pastagens estão presentes em mais de 50% dos estabelecimentos e as lavouras permanentes e temporárias em 10,5% (ICMBIO, 2013) representadas pela agricultura familiar, o que demonstra a importância dos agricultores familiares na região que está na absorção de mão de obra rural e na produção de alimentos.

As culturas temporárias que se destacam nos municípios que compõem a APASM são principalmente o milho, a batata inglesa, a cana-de-açúcar e o tomate, cultivados para subsistência com a venda de excedentes (ICMBIO, 2013) e ainda a fruticultura de clima temperado está se expandindo na região com as culturas de pêssego, ameixa, maçã, figo e frutas vermelhas, dentre outras, para as quais a produção é insuficiente para atender a demanda de mercado existente. As oliveiras vêm se consolidando como uma alternativa econômica e são observadas algumas iniciativas na agricultura orgânica em quase todos os municípios que compõem a APASM (ICMBIO, 2013).

A conservação da APA Serra da Mantiqueira está associada ao seu histórico de desenvolvimento econômico estabelecido desde o Brasil colônia. Após a crise da produção cafeeira, na segunda metade do século XIX, a pecuária se tornou a matriz de paisagem produtiva mais comum na região, inclusive em regiões de grandes altitudes, realizada de forma extensiva e com base em tecnologias rudimentares (CAVALLINI, 2001). A decadência das atividades

agrícolas mais intensivas e um aumento da pecuária de corte semi-extensiva, do reflorestamento e das capoeiras foram observados por Resende e Pereira (1994) que considera a pecuária leiteira como principal sustentação das propriedades agrícolas, porém apresentando desempenhos insatisfatórios. Desempenho insatisfatório, em grande parte, devido à erosão provocada pelo emprego de práticas de manejo inadequadas às características e particularidades dos solos, causando seu empobrecimento (ARAUJO, 2006).

A degradação, a frequente perda de solos decorrentes das pastagens e a invasão de áreas em regeneração e pastagens por *Pteridium* são alguns dos problemas ambientais na APASM (ICMBIO, 2013). Segundo Ribeiro et al. (2013), na região, é comum a regeneração natural ocorrer ao mesmo tempo que a colonização por densas populações de samambaia (*Pteridium aquilinum*), que apresentam alta capacidade de propagação e adaptação.

As pastagens nativas na Serra da Mantiqueira devido à baixa fertilidade e a elevada acidez dos solos apresentam baixa disponibilidade de forragem para o gado e grande incidência de invasão de plantas pioneiras ou samambaias. Para retirar o material senescente e estimular a brotação das gramíneas, a cada dois anos as pastagens nativas são queimadas (COSTA; HERMMAN, 2006). É comum nas pastagens nativas a elevada taxa de invasão de plantas pioneiras, com predominância de alecrim (*Baccharis dracunculifolia*), vassourinha tombacarro (*Diodia teres*), sapé (*Imperata brasiliensis*) e rabo-de-burro (*Andropogon bicornis*), além de assa-peixe (*Vernonia polyanthes*) e assa-peixe-branco (*Eupatorium maximilinaum*), algumas dessas consumidas pelo gado (COSTA; HERMMAN, 2006).

Outra forma de ocupação é observada quando acontece a migração da população rural das montanhas da região para os ambientes urbanos. Observa-se a venda das propriedades ou divisão dessas para atividades de lazer em temporada da população dos grandes centros e metrópoles como Rio de Janeiro,

São Paulo ou Minas Gerais. Essa nova dinâmica da ocupação do solo na Mantiqueira realizada sem planejamento pode favorecer a fragmentação dos remanescentes de floresta (HERMMAN, 2008) e desfavorecer o potencial da agricultura local.

A APASM é constituída por 15 municípios. O município em questão integra a Bacia do Alto Rio Grande constituída por zonas de recarga hídrica importantes. No município de Bocaina de Minas (Tabela 1), encontra-se a principal nascente do Rio Grande e o distrito de Santo Antônio do Rio Grande, primeira vila do município banhada pelo Rio Grande, a 16 km de Bocaina de Minas, o município está localizado em uma importante zona tampão e de conectividade entre o Parque Nacional de Itatiaia (PNI) e o Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESP). Bocaina de Minas possui 11,29% do total da área do PNI em seu território, fazendo o local estratégico para a gestão ambiental desta região (ICMBIO, 2013). O município em questão possui toda sua extensão localizada dentro dos limites da APASM e possui a pecuária como uma atividade relevante. De acordo com Drummond et al. (2005), essa área está inserida na Zona Núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, sendo considerada de importância especial para a investigação científica e de extrema prioridade para a conservação da biodiversidade.

Tabela 1 - Caracterização dos municípios do estudo localizados na APASM.

Aspectos gerais	Bocaina de Minas
Área total (ha)	50.150,0
Área dentro da APA (%)	88,7
Representatividade na composição da APA (%)	10,2
Densidade Populacional (hab./km²)	9,9
População rural (hab.)	2.611,0
População urbana (hab.)	2.396,0
Relevo montanhoso (%)	80,0
Altitude Média (m)	1.874,5

Fonte: ICMBIO (2013).

A unidade de referência do estudo está localizada no município de Bocaina de Minas (Tabela 1), Sul do Estado de Minas Gerais entre a latitude 22°10'51"S e a longitude 44°36'01"W, localizado na unidade de conservação APA da Serra da Mantiqueira.

O município do estudo está entre os cinco municípios com maior cobertura florestal em relação a sua área quando comparado a outros municípios do corredor ecológico da APASM; Bocaina de Minas apresenta 71% de sua cobertura florestal (HERMMAN, 2008) característica motivada pelo relevo altamente montanhoso. Porém o histórico de ocupação dessa região constitui desmatamento ao longo dos séculos vinculado ao comércio de madeiras nobres; matéria prima para produção de carvão destinado à siderurgia e pelo fomento à formação de lavouras e pastagens associadas às políticas nacionais de fixação do homem no campo. Todo esse histórico de exploração modificou as características da fitofisionomia e florística originais da vegetação (CARVALHO et al., 2005; OLIVEIRA FILHO et al., 2007).

No município de Bocaina de Minas, a pecuária e criação de outros animais são responsáveis, respectivamente, por 90,9% do uso do solo predominante nos estabelecimentos rurais (INSTITUTO BRASILEIRO DE

GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006). Nas maiores altitudes predomina gramíneas nativas e nos locais de relevo menos acidentado e nas menores altitudes são mais frequentes o uso do capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e da braquiária (*Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha*) substituindo a vegetação nativa (HERRMANN, 2008). Em geral a condição da vegetação está atualmente degradada, com impermeabilização da superfície do solo (PINTO et al., 2015). Devido às condições topográficas com relevo muito acidentado e a baixa aptidão agrícola dos solos (baixa fertilidade natural, presença de pedregosidade, pequena profundidade do *solum*), a agricultura apresenta baixa expressão na área de estudo (BESKOW et al., 2009). Observa-se que os pequenos proprietários rurais encontram dificuldades para a produção agropecuária o que influencia o êxodo rural.

2.3 O Núcleo de Estudos em Agroecologia da Serra da Mantiqueira

O Núcleo de estudos (NEA) da Serra da Mantiqueira foi fundado através da chamada MCTI/MAPA/MDA/MEC/MPA/CNPq N° 81/2013 que teve por objetivo dar apoio financeiro a projetos que integram atividades de extensão, pesquisa e educação para a construção e socialização de conhecimentos e práticas relacionados à agroecologia e aos sistemas orgânicos de produção.

Este núcleo é composto por diferentes profissionais que atuam na transferência de tecnologias por meio de práticas e princípios alinhados com as bases agroecológicas indispensáveis para a tomada de decisões e viabilidade dos sistemas produtivos e de preservação na região. Atuam frente às principais demandas da região da Mantiqueira, onde famílias, comunidades, grupos de produtores, juventude rural e mulheres tentam estabelecer ou se adequarem a meios de produção mais sustentáveis, que proporcionem novas formas de produção e gerem renda.

Atualmente, o NEA Serra da Mantiqueira tem se consolidado como uma rede agroecológica que se baseia em educação, assistência técnica qualificada e conseqüentemente proporciona o aprimoramento das práticas agroecológicas na região, beneficiando inúmeros grupos de agricultores. Ligados ao NEA Serra da Mantiqueira estão diferentes setores da sociedade: grupos de agricultores, famílias rurais que vivem indiretamente da agricultura, grupos organizados de consumidores de alimentos agroecológicos, fundações de apoio à educação, universidades, associações de moradores regionais, entre outros.

O NEA Serra da Mantiqueira dispõe de aproximadamente 50 propriedades membros, sendo uma delas sua sede concebida como Unidade de Referência (UR), comprometida em favorecer o desenvolvimento de projetos, aplicação de técnicas e avaliação de resultados. A área sede do núcleo é onde se localiza o modelo piloto agroflorestal de referência, sistema agroflorestal agroecológico protótipo de extrema importância e área contemplada pelo presente estudo.

Desta maneira, o NEA se consolidou como articulador principal dessa rede de transferência e conhecimento. Há consolidação entre os setores sociais e técnicos em conjunto com a universidade e sociedade que estão promovendo e articulando a estrutura ambiental, social e econômica dessa região, buscando melhorar a vida das famílias, através de uma nova forma de produção, de novos acessos ao mercado, ao turismo e ao consumo na APA Serra da Mantiqueira.

2.4 Coleta de dados

Os dados primários foram coletados por meio de entrevistas semiestruturadas com o produtor responsável e os demais funcionários que trabalham na área desde a implantação, por observação participante e leitura da paisagem realizada em diversas visitas por meio de caminhamento livre dentro dos SAFs (*in loco*). As informações sistematizadas são referentes a dois modelos

de sistemas agroflorestais agroecológicos com o mesmo histórico de uso anterior, com diferentes idades e arranjos na APA Serra da Mantiqueira. Pretendeu-se caracterizar o histórico de uso da terra, a implantação, a composição de espécies, o arranjo e o manejo utilizado nos sistemas agroflorestais agroecológicos na APA Serra da Mantiqueira. São dois diferentes arranjos produtivos de SAFs (SAF1 – com seis anos e SAF2 – com três anos) tendo como base o consórcio de culturas permanentes (Frutíferas) com culturas anuais (hortaliças e grãos), adubação verde e plantas nativas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Histórico de uso

Ambas as áreas de SAFs possuem solo com textura argilo-arenosa. Antes da implantação eram compostas por pastagem nativa que posteriormente foi substituída por braquiária (*Uruçhloa sp.*) então utilizada por bezerros. Nesta área foi utilizado o manejo com fogo e conseqüente domínio pela samambaia *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, conhecida na região por seu alto poder invasivo. A área antes da implantação possuía comunidades arbóreas ocorrendo simultaneamente a alta colonização por samambaias. Para Silva (2006), a *Pteridium* é uma espécie muito agressiva e que pode provocar danos à vegetação nativa. Ela é amplamente distribuída no país, pode chegar até 3 metros de altura e seu manejo com a finalidade de erradicação e combate é muito difícil (MARTINS; LEWINSON; LAWTON, 1995). Pouco se sabe sobre o impacto causado pela presença de *Pteridium* sobre a biodiversidade nessa região. Matos, Santos e Chevalier (2002) mostraram que em áreas onde a ocorrência de incêndios é frequente, *Pteridium* se expande para dentro da floresta e aumenta a ocorrência, a duração e a intensidade de incêndios pelo acúmulo de biomassa ou necromassa vegetal depositada. O trabalho de Silva (2006) mostra que *Pteridium* poderia afetar a regeneração natural da floresta, uma vez que o banco de sementes estaria comprometido, além de produzir compostos alelopáticos, que podem exercer forte influência na germinação e morfologia de plântulas de espécies arbóreas da Mata Atlântica.

3.2 Caracterização dos modelos agroflorestais

A seguir são caracterizados os sistemas agroflorestais agroecológicos na APA Serra da Mantiqueira. É abordado o plantio e preparo da área, a fertilização, a adubação e aspectos da do controle de doenças além do manejo e arranjo produtivo dos sistemas.

3.2.1 Preparo da área e plantio

A implantação dos sistemas agroflorestais agroecológicos baseados em frutíferas de clima temperado iniciou-se com o preparo da área, constituindo-se na roçada de samambaial (*Pteridium sp.*) com até 3 m de altura entre fevereiro e maio e posterior pousio no mês de junho, com o objetivo de enleiramento e amontoa desse material para a formação das curvas de nível e aproveitamento da biomassa ou necromassa em questão para a proteção do solo. A roçada foi realizada de forma manual com a utilização de enxada e foice, bem como a formação das curvas de nível. As espécies arbóreas e de regeneração nativas foram selecionadas de acordo com seu potencial faunístico e econômico e então deixadas a permanecer na área (Figura 1). Nos meses de julho a agosto, foi realizada a abertura dos “berços” (60 x 60 x 60 cm) e adubação. O espaçamento utilizado foi de 7 x 5 metros.

Figura 1 - Roçada, berços e consórcio com vegetação nativa.



Fonte: Dados do autor (2016)

Nesse sistema ocorre a troca da denominação de cova por berços, sendo natural e comum essa denominação no local. A cova, comumente chamada, é um local de força motriz da vida ao invés da morte. Há essa compreensão por grande parte dos agricultores envolvidos com as práticas agroecológicas na região, a de que essa denominação se adapta melhor ao cuidado com a terra,

tendo em vista o valor simbólico e semântico da palavra, pois o nome cova carrega o sentido de enterrar, já a palavra “berço” o sentido de cobrir. Optou-se por utilizar a denominação berço no lugar de cova no presente estudo.

Para a adubação de plantios, em cada “berço” foi utilizado 1 kg de fertilizante fosfatado; 1 kg de calcário dolomítico; 5 L de esterco de curral curtido e 20 g de *Trichoderma spp.* (Figura 2). Para a adubação de plantio nas entrelinhas, foram utilizados: 30 g de termofosfato/ m² e 30 g de Silicatos/ m².

Figura 2 - Mistura de plantio, abertura dos berços.



Fonte: Dados do autor (2016)

O termosfato ou fertilizante fosfatado utilizado é um fertilizante mineral natural obtido pelo processo de fusão e que possui em sua composição fósforo, cálcio, magnésio e micronutrientes como boro, zinco, cobre e manganês e de alta eficiência agrônômica. Possui silício de alta solubilidade, sendo o fosfato natural enriquecido com silicato de magnésio e derretido em um forno elétrico à temperatura de 1.500 °C. o produto incandescente obtido é submetido a um choque térmico com jato de água e depois de seco é moído e ensacado. O objetivo de sua utilização foi reduzir a incidência de pragas, manter o balanço hídrico, aumentar a atividade fotossintética e também contribuir na correção da acidez do solo. Sabe-

se que o silício é um produto natural que promove melhorias no metabolismo das plantas, ativando genes na produção de enzimas que atuam na defesa contra insetos (CHERIF et al., 1993; MONTES; MONTES; RAGA, 2015).

O uso do calcário dolomítico foi escolhido por ir além da correção da acidez do solo. O calcário dolomítico supre melhor as demandas de macronutrientes como cálcio e magnésio, cujos níveis adequados no solo devem ser mantidos, independentemente de sua relação, a qual não tem importância no que diz respeito ao crescimento e à produtividade das plantas, como demonstram estudos científicos (BARBER, 1962; BEAR; TOTH, 1948).

O esterco é amplamente utilizado na agricultura orgânica como uma alternativa para o suprimento de nutrientes, sobretudo o nitrogênio e o fósforo (MENEZES; SALCEDO, 2007). A matéria orgânica no solo é considerada uma das principais fontes de energia e nutrientes ao sistema, capaz de manter a produtividade dos solos, fornecendo energia para o crescimento microbiano melhorando o solo para o preparo e o fornecimento de nutrientes para as plantas.

Trichoderma spp. são fungos de vida livre, comuns em ecossistemas do solo e das raízes. Eles produzem ou liberaram uma variedade de compostos que induzem respostas de resistência localizadas ou sistêmicas, e isso explica sua falta de patogenicidade para as plantas, apresentam potencial para o controle de fitopatógenos e para a promoção do crescimento vegetal (ACHADO et al., 2012).

Assim as plantas são protegidas de diferentes classes de patógenos, a colonização radicular por *Trichoderma spp.* também aumenta frequentemente o crescimento das raízes e o desenvolvimento, a produtividade das culturas, a resistência a estresses abióticos e a absorção e utilização de nutrientes (HARMAN et al., 2004).

Os Silicatos foram aplicados com o objetivo de corrigir a acidez, possibilitando a redução da necessidade de calcário. Esse insumo condiciona o

solo e promove o desenvolvimento das raízes em profundidade; aumenta a disponibilidade de cálcio, magnésio, enxofre e silício; possui excelente interação da sílica com o fósforo e micronutrientes adsorvidos pela argila, aumentando assim a disponibilidade dos elementos às plantas; reduz o efeito tóxico do ferro, manganês e alumínio e aumenta a saturação por bases (MONTES; MONTES; RAGA, 2015).

Nos anos de plantio e anos posteriores, foi utilizado o Biogel para pulverização diretamente nos “berços”. O Biogel é um biofertilizante obtido pelo processo de compostagem líquida e nesse caso é composto por 100 L de esterco bovino, 10 kg de folhas e restos vegetais, 20 L de soro de leite, 3 kg de açúcar, x kg de terra virgem e x de Yoorin Master®. Confeccionado pelo próprio produtor é um tônico resultante da fermentação aeróbica e anaeróbica da matéria orgânica enriquecido com minerais insolúveis em meio líquido, apresentando, ao final do processo, uma grande atividade microbiana natural, rica em energia biossintética (entrópica) e em *metabólitos* como: enzimas, antibióticos, vitaminas, toxinas, fenóis entre outros inclusive de ação fito-hormonal atuando, assim, na *nutrição vegetal* e principalmente no favorecimento do maior número e diversidade de micro-organismos endofíticos, considerados bactérias e fungos que habitam o interior das plantas sem causar nenhum dano aparente, favorecendo a microbiota. É importante ressaltar a importância desses organismos no controle de fitopatógenos.

3.2.2 Adubação, fertilização e fitossanidade

A técnica de adubação verde foi utilizada com o objetivo de aumentar a capacidade produtiva do solo e sua melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos. A tomada de decisão sobre o plantio de adubação verde se dá por meio da observação da área por meio de diagnóstico visual localizado e de acordo com a demanda de luz solar. O pousio é geralmente realizado de

fevereiro a abril e de junho a setembro. A adubação verde é realizada de dezembro a janeiro. Quando observada a ocorrência de plantas indicadoras como o picão (*Bidens sp.*), que para o agricultor em questão significa “terra cansada”, então não é realizado o plantio das espécies anuais naquele local. O uso de algumas plantas espontâneas como indicadores gerais de qualidade do solo é valioso, pois é um indicador simples e barato (BARRIOS; TREJO, 2003; PRIMAVERSI, 1992).

A adubação verde nas entrelinhas e berços é realizada a lanço, anualmente, por meio de coquetel com as espécies milheto (*Pennisetum glaucum*), nabo-forageiro (*Raphanus sativus*), aveia-preta (*Avena strigosa*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e girassol (*Helianthus annuus*) (Figura 3) feito, em geral, com 8 kg.ha⁻¹ de cada espécie com exceção da aveia preta e da ervilhaca com 12 kg.ha⁻¹ e 5 kg.ha⁻¹ respectivamente.

Figura 3 - Aspectos da adubação verde.



Fonte: Dados do autor (2016)

Para o agricultor, a rotação de culturas com o uso de adubação verde reduz a incidência de pragas e doenças nos cultivos. A adubação verde em curto espaço de tempo resulta em fitomassa mantendo sempre o solo coberto; protege o solo contra agentes de erosão e radiação; diminui a amplitude de variação

térmica no solo; protege as mudas contra o vento e radiação solar e reduz a infestação por ervas daninhas. O sistema radicular das espécies utilizadas contribui também, segundo o agricultor, para descompactação e estrutura do solo, recicla os nutrientes lixiviados em profundidades, aumenta a matéria orgânica e conseqüentemente a capacidade de armazenamento de água no solo, além da retenção de nutrientes; intensifica também a atividade biológica do solo. Os resultados com essa prática podem ser observados ao longo do tempo com a recuperação e manutenção da estabilidade e a durabilidade da capacidade produtiva do solo.

É realizada a adubação foliar anualmente com composto orgânico balanceado denominado Microgeo® 100l/ha, fabricado por meio do conteúdo ruminal em compostagem líquida contínua. É um adubo natural biológico que atua na reestruturação do solo (FLORIN; VENSZKE FILHO, 2008). O produtor teve por objetivo com o uso deste componente microbiano a reestruturação do solo e demais ganhos agronômicos bem como econômicos.

Além da adubação foliar com microgeo® também são utilizados sulfato de zinco e de manganês e componentes elicitores (substâncias que imitam os indutores naturais de resistência) duas vezes ao ano.

A utilização dos sulfatos de zinco e de manganês acontece uma vez por ano, 1 g/L de cada, sendo 100 L/ha com a finalidade de estimular a síntese de aminoácidos para que as plantas possam suportar o frio da região.

O tratamento de plantas com moléculas elicitoras pode levar não apenas a uma resposta de resistência, mas a uma expressão sincronizada de diversos mecanismos de defesa culminando com o que é chamado de indução de resistência (LABANCA, 2002). Esse fenômeno é caracterizado por esse autor pela transformação de uma relação originalmente compatível entre planta e patógeno numa relação incompatível. A indução de resistência de plantas é indicada para proteção a diversas doenças de origem bacteriana, fúngica, por

nematoides, por insetos e viral, os produtos utilizados geralmente são formulados à base de algum organismo agente causador de doença e a ação protetora se deve à ativação de mecanismos de defesa das plantas e também à antibiose. A indução de resistência (RSA – Resistência Sistêmica Adquirida) vem se firmando como uma opção viável ecologicamente e economicamente.

É utilizada também adubação foliar com micronutrientes (Mo, Fe, B, Zn, Cu, Mn) a partir do terceiro ano nas gemas e frutos pequenos, sendo três aplicações por ano. O agricultor pretende substituir os insumos para adubação foliar por preparados homeopáticos e está começando a realizar essa transição, com o objetivo de diminuir os gastos e a utilização de insumos externos.

Para o controle de doenças, também são utilizados extratos vegetais e de algas. Quando comparados aos produtos sintéticos, esses preparados oferecem grandes vantagens como gerar novos compostos, os quais patógenos não são capazes de inativar, além de serem menos tóxicos, de rápida degradação no ambiente, ter amplo espectro de ação e serem derivados de recursos renováveis (SANTOS et al., 2013). Os extratos podem apresentar potencial inseticida, fungicida, herbicida e nematocida, sendo considerados de boa eficiência, ressurgem como uma opção diferenciada e promissora para o manejo integrado em proteção de plantas, é considerada uma alternativa de controle de fitopatógenos.

Foram utilizados também os preparados biodinâmicos 500 e 501, preparados também de extratos vegetais desenvolvidos por Rudolf Steiner, com base na Antroposofia, e podem ser considerados como remédios homeopáticos no que diz respeito às substâncias naturais utilizadas, aos processos de dinamização e à atuação através de forças e não de substâncias e por serem utilizados em quantidades mínimas, entretanto eles não se prendem à teoria ou à prática da homeopatia médica.

Eles são elaborados a partir de plantas medicinais, esterco e silício (quartzo), que são envoltos em órgãos animais, enterrados no solo e submetidos às influências da terra e de seus ritmos anuais. O preparado 500 é chamado chifre-esterco e direciona-se ao solo e às raízes proporcionando maior atividade biológica e vitalidade favorecendo o desenvolvimento vegetativo da planta e as relações de simbiose da rizosfera. O Preparado 501 é chamado chifre-sílica, atua na estruturação interna das plantas e seu desenvolvimento assim como na qualidade nutritiva das plantas e na resistência a doenças, atua trazendo forças da periferia cósmica e intensificando a atuação da luz solar. Ambos os preparados são utilizados uma vez por ano sendo 5 g/ha.

A adubação é realizada duas vezes por ano com 100 g de gesso e 200 g de termofosfato divididos em 50% por planta no berço e 50% na entrelinha.

Até o momento não foram observadas pragas e doenças nos plantios como um todo apenas em poucas árvores localizadas. Para o controle de pragas, é utilizado duas vezes por ano óleo mineral inseticida e acaricida no outono e na primavera sendo 100 mL por hectare. O óleo mineral atua como potencializador da eficiência de produtos fitossanitários e absorção de nutrientes em pulverizações foliares com potencial quelatizante.

O agricultor utiliza também óleo de algodão e o extrato pirolenhoso para controle fitossanitário. Utilizado na composição de adubos orgânicos e na compostagem.

3.2.3 Manejo e arranjo produtivo

O manejo agroecológico destes sistemas prioriza a rotação de culturas anuais e adubação verde, a cobertura morta e plantio direto, a consorciação de culturas e manejo seletivo da vegetação baixa espontânea, o uso de quebra-ventos e faixas protetoras, a nutrição das plantas através de macro e

micronutrientes, e a conservação dos remanescentes existentes nas proximidades, entre outros.

Os SAFs estudados pretendem o uso nulo de insumos externos. Para isso tem como principal princípio norteador o estabelecimento do uso das espécies nativas da regeneração dentro do sistema. Através do manejo da luz solar, utilizam-se o desbaste seletivo e a poda dessas espécies para contribuir com a incorporação da biomassa através da compostagem laminar, além da utilização da poda das espécies frutíferas. A escolha na seleção dos indivíduos dentro desses sistemas tem relação com a sua importância ecológica e econômica.

Schwengber, Schiedeck e Gonçalves (2007) descrevem que a compostagem laminar foi inspirada nos processos naturais, como a degradação da serrapilheira em ambientes de floresta nativa, pois o solo é coberto por camadas de resíduos em diversos estágios de decomposição. Essa técnica contribuiu para o bom desenvolvimento da planta e o aumento da produtividade com baixa utilização de insumos químicos. O material depositado sobre o solo passa por processos fermentativos aeróbios, sendo criado um ambiente muito propício para o desenvolvimento da fauna edáfica, e principalmente a microvida que tem a capacidade de degradar a matéria orgânica retirando nitrogênio do ar ficando disponível para as plantas.

No SAF2, modelo mais jovem com três anos de implantação, foi realizada a prática de cobertura do solo com filme de polietileno (lona de plástico preto) para o abafamento da adubação verde e posterior plantio de mudas frutíferas ou culturas anuais, reduzindo assim a mão de obra relacionada à roçada do plantio de adubação verde. Além da economia de mão de obra, outras vantagens desse tipo de compostagem laminar com o plantio direto são: o aproveitamento integral do chorume produzido e o abafamento de plantas espontâneas presentes no solo causado pela cobertura do mesmo.

São apresentados a composição dos diferentes modelos de SAFs com relação às culturas perenes, semi-perenes e anuais no Quadro 1.

Quadro 1 - Relação do arranjo e componentes encontrados nos diferentes modelos de SAFs, considerando a produção Primavera-Verão (2014/2015).

MODELO	FRUTIFERAS	ANUAIS (ROTAÇÃO)
SAF 1	caqui, banana, ameixa, pessego, pera, mirtilo, oliveira, pêssego, banana prata jaboticaba, citrus, café.	batata, feijão, cebola, milho de pipoca, morango e alho
SAF 2	uva, kiwi e maçã	gengibre, girassol, amendoim, abobora e batata.

Fonte: Dados do autor (2016)

Os sistemas agroflorestais agroecológicos do presente estudo têm como princípio básico de seu manejo o fornecimento constante de material lenhoso e da biomassa verde como alimentação do solo em sua concepção biodinâmica. Com a utilização de diferentes espécies, aumenta a diversidade formando-se novos nichos criando modelos próximos à sucessão dos ecossistemas nativos. A plena eficácia dos consórcios nesse caso depende diretamente do manejo que consiste na poda periódica de todos os vegetais de apoio em épocas certas. Nesses sistemas, o agricultor considera principalmente o ciclo vegetativo das espécies vegetais, sendo as anuais que terminam sua fase de desenvolvimento com a florescência e uma segunda fase de amadurecimento com a formação de sementes e a morte ou se for arbustiva ou arbórea, com a formação de biomassa lenhosa. Na fase de desenvolvimento inicial, as diferentes espécies do consórcio gastam os nutrientes de reserva, mas passam logo a produzi-los para a segunda fase, quando as mesmas serão gastas na formação de sementes.

Nos sistemas estudados, observou-se que um dos princípios cruciais para o manejo do seu arranjo produtivo é a captação dos nutrientes acumulados nos tecidos vegetais para serem reciclados, no auge da formação da florada, acontece a poda da adubação verde para que os nutrientes acumulados na biomassa cheguem ao solo. Durante a mesma época, haverá uma mobilização ativa de nutrientes do solo por meio da interação entre as raízes, os micro-organismos e o solo, os quais serão absorvidos em grande parte, caso não haja poda, sendo que a poda consiste em uma das principais práticas desse sistema proporcionando uma redução proporcional de raízes, cuja biomassa será reabsorvida pelos organismos existentes no solo. Além disso, as podas permitem a entrada de luz, beneficiando o sistema.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação dos Sistemas agroflorestais agroecológicos está baseada em espécies frutíferas de clima temperado consorciadas com culturas anuais de grãos e cereais, além de espécies olerícolas. Preconiza o uso da adubação verde e da compostagem laminar que se apresentou diferente para cada modelo. Observa-se que é economicamente possível manter ativo o fluxo cíclico da matéria orgânica visando o desenvolvimento da estrutura química e física do solo. A implantação, composição de espécies, o arranjo e o manejo utilizados são fundamentados na agricultura orgânica e biodinâmica e configuram, com relação à observação de campo, modelos saudáveis, produtivos e que tendem à sustentabilidade ao longo do tempo sendo recomendadas como modelo produtivo para APA Serra da Mantiqueira. Recomenda-se um estudo aprofundado da microvida dos solos sob esses sistemas.

REFERÊNCIAS

- ACHADO, D. F. M. et al. Trichoderma no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n. 1, p. 274-288, jun. 2012.
- ALMEIDA, F. M. de; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra da Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 135-150, jun. 1998.
- ALMEIDA, F. M. de. **Origem e evolução da plataforma brasileira**. Rio de Janeiro: Editora do Ministério de Minas e Energia, 1967. 36 p. (Boletim, 241).
- ALVARENGA, C. C. et al. Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQS RA) na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, out./nov. 2012.
- ARAÚJO, A. R. **Solos da Bacia do Alto Rio Grande (MG): base para estudos hidrológicos e aptidão agrícola**. 2006. 345 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- ÁVILA, L. F. **Balanço hídrico em um remanescente de Mata Atlântica da Serra da Mantiqueira, MG**. 2011. 179 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- BARBER, S. A. A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. **Soil Science**, Nova Jersey, v. 93, p. p-39-49, Jan. 1962.
- BARRIOS, E.; TREJO, M. T. Implications of local soil knowledge for integrated soil management in Latin America. **Geoderma**, Amsterdam, v. 111, n. 3/4, p. 217-231, Feb. 2003.
- BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of Ca on availability of other soil cations. **Soil Science**, Nova Jersey, v. 65, n. 1, p. 69-75, Jan. 1948.
- BENITES, V. M. et al. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Revista Floresta Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 25-46, jan. 2003.

BENITES, V. M. et al. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 127, n. 1, p. 104-113, Jan. 2005.

BESKOW, S. et al. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, Internacional, v. 79, n. 1, p. 49-59, Oct. 2009.

BRASIL. Ministerio das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra: volume 32**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1983. 775 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).

CARVALHO, D. A. et al. Variações florísticas e estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta ombrófila alto-montana às margens do Rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 91-109, jan./mar. 2005.

CAVALLINI, M. M. **Agricultura tradicional, composição paisagística e conservação de biodiversidade na região sul mineira: subsídios ao desenvolvimento rural sustentável**. 2001. 205 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

CHERIF, M. et al. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrients solution to suppress *Pythium* on long English cucumber. **Plant Disease**, Minnesota, v. 76, n. 10, p. 1008-1011, Feb. 1993.

COSTA, C.; HERRMANN, G. O corredor ecológico da Mantiqueira. In: COSTA, C. M. R. et al. (Ed.). **Plano de ação do corredor ecológico da Mantiqueira**. Belo Horizonte: Valor Natural, 2006. p. 13-29.

CURI, N. et al. Distinção de ambientes agrícolas e relações solo-pastagens nos Campos da Mantiqueira (MG). In: EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; CURI, N. (Ed.). **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes MG**. Lavras: Editora da ESAL, 1994. p. 21-43.

DRUMMOND, G. M. et al. **Biodiversidade de Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 22. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

FIORIN, J. E.; VENZKE FILHO, S. P. **Reestruturação do solo com microgeo®**. Limeira: Microgeo, 2008. 2 p.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1983. 158 p.

HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. The Puerto Rico tropical cloud forests symposium: introduction and workshop synthesis. In: HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. (Ed.). **Tropical montane cloud forests**. New York: Springer-Verlag, 1995. p. 1-23.

HARMAN, G. E. et al. Trichoderma species opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature reviews microbiology**, Zurich, v. 2, n. 1, p. 43-56, Jan. 2004.

HERRMANN, G. **Manejo de paisagem em grande escala: estudo de caso no Corredor Ecológico da Mantiqueira, MG**. 2008. 246 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ICMBIO. **Diagnostico socioeconômico, histórico e cultural da área de proteção ambiental da Serra da Mantiqueira**: relatório de dados secundários. Curitiba: ICMBIO, 2013. 405 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A. et al. Continuidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em sub-bacia hidrográfica de cabeceira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 914-922, maio/jun. 2008.

LABANCA, E. R. G. **Purificação parcial de elicitores presentes em *Saccharomyces cerevisiae***: atividade como indutores de resistência em pepino (*Cucumis sativus*) contra *Colletotrichum lagenarium* e da síntese de gliceolinas em soja (*Glycine max*). 2002. 107 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MARTINS, R. P.; LEWINSON, T. M.; LAWTON, J. H. "First survey of insects feeding on Pteridium aquilinum in Brazil." **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 151-156, Jan. 1995.

MATOS, D. M. S.; SANTOS, S. J. F.; CHEVALIER, D. de R. "Fire and restoration of the largest urban forest of the world in Rio de Janeiro City, Brazil". **Urban Ecosystems**, Minnesota, v. 6, n. 3, p. 151–161, Sept. 2002.

MENEZES, J. M. T et al. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 893-898, abr. 2008.

MENEZES, M. D. et al. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.

MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 361-367, jul./ago. 2007.

MONTES, R. M.; MONTES, S. M. N. M.; RAGA, A. **O uso do silício no manejo de pragas**. São Paulo: Instituto Biológico, 2015. 13 p. (Documento Técnico, 17).

OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. Dinâmica da comunidade e populações arbóreas da borda e interior de um remanescente florestal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, em um intervalo de cinco anos (1999-2004). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 149-161, jan./mar. 2007.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, Gainesville, v. 32, n. 4, p. 793-810, Mar. 2000.

PINTO, L. C. et al. Micromorphology and pedogenesis of mountainous inceptisols in the Mantiqueira Range (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 5, p. 455-462, out. 2015.

PRIMAVESI, A. **Agricultura sustentável: manual do produtor rural**. São Paulo: Nobel, 1992. 144 p.

RESENDE, J. C. de; PEREIRA, J. R.; Região Campos das Vertentes: aspectos geográficos, socioeconômicos e potencialmente para a produção de leite. In: CARVALHO, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CURI, N. (Ed.).

Desenvolvimento de pastagens na zona fisiológica Campos das Vertentes, MG. Lavras: Editora da ESAL, 1994. p. 1-20.

RIBEIRO, S. C. et al. Natural regeneration of deforested areas dominated by *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn located in the Serra da Mantiqueira mountain range. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 65-76, jan./mar. 2013.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais.** 2009. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, M. de C. N. et al. Influência topo-edafo-climática na vegetação de um fragmento de Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 928-942, dez. 2015.

SANTOS, P. L. et al. Utilização de extratos vegetais em proteção de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 2562- 2576, dez. 2013.

SCHWENGBER, J. E.; SCHIEDECK, G.; GONÇALVES, M. M. **Compostagem laminar:** uma alternativa para manejo dos resíduos orgânicos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 169).

SILVA, R. R. **Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na região Campos das Vertentes, Bacia Alto Rio Grande - MG.** 2001. 97 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

SILVA, S. D. **Composição florística, similaridade e influência de variáveis ambientais de uma floresta de araucária na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, Brasil.** 2014. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

SILVA, U. S. R.; MATOS, D. M. S. "The invasion of *Pteridium aquilinum* and the impoverishment of the seed bank in fire prone areas of Brazilian Atlantic Forest". **Biodiversity and Conservation**, Holanda, v.19, n. 15, p. 3035-3043, Aug. 2006.

SIMAS, F. N. B. et al. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, n. 3/4, p. 187-201, Apr. 2005.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 271 p.

**CAPÍTULO 3 INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DA QUALIDADE
DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS AGROECOLÓGICOS
NA ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL SERRA DA
MANTIQUEIRA**

RESUMO

Em sistemas agrícolas, a avaliação da sustentabilidade, por meio do monitoramento dos atributos físicos e químicos do solo é fundamental, constituindo-se um tema relevante em face às atividades antrópicas. A utilização de sistemas agroflorestais para viabilizar a produção de alimentos é considerada uma alternativa que proporciona melhorias voltadas à conservação dos recursos naturais. Com o objetivo de avaliar e comparar alterações nos atributos físicos e químicos em SAFs agroecológicos de diferentes idades e outros diferentes sistemas de uso e manejo do solo, foram coletadas amostras de Cambissolo Háplico em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm). Os demais sistemas estudados foram cultivo convencional da oliveira (*Olea europaea* L.) variedades Arbequina, Arbosana, Maria da Fé, Ascolano e Grappolo, regeneração natural dominada por samambaias (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.), pastagem e remanescente de floresta nativa como sistema de referência. O estudo foi realizado nos municípios de Alagoa e Bocaina de Minas, MG, localizados na Área de Preservação Ambiental (APA) Serra da Mantiqueira. Com base nos resultados dos atributos físicos os SAFs apresentaram-se adequados como indicadores de qualidade do solo notadamente a densidade do solo e a estabilidade de agregados em relação ao sistema de referência. Para os atributos químicos pode-se inferir que o nível de fertilidade referente ao teor de matéria orgânica nos SAFs aproxima-se do sistema de referência indicando os benefícios do manejo agroecológico em questão, sendo inclusive superior a área de regeneração natural. A análise de agrupamento indicou uma tendência desses sistemas em atingir a sustentabilidade. O manejo e implantação dos SAFs agroecológicos demonstraram potencial para recuperação de áreas dominadas por *Pteridium aquilinum* na APA Serra da Mantiqueira.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Sistemas agroecológicos. Agricultura de montanha. Cultivo de oliveira. *Pteridium sp.*

CHAPTER 3 PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS OF SOIL QUALITY IN AGROECOLOGIC AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE PROTECTED AREA SERRA DA MANTIQUEIRA

ABSTRACT

In agricultural systems, it is fundamental that sustainability is evaluated through the monitoring of soil physical and chemical properties, which is a relevant theme in the face of human activities. The use of agroforestry systems to make food production viable is an alternative that provides improvements towards the conservation of natural resources. Our objective was to evaluate and compare the changes in soil physical and chemical attributes between agroecologic agroforestry systems of different ages and other systems that use and manage soil differently. We collected soil samples of Haplic Cambisols at three depths (0-10, 10-20 and 20-40 cm). The other systems studied were conventional Olive tree plantation (*Olea europaea* L. varieties Arbequina, Arbosana, Maria da Fé, Ascolano and Grappolo), a natural regeneration area dominated by ferns (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.), pastureland and a native forest remnant as the reference ecosystem. The study was done in the municipalities Alagoa and Bocaina de Minas, MG, Brazil, located within the protected area Serra da Mantiqueira. Based in our results, the agroforestry systems were considered appropriate as soil quality indicators, notably density and aggregate stability, compared to the reference ecosystem. Regarding chemical attributes, fertility levels related to organic matter content in agroforestry systems was similar to the reference ecosystem, indicating the benefits of agroecological management. These values were even higher in agroforestry systems than in natural regeneration areas. The grouping analyzes indicated these systems tend to achieve sustainability. The management and implementation of agroforestry systems have potential for recuperation of areas dominated by *Pteridium aquilinum* in the protected area Serra da Mantiqueira.

Key-words: Soil quality. Agroecologic systems. Mountain agriculture. Olive tree plantation. *Pteridium sp.*

1 INTRODUÇÃO

A Área de Preservação Ambiental (APA) da Serra da Mantiqueira (APASM) foi constituída visando à conservação das regiões mais altas da Serra da Mantiqueira, importante área de recarga hídrica. Essa categoria de Unidade de Conservação prevê o uso sustentável de seus recursos de forma planejada e regulamentada, sendo submetida a regras de ordenamento e controle do uso do solo. É a única categoria no Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC) em que as propriedades rurais e seu funcionamento são fundamentais para a conservação bem como para a manutenção de qualidade e vida das populações que nela habitam.

Nas APASM as atividades agrícolas são limitadas (ALVARENGA et al., 2012; BESKOW et al., 2009), apresentando baixa expressão na área de estudo. As pastagens constituem a matriz de paisagem produtiva mais comum na região, em geral degradada, apresentando compactação e aumento dos processos erosivos (PINTO et al., 2015). A invasão dessas áreas por samambaias (*Pteridium aquilinum*) é um dos maiores problemas ambientais presentes na APASM (ICMBIO, 2013).

Os solos de montanha representam ecossistemas muito suscetíveis à ocupação desordenada e a usos degradantes (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2015). Contribuem assim para aceleração de processos erosivos, perda de fertilidade do solo e assoreamento dos cursos d'água possuindo altos custos e complexidade quando se trata da sua recuperação (LOPEZ NETTO, 2013).

A principal limitação ao uso agrícola desses solos diz respeito ao relevo movimentado em que ocorrem. Há presença de pedregosidade e baixa fertilidade natural (JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2008) além da baixa permeabilidade tornando as áreas suscetíveis ao encrostamento superficial o que torna os solos

altamente propensos à erosão (SANTOS et al., 2015; SIMAS et al., 2005; SILVA et al., 2014).

Em geral, esses solos são bastante ácidos, ricos em ferro e alumínio trocáveis (BENITES et al., 2003, 2005) limitando o desenvolvimento das culturas. Esses fatores exigem a adoção de práticas conservacionistas de manejo e uso do solo na região (CURI, 1994).

O conhecimento das alterações nos atributos químicos e físicos do solo fornece subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, a sustentabilidade e a conservação dos ecossistemas (OLIVEIRA et al., 2015). Os estudos dos atributos do solo em área com acentuada valorização paisagística e ecoturística permitem uma boa estratificação de ambientes, sendo importantes para o monitoramento da sustentabilidade dos sistemas agrícolas e que pode subsidiar o manejo nas APAs (DIAS et al., 2003).

O monitoramento do solo envolve sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema. A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo comportamento do estado atual de determinados atributos comparando-os com critérios de referência como o solo em estado natural sem interferência antrópica ou com parâmetros ideais (DORAN; PARKIN, 1994). O solo de área sob vegetação natural, por representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente e os parâmetros ideais como sendo aqueles que maximizam a produção e conservem o meio ambiente (SANTANA; BAHIA FILHO, 2002).

A avaliação das alterações em propriedades dos solos em função do seu uso e manejo assume importância prática, pode fornecer elementos para produção em bases sustentáveis (CARNEIRO et al., 2009). Estudos recentes demonstram a importância dos atributos físicos e químicos do solo para verificar alterações do manejo em sistemas conservacionistas comparados a sistemas

convencionais (ASSIS; LANÇA 2005; BILIBIO; CORREA; BORGES, 2010; D'ANDRÉA et al., 2002; GUIMARÃES; CHAVES; MENDONÇA, 2015; LOSS et al., 2009; MENEZES et al., 2008; RAMOS et al., 2015; SANTANA et al., 2006; SILVA et al., 2015a).

Nesse contexto, acredita-se que, por meio da adoção dos sistemas agroflorestais (SAFs) é possível reabilitar solos para aumentar a produção de alimentos e outros serviços essenciais nos ambientes de montanha. Os SAFs sob bases agroecológicas são sistemas complexos, que priorizam a presença do componente arbóreo, a diversidade de espécies e a produção de biomassa, prevendo a sua otimização no espaço e no tempo. Nesse sentido, as práticas agroecológicas possuem alta capacidade de resiliência consideradas de importante aplicação, em razão da gravidade dos impactos das mudanças climáticas sobre a produção alimentar.

A utilização dos SAFs constitui melhorias nas propriedades físicas e químicas de solos degradados (ALFAIA et al., 2004; BOLEY; DREW; ANDRUS, 2009; CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004; FAVERO; LOVO; MENDONÇA, 2008; LIMA et al., 2011; MENEZES et al., 2008; NEVES et al., 2007; SOUZA et al., 2012) assegurando seu potencial para a restauração de ambientes. Além disso, a sua utilização em APAs colabora para o aumento da conectividade na paisagem contribuindo para a manutenção da biodiversidade em diferentes escalas.

Contudo, torna-se imprescindível a avaliação e monitoramento da qualidade do solo, por meio de seus atributos físicos e químicos. Nesse sentido, com o auxílio das análises multivariadas, pode-se eleger os atributos mais significativas nos processos pedogenéticos, assim, esses, avaliados por meio de análise de componentes principais, são agrupados de acordo com suas semelhanças que, por sua vez, são separadas por critérios de dissimilaridade.

Conduziu-se este estudo, com o objetivo de avaliar as alterações nos atributos físicos e químicos do solo decorrentes da conversão da floresta nativa, assim como selecionar os atributos indicadores que melhor representem a qualidade do solo considerada na perspectiva deste estudo como sendo mais próximos das condições do ambiente de referência representado pelo remanescente florestal nativo. Com isso, pretende-se testar a hipótese de que os SAFs agroecológicos quando comparados aos demais sistemas de manejo e uso do solo propiciam melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo.

Os sistemas avaliados foram; SAFs agroecológicos de diferentes idades considerados unidade de referência na região, pastagem utilizada para sistema de produção do gado de corte, regeneração natural em pastagem nativa dominada por samambaias no município de Bocaina de Minas e cultivo convencional de oliveira localizado no município de Alagoa todos inseridos na APASM.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nos municípios de Alagoa e Bocaina de Minas, ao sul do Estado de Minas Gerais entre as latitudes de 22°10'06"S e 22°10'51"S e as longitudes de 44°36'01"W e 44°30'76"W respectivamente, localizados na unidade de conservação APA da Serra da Mantiqueira. Esses municípios possuem 80% de seu território coberto por relevo montanhoso, com altitude média de 1.822 m (IBGE, 2010), clima Cwb segundo classificação de Köppen (subtropical úmido e mesotérmico), com médias anuais de temperatura e precipitação respectivas de 16,7 °C e 2.108 mm e predomínio de florestas ombrófilas (CARVALHO et al., 2005).

A pesquisa foi realizada em quatro diferentes propriedades rurais particulares exploradas comercialmente. Foram estudados seis diferentes sistemas de uso e manejo do solo denominados samambaial (SAM), pastagem (PAS), cultivo convencional de oliveira com cinco anos (OLI); Sistema Agroflorestal agroecológicos com cinco (SAF1) e três anos (SAF2) e Remanescente Florestal Nativo (REM).

O cultivo convencional de oliveira (OLI) está situado no município de Alagoa, distante a nove quilômetros das demais áreas. As demais áreas estão localizadas em outras três propriedades vizinhas e localizam-se no município de Bocaina de Minas.

O solo nos locais de estudo está classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006) como Cambissolo Háplico Tb Distróficos (CX). De acordo com Alvarenga et al. (2012) e Menezes et al. (2009), esses tipo de solo, na região, apresenta profundidade variando de 0,70 a 1,20 m, incluindo o horizonte C, cujo material de origem consiste em rochas graníticas e gnaisses com textura média, raso a moderadamente profundo (<1,5 m). Os Cambissolos são solos jovens em constante estado de transformação e apresentam muitas

variações, em razão da heterogeneidade do material de origem, às formas de relevo e às condições edafoclimáticas específicas de cada local avaliado.

2.1 Caracterização dos sistemas utilizados

A implantação do cultivo convencional de oliveira (OLI) foi realizada por meio de aragem, gradagem e posterior calagem. O plantio das oliveiras foi realizado em janeiro de 2010, antes disso a área era utilizada como pastagem. Para o plantio foi realizada adubação por cova (800g de superfosfato simples, 200g de cloreto de potássio, 80g de ácido bórico, 10l de adubo orgânico), são realizadas adubações de cobertura (20-00-20, considerando 150g por planta), pulverizações para o controle de pragas e aplicação de herbicidas para o mato controle, além de práticas silviculturais como coroamento, amarrio, desbrota, poda para a condução das árvores ao longo do ano. O espaçamento utilizado foi de 6 x 4 m.

A pastagem extensiva para produção de gado de corte (PAS) é uma área de pastagem nativa que foi substituída por braquiária (*Uruçloa sp.*) há 20 anos. A substituição se deu por meio do plantio de roça de milho e posterior semeio da braquiária. A implantação foi realizada através de aragem com trator e calagem com uso de calcário e termofosfato. O pasto é roçado duas vezes ao ano. Possui população de cinco unidades animal (UA)/ha. O manejo rotativo do gado se diferencia ao longo das épocas do ano sendo com uma frequência mensal no verão.

A área de regeneração natural é uma área de pastagem nativa abandonada há nove anos e dominada pela samambaia *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, conhecida, na região por seu alto poder invasivo. Essa área está denominada, neste estudo, por samambaial (SAM). Observa-se a regeneração das comunidades arbóreas ocorrendo simultaneamente à colonização por samambaias.

O remanescente florestal nativo (REM) é uma floresta secundária com mais de 40 anos em regeneração natural, pós-pastagem nativa.

Os sistemas agroflorestais agroecológicos antes da implantação possuíam características similares à área de SAM, compostos por pastagem, queima e depois dominada por *Pteridium*. Esses sistemas preconizam em seu manejo algumas técnicas como a manutenção da cobertura do solo, plantio direto, adubação verde, a baixa utilização de insumos comerciais externos e a supressão completa do uso de agroquímicos por se tratar de um sistema de produção orgânica e agroecológica, além do uso de espécies vegetais diversificadas.

A implantação dos Sistemas Agroflorestais sob bases Agroecológicas (SAF1 e SAF2) está baseada em espécies frutíferas de clima temperado consorciadas com culturas anuais de grãos e cereais além de espécies olerícolas tendo como principal cultura a oliveira, deu-se início no ano de 2009 para SAF1 e 2012 para SAF2. Para implantação, foi realizado o preparo da área, por meio da roçada da samambaia e posterior pousio. A roçada foi manual, realizada com foice e enxada. As curvas de nível foram realizadas com enxadão, durante o enleiramento do grande volume de biomassa da samambaia proveniente da roçada que era depositada em fileiras para a posterior utilização nas linhas de plantio.

Para a adubação de plantios nas covas, foi utilizado 1 Kg de termofosfato, 1 Kg de calcário dolomítico, 5L de esterco de curral curtido e 20 g de *Trichoderma*. Para adubação de plantio nas entrelinhas, foram utilizados 30 g de termofosfato/ m² e 30 g de calcário dolomítico/ m². Para o coquetel de adubação verde, foram utilizadas espécies como milheto (*Pennisetum glaucum*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), aveia preta (*Avena strigosa*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e girassol (*Helianthus annuus*).

2.2 Determinação dos atributos do solo

Para a determinação dos atributos químicos e físicos do solo, as amostragens foram realizadas em novembro de 2014. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com seis tratamentos e seis repetições. Em cada sistema estudado foram amostradas aleatoriamente seis parcelas de 25 x 25 m, duas direções perpendiculares entre si, uma delas no sentido do declive. Os sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo estavam localizados entre 1200 m e 1300 m de altitude. E os pontos amostrais alocados mantiveram no mínimo 30 m entre si.

Foi retirada uma amostra de solo deformada por parcela e por profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm constituindo então seis repetições das três profundidades por sistema para a caracterização dos atributos químicos sendo que as parcelas representam os sistemas e as subparcelas às profundidades. As amostras foram retiradas com o auxílio de trado holandês, sendo posteriormente acondicionadas em sacos de polietileno devidamente identificados.

Na coleta para fim de análise do carbono orgânico total para cálculo da matéria orgânica foram consideradas amostras compostas por cinco amostras simples não aleatórias, sendo uma no centro da parcela e quatro equidistantes, nos vértices das parcelas, a 20 metros do ponto central. Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, sendo protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas depois foram secas ao ar e passadas em peneira de 2,0 mm (terra fina seca ao ar), de acordo com metodologia da Embrapa (1997).

As demais variáveis químicas do solo obtidas foram: pH, teores de P, K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva (t) e saturação por alumínio (m).

Para as análises físicas, foram retiradas amostras deformadas com a finalidade de determinação da textura (TABELA 1), umidade e densidade de

partículas seguindo protocolo da Embrapa (1997). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, a densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico e a umidade pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997).

Na Tabela 1, observa-se a composição granulométrica dos tratamentos avaliados, que apresentaram textura de argilosa a média.

Tabela 1 - Composição granulométrica e razão silte e argila para Cambissolo Háplico distrófico típico em três profundidades sob diferentes sistemas de uso do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.

Área	Granulometria (g/Kg ⁻¹)			
	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila
0-10 cm				
OLI	395	128	477	0,27
PAS	518	147	335	0,44
SAF1	545	70	385	0,18
SAF2	583	90	327	0,28
REM	573	162	265	0,61
SAM	523	135	342	0,40
10-20 cm				
OLI	388	127	485	0,26
PAS	507	113	380	0,30
SAF1	513	78	408	0,19
SAF2	565	87	348	0,25
REM	580	168	252	0,67
SAM	518	129	353	0,37
20-40 cm				
OLI	368	113	518	0,22
PAS	497	123	380	0,32
SAF1	497	87	423	0,20
SAF2	497	108	365	0,30
REM	497	147	260	0,56
SAM	497	122	395	0,31

PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=sistema agroflorestal agroecológico com 5 anos; SAF2=sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos.

Fonte: Dados do autor (2016)

Para porosidade e distribuição de agregados, utilizaram-se amostras indeformadas coletadas com o amostrador de Uhland com anel volumétrico com o auxílio de anéis com volume conhecido, sendo acondicionadas em parafina e papel filme, posteriormente colocadas em caixas plásticas, para evitar a perda da estrutura do solo. O volume total de poros foi determinado, segundo Danielson e Sutherland (1986). A microporosidade foi obtida em amostras previamente saturadas, por 24 horas, utilizando-se mesa de tensão com 60 cm de altura de coluna de água, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e microporosidade (EMBRAPA, 1997).

A estabilidade de agregados foi determinada por meio de peneiramento em água, após pré-umedecimento lento dos agregados por capilaridade com um jogo de peneiras de 2, 1, 0,5, 0,25, 0,105 mm para separação das classes de tamanho dos agregados, sendo os resultados expressos em diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados diâmetro médios ponderados (DMP) dos agregados, de acordo com (KEMPER; ROSENAU, 1986).

Para determinação da resistência do solo à penetração, utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, segundo metodologia preconizada por Stolf, Fernandes e Furlani Neto (1983) com quatro repetições por parcela para cada sistema de uso e manejo do solo. Os testes de resistência foram realizados no campo de modo que as leituras foram tomadas a cada 5 cm, até a profundidade de 60 cm do solo.

Para a condutividade hidráulica do solo, foram realizadas quatro repetições por parcela para cada ambiente estudado, em cada ponto foi efetuado teste de infiltração com duração de cinco minutos, utilizando o método de infiltração no campo, por meio do infiltrômetro de minidisco manual com sucção controlada. O funcionamento detalhado do infiltrômetro a disco encontra-se nos trabalhos de Borges et al. (1999) e Thony et al. (1991).

2.3 Análise dos dados

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Box-Cox) e, quando necessário, os dados foram corrigidos. Os resultados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F e as médias comparadas por meio do teste Scott Knott (SCOTT; KNOTT, 1974) a 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

Para resistência do solo à penetração, os valores foram obtidos em Kgf/cm² multiplicados pelo fator 0,098 com a finalidade de converter os resultados expressos na unidade de pressão (MPa), para a plotagem do gráfico, utilizou-se o programa PENETRON[®] (STOLF, 1991).

As análises para os testes de condutividade hidráulica não saturada foram realizadas de acordo com o método proposto por Zhang (1997) que requer medição da infiltração acumulada em função do tempo, ajustando os resultados de acordo com programa Dekagon Devices[®] para infiltrômetro de minidisco manual.

2.3.1 Análises multivariadas

Para melhor visualização das variáveis em um determinado sistema, foram realizadas análises complementares, por meio de técnicas de estatística multivariada a partir das quais foram utilizados os valores médios das seis repetições aleatórias de cada sistema de manejo e uso do solo e do remanescente florestal nativo nas profundidades de 0 a 20 cm. Esses valores foram padronizados e submetidos à análise de componentes principais (ACP) para caracterizar o efeito dos sistemas de uso do solo sobre seus atributos físicos e químicos, e à análise de agrupamentos.

Para a ACP, os tratamentos (sistemas e profundidades) e as variáveis (atributos físicos e químicos do solo) foram transformados em coordenadas que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação ou autovetores,

representando o peso de cada parcela ou variável sobre o eixo, as quais podem ser vistas como equivalentes ao grau de correlação destas com o eixo em questão (MELÉM JUNIOR et al., 2008). Os *scores* dos componentes no diagrama nos eixos 1 e 2 (ACP1 e ACP2) foram usados para testar os efeitos dos diferentes usos e manejos do solo e do remanescente florestal nativo por meio de análises de variância e teste de Tukey (nível de significância de 0,05) contrastando os seis tratamentos. Dessa forma, as variáveis com alta carga fatorial ou *loading* e, conseqüentemente, altas correlações com a respectiva componente principal, também foram testadas.

Foram escolhidas para a caracterização final, apenas as variáveis que apresentaram maior carga fatorial, considerando a primeira componente principal (CP). Optou-se, para uma melhor visualização, substituir as variáveis Potássio (K), Magnésio (Mg) e Cálcio (Ca) pela variável SB (Soma de Bases trocáveis).

Para a caracterização dos atributos químicos, foram inseridas na PCA as variáveis: acidez potencial (H+Al), Soma de Bases (SB), Saturação por alumínio (m), Matéria orgânica (MO), Fósforo (P), Capacidade de troca catiônica efetiva (t) e pH. Para os atributos físicos, foram consideradas as variáveis: textura representada por argila e areia, densidade do solo (Ds), macro (MACRO) e microporosidade (MICRO) e diâmetro médio geométrico dos agregados do solo (DMG).

Análises de agrupamento (*cluster*) pela distância euclidiana e algoritmo de agrupamento de Ward (WARD, 1963) foram utilizadas para verificar a similaridade entre os tratamentos para os atributos físicos e químicos. Para representar as análises de agrupamentos foram construídos dendrogramas, por meio da distância euclidiana, considerada como nível de similaridade para a separação de grupos.

As análises de agrupamento, componentes principais e teste de Tukey são complementares e fornecem resultados sobre a similaridade e caracterização de solos sob diferentes tratamentos (SENA et al., 2002). As análises foram feitas no software R (R CORE TEAM, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos atributos químicos do solo

Os atributos químicos apresentados nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo estão caracterizados na Tabela 1.

Os Cambissolos da região apresentam, em geral, acidez elevada por serem derivados de rochas pobres em nutrientes. Áreas mais íngremes como as do estudo maximizam as perdas por lixiviação de nutrientes e o relevo influencia o teor de alumínio, aumentando a acidez do solo (BENITES et al., 2003), confirmando os resultados obtidos que apresentam níveis de acidez elevados (TABELA 2).

De maneira geral, os valores de pH não variaram muito, ficando entre 4,5 e 5 para as áreas de Sistemas agroflorestais agroecológicos (SAFs), Pastagem (PAS) e Samambaial (SAM) além do Remanescente de floresta nativa (REM) exceção foi observada na área do Cultivo de oliveira (OLI), que apresentou valor de acidez adequada, considerando o pH entre 6 a 5,5 aumentando respectivamente, de acordo com a profundidade. Conclui-se que esses solos estão sob efeito de prática de calagem para correção da acidez, visto que a região apresentou altos valores de pH. Carneiro et al. (2009), avaliando atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo sob Cerrado em diferentes sistemas de uso e manejo encontrou pH inferiores em áreas sem correção do solo se tratando de solos originalmente distróficos.

Os valores da soma de bases variaram de 0,25 a 3,85 cmol/dm³. Os maiores foram encontrados em OLI e os menores para SAM. Em todos os sistemas, com o aumento da profundidade há aumento da saturação por alumínio (m), influenciando o pH do solo (TABELA 2).

Tabela 2 - Atributos da fertilidade do solo para Cambissolo Háplico distrófico típico nas profundidades de 0-10, 10 -20 e 20-40 cm em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira. (Continua)

Área	Prof. cm	Ph H ² O	P ---- mg/dm ³ ----	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	m %	M.O g.kg ⁻¹
OLI	0 a 10	6,02 aA	1,51 aA	74 aA	2,90 aA	0,76 aA	0,12 cA	4,15 bA	3,85 dA	3,97 bA	3,77 cC	6,38 bA
	10 a 20	5,72 aA	1,22 bA	49 aB	1,70 aA	0,48 aB	0,33 cA	5,54 bA	2,31 dA	2,64 bB	15,69 bB	6,09 aA
	20 a 40	5,53 aB	0,95 aB	34 aC	0,91 aA	0,28 aC	0,43 bA	5,59 aA	1,28 cB	1,72 bC	30,13 bA	5,09 aB
SAF1	0 a 10	4,87 bA	1,61 aA	45 bA	0,83 bA	0,33 bA	0,98 bA	8,50 aA	1,28 cA	2,26 bA	48,49 bA	6,95 aA
	10 a 20	4,77 bA	1,22 bA	32 bA	0,35 cB	0,18 bA	1,13 bA	8,71 aA	0,61bB	1,75 bB	66,74 aB	6,35 aB
	20 a 40	4,73 cA	0,84 bB	25 bA	0,18 bC	0,12 aA	1,15 bA	7,74 aA	0,34 aC	1,49 bB	77,40 aB	5,67 aC
SAF2	0 a 10	4,58 cA	2,89 bB	55 bA	0,50 bA	0,35 bA	0,87 bA	8,92 aA	0,87 cA	1,94 aA	57,02 bA	6,42 bA
	10 a 20	4,65 cA	2,48 bB	43 bA	0,35 cA	0,20 bB	1,02 bA	8,44 aA	0,65 bA	1,66 aA	62,95 aA	5,86 aB
	20 a 40	4,65 cA	1,08 aA	22 bA	0,13 bB	0,12 aB	0,93 bA	7,95 aA	0,29 aB	1,22 aB	75,53 aA	5,30 aB
PAS	0 a 10	4,96 bA	1,17 aA	52 bA	0,33 bA	0,11 cA	0,96 bA	7,26 aA	0,57 bA	1,53 aA	63,31 aA	6,42 bA
	10 a 20	4,97 bA	0,84 aB	37 bA	0,23 cA	0,10 bA	0,93 bA	6,85 aA	0,42 bA	1,36 aA	68,63 aA	5,89 aA
	20 a 40	4,98 aA	0,75 bB	24 bB	0,18 bA	0,10 aA	0,86 bA	6,53 aA	0,34 aA	1,22 aA	71,18 aA	5,14 aB
REM	0 a 10	4,73 cA	1,96 bA	80 aA	1,00 bA	0,36 bA	3,30 aA	9,62 aA	1,57 cA	2,82 bA	47,66 bB	7,19 aA
	10 a 20	4,77 bA	1,42 bB	67 aA	0,57 bA	0,21 bA	2,18 aB	8,60 aA	0,95 cA	2,22 bA	57,65 aA	6,42 aB
	20 a 40	4,78 cA	1,18 aB	49 aB	0,27 bB	0,10 aA	1,77 aB	7,24 aA	0,49 bB	1,72bB	71,59 aA	5,43 aC

Tabela 2 - Atributos da fertilidade do solo para Cambissolo Háplico distrófico típico nas profundidades de 0-10, 10 -20 e 20-40 cm em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira. (Conclusão)

Área	Prof.	Ph	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	m	M.O
	cm	H ² O	---- mg/dm ³ ----		----- cmol/dm ³ -----						%	g.kg ⁻¹
SAM	0 a 10	4,56 cA	0,70 aA	21 bA	0,10 cA	0,10 cA	0,87 bA	6,75 aA	0,26 aA	1,12 aA	76,45 aA	6,34 bA
	10 a 20	4,63 cA	0,98 aA	36 bA	0,10 dA	0,10 bA	1,10 bA	7,85 aB	0,29 aA	1,39 aA	78,66 aA	5,99 aA
	20 a 40	4,65 cA	0,70 bB	21 bB	0,10 bA	0,10 aA	0,87 bA	6,75 aB	0,25 aA	1,12 aB	76,44 aA	5,15 aB

Letras minúsculas comparam sistema dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam profundidade dentro de cada sistema. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos; SAF2=sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos.

Fonte: Dados do autor (2016)

Os valores de soma de bases (SB) mostraram-se mais elevados na camada superficial com exceção de PAS e SAM. Pode-se sugerir que para OLI esse valor esteja associado à fração argila e para REM a maiores teores de matéria orgânica. O teor mais elevado de Ca e Mg em OLI contribuiu para elevar a CTC do solo promovidos pela aplicação de corretivos. Já em REM a contribuição é dada pelo elevado teor de H+Al encontrado, enquanto o solo com SAM apresentou CTC menor em relação aos demais sistemas.

O sistema agroflorestal com seis anos obteve incremento, quando comparado ao de três anos, nos valores de SB resultados que corroboram com Lima et al. (2007), estudando qualidade do solo em cultivos orgânicos e convencionais. A elevação da SB para os SAFs na primeira camada pode estar atribuída à adição de compostos orgânicos. Os valores da capacidade de troca de cátions (CTC) para SAF1 também indicam que a matéria orgânica aplicada ou o tempo de manejo orgânico (seis anos) foi suficiente para alterar a capacidade dos solos em reter cátions semelhantes ao ambiente de floresta nativa.

O valor de soma de bases trocáveis (SB) e da CTC efetiva (t) foram significativamente reduzidos pela conversão da floresta nativa em área dominada por samambaias e na pastagem cultivada, valores também encontrados por Cardoso et al. (2011), estudando a qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal.

Os valores em geral baixos de nutrientes devem-se à baixa fertilidade natural do solo, ou seja, baixa capacidade de troca de cátions e, especialmente, a baixa soma de bases, em decorrência da sua origem o que poderia vir a ser considerada uma limitação às atividades agrícolas. Esse fato, mais o declive acentuado na região, reforçam o estímulo a atividades agrícolas na região que primem pelas práticas de manejo conservacionistas e menos dependentes de insumos.

Araújo et al. (2004) e Perin, Cereta e Klamt (2003) afirmam que, em geral, os teores de K tendem a decrescer com o tempo de uso. Entretanto, foi verificado um aumento de K e demais atributos da fertilidade após seis e três anos de implantação do sistema agroflorestal, observaram-se melhorias significativas na disponibilidade de nutrientes no solo do SAF1 em relação à área de regeneração natural dominada por samambaias.

Foi observado que, com seis anos, o manejo do SAF1 contribuiu para a recuperação da fertilidade do solo, principalmente da camada superficial, quando comparados com SAM, área que representa o histórico de uso anterior a implantação do sistema agroflorestal agroecológico, resultado da ciclagem de nutrientes provenientes da implantação e manutenção da cobertura vegetal.

Estudos como de Faria, Soares e Leão (2004) com indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo, mostram que adubação verde melhorou as características químicas do solo, aumentando os teores de MO, Ca e CTC. Bayer e Mielniczuk (1997) estudando diferentes métodos de preparo e sistemas de cultivos verificaram que a CTC efetiva aumenta com a redução do revolvimento do solo e com o incremento de resíduos vegetais produzidos pelos próprios sistemas de cultivo, restrito à camada superficial.

Nos SAFs, o acúmulo de nutrientes em superfície foi decorrente da deposição de grande quantidade de resíduos provenientes da parte aérea das espécies frutíferas que compõem o sistema e das espécies nativas da regeneração dentre outros vegetais componentes dos sistemas. Para Primavesi (2002), a produção dirigida e periódica de substâncias agregantes, por meio da decomposição do material morto é a única maneira de manter a produtividade dos solos agrícolas tropicais.

Como nos SAFs não são realizadas adubação com fertilizantes solúveis e nem agrotóxicos, sendo substituídos por adubação verde e fosfatos naturais, há níveis significativamente maiores de fertilidade relativos à decomposição da

matéria orgânica (SAF1) e na disponibilidade de fósforo (SAF2), quando comparados aos demais sistemas de manejo, resultados que corroboram com estudos de Maluche-Bareta et al. (2006), analisando atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs.

Em todos os tratamentos houve redução dos teores de fósforo (P) em profundidade em função de sua menor mobilidade relativa relacionada a maiores teores de argila. A disponibilidade de P no solo apresentada nas áreas estudadas é muito baixa, com teores que variaram de 0,70 a 2,89 mg/dm³, os menores valores foram encontrados na área de PAS e SAM.

As áreas de OLI e SAF1 possuem valores muito próximos de P, evidenciando a importância do manejo no solo do SAF1, principalmente influenciado pela matéria orgânica e pelo uso de esterco e o termofosfato que ajudam a reter o fósforo no solo, reduzindo as perdas de amônia, por volatilização, durante o processo de decomposição.

Menores valores de fertilidade, em geral, são observados em SAM, valores que corroboram com o estudo de Ribeiro et al. (2013) em área próxima no mesmo município do estudo, bem como o maior valor para saturação de alumínio, considerando a preferência de *Pteridium* por esses locais. Hopkins (1990) confirma que essa espécie ocorre em áreas com solos pobres, acidez, baixos níveis de cálcio e fósforo disponível, sinalizando altos teores de alumínio trocável.

A acidez potencial (H+Al) acompanhou o comportamento da camada superficial, sendo maior em REM e SAF1. Resultados que corroboram com Barreto et al. (2006) comparando atributos químicos e físicos de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem.

Os níveis de acidez trocável (Al), em geral, foram altos com exceção de OLI que foi de muito baixo a baixo, de acordo com a profundidade do solo (TABELA 2). A acidez potencial (H+Al) foi alta novamente com exceção da

área de OLI que apresentou nível médio na profundidade de 0-10 cm (TABELA 2).

Os atributos químicos mostram teores de Al^{3+} dominando o complexo de troca com exceção de OLI que apresentou maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (TABELA 2), em função de um maior nível tecnológico assumido e das correções químicas repondo nutrientes perdidos por lixiviação ou exportados pela produção. OLI elevou os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em relação à floresta nativa, principalmente nas camadas superficiais. Isso demonstra que o calcário, sendo um insumo de baixa solubilidade atuou principalmente na camada superficial onde foi aplicado.

Portanto, a correção do solo em OLI influenciou a soma de bases (SB) consequentemente elevando o valor da CTC efetiva (t), sendo responsável pela saturação do complexo de troca com cálcio e magnésio, que com o pH elevado resultam em baixas disponibilidades de alumínio. Os valores de pH, P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+} , apresentados na Tabela 2, em geral, decresceram com a profundidade para OLI; fato que pode ser atribuído à adubação química de cobertura e aos baixos níveis de MO em profundidade.

Os teores MO foram classificados como bons na primeira profundidade avaliada de 0-10 cm e pode-se notar que, com a profundidade, reduziram-se os teores igualmente para todos os solos com exceção de REM. Após conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas observa-se um declínio no estoque de MO.

Os menores teores de matéria orgânica foram encontrados em PAS, SAM e no solo sob OLI. Foi observada diferença significativa apenas na primeira profundidade entre os tratamentos. Os valores mais elevados foram registrados para as áreas de REM e SAF1 (Tabela 2). Marin (2002), estudando a qualidade do solo em sistemas agroflorestais encontrou os maiores teores de matéria orgânica para o sistema sob manejo agroecológico, quando comparado

ao solo sob sistema de manejo convencional, com maiores teores, principalmente a camada superficial. Para OLI baixos teores de MO podem ser evidenciados pelo efeito do preparo do solo na aceleração da mineralização da MO (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

A dinâmica da MO é influenciada não só pelo manejo por meio da seleção de culturas e formas de preparo do solo, mas também pela adição de fertilizantes e materiais orgânicos, que influem nos processos de decomposição e mineralização da MO (LEITE et al., 2003). Esse autor, comparando solo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica, verificou que a presença de adubação orgânica aumentou os estoques de carbono orgânico, em relação aos sistemas de produção com adubação mineral o que a considera como uma estratégia de manejo importante à conservação da qualidade do solo.

Nos SAFs, os teores de matéria orgânica mais elevada e próxima da área de referência podem ser explicados pelo uso constante de adubação verde (gramíneas e forrageiras) e incorporação de material de poda. Os sistemas de manejo do solo, associados a certas práticas agrícolas, como rotação de culturas, policultivos (LOSS et al., 2009; PEREIRA et al., 2013) e plantas de cobertura, promovem alterações significativas na dinâmica da MO (BERTIN; ANDRIOLI; CENTURION, 2005; BOER et al., 2007; TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008).

3.2 Caracterização dos atributos físicos do solo

A densidade do solo variou significativamente entre as áreas estudadas apenas na primeira profundidade amostrada (TABELA 3). A densidade apresentou valores entre 0,77 e 1,09 g cm⁻³, com exceção do REM, cujo menor valor (0,58 g cm⁻³) foi constatado na camada mais superficial.

Tabela 3 - Atributos físicos dos solos nas profundidades de 0-10, 10- 20 e 20-40 cm em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.

Profundidade (cm)	Áreas					
	OLI	PAS	SAM	SAF2	SAF1	REM
Dp (g/cm³)						
0-10	2,48 bA	2,51 aA	2,55 aA	2,54 aA	2,53 aA	2,46 bA
10-20	2,51 bB	2,55 cB	2,54 cA	2,55 cA	2,55 cA	2,47 aA
20-40	2,53 aB	2,55 bB	2,55 bA	2,56 bA	2,56 bA	2,50 aA
Ds (g/cm³)						
0-10	0,97 aA	0,96 aA	1,07 aA	0,89 aA	0,77 bA	0,58 bA
10-20	0,98 aA	1,08 aB	1,04 aB	0,91 bA	0,83 bA	0,88 bB
20-40	1,09 aA	1,11 aB	1,08 aB	1,02 aA	0,96 aB	0,91 aB
VTP (%)						
0-10	52,88 bA	52,17 bA	52,98 aA	51,95 bA	54,30 bA	61,75 aA
10-20	54,52 aA	48,71 bA	52,49 aB	49,35 bA	52,53 aA	52,73 aB
20-40	52,87 aA	50,29 aA	52,88 aB	49,99 aA	52,20 aA	50,39 aB
Micrô (%)						
0-10	39,35 aA	40,27 aA	33,58 bA	30,62 bA	29,41 bA	35,77 aA
10-20	41,51 aA	40,34 aA	32,89 bA	33,38 bA	34,18 bB	34,52 bA
20-40	39,47 aA	36,46 aA	33,58 aA	32,99 aA	34,51 aB	34,63 aA
Macro (%)						
0-10	13,63 bA	11,90 bA	19,90 aA	21,32 aA	24,89 aA	25,98 aA
10-20	13,01 bA	8,37 bA	19,60 aB	15,97 bA	18,35 aA	18,22 aB
20-40	13,39 aA	13,83 aA	19,30 aB	15,99 aA	17,69 aA	15,76 aB

PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos; SAF2=sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos.

Fonte: Dados do autor (2016)

A densidade do solo (Ds) (Tabela 3) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm foi menor nos solos de REM e de ambos os SAFs. Tal comportamento reflete a condição estrutural original do solo para REM, onde os resíduos vegetais se encontram em maior quantidade.

Para os SAFs deve-se ao fato desses sistemas possuírem boa cobertura vegetal, bem como à presença de serapilheira, por meio do manejo da biomassa.

As espécies utilizadas para adubação verde e proteção do solo nos SAFs foram o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), aveia-preta (*Avena strigosa*), crotalaria (*Crotalaria juncea*) milheto (*Pennisetum glaucum*) e girassol (*Helianthus annuus*) espécies com sistema radicular profundo e vigoroso relacionado aos benefícios físicos, tais como: a redução da compactação superficial do solo e melhoria de sua estrutura (BURLE et al., 2006; CALEGARI, 1993; DEBIASI et al., 2010).

De acordo com Klein (2008), os valores de densidade dos solos agrícolas variam de 0,9 a 1,8 g cm⁻³. Mesmo não sendo um atributo estático, Kiehl (1979) apresentou as amplitudes de variação da densidade para diferentes solos. Para REM e SAFs, podem-se observar densidades abaixo do limite de solos caracterizados como argilosos por esse autor apresentando características de solos humíferos, acusando elevados níveis de material de origem vegetal, parcialmente decomposto. Segundo Kiehl (1979), de forma geral, quanto mais elevada for a Ds pior será sua estruturação e conseqüentemente maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas.

SAM apresentou maiores valores de Ds, seguido por PAS e OLI, respectivamente. Indicando que houve aumento da compactação e/ou adensamento para OLI, por meio de cargas exercidas pelo tipo de manejo como, por exemplo, tráfego de máquinas no preparo do solo e na realização dos tratamentos silviculturais, valores também influenciados pelo fato desse sistema possuir maiores teores de argila e menores teores de matéria orgânica. O preparo da área e o pisoteio de bovinos também tendem a provocar degradação nas propriedades físicas do solo, refletindo em aumento da densidade. Araujo (2007), Cardoso (2008) e Carneiro et al. (2009) estudando qualidade do solo em diferentes tipos de manejo tendo como referência o solo sob condição natural verificaram os valores mais altos para a Ds nas áreas sob manejo. .

Níveis elevados de densidade do solo em SAM demonstram que, mesmo com o aumento da cobertura vegetal proveniente da regeneração natural, há compactação do solo, evidenciando que a intensidade do uso e manejo anteriores ainda exerce forte influência sobre esse atributo. Considera-se o domínio de *Pteridium*, que dificulta o estabelecimento e manutenção da regeneração natural, sendo conduzida a uma sucessão ecológica sob inibição e que resulta em baixa capacidade de resiliência nessa área. Quando o solo já experimentou pressões prévias como as do sistema de pastagem, por exemplo, a variação de pressões resultará em alguma deformação que pode ser relativamente pequena e recuperável, ou não-recuperável (LEBERT; HORN, 1991; STONE; LARSON, 1980).

Em geral, os ambientes apresentaram D_s menor na superfície, aumentando conforme a profundidade o que demonstra uma tendência provocada pelo menor teor de matéria orgânica, menor penetração de raízes, maior compactação causada pelo peso das camadas subjacentes e menor porosidade total (BRADY; WEIL, 2013).

Kondo e Dias Junior (1999) demonstraram que o efeito do pisoteio do gado em pastagem convencional ocorre principalmente nos primeiros centímetros do solo o que não foi observado para PAS, possivelmente resultado da prática do manejo rotativo nesse sistema. Os valores de D_s , em todas as áreas encontram-se abaixo daqueles relatados como limitantes ao pleno desenvolvimento das culturas nos solos estudados.

O volume total de poros variou de 48,71% a 61,75 %. Os valores de porosidade total apresentaram associação aos de densidade do solo, ou seja, quanto maior a densidade do solo em profundidade menor a porosidade total, com exceção de OLI.

Taylor e Ashcroft (1972) ressaltam que valores de macroporos superiores a $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ são necessários para permitir as trocas gasosas e o

crescimento das raízes da maioria das culturas. Nota-se, nos dados apresentados, que para VTP e macroporosidade na maioria dos tratamentos e profundidades são superiores a 50% e 10% respectivamente, apenas com exceção da camada 10-20 cm para PAS (Tabela 4) Como a porosidade é a proporção do volume do solo que não é ocupada por partículas sólidas e esse espaço poroso é por onde a água e o ar fluem, é esperado que, nos solos sob PAS, a água seja drenada com maior dificuldade e as raízes encontrem maior resistência ao seu crescimento pelos valores apresentados.

Menores valores de macroporos foram encontrados para PAS e OLI (TABELA 4). Os valores de VTP e macroporosidade foram maiores em REM, SAM e SAF1 na camada arável do solo. Para REM e SAF1 consequência provável da melhor estruturação do solo oferecida pela proteção da vegetação presente e por maiores teores de matéria orgânica. Em SAM, pode-se atribuir os maiores valores de VTP e macroporosidade a presença de regeneração natural no local.

Segundo Dias Júnior e Pierce (1996), a macroporosidade se apresenta como um índice útil na avaliação das modificações estruturais do solo, o que demonstra, no presente estudo, a capacidade dos SAFs que possuindo o mesmo histórico de uso do SAM de recuperação das propriedades física do solo relacionadas à macroporosidade.

Os SAFs apresentaram maior macroporosidade e menor microporosidade, em decorrência, provavelmente, da eficiência do sistema radicular na estruturação do solo. A maior macroporosidade na camada superficial do solo, para ambos os SAFs condiciona melhor difusão de oxigênio e drenagem do perfil que os outros sistemas apresentados OLI e PAS podem ter apresentado menor macroporosidade e maior microporosidade, em razão da compactação adicional do solo.

A microporosidade apresentou para SAM e SAFs, menores valores na profundidade. Observa-se que a macroporosidade e microporosidade variaram com a profundidade em função da interação com o manejo adotado, onde os valores foram significativos.

A macroporosidade mostrou-se sensível aos tipos de coberturas, variando de 8,37 % na profundidade de 0-10 cm sob pastagem a 25,98 % na profundidade de 0-10 cm sob remanescente florestal nativo.

Em termos gerais, observa-se que as áreas com maior intensidade de uso do solo (PAS e OLI) apresentam maiores valores de D_s e menores de P_t (TABELA 3). Quanto às profundidades, as camadas superficiais para os tratamentos que geralmente estão sujeitas a maior revolvimento do solo, apresentaram valores superiores aos da camada mais profundas para macroporosidade corroborando com resultados de Tormena et al. (2002) em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo.

O tamanho do agregado determina sua suscetibilidade à movimentação pelo vento e pela água, o espaço poroso e o seu arranjo interferem na movimentação da água, transferência de calor, aeração e porosidade (KLEIN, 2008). Solos que apresentam boa agregação possuem diâmetro maior em seus agregados, o que facilita a proteção da matéria orgânica e o melhor fluxo e armazenamento de água no solo. Em estudo sobre os efeitos de sistemas de manejo na agregação do solo Salton et al. (2008) encontraram relação entre estabilidade dos agregados com o teor matéria orgânica no solo.

A análise de estabilidade de agregados em água (FIGURA 2, TABELA 4) mostra que, em geral, os SAFs apresentaram maior proporção de agregados estáveis, em todas as profundidades, pelo menos até 0,25 mm. Essa análise mostra que há resistência dos agregados e, conseqüentemente, boa estruturação, nesses solos, possivelmente influenciados pelo manejo, ciclos de nutrientes, pela penetração das raízes, considerando a capacidade desses sistemas em resistir à

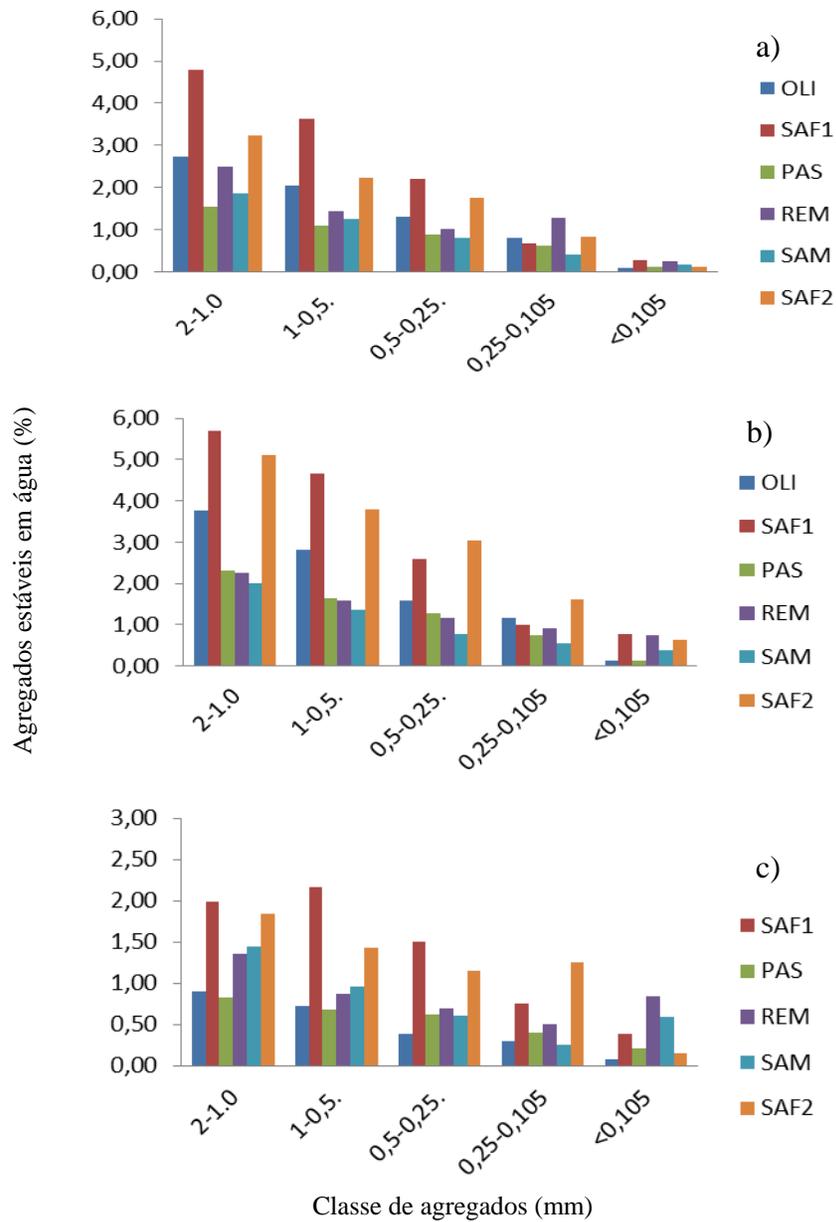
erosão, fatores determinantes para o crescimento das plantas. Para Calegari et al. (2006) e Campos et al. (1999) o uso das espécies de cobertura associado a sistemas conservacionistas de preparo do solo, com mínimo revolvimento, promove maior estabilidade da agregação do solo.

Tomando-se REM como condição original de agregação do solo, observa-se que os efeitos dos sistemas de cultivo manifestaram-se com menos intensidade sobre os agregados de diâmetro $< 0,105$ (FIGURA 1).

Observa-se um aumento da porcentagem de macroagregados (classe de agregados de 2 - 1 mm) para SAFs, Carvalho, Goedert e Armando (2004), estudando a qualidade do solo em SAFs verificou o aumento da estabilidade agregados nesse sistema, quando comparados a sistema convencional cultivado no mesmo solo.

Quanto ao SAF, os elevados valores de porcentagem de agregados obtidos evidenciam a relação com as características de raízes no perfil representadas pelas gramíneas, leguminosas e demais espécies utilizadas na adubação verde e culturas anuais. Além disso, é possível que as maiores adições de matéria orgânica ao solo decorrentes do manejo das plantas de cobertura possam contribuir com maior suprimento de carbono ao solo, favorecendo a atividade microbiana e, conseqüentemente, a estabilização dos agregados.

Figura 1 - Distribuição e estabilidade dos agregados estáveis em água menores que 2 mm, nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) em diferente sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.



Fonte: Dados do autor (2016)

Os maiores valores de DMG ocorreram nas camadas superficiais, apresentando redução na estabilidade de agregados com o aumento da profundidade, reduções nos valores de DMG em profundidade também foram observadas em trabalhos conduzidos por Beutler et al. (2001) e D'Andréa (2001) estudando a qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo e uso.

Os resultados de diâmetro médio geométrico (DMG) permitiram classificar, de acordo com Silva (2001), a estabilidade de agregados de alta a muito alta com valores variando, respectivamente, de 3,74 a 4,76 mm (TABELA 4).

Tabela 4 - Diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio de partículas (DMP) e porcentagem dos agregados na classe >2 mm, classe 2-1 mm e < 1 mm nas profundidades de 0-10, 10- 20 e 20-40 cm em diferente sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.

Profundidade (cm)	Áreas					
	OLI	PAS	SAM	SAF2	SAF1	REM
DMG (mm)						
0-10	4,76 aA	4,70 aA	4,58 aA	4,41 aA	4,32 aA	4,50 aA
10-20	4,38 aB	4,58 aA	4,57 aA	4,26 aA	4,02 aB	4,35 aA
20-40	4,17 aB	4,43 aA	4,50 aA	3,74 bB	3,75 bB	4,04 bA
> 2 mm (%)						
0-10	97,60 aA	97,24 aA	96,13 aA	94,17 aA	93,19 aA	95,72 aA
10--20	93,01 aB	95,74 aA	95,44 aA	91,83 aA	88,42 bB	93,50 aA
20-40	90,52 aB	93,89 aA	94,96 aA	85,83 bB	85,30 bB	91,46 aA
2 -1 mm (%)						
0-10	0,90 aA	0,83 aA	1,45 aA	1,84 aA	1,99 aA	1,35 aA
10--20	2,72 aB	1,53 aA	1,87 aA	3,22 aB	4,79 bB	2,50 aA
20-40	3,76 aB	2,30 aA	1,99 aA	5,11 bB	5,69 bB	2,26 aA
< 1 mm (%)						
0-10	1,49 bA	1,92 bA	2,42 bA	3,99 aA	4,81 aA	2,92 aA
10--20	4,26 aA	2,72 aA	2,69 aA	4,94 aA	6,79 aA	4,00 aA
20-40	5,71 aA	3,80 bA	3,05 bA	9,06 aA	9,00 aA	4,40 aA

PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos; SAF2=sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos.

Fonte: Dados do autor (2016)

É possível observar, na tabela, que o DMG foi significativamente diferente apenas na última camada, com menores valores para SAFs e REM. Para SAFs maiores valores de porcentagem de agregados > 1 mm podem estar relacionados com a implantação das culturas anuais que expõem as frações orgânicas aos microrganismos decompositores, e também que proporcionam maior quebra de macroagregados, pelo revolvimento do solo (BARRETO et al., 2006) e para OLI o fracionamento dos agregados pode estar relacionado às práticas mecanização de limpeza, manejo da área e preparo do solo para o cultivo.

Verifica-se uma boa estabilidade da estrutura do solo, a estabilidade de agregados variou de alta a muito alta para os sistemas de uso do solo e remanescente florestal, uma vez que os valores foram superiores a 3 mm, de acordo com Silva (2001) o que demonstra a boa condição física do solo. A baixa desintegração dos agregados, especialmente durante o peneiramento reflete uma elevada estabilidade contribuindo para melhorar a porosidade, infiltração da água e a resistência a erosão.

O efeito da profundidade sobre os índices de estabilidade de agregados não foi significativo para PAS, SAM e REM. Para porcentagem de agregados menores que 2 mm foi observado um aumento nos valores desses índices com o aumento da profundidade (TABELA 4).

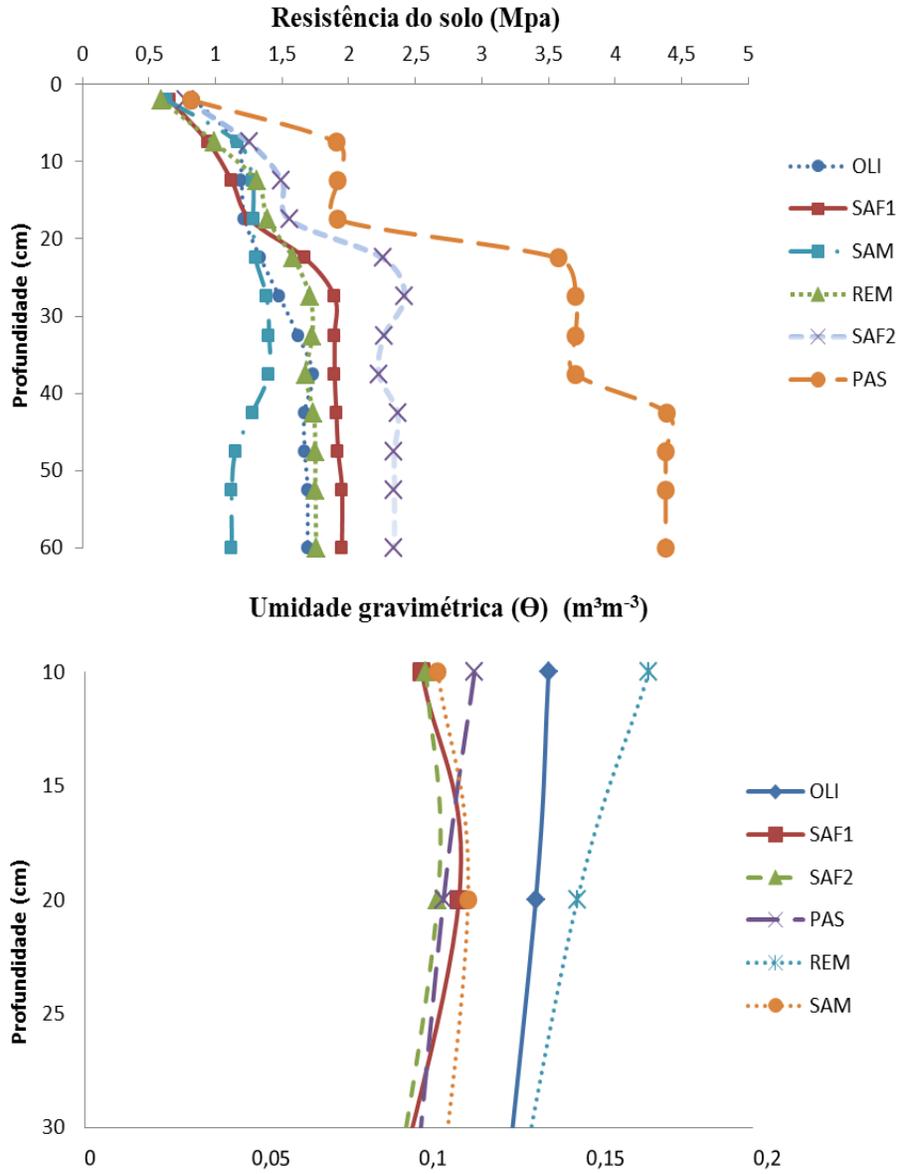
Observou-se maiores proporções de agregados maiores que 2 mm para a camada superficial para todas as áreas estudadas com altos valores variando entre 85,30 e 97,60 %. Esses valores corroboram com estudos de Wendling et al. (2005), estudando qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. As áreas estudadas não estão exercendo grande influência nas classes de agregados quando comparadas à floresta nativa exceto nas classes < 2 mm e 2- 1 mm com o estabelecimento de SAFs e < 1 mm com a conversão para PAS, OLI e SAM. Quando comparados o SAF de seis anos ao de três anos pode-se observar uma

diminuição significativa na porcentagem de agregados para classe > 2 mm e um aumento na porcentagem de agregados para classe entre 2 – 1 mm.

Já, nos sistemas PAS, com longo tempo de uso, também não foi observada redução significativa desse atributo, a provável explicação para a manutenção dessa condição está relacionada ao não revolvimento do solo nos últimos anos, nesses sistemas, além da capacidade agregante do sistema radicular da gramínea. Efeitos positivos na agregação do solo propiciados por gramíneas foram observados também por Wendling et al. (2005), comparando diferentes sistemas de manejo.

Para resistência do solo à penetração (RP) (Figura 3) observa-se que, a partir dos 10 cm de profundidade, as áreas avaliadas começam a apresentar maiores valores, Ralisch et al. (2008), estudando o comportamento da resistência à penetração em diferentes sistemas de manejo do solo, também verificaram aumento da resistência em profundidade. Neste estudo, foram observados para SAF1 valores mais próximos a REM e SAM. Na figura 4, observa-se que os valores de umidade gravimétrica atual do solo variam de 0,09 kg . kg⁻¹ (SAFs) a 0,17 kg . kg⁻¹ (REM). Para SAFs a umidade aumentou na primeira camada de 20 cm de profundidade no solo.

Figura 2 - Resistência do solo a penetração e umidade gravimétrica em diferentes sistemas de uso e manejo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.



Fonte: Dados do autor (2016)

PAS apresentou maior resistência à penetração até a profundidade de 60 cm. Para REM, SAFs e OLI houve menores valores de RP na superfície (0 a 20 cm) e maiores em profundidade, ao passo que, para SAM, ocorreu o inverso, diminuindo o valor na camada 40-60 cm de profundidade, SAM apresentou, em geral, menores valores de RP que podem ser resultantes da intensa malha de raízes proveniente de *Pteridium sp.* que podem chegar até 50 cm de profundidade. Para OLI esses valores podem ter sido influenciados pela alta precipitação no dia de coleta dos atributos de umidade e resistência à penetração do solo, nesse sistema de manejo e uso do solo. Menores valores de RP podem ser explicados pela alta umidade do solo. Na Tabela 5, pode-se observar a resistência do solo a penetração e valores da umidade gravimétrica para as diferentes áreas estudadas.

Tabela 5 - Resistência do solo e penetração (RP) e umidade gravimétrica (Θ) em Cambissolo Haplíco Distrófico submetido a diferentes tipos de manejo e uso do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.

Profundidade	PAS	OLI	SAF2	SAF1	SAM	REM
Resistência do solo a penetração (Mpa)						
0-10	1,36	1	1,01	0,80	0,90	0,79
10-20	1,92	1,21	1,53	1,19	1,28	1,29
20-40	3,67	1,54	2,29	1,84	1,37	1,67
40-60	4,38	1,69	2,34	1,93	1,12	1,75
RPMédia	3,23	1,44	1,97	1,59	1,21	1,50
RPMáx	4,39	1,73	2,42	1,95	1,40	1,76
RPMín	0,81	0,84	0,78	0,65	0,63	0,59
Umidade gravimétrica (Kg.Kg ⁻¹)						
0-10	1,16	1,38	1,02	1,00	1,24	1,68
10-20	1,07	1,35	1,13	1,12	1,14	1,47
20-40	1,04	1,20	0,97	0,97	1,16	1,20
Θ Média	1,15	1,33	1,06	1,06	1,19	1,51
Θ Máx.	1,91	1,64	1,43	1,37	1,44	2,53
Θ Mín.	0,81	1,04	0,83	0,81	0,88	0,70

PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaiá; SAF1=sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos; SAF2=sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos.

Fonte: Dados do autor (2016)

A RP está relacionada com a permanência da continuidade dos poros (GENRO JUNIOR et al., 2004) de forma que os menores valores de RP estão onde ocorrem menores perturbações, aumento nos valores de RP em sistemas cultivados, quando comparadas com a condição natural do solo foram observados por (MARTINS et al., 2002).

Foi observado de um modo geral aumentos de RP influenciados pela diminuição da umidade, porem observa-se para SAF1 menores valores de RP nas duas primeiras camadas e menor umidade quando comparadas a REM e SAM. Indicando que outros fatores podem estar determinando os resultados como os valores de densidade do solo para esse sistema de uso e manejo bem como os efeitos da incorporação de matéria orgânica ao solo. Tendência de resultados que não foram observados no sistema agroflorestal com três anos (SAF2) demonstrando a alteração desse atributo após alguns anos de manejo.

No pasto, a maior RP está relacionada à redução de macroporos e à elevada densidade do solo em conjunto com o sistema radicular da braquiária. Grande densidade de raízes preenchendo grande proporção desses macroporos e dificultando a penetração no solo e, conseqüentemente, aumentando a RP foram encontradas por Portugal et al. (2008) estudando Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da mata. Para Silva, Kay e Perfect (1994), a resistência à penetração atinge o limite crítico para o desenvolvimento de plantas em 2,0 MPa, nível crítico observado em PAS para a RP Média.

A condutividade hidráulica do solo (K) é uma medida da habilidade destes em transmitir água (WU et al., 1999) dependente da geometria do espaço poroso e seu arranjo que é definido pelo tamanho do agregado que determina sua suscetibilidade à movimentação pela água, transferência de calor, aeração e porosidade (KLEIN, 2008). Por ser dependente de propriedades do solo, a condutividade pode ser útil na diferenciação dos efeitos de sistemas de

manejo na movimentação de água no perfil, de acordo com estudo de Mota et al. (2013) em um cambissolo sob diferentes sistemas de manejo. Por ser dependente de propriedades do solo, a condutividade pode ser útil na diferenciação dos efeitos de sistemas de manejo na movimentação de água no perfil (SOUZA; ALVES, 2003).

A condutividade foi superior em áreas de SAFs, mata nativa e samambaial e para os demais contrastes, não houve diferenças (TABELA 5). A capacidade de infiltração de água no solo está relacionada à sua qualidade física e estrutural e ao histórico de manejo da área. Nos sistemas de uso do solo OLI e PAS o os elevados valores de densidade do solo e conseqüentemente a compactação desse solo, dificultam a infiltração da água.

Tabela 6 - Condutividade Hidráulica do solo (K) em diferentes sistemas de uso e manejo na APA Serra da Mantiqueira.

Tratamentos	K (mm.h ⁻¹)
REM	3,40 a
SAF2	3,15 b
SAF1	2,39 b
SAM	1,84 c
OLI	1,59 d
PAS	1,23 d
CV (%)	25.850

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Dados do autor (2016)

O maior valor para os sistemas de uso e manejo do solo de condutividade hidráulica foi observado no SAF2 (3,15 mm.h⁻¹), evidenciando uma condição de equilíbrio que favorece uma redistribuição de água, no perfil, de forma mais eficiente. Ambientes de SAFs e vegetação espontânea como REM e SAM mostraram-se mais permeáveis e capazes de armazenar maior volume de

água no perfil, provavelmente, em decorrência de maiores teores de matéria orgânica e quantidade de raízes, respectivamente, considerando que o solo descoberto apresenta baixa permeabilidade.

O sistema radicular quanto mais abundante concorre para a diminuição da densidade do solo que associada aos maiores teores de areia grossa e menores teores de argila, favorece a ocorrência de poros grandes e, conseqüentemente, de mais elevada condutividade hidráulica do solo quando saturado (MARTINS; AUGUSTO, 2012).

Martins e Augusto (2012) também encontraram correlação positiva da quantidade de raízes com a condutividade hidráulica. Toma et al. (2013), estudando solos sob sistemas agroflorestais, encontraram relação entre a maior condutividade hidráulica do solo e altos valores de matéria orgânica, porosidade e baixos valores de densidade. Bem como Martins e Augusto (2012) que encontraram relações da condutividade hidráulica, inversas ao teor de argila e a densidade do solo como pode-se perceber para OLI e PAS (TABELA 5).

3.3 Efeito dos sistemas de uso e manejo sobre os atributos do solo

Para caracterizar o efeito dos sistemas de uso do solo sobre seus atributos físicos e químicos, foi realizada Análise de Componentes Principais (ACP). Em uma análise de componentes principais, o agrupamento das amostras define a estrutura dos dados, por meio de gráficos com *scores* e *loadings* cujos eixos são componentes principais (CPs) nos quais os dados são projetados. Os *scores* fornecem a composição das CPs em relação às amostras, enquanto os *loadings* fornecem essa mesma composição em relação às variáveis. Como as CPs são ortogonais, é possível examinar as relações entre amostras e variáveis, por meio dos gráficos, o que permite estimar a influência de cada variável em cada amostra. A direção de maior variabilidade das amostras é indicada pela reta que representa um componente principal. Os *scores* são as projeções das

amostras na direção dos componentes principais e os *loadings* são os ângulos entre cada componente principal e cada variável.

Os atributos que melhor explicaram a variabilidade dos dados (TABELA 6), com maiores correlações com a CP1 foram; Saturação por alumínio (m) e acidez potencial (H+Al) (*loadings* = 0,3740; 0,3369, respectivamente). Por outro lado, nesse componente, também houve um gradiente inversamente proporcional com os valores de potencial hidrogeniônico (pH), e Soma de Bases (SB) (*loading* = -0,4075; -0,3731, respectivamente). O segundo eixo ou CP2 determinou um gradiente diretamente proporcional com os valores de Densidade do solo (Ds) (*loading* = 0,4415) e menores valores de Matéria orgânica (MO), Capacidade de Troca catiônica efetiva (t) e teores de fósforo (P) (-0,3915; -0,3749 e -0,3554, respectivamente).

Tabela 7 - *Loadings* dos atributos químicos e físicos do solo para as duas primeiras componentes da ACP na profundidade de 0-20 cm para diferentes sistemas de manejo na APA Serra da Mantiqueira, MG.

Variável	Componente principal	
	CP1	CP2
Areia	0,3315	-0,2431
Argila	-0,2675	0,2388
Macro	0,2449	-0,1406
Micro	-0,3013	0,0868
Ds	-0,0326	0,4415*
DMG	-0,0782	0,3146
pH	-0,4075*	-0,0139
MO	0,0835	-0,3915*
SB	-0,3731*	-0,2733
P	0,0346	-0,3554*
m	0,3740*	0,2481
t	-0,3063	-0,3749*
H+Al	0,3369*	-0,0779

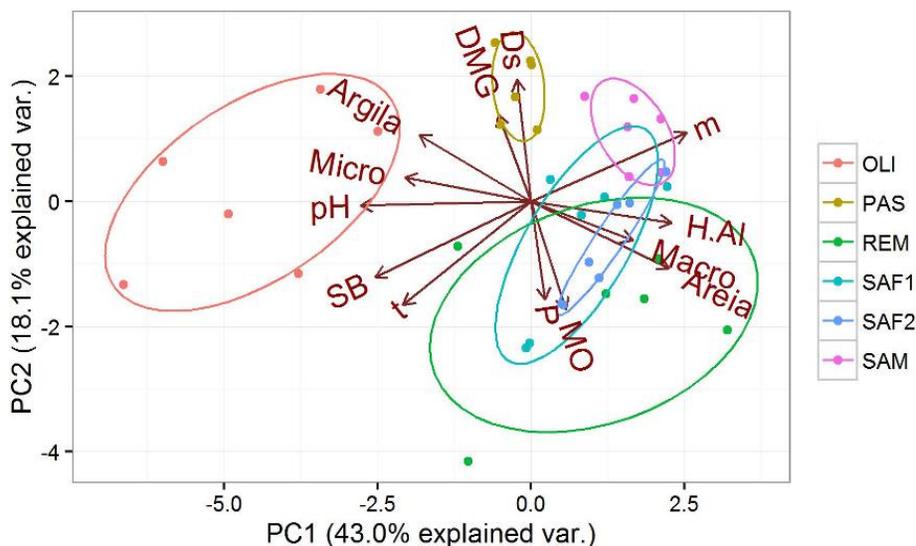
*Valores mais discriminatórios

Fonte: Dados do autor (2016)

Como já mencionado, os valores mais discriminatórios representam as variáveis que explicam a maior porcentagem de variação e são as que mais contribuem para alterar as características do solo em função do manejo, portanto as variáveis que apresentaram cargas fatoriais (*loadings*), abaixo desses valores são aquelas que retêm pequena parte da variação total, demonstrando que contribuem em menor proporção para discriminar o uso do solo nesse caso (PRAGANA et al., 2012).

Para a caracterização final, por meio da representação gráfica, apenas os dois primeiros CPs foram utilizados por serem considerados suficientes para explicar os dados e facilitarem a interpretação do gráfico em duas dimensões (GOMES et al., 2004). A PC 1 explicou 43% da variabilidade dos dados, e a PC2 18,1 %, retendo 61,1% da variabilidade total dos dados (FIGURA 3).

Figura 3 - Análise de componentes principais das médias dos atributos do solo para diferentes sistemas de manejo na APA Serra da Mantiqueira, MG.



Fonte: Dados do autor (2016)

Na análise de componentes principais, verificou-se que as características de fertilidade (m; pH; H+Al e SB), na camada arável do solo, foram as que mais caracterizaram os efeitos do uso e manejo sobre os atributos avaliados (43,0%). Esses resultados corroboram com resultados de Theodoro et al. (2003) que estudaram agroecossistemas de produção de café orgânico em conversão e convencional em relação a um fragmento de mata nativa, e encontraram características de fertilidade como as que mais caracterizaram (59%) os efeitos do uso e manejo sobre os atributos químicos e físicos avaliados. As tendências de ordenação dos dados foram confirmadas, por meio do teste Tukey (TABELA 2) que diferenciou OLI dos demais tratamentos ($p < 0,05$), analisando os atributos químicos e físicos selecionados na CP1 (TABELA 8).

Tabela 8 - P-valores do teste Tukey entre os contrastes de tratamentos testando os dois primeiras componentes principais dos atributos químicos e físicos dos solos para a profundidade de 0-20cm.

Contrastes	CP1	CP2
SAF1-OLI	0,001*	0,697
SAF2-OLI	0,001*	0,813
PAS-OLI	0,001*	0,066
REM-OLI	0,001*	0,023*
SAM-OLI	0,001*	0,559
SAF2-SAF1	0,947	1
PAS-SAF1	0,659	0,002*
REM-SAF1	0,997	0,405
SAM-SAF1	0,69	0,041*
PAS-SAF2	0,189	0,003*
REM-SAF2	0,998	0,296
SAM-SAF2	0,992	0,066
REM-PAS	0,386	0,001*
SAM-PAS	0,058	0,813
SAM-REM	0,910	0,001*

*Significativo a 0,05

Fonte: Dados do autor (2016)

O sistema de uso do solo OLI se posicionou à esquerda do primeiro eixo do diagrama de ordenação da ACP e foi influenciado, principalmente, pelos maiores teores de pH e SB, quando comparados aos outros usos do solo. Isso demonstra a boa fertilidade desse ambiente, por meio do uso de adubação química e calagem, pois neutralizam o Al trocável, dissociam os hidrogênios dos grupos funcionais da matéria orgânica, aumentando o reservatório de bases trocáveis e a disponibilidade de nutrientes.

REM se destacou dos demais ambientes por apresentar, de maneira geral, maiores valores de MO. Carvalho et al. (2015), estudando vegetação nativa remanescente quando comparada a reflorestamento, pastagem e integração lavoura-pecuária-floresta, encontraram resultados semelhantes aos

maiores valores de MO para a vegetação nativa encontrados neste estudo. Silva et al. (2015a) encontraram maiores valores para MO, H+Al e macroporosidade comparando ambiente de floresta nativa, reflorestamento e cultivo de cana-de-açúcar. Esses resultados também estão de acordo com Freitas, Casagrande e Desuó (2011) e Portugal et al. (2010), segundo os quais há um declínio no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas.

SAFs, REM e SAM possuem a maior relação com a acidez potencial (H+Al), possível consequência da maior lixiviação decorrente de melhores condições de drenagem. Apesar de solos mais argilosos possuírem H+Al em maiores quantidades, REM apresentou maiores valores de H+Al, em razão dos maiores teores de MO. A decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais causa a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis entre Ca e Mg com ligantes orgânicos (MIYAZAWA; PAVAN; CALEGARI, 1993), facilitando a descida desses cátions no perfil do solo (FRANCHINI et al., 1999), o que ocasiona a acidificação do solo (RANGEL; SILVA, 2007).

Nota-se que SAFs e SAM estão mais próximos de REM. A ACP das variáveis mostrou que, levando em conta todos os aspectos analisados, houve clara distinção entre ambientes de PAS e OLI (FIGURA 3). Essa separação é um indicador relacionado ao manejo dessas áreas.

Os restos vegetais que permanecem no solo após a colheita têm menor taxa de mineralização nos SAFs a qual, associada a maiores adições de carbono e nitrogênio, eleva seus teores no solo (BAYER et al., 1995), comparativamente aos sistemas convencionais (PAS e OLI). Com isso, aumenta a atividade biológica, resultando no incremento de substâncias húmicas (PRIMAVESI, 2002) e pode-se refletir sobre algumas propriedades físico-químicas, como a capacidade de troca de cátions e as formas de fósforo observadas na Figura 7. Na Figura 7, também foi observada relação inversa entre o aumento da Ds em

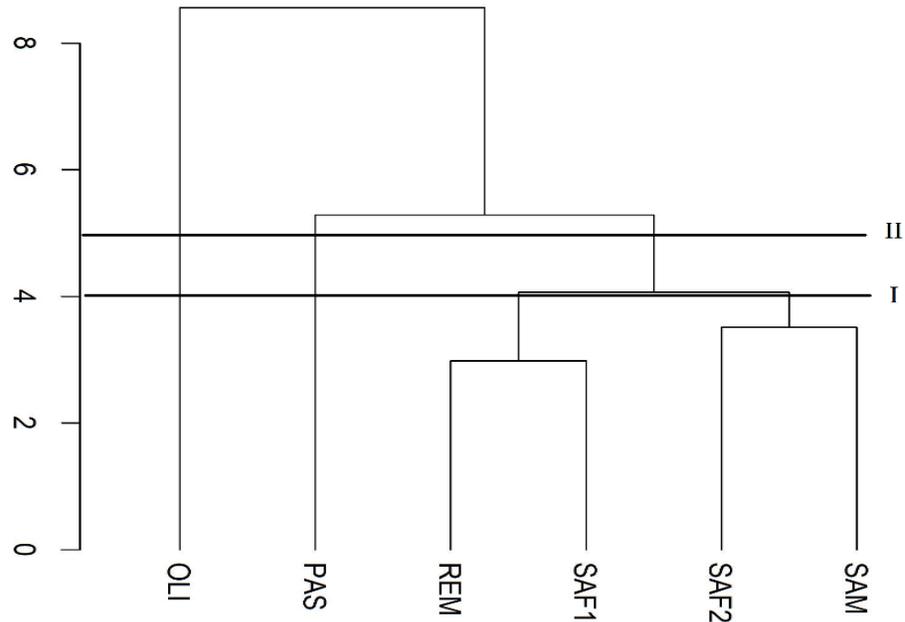
PAS e aumento dos teores de MO e P nos sistemas SAFs e REM, esse último motivado pela incorporação dos resíduos orgânicos nesses ambientes.

Todas as avaliações efetuadas mostram que os SAFs tendem a estabilizar suas características químicas próximas às do REM e que OLI, em razão da utilização de calcário e fertilizantes, facilita a oxidação da matéria orgânica, tendendo a diminuição do reservatório de nutrientes que precisam ser repostos a não exaustão do solo.

Contrastando os ambientes estudados, SAFs e REM apresentaram diferenças significativas quando comparados à PAS na CP2 (Ds; MO; t e P). REM e OLI apresentaram diferenças significativas para as duas componentes analisadas. SAM apresentou diferenças significativas quando comparado a REM e SAF1. Para SAF1, o valor de significância ($p = 0,04$) ficou próximo do limiar ($p = 0,05$).

Diante da possibilidade de utilização das variáveis selecionadas para distinção das áreas estudadas, fez-se uso da análise de agrupamento hierárquico, obtendo-se a variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos, que mostrou a ordenação dos acessos para o conjunto de variáveis dos atributos do solo, sendo possível a divisão em grupos (TABELA 8 e FIGURA 4). Essa técnica permite agrupamentos de variáveis com atributos semelhantes entre si e com aumento de variabilidade entre os grupos formados. A diferenciação dos grupos foi bem definida, mostrando as particularidades de cada sistema de uso do solo estudado (TABELA 2).

Figura 4 - Dendrograma de agrupamento das variáveis físicas e químicas para a profundidade de 0-20 cm em diferentes sistemas de manejo e uso do solo na APA Serra da Mantiqueira.



Nessa análise, foram admitidos dois cortes na distância euclidiana de quatro (corte I) e cinco (corte II). Essas diferenças possibilitam uma análise mais generalizada da qualidade das áreas estudadas. Para o Corte I, foram formados quatro grupos, o primeiro grupo formado pelo SAM e SAF2, indicando que esse sistema de uso do solo se aproxima mais do ambiente de regeneração espontânea quanto aos atributos estudados. O segundo grupo foi formado pelo SAF1 e REM, indicando uma maior similaridade entre essas áreas. O terceiro grupo foi formado pela PAS e o quarto por OLI.

Para o Corte II, formaram-se três grupos distintos. O primeiro é composto pelas áreas sem atual ação antrópica e os sistemas de manejo conservacionistas, o segundo pela área de PAS e o terceiro pela área de OLI.

Com isso, percebe-se que na PCA, as elipses que demarcam a dispersão dos dados de cada tratamento têm sobreposições parciais e/ou totais entre tratamentos com maior proximidade confirmada no dendograma, bem como observamos também uma menor sobreposição parcial ou mesmo ausência de sobreposição para os tratamentos que possuem agrupamentos distintos das demais áreas como foi o caso de OLI e PAS.

A análise de componente principal e a análise de agrupamento mostram de forma clara a ligação ou as alterações nos solos, quando se aplica um manejo específico. Quando OLI é comparado com os demais ambientes, percebe-se a diferenciação por meio do alto uso de insumos representado pela adubação química e calagem na implantação e manutenção da cultura, além dos baixos teores de matéria orgânica. Essas práticas produzem uma modificação acentuada no solo, fazendo com que o mesmo se torne diferente do solo originalmente coberto por floresta. Segundo Albuquerque, Sangoi e Ender (2001), Andreola, Costa e Olszewsky (2000) e Spera et al. (2007), sempre que as áreas florestais são submetidas ao processo produtivo agrícola convencional, os atributos químicos e físicos do solo sofrem alterações desfavoráveis comprometendo o desenvolvimento vegetal ou a sustentabilidade produtiva do sistema. Para Qishlaqi, Moore e Forghani (2009), a prática de adubação química e corretiva é importante na sustentação e segurança de terras aráveis, potencializando o sistema agrícola convencional.

A densidade do solo é afetada pela cobertura vegetal, pelo grau de compactação, pelo teor de matéria orgânica, pelo seu uso e manejo e pela profundidade (AGUIAR, 2008). A densidade do solo é considerada um importante indicador de qualidade do solo, em decorrência da sua resposta em médio prazo. Os ambientes PAS e OLI modificaram a estrutura do solo, com aumento da densidade do solo e a redução da macroporosidade corroborando Argenton et al. (2005), que verificaram a qualidade física de um solo sob

diferentes sistemas de preparo em comparação com mata nativa. Essas áreas apresentaram maior agregação, em razão da compactação do solo pela maior pressão recebida com o pisoteio animal, uso de máquinas agrícolas e em decorrência da pouca cobertura do solo, ocasionando maior exposição aos raios solares (PORTUGAL et al., 2010).

Um dos atributos afetados pela matéria orgânica é a densidade do solo, relação entre a massa e volume. Quanto maior a macroporosidade, menor será sua densidade. A matéria orgânica tem o poder de flocular o solo, abrir espaços e, evitar a compactação, por isso, diminui a massa em relação ao volume. Ademais, a matéria orgânica em si tem densidade menor do que a matéria mineral (GOMES et al., 2015).

Por meio das análises multivariadas, pode-se concluir que a intensidade e tipo de uso do solo ocasionaram diferenças e similaridades refletidas pelos atributos do solo escolhidos. Os atributos pH; SB; m; H+Al; Ds; MO; t e P foram os que mais discriminaram os grupos, sendo considerados bons indicadores de qualidade físico-química dos solos nas condições apresentadas. A similaridade entre um ambiente em equilíbrio (REM) com o SAF1 pode indicar os benefícios do manejo agroecológico em questão. Ao mesmo tempo, é possível dizer que SAF2, em três anos, assemelhou-se ao ambiente em regeneração natural (SAM).

4 CONCLUSÃO

O teor de P foi maior no SAF2 e em REM, o teor de K para OLI e REM deferindo dos demais sistemas de uso do solo. Para Ca e Mg OLI apresentou, significativamente, maiores valores seguidos por SAFs e REM. Para Al, apenas OLI mostrou diferença significativa, apresentando menores valores e REM os maiores. Para SB, maiores valores foram apresentados por OLI, REM e SAFS que obtiveram valores significativamente semelhantes. Em geral, os teores diminuíram com a profundidade com exceção para SAM onde os teores aumentaram na camada de 10-20 cm.

Nos SAFs há níveis significativamente maiores de fertilidade relativos à matéria orgânica (SAF1) e à disponibilidade de fósforo (SAF2), quando comparados aos demais sistemas de manejo. Quanto aos atributos físicos, esses sistemas de uso do solo apresentaram condições semelhantes ao ambiente de referência, através, principalmente, dos atributos macroporosidade, densidade do solo a estabilidade de agregados.

A análise de estabilidade de agregados em água mostra que os SAFs apresentam maior proporção de agregados estáveis em todas as profundidades, o que demonstra boa estruturação nesses solos influenciados pelo manejo.

Os atributos do solo que mais discriminaram os sistemas de uso e manejo, por meio das análises multivariadas, foram o potencial hidrogeniônico (pH); soma de bases (SB); saturação por alumínio (m), acidez potencial (H+Al); densidade do solo (Ds); teor de matéria orgânica (MO); capacidade de troca catiônica efetiva (t); e teor de fósforo (P). Esses atributos foram considerados bons indicadores físico-químicos para avaliar a qualidade do solo nas condições apresentadas, visando a proporcionar a manutenção e monitoramento desses tipos de uso e manejo dos solos na APA Serra da Mantiqueira.

Verificou-se a necessidade de ações de manejo com vistas ao controle do *Pteridium*, pois, na perspectiva da qualidade do solo, a manutenção da

regeneração natural por si não é suficiente para garantir a recuperação da área. Com isso, é possível dizer que os SAF2 com três anos já apresentam potencial para recuperação relacionado aos atributos do solo avaliados, sendo bom indicativo de manejo para conter e controlar os samambaias, ambientes que representam problemas recorrentes na APASM.

Os resultados permitiram dizer que os SAFs podem ser indicados para a manutenção da qualidade do solo e da produção de alimentos na região. Tendo em vista os atributos avaliados tais valores sugerem que a implementação dos SAFs agroecológicos na APA Serra da Mantiqueira expressa condições satisfatórias, proporcionando qualidade do solo em condições semelhantes ao ambiente de referência.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 717-723, set. 2001.
- ALFAIA, S. S. et al. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 102, n. 3, p. 409-414, May 2004.
- ALVARENGA, C. C. et al. Soil quality index associated to the groundwater recharge (SQI GR) in the Upper Rio Grande Basin, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, 2012.
- AMARAL, F. C. S. et al. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 95 p.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, dez. 2000.
- ARAÚJO, A.R. **Solos da Bacia do Alto Rio Grande (MG): base para estudos hidrológicos e aptidão agrícola**. 2006. 345 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- ARAÚJO, E. A. et al. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 307-315, 2004.
- ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, jun. 2005.

ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de hum nitossolo vermelho distroférico solúçar sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 515-522, jul. 2005.

BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 4, p. 415-425, out./dez. 2006.

BAYER, C. et al. Teores de carbono e nitrogênio total em um solo Podzólico-Vermelho-Escuro submetido 9 anos a diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 2036-2038.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 235-239, dez. 1997.

BENITES, V. M. et al. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Revista Floresta Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 25-46, jan. 2003.

BENITES, V. M., et al. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, Internacional, v. 127, n. 1, p. 104-113, Jan. 2005.

BERTIN, E. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 379-386, jul./set. 2005.

BESKOW, S. et. al. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, Internacional, v. 79, n. 1, p. 49-59, Oct. 2009.

BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 167-177, jan./mar. 2001.

BILIBIO, W, D.; CORREA, G. F.; BORGES, E. N. Atributos físicos e químicos de um latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 817-822, jul./ago. 2010.

BOER, C. A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, set. 2007.

BOLEY, J. D.; DREW, A. P.; ANDRUS, R. Effects of active pasture, teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soils chemistry in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Austrália, v. 257, n. 11, p. 2254-2261, May 2009.

BORGES, E. et al. Determinação das propriedades hidráulicas de solos não saturados utilizando-se permeâmetros a disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2083-2090, nov. 1999.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p.

BURLE, M. L. et al. **Caracterização das espécies de adubo verde**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. p. 71-142. 70. 369 p.

CALEGARI, A. et al. Caracterização das principais espécies de adubos verde. In: COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: As-PTA, 1993. p. 206-319.

CALEGARI, A. et al. Melhoria da agregação do solo através do sistema de plantio direto. **Semina**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 147-158, abr./jun. 2006.

CAMPOS, B. C. et al. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 383-391, jun. 1999.

CARDOSO, E. L. et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 613-622, abr. 2011.

CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 154 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, jan. 2009.

CARTER, M. R. Temporal variability of soil macroporosity on a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 35-51, July 1988.

CARVALHO, D. A. et al. Variações florísticas e estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta ombrófila alto-montana às margens do Rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 91-109, jan./mar. 2005.

CARVALHO, R. P. de. et al. Atributos físicos e químicos de um neossolo quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 148-159, jan./mar. 2015.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, nov. 2004.

CURI, N. et. al. Distinção de ambientes agrícolas e relações solo-pastagens nos Campos da Mantiqueira (MG). In: EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; CURI, N. (Ed.). **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes MG**. Lavras: ESAL, 1994. p. 21-43.

D'ANDREA, M. et al. Biological indicator attributes os soil quality under management systems in the Cerrado region of the southern Goiás state, Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-923, out./dez. 2002.

DALBEN, A. D.; OSAKI, F. Atributos físicos do solo de um Cambissolo Háplico em floresta nativa e de Pinus taeda. **Revista Acadêmicas de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 29-37, jan./mar. 2008.

D'ANDRÉA, A. F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Sul de Goiás**. 2001. 104 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p. 443-461.

DEBIASI, H. et al. Produtividade de soja e milho APOS coberturas de inverno e descompactação mecânica do Solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 603-612, jun. 2010.

DIAS JÚNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 175-182, maio/ago. 1996.

DIAS, H. C. T. et al. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 469-481, jun. 2003.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Green manuring grapevine with legumes in the submiddle São Francisco River valley. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 641-648, jul./ago. 2004.

FAVERO, C.; LOVO, I. C.; MENDONÇA, E. S. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 861-868, set./out. 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Understanding mountain soils**: a contribution from mountain areas to the international year of soils 2015. Rome: FAO, 2015. 169 p.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 533-542, jul./se. 1999.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DESUÓ, I. C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 11, n. 2, p. 137-147, dez. 2011.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 477-484, maio/jun. 2004.

GOMES, J. B. V. et al. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 137-154, jan./fev. 2004.

GOMES, R. L. R. et al. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, São Luis de Montes Belos, v. 9, n. 1, p. 72-139, fev. 2015.

GUIMARÃES, G. P.; CHAVES, K. O.; MENDONÇA, E. de S. Erosão hídrica e compartimentos da matéria orgânica do solo em sistemas cafeeiros conservacionistas e convencionais. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 365-374, ago. 2015.

HOPKINS, A. B. (*Pteridium aquilinum*): its distribution and animal health implications. **British Veterinary Journal**, Kingdom, v. 146, n. 4, p. 316-326, July/Aug. 1990.

ICMBIO. **Diagnostico socioeconômico, histórico e cultural da área de proteção ambiental da Serra da Mantiqueira**: relatório de dados secundarios. Curitiba: ICMBIO, 2013. 405 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A. et al. Continuidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em sub-bacia hidrográfica de cabeceira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 914-922, maio/jun. 2008.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 425-442.

KIEHL, E. Y. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 264 p.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 240 p.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 211-218, jun. 1999.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Internacional, v. 19, n. 2/3, p. 274-286, Feb. 1991.

LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, out. 2003.

LIMA, H. V. de et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1085-1098, out. 2007.

LIMA, S. S. et al. Atributos químicos e estoque de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho – Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 51-60, jan./fev. 2011.

LÓPEZ NETTO, A. **Políticas públicas para o desenvolvimento rural sustentável em ambientes de montanha no Brasil e na Argentina**. 2013. 167 p. Tese. (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

LOSS, A. et al. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 68-75, jan. 2009.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D. et al. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1531-1539, out. 2006.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

MARTINS, P. F. da S.; AUGUSTO, S. G. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cacaueteiro, da pupunheira e do açazeiro na Amazônia oriental. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 5, p. 723-730, out. 2012.

MARTINS, P. F. da S.; AUGUSTO, S. G. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cacauzeiro, da pupunheira e do açazeiro na Amazônia oriental. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 5, p. 723-730, out. 2012.

MARTINS, S. G. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, jan. 2002.

MELÉM JÚNIOR, N. J. et al. O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 499-506, jul./set. 2008.

MENEZES, J. M. T et al. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 893-898, abr. 2008.

MENEZES, M. D. et al. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 411-416, set./dez. 1993.

MOTA, J. C. A. et al. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, out. 2013.

NEVES, Y. P. et al. Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 575-588, jul./ago. 2007.

OLIVEIRA, I. A. de et al. Characterization of soils under different land uses in the southern region of the Amazonas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 45, n. 1, p. 1-12, Mar. 2015.

PEREIRA, M. F. S. et al. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista ACSA**, v. 9, n. 2, p. 21-32, abr./jun. 2013.

PERIN, E.; CERETA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do Planalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 665-674, ago. 2003.

PINTO, L. C. et al. Micromorphology and pedogenesis of mountainous inceptisols in the mantiqueira range (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 5, p. 455-462, out. 2015.

PORTUGAL, A. F. et al. Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 249-258, fev. 2008.

PORTUGAL, A. F. et al. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575-585, fev. 2010.

PRAGANA, R. B. et al. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1591-1600, mar./abr. 2012.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

QISHLAQI, A.; MOORE, F.; FORGHANI, G. Characterization of metal pollution in soils under two landuse patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis." **Journal of Hazardous Materials, Internacional**, v. 172, n. 1, p. 374-384, July 2009.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. 409 p.

RALISCH, R. et al. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 36-42, out. 2008.

RAMOS, M. R. et al. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 58, n. 1, p. 45-51, jan./mar. 2015.

- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 10, p. 1609-1623, nov./dez. 2007.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 29-48, jul./dez. 2003.
- RIBEIRO, S. C. et al. Natural regeneration of deforested areas dominated by *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn located in the Serra da Mantiqueira mountain range. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 65-76, jan./mar. 2013.
- SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, jan./fev. 2008.
- SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. C. Qualidade do solo: uma visão holística. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 15-18, abr./jun. 2002.
- SANTANA, M. B. et al. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2006.
- SANTOS, M. de C. N. et al. Influência topo-edafo-climática na vegetação de um fragmento de Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 928-942, Dec. 2015.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 2 p. 507-512, Sept. 1974.
- SENA, M. M. et al. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 67, n. 2, p. 171-181, Sept. 2002.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, USA, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, Jan. 1994.

SILVA, G. F. et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015a.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Aggregate stability as affected by cropping systems and soil characteristics. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 311-317, abr./jun. 1998.

SILVA, L. S. et al. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 1, p. 17-26, jan./mar. 2015b, 10.

SILVA, R. R. **Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na região Campos das Vertentes, Bacia Alto Rio Grande - MG**. 2001. 97 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

SILVA, S. H. G. et al. A technique for low cost soil mapping and validation using expert knowledge on a watershed in Minas Gerais, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Tennessee, v. 78, n. 4, p. 1310-1319, Aug. 2014.

SIMAS, F. N. B. et al. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, n. 3/4, p. 187-201, Apr. 2005.

SOUZA, H. N. et al. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 146, n. 1, p. 179-196, Jan. 2012.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, jan./abr. 2003.

SPERA, S. T. et al. Efeito de sistemas de manejo em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 13, n. 1/2, p. 61-68, mar. 2007.

STOLF, R.; FERNADES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto**: modelo IAA/PLANALSUCAR/STOLF. Piracicaba: Ministério da Indústria e Comércio, 1983. 9 p. (Boletim Técnico, 1).

STOLF, R. Teoria e tese experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-235, jul. 1991.

STONE, J. A.; LARSON, W. E. Rebound of five one-dimensionally compressed unsaturated granular soils. **Soil Science Society of America Journal**, USA, v. 44, n. 4, p. 819-822, Jan. 1980.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology: the physics of irrigated on nonirrigated soils**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 532 p.

THEODORO, V. C. A. et al. Avaliação do estado nutricional de agroecossistemas de café orgânico no Estado de Minas Gerais. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1222-1230, dez. 2003.

THONY, J. L. et al. Field measurements of the hydraulic properties of soil. **Soil Technology**, Cremlingen, v. 4, n. 2, p. 111-123, Lune 1991.

TOMA, A. et al. Evolução temporal do comportamento físico-hídrico do solo de um sistema agroflorestal no Vale do Ribeira – SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 237-248, jun. Jun. 2013.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, out./dez. 2002.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421-428, mar. 2008.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, London, v. 58, n. 301, p. 236-244, Mar. 1963.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, maio 2005.

WOHLENBERG, E. V. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, set./out. 2004.

WU, L. et al. Measuring saturated hydraulic conductivity using a generalized solution for single-ring infiltrometers. **Soil Science Society of America Journal**, USA, v. 63, n. 4, p. 788-792, June 1999.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disc infiltrometer. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p. 1024-1030, July 1997.

**CAPÍTULO 4 INDICADORES BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO
SOLO UTILIZANDO MACROFAUNA INVERTEBRADA EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS AGROECOLÓGICOS NA APA SERRA
DA MANTIQUEIRA, MG**

RESUMO

A fauna do solo tem importante papel na sustentabilidade do sistema, pois possui alta sensibilidade a alterações no ecossistema e pode ser usada como indicador de qualidade do solo, sendo sua composição um reflexo do padrão de funcionamento dos solos. Neste trabalho, objetivou-se determinar a densidade, diversidade e a biomassa da macrofauna edáfica e avaliar o efeito do uso do solo sob a mesma, bem como a relação destas com atributos químicos e físicos do solo, por meio de técnicas multivariadas. Os sistemas agroflorestais agroecológicos foram comparados com outros sistemas de uso e manejo do solo, tendo como ambiente de referência uma área de floresta nativa. A macrofauna foi amostrada nas épocas de verão e inverno, de acordo com o método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF). Os sistemas de manejo e de preparo do solo afetaram a estrutura dos grupos taxonômicos dominantes da macrofauna edáfica. A densidade e riqueza de espécies dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica variou com a época de coleta. O grupo Isoptera (Blattaria) apresentou maior densidade dentro dos sistemas estudados. A maioria dos grupos apresentou correlação com o teor de matéria orgânica e com a densidade do solo. De modo geral, observou-se que os ambientes de SAFs tendem a propiciar condições mais próximas da qualidade do solo quando comparadas ao ambiente de referência para a colonização de grupos da fauna edáfica. Os resultados demonstraram que SAF1 apresentou maior capacidade de transformação e resiliência quando avaliado dentro das duas épocas.

Palavras-chave: Conservação do solo. Sistemas de uso do solo. Agricultura de montanha. Engenheiros do solo.

**CHAPTER 4 BIOLOGICAL INDICATORS OF QUALITY FOR SOIL
QUALITY USING INVERTEBRATE MACROFAUNA IN
AGROECOLOGIC AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE PROTECTED
AREA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG, BRAZIL.**

ABSTRACT

Soil fauna has an important role in system sustainability, since these organisms are highly sensible to ecosystem alterations and can be used as indicators of soil quality. Their composition reflects the pattern of soil functioning. Our objective was to determine soil macrofauna density, diversity and biomass and evaluate the effect of soil use over it and how macrofauna is related to soil physic and chemic attributes through multivariate techniques. Agroecologic agroforestry systems were compared to other systems and to a native forest as the reference ecosystem. Macrofauna was sampled during summer and winter according to the Tropical Soil Biology and Fertility protocol. The soil management and preparation systems affected the structure of soil macrofauna dominant taxonomic groups. Species density and richness varied according to sampling period. Isoptera (Blattaria) showed the greatest density amongst the studied systems. Most groups showed correlation to organic matter content and soil density. In general, considering the colonization of soil macrofauna, agroforestry systems tend to provide soil quality conditions similar to the reference ecosystem. The results demonstrated that one of the agroforestry systems showed higher capacity of transformation and higher resilience when comparing the two sampling periods.

Key-words: Soil conservation. Soil use systems. Mountain agriculture. Soil engineers.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui a maior biodiversidade do planeta. O solo é provavelmente um dos habitats terrestres mais ricos em espécies. A fauna edáfica é um importante componente dessa diversidade modificando, principalmente, a mobilização de nutrientes e o melhoramento da estrutura do solo por meio da ativação da microvida (PRIMAVESI, 2002).

A macrofauna edáfica compreende os maiores invertebrados que vivem no solo. Inclui organismos visíveis a olho nu com o tamanho do corpo maior que 1 cm (LAVELLE et al., 1997) e/ou com diâmetro do corpo acima de 2mm , sendo representada por mais de 20 grupos taxonômicos (MELO et al., 2009). Em função do seu tamanho, a macrofauna, apresenta características morfológicas que favorecem fortemente sua atuação na fragmentação, incorporação e decomposição de matéria orgânica e nas características físicas do solo. Mudanças na estrutura da comunidade da meso e macrofauna podem indicar possíveis diferenças no funcionamento do solo (AQUINO; CORREIA; ALVES, 2008).

A mesofauna compreende invertebrados de tamanho médio (100 µm – 2 mm), taxonomicamente diversos, incluindo colêmbolos, protura e diplura, animais que não são capazes de criar sua própria galeria e habitam os espaços porosos do solo e, sendo afetados particularmente pela compactação do solo (HEISLER; KAISER, 1995). Suas atividades tróficas incluem tanto o consumo de microrganismos e da microfauna, quanto também a fragmentação do material vegetal em decomposição, alterando a ciclagem de nutrientes, afetando a estrutura do solo produzindo pelotas fecais, criando bioporos, promovendo a humificação (CORREIA; OLIVEIRA, 2000). Possuem habilidade de escavar, geralmente vivem nos poros do solo e podem também alimentar-se de matéria orgânica (BROWN et al., 2006).

Os animais invertebrados do solo participam ativamente das interações entre os processos biológicos, físicos e químicos, sendo considerados ótimos indicadores de qualidade do solo (LAVELLE et al., 2006), são sensíveis a modificações ocorridas no ambiente resultantes das diferentes práticas de manejo do solo e de cultivo. Dependendo do tipo e intensidade do impacto promovido ao ambiente, tais práticas podem ter efeitos sobre determinadas populações, ou seja, podem aumentar diminuir ou não influir na diversidade de organismos edáficos (BARETTA et al., 2011).

A densidade e diversidade desses organismos, assim como a presença de determinados grupos específicos em um sistema, podem ser usadas como indicadores da qualidade dos solos (BARROS et al., 2003; PAOLETTI, 1999).

Os problemas ambientais na região da APA Serra da Mantiqueira são decorrentes principalmente do cultivo impróprio da terra, causando o empobrecimento do solo, que torna o incentivo a sistemas agroecológicos uma opção estratégica para a região. Os Sistemas agroflorestais sob bases agroecológicas são uma alternativa de produção agrícola que alia a produção de alimentos com a recuperação e conservação dos recursos naturais propondo modelos de arranjo e manejo sustentáveis

Por serem sistemas diversificados, os sistemas agroflorestais adicionam ao solo uma quantidade maior de matéria orgânica e oferecem refúgio às populações e a diversidade da fauna do solo. A fauna edáfica tende a aumentar em comparação aos sistemas agrícolas convencionais nesses sistemas (BROWN; MASCHIO; FROUFE, 2009). De acordo com Brown et al. (2006), a maioria dos estudos sobre a fauna edáfica realizados no Brasil foi feita na Amazônia e poucos trabalhos foram realizados na Mata Atlântica.

No presente estudo, testa-se a hipótese de que os SAFs sob bases agroecológicas apresentam composição da fauna mais próxima ao ambiente de referência determinado pelo remanescente florestal nativo, quando comparado

aos outros sistemas de uso e manejo do solo. Portanto, objetivou-se, neste estudo, avaliar o efeito do uso e manejo do solo sobre a diversidade, densidade e biomassa da fauna edáfica e sua relação com os atributos químicos e físicos do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos com diferentes idades, pastagem, cultivo de oliveiras, regeneração natural dominada por samambaias e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira, Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área do estudo

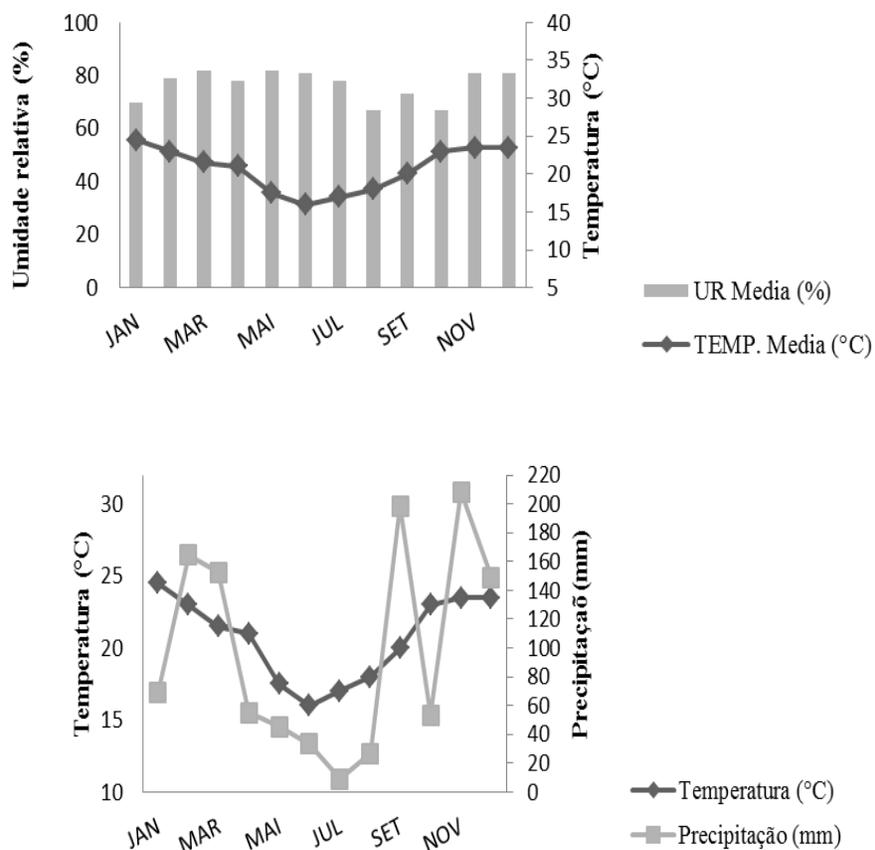
A área de estudo compreende dois municípios: Alagoa, entre as coordenadas 22°10' S de Latitude e 44°36' W de Longitude; e Bocaina de Minas, entre as coordenadas 22°10' S de Latitude e 44°30' W de Longitude. Na porção mineira da ASPAM, estão localizadas as maiores altitudes médias do estado variando entre 1200 e mais de 1800 metros. O relevo é nitidamente escarpado e as declividades maiores que 70% com vales profundos de até 700 metros com relevo escarpado (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, 1983). É um ambiente formado por cristas, vertentes íngremes e vales; características dos municípios que compõem o estudo.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região pode ser classificado como Cwb (subtropical de altitude), clima temperado úmido, significando balanço hídrico altamente positivo ao longo do ano. Os invernos frios são menos úmidos que os verões que apresentam chuvas elevadas e temperaturas moderadas, incluindo cerca de 80% da quantidade total de precipitação (CARVALHO et al., 2005). A elevada precipitação anual, oscilando entre 1400 chegando a pouco mais de 2000 mm por ano, é uma característica marcante nas Terras Altas da Mantiqueira. As médias mensais variam de 341 mm, no trimestre mais chuvoso (dezembro a fevereiro) e a precipitação média inferior a 60 mm geralmente no trimestre mais seco (junho a agosto) (CARVALHO et al., 2005). Durante os meses de menor incidência de chuva, ocorre formação de neblina, fornecendo água, um processo determinado precipitação horizontal, fundamental para o ecossistema em estudo e essencial para sua manutenção (HAMILTON; JUVIK; SCATENA, 1995).

O ano de 2015, foi considerado por todas as principais instituições medidoras como o ano mais quente da história, em decorrência do aquecimento

global e a um *El niño* extremo (NASA, 2016). Um ano atípico pela baixa de chuvas no mês de janeiro e pela intensidade de chuvas, ao longo do inverno e no mês de setembro. Pode-se observar, na Figura 1, as médias de temperatura e umidade na região no ano de 2015. A temperatura anual ficou acima da média normal (20° C), e a precipitação média anual muito baixa (97 mm), quando comparadas aos anos anteriores, configurando 2015 como um ano anômalo.

Figura 1 - Comportamento da umidade relativa, temperatura e precipitação médias no ano de 2015, nos municípios de Alagoa e Bocaína de Minas, MG.



Fonte: Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (2016)

Nos locais de estudo, predominam Florestas Ombrófilas Densas Montanas *sensu* IBGE (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991) ou também denominada Floresta Ombrófila Altomontana (OLIVEIRA-FILHO et al., 2007) considerando que os limites entre Floresta Altomontana e Montana não são precisos, podendo ocorrer uma transição gradual no local de pesquisa. Para Oliveira-Filho (2009), a formação que ocorre a partir de 1000 m de altitude, considerando a mesma faixa latitudinal, é denominada Tropical Superomontana. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), o solo no local de estudo é o Cambissolo Háptico (CX) classificado, segundo Araújo (2006), como Cambissolo Háptico Distrófico típico.

A implantação do cultivo convencional de oliveira (OLI) foi realizada por meio de aragem, gradagem e posterior calagem. O plantio das oliveiras foi realizado em janeiro de 2010, antes disso a área era utilizada como pastagem. Para o plantio foi realizada adubação por cova (800g de superfosfato simples, 200g de cloreto de potássio, 80g de ácido bórico, 10l de adubo orgânico), são realizadas adubações de cobertura (20-00-20, considerando 150g por planta), pulverizações para o controle de pragas e aplicação de herbicidas para o mato controle, além de práticas silviculturais como coroamento, amarrio, desbrota, poda para a condução das árvores ao longo do ano. O espaçamento utilizado foi de 6 x 4 m.

A pastagem extensiva para produção de gado de corte (PAS) é uma área de pastagem nativa que foi substituída por braquiária (*Uruçloa sp.*) há 20 anos. A substituição se deu, por meio do plantio de roça de milho e posterior semeio da braquiária. A implantação foi realizada, por meio de aragem com trator e calagem com uso de calcário e termofosfato. O pasto é roçado duas vezes ao ano. Possui população de cinco unidade animal (UA)/ha. O manejo rotativo do gado se diferencia ao longo das épocas do ano sendo com uma frequência mensal no verão.

A área de regeneração natural é uma área de pastagem nativa abandonada há nove anos e dominada pela samambaia *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, conhecida, na região por seu alto poder invasivo. Essa área está denominada, neste estudo, por samambaial (SAM). Observa-se a regeneração das comunidades arbóreas ocorrendo simultaneamente à colonização por samambaias.

O remanescente florestal nativo (REM) é uma floresta secundária com mais de 40 anos em regeneração natural, pós-pastagem nativa.

Os sistemas agroflorestais agroecológicos antes da implantação possuíam características similares à área de SAM, compostos por pastagem, queima e depois dominada por *Pteridium*. Esses sistemas preconizam em seu manejo algumas técnicas como a manutenção da cobertura do solo, plantio direto, adubação verde, a baixa utilização de insumos comerciais externos e a supressão completa do uso de agroquímicos, por se tratar de um sistema de produção orgânica e agroecológica, além do uso de espécies vegetais diversificadas.

A implantação dos Sistemas Agroflorestais agroecológicos (SAF1 e SAF2) está baseada em espécies frutíferas de clima temperado consorciadas com culturas anuais de grãos e cereais além de espécies olerícolas, tendo como principal cultura a oliveira, deu-se início no ano de 2009 para SAF1 e 2012 para SAF2. Para a implantação, foi realizado o preparo da área, por meio da roçada da samambaia e posterior pousio. A roçada foi manual, realizada com foice e enxada. As curvas de nível foram realizadas com enxadão, durante o enleiramento do grande volume de biomassa da samambaia proveniente da roçada que era depositada em fileiras, para a posterior utilização nas linhas de plantio

Para a adubação de plantios nas covas, foi utilizado 1 Kg de termofosfato, 1 Kg de calcário dolomítico, 5L de esterco de curral curtido e 20 g

de *Trichoderma*. Para adubação de plantio nas entrelinhas, foram utilizados 30 g de termofosfato/ m² e 30 g de calcário dolomítico/ m². Para o coquetel de adubação verde foram utilizadas espécies como milheto (*Pennisetum glaucum*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), aveia preta (*Avena strigosa*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e girassol (*Helianthus annuus*). No SAF2, ao longo do ano de coleta, foi realizada a técnica do plantio direto por meio do abafamento da adubação verde com utilização de lona plástica para posterior semeio dos cultivos anuais.

2.2 Coleta de dados

Os sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo localizam-se entre 1200 m e 1300 m de altitude. Em cada sistema estudado foram amostradas aleatoriamente seis parcelas de 25 x 25 m distantes a no mínimo 30 m entre si. Os pontos amostrais foram alocados no centro de cada parcela. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com seis tratamentos e seis repetições.

Para amostragem da fauna invertebrada do solo e da serrapilheira, foram realizadas duas coletas: no verão, em fevereiro de 2015, e no inverno, em agosto de 2015. A amostragem foi realizada, utilizando-se o método recomendado pelo Programa “Tropical Soil Biology and Fertility” (TSBF), descrito por Anderson e Ingram (1993). Um monólito de solo foi retirado no centro de cada parcela. Os monólitos foram alocados, com o auxílio de um gabarito metálico de 25 cm x 25 cm x 10 cm de profundidade, medidas mínimas necessárias para avaliar biodiversidade do solo, segundo Rossi et al. (2006). Antes da retirada dos monólitos de solo, a serrapilheira foi coletada, utilizando o mesmo gabarito. As amostras de serrapilheira foram separadas e acondicionadas em sacos de polietileno, bem como, posteriormente, as amostras de solo.

No final de todas as coletas por área, as amostras foram transferidas separadamente para uma bandeja plástica e a triagem dos animais foi realizada manualmente com o auxílio de pinça. Foram coletados todos os indivíduos visíveis a olho nu e, posteriormente, foram fixados e preservados em solução de álcool a 70%, com exceção das minhocas que ficaram em álcool absoluto.

No Laboratório de Biologia do Solo da Embrapa Florestas (Colombo, PR), a fauna edáfica foi contada, pesada e identificada por amostra em placa de Petri sob auxílio de microscópio estereoscópico. Os grupos da macrofauna foram classificados por diferentes níveis taxonômicos como classe e ordem, e separados de acordo com o estágio de desenvolvimento em adultos ou imaturos (larvas). Ovos, pupas e indivíduos não identificados foram classificados como outros.

O reconhecimento dos táxons foi baseado em caracteres morfológicos e em chaves de identificação específicas para cada grupo (BORROR; TRIPLEHORN; JOHNSON, 1989; BUZZI, 2002; GALLO et al., 2002) e em comparação com espécimes preservadas na coleção do laboratório. Quantidades e peso dos animais presentes em cada amostra de serrapilheira e de solo de cada ponto de coleta foram anotados em uma ficha padronizada.

Nos pontos de amostragem da fauna, também foram coletadas amostras de solo para a caracterização química (K, Ca, Mg, P, Al, H+Al, P-Rem, MO, T, V, P SB, t, m) conforme Embrapa (1997). Os resultados das análises químicas do solo sob os sistemas estudados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas, na época chuvosa, de um Cambissolo Háplico típico distrófico, na camada de 0–10 cm, em diferentes sistemas de uso de solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira, MG.

Variáveis	OLI	SAF1	SAF2	PAS	SAM	REM
P (mg/dm ³)	1,51	1,61	2,89	1,17	0,70	1,96
K (mg/dm ³)	74	45	55	52	21	80
Ca ²⁺ (cmol/dm ³)	2,90	0,83	0,50	0,33	0,10	1
Mg ²⁺ (cmol/dm ³)	0,76	0,33	0,35	0,11	0,10	0,36
Al ³⁺ (cmol/dm ³)	0,12	0,98	0,87	0,96	0,87	3,30
H+Al (cmol/dm ³)	4,15	8,50	8,92	7,26	6,75	9,62
SB (cmol/dm ³)	3,85	1,28	0,87	0,57	0,26	1,57
t (cmol/dm ³)	3,97	2,26	1,94	1,53	1,12	2,82
T (cmol/dm ³)	6,96	8,16	9,67	6,80	5,77	10,73
MO (%)	6,38	6,95	6,42	6,42	6,34	7,19
m (%)	3,77	48,49	57,02	63,31	76,45	47,66
P-Rem (ml/L)	12,92	13,09	12,25	10,62	10,48	12,03
V (%)	43,88	11,49	6,91	6,49	5,15	5,78

PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=Sistema Agroflorestal sob base agroecológica com 6 anos; SAF2=Sistema Agroflorestal sob base agroecológica com 3 anos.

Fonte: Dados do autor (2016)

Para a caracterização física foram retiradas amostras deformadas com a finalidade de determinação umidade e densidade de partículas e densidade do solo, seguindo protocolo da Embrapa (1997). Para porosidade e agregados utilizaram-se amostras indeformadas coletadas com o amostrador de Uhland com auxílio de anéis com volume conhecido. O volume total de poros foi determinado segundo Danielson e Sutherland (1986). A microporosidade foi obtida em amostras previamente saturadas por 24 horas utilizando-se mesa de tensão com 60 cm de altura de coluna de água, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e microporosidade (EMBRAPA, 1997). A estabilidade de agregados foi determinada por meio de peneiramento em água,

após pré-umedecimento lento dos agregados por capilaridade sendo os resultados expressos em diâmetro médio geométrico (DMG) (KEMPER; ROSENAU, 1986). Os resultados das análises físicas do solo sob os sistemas estudados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físicas, na época chuvosa, de um Cambissolo Haplico típico distrófico, na camada de 0–10 cm, em diferentes sistemas de uso de solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira, MG.

Variáveis	OLI	PAS	SAM	SAF2	SAF1	REM
DS (g/cm ³)	0,97	0,96	1,07	0,89	0,77	0,58
DP (g/cm ³)	2,48	2,51	2,55	2,54	2,53	2,46
VTP (%)	52,88	52,17	52,98	51,95	54,3	61,75
MACRO (%)	13,63	11,9	19,3	21,32	24,89	25,98
MICRO (%)	39,35	40,27	33,58	30,62	29,41	35,77
Umid. (Kg.Kg ⁻¹)	11,67	13,88	10,22	10,09	12,46	16,88
DMG (mm)	4,76	4,72	4,5	4,41	4,32	4,5

PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=Sistema Agroflorestal sob base agroecológica com 6 anos; SAF2=Sistema Agroflorestal sob base agroecológica com 3 anos.

Fonte: Dados do autor (2016)

2.3 Análise dos dados

Para cada área do estudo a densidade estimada da fauna foi obtida a partir da transformação do número de indivíduos encontrados em cada amostra, em número de indivíduos por metro quadrado (ind./m²). A biomassa estimada da fauna foi expressa em gramas por metro quadrado (g/m²). A comunidade fauna invertebrada também foi avaliada por meio dos índices ecológicos: o índice de diversidade de Shannon (H), que considera a riqueza de níveis taxonômicos (S) e sua abundância relativa (pi), definido por:

$$H = - \sum (pi \log pi)$$

Onde $p_i = \frac{n_i}{N-1}$, sendo n_i a densidade de indivíduos em cada ordem ou nível e N o número total de diferentes de indivíduos;

O índice de equitabilidade de Pielou (e), que refere-se ao padrão de distribuição dos indivíduos entre as espécies, definido por:

$$e = H / \log S$$

Onde H índice de Shannon e S o número de níveis taxonômicos.

Os valores do total de indivíduos para cada área entre as duas épocas de coleta foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, por meio do programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

Com a finalidade de ampliar o entendimento dos grupos da fauna e sua relação com as características dos atributos e de manejo do solo foram empregadas técnicas de análise multivariada. O modelo multivariado foi utilizado para avaliar a relação entre a os grupos da fauna edáfica nos diferentes sistemas de manejo do solo com os atributos químicos e físicos do solo. Os dados foram utilizados em sua forma bruta para as análises. Somente os dados da fauna (x) foram transformados em logaritmo natural (\ln) de $x+1$ para a realização das análises estatísticas multivariadas. As análises foram feitas no software R Studio (R CORE TEAM, 2013), com o auxílio do pacote ADE-4 (THIOULOUSE et al., 1997) para análises multivariadas (DRAY; DUFOUR, 2007).

Foram realizadas análises multivariadas de componentes principais (ACP) relativas à fauna edáfica e às variáveis químicas (P, Al, H+Al, m, Ca, Mg, K, P, MO, T,t, SB, P-Rem) e físicas do solo (Dp, Ds, DMG, VTP, Umid, MACRO, MICRO). A significância estatística das correlações entre as variáveis

ambientais e as da fauna foi avaliada pelo teste de permutação de Monte Carlo (TER BRAAK, 1995).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Densidade, diversidade e biomassa da fauna edáfica

Para número de indivíduos, os maiores níveis taxonômicos observados representam 89,78 % do total. Em ordem crescente, foram: Blattaria: Isoptera (cupins), Hymenoptera: Formicidae, Coleoptera e Oligochaeta (Tabela 3). Esses resultados corroboram os encontrados por Lima et al. (2010), Santos et al. (2008) e Silva et al. (2006), estudando diferentes manejos e uso do solo. As três ordens de insetos citadas (Isoptera, Hymenoptera e Coleoptera) também se mostraram expressivas nos trabalhos de Merlim et al. (2005) em ecossistemas preservados e degradados e nos de Tapia-Coral (2004) em diferentes vegetações de terra firme na Amazônia peruana.

A família Formicidae da ordem Hymenoptera e as ordens Oligochaeta, e Isoptera, representaram grande parte do total de indivíduos entre os sistemas de uso do solo para as duas épocas analisadas. Não houve diferença significativa quanto ao número de indivíduos coletados entre as épocas para OLI. As minhocas, juntamente com cupins, formigas, (JOUQUET et al., 2005) besouros e suas larvas (BROWN et al., 2002), são considerados engenheiros do ecossistema atuando direta e indiretamente na regulação de recursos disponíveis a outros animais (JONES; LAWTON; SHACHAK, 1994). Esses animais recebem este nome por formarem estruturas biogênicas como poros, galerias e de macroagregados (excrementos e coprólitos) (JONES; LAWTON; SHACHAK, 1994; LEE, 1985). Além disso, suas comunidades são frequentemente utilizadas como indicadoras ambientais (PAOLETTI, 1999) e sensíveis a alteração nas formas de uso da terra (COSTA, 2004).

Tabela 3 - Número de indivíduos coletados por nível taxonômico da fauna invertebrada na serrapilheira e no solo a 10 cm de profundidade em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA da Serra da Mantiqueira. (Continua)

Grupo	OLI		SAF1		SAF2		PAS		REM		SAM		TOTAL	
	Inverno	Verão												
Araneae	16	0	17	6	2	4	1	3	8	11	7	4	51	28
Blattodea	5	0	7	2	1	1	0	1	10	3	4	0	27	7
Chilopoda	2	1	2	0	1	5	1	7	21	15	14	3	41	31
Colembola	0	1	0	0	0	3	2	5	0	5	0	1	2	15
Coleoptera	133	53	100	29	14	21	14	16	65	21	21	19	347	159
Dermaptera	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15	0	17
Diplopoda	7	0	7	0	2	0	0	0	48	5	1	0	65	5
Diplura	0	1	0	6	0	5	0	3	0	17	1	14	1	46
Diptera	0	0	0	2	10	3	0	1	0	4	0	1	10	11
Enquiteideos	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2
Hymenoptera:Formicidae	292	39	551	48	92	46	125	20	77	33	169	14	1306	200
Gastropoda	14	0	1	0	2	0	0	0	29	0	1	0	47	0
Hemiptera	5	7	28	10	4	15	2	5	9	11	2	3	50	51
Homoptera	0	5	0	6	0	4	0	4	0	13	0	7	0	39
Hymenoptera	0	134	0	97	0	187	0	38	0	40	0	17	0	513
Isopoda	15	0	1	0	0	0	0	11	5	12	9	8	30	31
Blattaria:Isoptera	508	866	194	482	556	2065	0	119	233	3702	14	515	1505	7749
Larva de Coleoptera	14	68	31	16	31	21	31	27	38	24	37	9	182	165

Tabela 3 - Número de indivíduos coletados por nível taxonômico da fauna invertebrada na serrapilheira e no solo a 10 cm de profundidade em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA da Serra da Mantiqueira. (Conclusão)

Grupo	OLI		SAF1		SAF2		PAS		REM		SAM		TOTAL	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Larva de Diptera	16	0	1	2	18	0	9	0	22	3	3	2	69	7
Larva Diplopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
Larva de Lepidoptera	5	0	8	1	8	1	1	0	5	0	1	0	28	2
Mollusca	0	0	0	8	1	0	0	1	0	11	0	0	1	20
Oligochaeta	3	3	18	51	1	17	86	127	7	6	6	10	121	214
Opilione	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	1	1	5	2
Orthoptera	0	1	2	0	1	0	1	0	0	2	1	0	5	3
Protura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Pseudoscorpionida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Psocoptera	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Scorpionida	0	3	0	1	0	7	0	1	0	3	0	1	0	16
Symphyla	0	0	25	0	0	0	1	0	8	0	0	0	34	0
Thysanoptera	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Vespidae	0	0	20	0	0	0	0	0	1	0	0	0	21	0
Outros (ovos, pupas e NI)	8	134	27	100	20	180	2	40	10	44	5	17	72	515
Total de indivíduos	1044 A	1319 A	1040 A	867 B	764 A	2586 B	276 A	429 B	603 A	3987 B	299 A	664 B	4026 A	9852 B

*Médias seguidas por letras iguais entre épocas dentro de cada sistema, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos; SAF2=sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos. NI=indivíduos não identificados.

Fonte: Dados do autor (2016)

O maior número de indivíduos foi observado no verão (9852 indivíduos); mais que o dobro da densidade observada no inverno (4026 indivíduos) (Tabela 3), resultado influenciado, em razão da maior densidade de cupins (Isoptera). Dados semelhantes foram encontrados por Souto (2006), ao constatar que, no período onde foram registrados os maiores índices pluviométricos, foram capturados maiores quantidades de indivíduos. O autor atribuiu esses resultados às condições favoráveis no microclima do solo na estação úmida, uma vez que os elementos climáticos são fatores limitantes para crescimento da população de organismos do solo.

O sistema com maior número de indivíduos foi REM, com maior contribuição da época chuvosa, resultado que corrobora outros trabalhos como o de Aquino et al. (2008) e Bandeira e Harada (1998) que perceberam maior densidade total em remanescentes florestais quando comparados aos sistemas de cultivo

Apenas o SAF1 e OLI, apresentaram menor número de indivíduos no verão quando comparado ao inverno; resultado influenciado pela ordem Hymenoptera, na maioria formigas, insetos saprófagos e predadores. Esses resultados reforçam a ideia de que, na estação seca, os organismos da macrofauna do solo, à procura de umidade, tendem a se instalar nas camadas mais profundas. Esse padrão de comportamento também foi observado por Merlim (2005), Moço et al. (2005) e Tapia-Coral (2004), entre outros. Para Baretta et al. (2005) a atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade de 10 cm, nessa profundidade há um número maior de raízes secundárias e maior quantidade de matéria orgânica, colaborando para uma maior atividade de organismos segundo Brady (1983).

A ordem Oligochaeta também aparece em maior número no verão, como também constatado por Silva et al. (2006). Ao contrário dos insetos, as minhocas não possuem um exoesqueleto que reduza a perda de água dos tecidos. Dessa

maneira,, é compreensível que, na época seca, tenham sido detectadas densidades menores desse grupo, assim como resultados apresentados por Menezes et al. (2009). Benito et al. (2004) associaram o prolongado período de seca à baixa densidade populacional de minhocas.

Para Oligochaeta, a maior densidade observada nas duas épocas de coleta foi para o sistema de uso do solo PAS corroborando os estudos de Decaëns, Bureau e Margerie (2003), Lavelle et al. (1997) e Paoletti (1999), afirmando que as pastagens tendem a ter maior população desse grupo do que em florestas. Chan (2001) e Silva et al. (2006) relatam que a grande densidade de raízes proveniente das gramíneas em constante renovação e seus exsudatos radiculares favorecem as condições para o desenvolvimento e o estabelecimento dos oligoquetos no sistema de pastoreio rotativo, associado a esse cultivo que, quando bem manejado, favorece aumento da biomassa vegetal. Apesar da normal diminuição da densidade populacional de organismos da fauna do solo nos sistemas de pastagem, esses podem ter efeitos não tão negativos sobre a ordem Oligochaeta, podendo favorecer o aumento dessas populações (PASINI et al., 2004).

O maior valor observado para Isoptera representado por cupins (66,68 % do total) e Hymenopteras representado pelas formigas (10,85%) pode ser explicado pelo método de amostragem utilizado que privilegia a captura de insetos sociais que são amplamente difundidos nos ambientes terrestres, estando entre os mais abundantes artrópodes de solo dos ecossistemas tropicais (BANDEIRA; VASCONCELLOS, 2002).

Para o grupo Isoptera, no período de inverno, não foram encontrados indivíduos no sistema sob pastagem (PAS) (Tabela 3). Os motivos possivelmente estão ligados à fragilidade de seu corpo, por meio da sensibilidade à dessecação (LEE; WOOD, 1971). Portanto, são extremamente sensíveis a trocas de umidade, sendo necessária a manutenção desta dentro do

ninho. Em razão das condições do ano de coleta ter sido atípica, com seca severa observada, e considerando este o único ambiente que não possui espécies arbóreas para regulação do microclima e fornecimento de matéria orgânica, possivelmente esse grupo passou a habitar seus ninhos localizados em camadas mais profundas do que a amostrada. Para Lavalle e Spain (2001), a ocorrência de cupins, geralmente, está relacionada à matéria orgânica com alta relação C/N, o que beneficia os insetos, em razão da simbiose com microrganismos, que lhes permite digerir substratos complexos.

A maior densidade para o grupo Isoptera dentro dos ambientes com interferência antrópica, considerando as duas épocas de estudo, aparece no SAF2 podendo ser explicada pela cobertura constante do solo proveniente da cobertura morta vegetal para a realização do plantio direto e da adubação verde. Santos et al. (2008) observaram associação de Isopteras com tratamentos utilizando adubação verde como crotalária e guandu. A maior densidade de indivíduos desse grupo em REM pode estar relacionada ao hábito colonial dos cupins ao sistema radicular e à constante adição de material orgânico ao solo (MENEZES et al., 2009). Estes são considerados organismos imprescindíveis à manutenção dos processos de decomposição e para os fluxos de carbono e nutrientes, decorrentes principalmente da biomassa de suas populações e à variedade de seus hábitos alimentares (BANDEIRA; VASCONCELLOS, 2002).

Para o grupo Hymenoptera, os SAFs aparecem com maior número nas duas épocas; SAF1 no inverno, e SAF2 como o mais representativo no verão, possivelmente em razão dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo, por meio das práticas de manejo agroecológica adotadas. Esses resultados são similares aos encontrados por Alves et al. (2006), Antonioli, Baretta e Cardoso (2006), Baretta et al. (2006), Giracca et al. (2003), Leivas e Ficher (2008), Rosa e Dalmolin (2009) e Rovedder et al. (2004) em diferentes sistemas de manejo.

A alta ocorrência de Hymenoptera pode estar relacionada com a grande facilidade de locomoção dessa ordem (PARR et al., 2007). A presença de formigas em grande densidade em todos os tratamentos e épocas pode ter relação com a sua adaptabilidade ao meio, à variedade de costumes alimentares e ao hábito de vida colonial que tendem a ser amostradas em agregados com elevado número desses organismos (MENEZES et al., 2009; SILVA; SILVESTRE, 2004). As formigas são comumente citadas como bioindicadores de alterações no manejo do solo, especialmente durante a reabilitação do solo (ANDERSEN et al., 2002). A maior densidade de formigas em SAF1 pode estar ligada a preferência desse grupo taxonômico, pelo forrageamento com plantas ricas em nitrogênio (LAOSSI et al., 2008; SANTOS et al., 2008) e também a alta variedade de recursos alimentares encontrada, traduzida pelo número de diferentes espécies vegetais (anuais e perenes) presentes nesse tratamento (DELLA LÚCIA et al., 1993). Nunes, Araújo Filho e Menezes (2009) e Toledo (2003) relatam que os Hymenópteros e Coleópteros possuem grande resistência às variações ambientais o que pode explicar a ocorrência mais constante no ambiente, mesmo nos altamente antropizados como em OLI. OLI apresentou maior densidade desses representantes quando comparados aos outros sistemas estudados.

Os Coleopteros aparecem em maior número de indivíduos em OLI e SAF1 e no inverno, segundo (EKSCHIMITT; WEBER; WOLTERS, 1997) os adultos dessa ordem em geral, preferem solos não excessivamente úmidos, embora seu desenvolvimento possa ocorrer sobre essas circunstâncias, o que justifica serem encontrados em maior número na época seca.

A ordem Coleóptera pode ser indicador de impacto de cultivo, presença de pesticidas no solo, simplificação da estrutura do habitat e perturbação mecânica do solo (DUNXIÃO et al., 1999). São dotados de regimes alimentares dos mais variados (predadores, herbívoros, fungívoros e detritívoros) sendo que,

segundo Marinoni e Dutra (1997), possuem potencial para a determinação de níveis de conservação de áreas florestadas. Conforme esses autores, a proporção de coleópteros herbívoros diminui com o aumento do nível de conservação ambiental.

A ordem Coleoptera, abundante na maioria dos solos do Brasil, também foi representada por um grande número imaturos (larvas). Embora algumas famílias dessa ordem sejam consideradas pragas na agricultura, outras podem ser benéficas para a fertilidade e a física do solo, principalmente na fase larval (CORREIA; OLIVEIRA, 2005).

Para Paoletti et al. (1991), os invertebrados do solo, móveis, assim como alguns besouros, larvas de díptera e cupins, respondem ao estresse do solo. Os insetos menores são mais sensíveis, diminuindo ou até desaparecendo após uma perturbação. Esse mesmo autor afirma que os indivíduos ou espécies das ordens Orthoptera, Hemiptera, Díptera, Lepidóptera, Hymenoptera e Coleoptera constituem-nos mais importantes bioindicadores. A presença maior de alguns desses grupos nos SAFs pode estar relacionada aos indicadores potencialmente mais sensíveis e precisos das condições ambientais e suas variações, em razão de seu maior grau de especificidade no uso de habitats e recursos alimentares (LEWINSOHN; PRADO; ALMEIDA, 2001).

Grupos de mesofauna também foram encontrados nos tratamentos estudados. A maior densidade do grupo Symphilla foi apresentada no SAF1, essa ocorrência pode ser explicada pela rica cobertura vegetal proveniente de podas frequentes, pois esse grupo é encontrado na serrapilheira, sob troncos em decomposição e em ambientes úmidos, ricos em húmus, alimentando-se de fungos ou da matéria vegetal em final de decomposição e quilópodes (EKSCHIMITT; WEBER; WOLTERS, 1997) que foram encontrados em maior número nas áreas sem manejo do solo, de regeneração natural e floresta nativa.

Observa-se, por meio do total de indivíduos por metro quadrado considerando as duas épocas estudadas (Tabela 4) que apesar de SAM ser uma área em regeneração natural, sem a influência do manejo direto, apresentou os menores valores de densidade após valores apresentados por PAS. Esses valores podem indicar quando comparados ao sistema de referência REM a necessidade de restabelecimento e equilíbrio nessa área, por meio de intervenção pelo manejo da samambaia. Para Hutson (1989), o manejo dessas áreas pode melhorar a densidade populacional da fauna do solo, desde que seja realizado adequadamente.

Tabela 4 - Índices de diversidade da fauna edáfica nas duas épocas de coletas sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo na APA Serra da Mantiqueira.

Índices	OLI	SAF1	SAF2	PAS	REM	SAM
Seca						
Densidade (ind.m ²)	2784	2773	2037	736	1608	797
Shannon (H)	1,46	1,62	1,10	1,44	2,14	1,68
Equabilidade (J)	0,53	0,56	0,39	0,56	0,73	0,56
Riqueza	16	18	17	13	19	20
Chuvosa						
Densidade (ind.m ²)	3517	2312	6896	1144	10632	1771
Shannon (H)	1,24	1,59	0,85	2,03	0,45	1,12
Equabilidade (J)	0,45	0,56	0,30	0,70	0,14	0,37
Riqueza	16	17	18	18	23	20

PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos; SAF2=sistema agroflorestal agroecológico com 3anos.

Dados do autor (2016)

Os valores de riqueza corroboram com estudos realizados por Tapia-Coral (2004) em diferentes tipos de vegetação entre 0 - 30 cm de profundidade,

onde o índice de riqueza para floresta nativa (28) e área de regeneração representada por capoeira (19) foram superiores à plantação florestal (18).

O sistema de referência apresentou maior riqueza e densidade considerando a soma das épocas estudadas. Aquino et al. (2008) perceberam maior densidade total e riqueza biológica em fragmentos florestais remanescentes quando comparados com os sistemas de cultivo. As maiores densidades ocorreram em REM e na época chuvosa, resultado que corrobora outros trabalhos como o de Bandeira e Harada (1998).

Dos sistemas manejados, os SAFs apresentaram um total maior de riqueza de diferentes grupos o que pode indicar que esse sistema de cultivo tenha efeitos positivos sobre a conservação da biodiversidade. Isto é, a provisão de habitats e alimentos em sistemas diversificados pode favorecer algumas comunidades de invertebrados do solo. Barros et al. (2002), estudando uma cronosequência de pastagens degradadas para capoeiras e sistemas agroflorestais na Amazônia Central, também observou rápida regeneração da fauna do solo no sistema agroflorestal. Silva et al. (2006) concluíram estudando diversos sistemas de uso e manejo do solo que a diversificação das espécies vegetais promove uma maior diversidade dos grupos da macrofauna invertebrada do solo.

Observa-se que, apesar do SAF2 ter menos tempo de implantação que SAF1 o tratamento com plantio direto nessa área pode por meio da formação de uma camada superficial de matéria orgânica aumentar a fertilidade do solo e prover melhorias das condições para o estabelecimento da fauna do solo e sua atividade (TOPP et al., 2001). Silva et al. (2006) observaram correlação positiva e significativa entre o conteúdo de matéria orgânica do solo e a diversidade de grupos da macrofauna, confirmando a sua importância como fonte de alimento para esses organismos.

O maior valor de diversidade de grupos pelo índice de Shannon foi observado em REM ($H' = 2,14$), SAM ($H' = 1,68$) e SAF1 ($H' = 1,62$) no inverno (Tabela 4). Essa maior diversidade de macrofauna observada em remanescentes de floresta corrobora com os dados de diversos autores como Baretta, Brown e Cardoso (2010), Moço et al. (2005) e Rousseau et al. (2013). No verão, o tratamento que apresentou maior índice de Shannon foi PAS ($H' = 2,03$) seguido de SAF1 ($H' = 1,59$) e OLI ($H' = 1,24$). Esse padrão de diversidade apresentado por SAF1, nos dois períodos de coleta, demonstra que as épocas podem influenciar a densidade de indivíduos e suas respectivas biomassas, pelos vários fatores influenciadores como precipitação, vegetação e umidade, porém não alteram a riqueza de grupos que comumente aparecem nesse sistema. Pode-se dizer, com isso, que esses valores de riqueza vêm do potencial de adaptação o que permite maior resiliência e recuperação da comunidade da fauna dentro desse modelo produtivo.

Na época chuvosa, houve decréscimo no valor do índice de Shannon, com exceção de PAS, ocasionado pela maior concentração de indivíduos de Isoptera (cupins). Em PAS, o contrário aconteceu, em decorrência da concentração de Formicidae: Hymenoptera, com total ausência de Isoptera:Blattaria.

Para Silva et al. (2007), a presença de cobertura vegetal no solo contribui para o aumento da disponibilidade de energia e promove a criação de novos habitats favoráveis à colonização por organismos invertebrados, o que pode beneficiar a sustentabilidade ecológica dos sistemas de produção. Observa-se em SAF1 que, quando o manejo é conservacionista, há o favorecimento da fauna do solo que ocorre pela manutenção e modificação dos resíduos das culturas anteriores sobre a superfície do solo, protegendo-o da incidência direta do sol e do impacto direto da gota da chuva (BARETTA et al., 2003), que podem alterar os habitats e a disponibilidade de alimento, o que modifica a

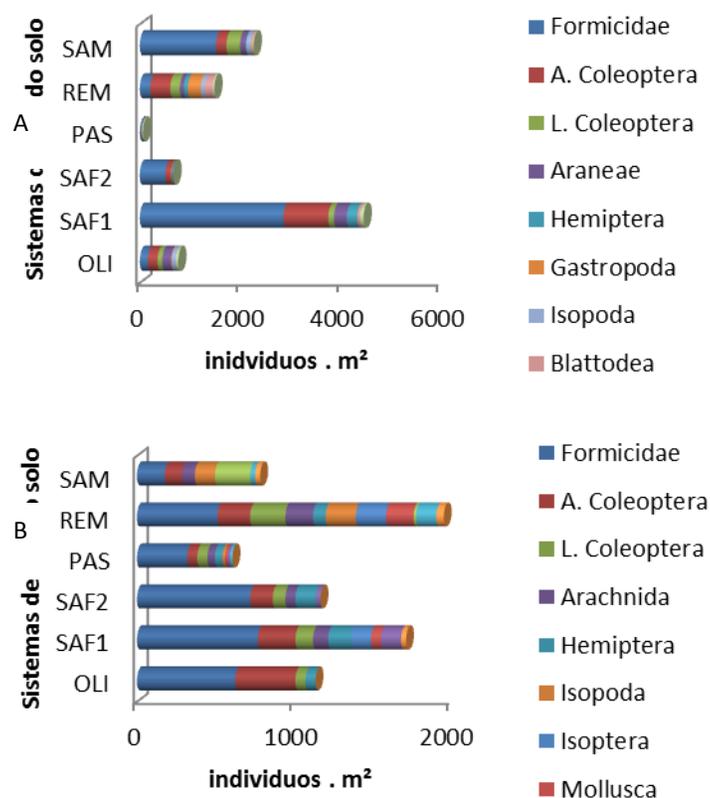
diversidade, sendo favorável, da comunidade da macrofauna edáfica (CORDEIRO et al., 2004). A maior disponibilidade de alimentos, nesse caso, reduz a competição entre indivíduos e favorece a proliferação de novas populações da fauna do solo (BARETTA et al., 2011).

Em estudo conduzido no Cerrado, Marchão et al. (2009) também observou que o sistemas agroflorestais favorecem a diversidade desses organismos no solo. Portanto, as espécies vegetais e os seus processos influenciam diretamente a ocorrência de comunidades de organismos do solo (AQUINO et al., 2008).

Para o índice de Equabilidade (J), o tratamento que possuiu maior valor foi o REM seguido do SAF1 e no inverno e PAS e SAF1 no verão, respectivamente, esses ambientes demonstraram a distribuição mais uniforme dos grupos taxonômicos. Esse índice foi influenciado pela dominância dos grupos de cupis e formigas.

Em termos biológicos, a fauna do solo pode ser beneficiada pelo aumento na qualidade e na quantidade de resíduos vegetais, que servem de alimento e abrigo para os organismos. O SAF1 apresentou maior densidade de indivíduos na serapilheira, quando comparado às áreas que sofrem manejo, tanto para o verão quanto para o inverno (FIGURA 2) influenciado pelo grupo das formigas (Hymenoptera: Formicidae) do manejo adotado. Para a figura, foram considerados apenas os grupos com mais de dez indivíduos.

Figura 2 - Distribuição dos indivíduos da fauna edáfica encontrados na serrapilheira, no verão(B) e no inverno (A) em diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira.



Dados do autor (2016)

A cobertura vegetal permanente proveniente de adubação verde, da manutenção da vegetação espontânea e dos resíduos de colheita e podas bem como a presença de espécies nativas, colaboram na deposição de serrapilheira sobre o solo, com estratos de matéria fresca e/ou em decomposição, capaz de abrigar maior população da fauna edáfica. De modo geral, a adubação verde favorece um maior número de organismos edáficos, bem como a riqueza de

espécies, pois a disponibilidade de ambientes favoráveis à colonização da fauna é maior (CANTO et al., 2000).

No verão, o tratamento REM teve a maior densidade de invertebrados na serrapilheira. Observou-se também um maior número de Isópoda na serrapilheira em ambientes não manejados, grupo que possui função de transformadores da serrapilheira.

Os grupos Oligochaeta, Isoptera e Formicidae foram os que mais contribuíram para a biomassa total da fauna edáfica dentro das áreas (TABELA 5), resultados que corroboram com Zagatto et al. (2015), estudando diferentes usos e manejos do solo.

Tabela 5 - Biomassa (peso fresco em g.m⁻²) por grupo taxonômico da fauna invertebrada na serrapilheira e no solo a 10 cm de profundidade em sistemas de uso do solo e remanescente florestal nativo na APA da Serra da Mantiqueira. (Continua)

Grupo	OLI		SAF1		SAF2		PAS		REM		SAM		TOTAL	
	Inverno	Verão												
Araneae	0,09	0	0,06	0,01	0,02	0	0	0,02	0,15	0,06	0,04	0,01	0,36	0,10
Blattodea	0,01	0,04	0,08	0,01	0,01	0,01	0	0	0,19	0	0,04	0	0,33	0,06
Chilopoda	0	0,01	0,01	0,03	0	0,02	0	0,01	0,10	0,05	0,02	0	0,13	0,12
Coleoptera	0,37	1,04	0,09	0,73	0,03	0,58	0	0,70	0,22	0,39	0,07	0,10	0,78	3,54
Dermaptera	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02
Diplopoda	0,06	0,01	2,01	0	0	0	0	0,02	0,47	0,05	0,03	0	2,57	0,08
Hymenoptera:Formicidae	10	0,16	0,35	0,08	0,07	0,13	0,04	0,09	0,07	0,06	0,14	0,02	10,67	0,54
Gastropoda	0,1	0	0,01	0	0	0	0	0	0,07	0	0,01	0	0,19	0
Hemiptera	0,03	0,07	0,10	0,09	0,01	0,03	0	0	0,07	0,12	0	0	0,21	0,31
Isopoda	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,04	0,08	0,08	0,13	0,12
Blattaria: Isoptera	2,37	2,81	0,59	1,36	1,27	2,44	0	0,19	0,40	1,94	0,03	0,66	4,66	9,40
Larva de Coleoptera	0,14	0,3	0,44	0,13	0,01	0,01	0	0	0,13	0,15	0,03	0,11	0,75	0,70
Larva de Diptera	0,03	0	0	0,04	0,06	0,01	0,14	0	0,28	0,05	0,01	0,01	0,52	0,11
Larva de Lepidoptera	0,63	0	0,02	0,21	0,1	0	0,13	0	0,09	0	0,01	0	0,98	0,21
Mollusca	0	0	0	0	1,19	0	0	0	0	0	0	0	1,19	0
Oligochaeta	0,02	0,05	0,43	3,84	0,05	1,29	2,46	16,47	0,97	0,24	0,10	2,97	4,03	24,86
Opilione	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01
Orthoptera	0	0	0,01	0	0,13	0	0,19	0,02	0	0	0,03	0	0,36	0,02

Tabela 5 - Biomassa (peso fresco em g.m⁻²) por grupo taxonômico da fauna invertebrada na serrapilheira e no solo a 10 cm de profundidade em sistemas de uso do solo e remanescente florestal nativo na APA da Serra da Mantiqueira. (Conclusão)

Grupo	OLI		SAF1		SAF2		PAS		REM		SAM		TOTAL	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Vespidae	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0
Outros	0,21	0,16	0,03	0,04	0,18	0,02	0	0,02	0,16	0,44	0,37	0	0,95	0,68
Biomassa Total (g.m ²)	225,5 A	74,7 B	68,5 A	105,1 B	50,1 A	72,6 B	47,3 A	280,6 B	54,2 A	57,4 A	16,1 A	63,5 B	461,7 A	653,9 B

*Médias seguidas por letras iguais entre épocas dentro de cada sistema, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PAS=pastagem; OLI=cultivo convencional de oliveira; REM=remanescente florestal nativo; SAM=samambaial; SAF1=sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos; SAF2=sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos. NI=indivíduos não identificados

Dados do autor (2016)

Dentre esses três grupos mais representativos, apenas a biomassa de Formicidae foi maior no inverno. A biomassa mais alta comparando os tratamentos foi observada para Oligochaeta em PAS (16,47 g). Segundo Lavelle e Spain (2001), minhocas são um grupo preponderante em termos de biomassa. O tratamento PAS apresentou maior biomassa seguida por OLI valores influenciados pelo grupo Oligochaeta em PAS e em OLI por Isoptera. Zagatto (2014) também obteve maiores valores de biomassa em sistemas pastejados, quando comparou sistema agrofloretais, campo nativo pastejado, plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* e plantio direto.

A biomassa fresca de fauna edáfica é um atributo relacionado à intensidade com que o organismo do solo em questão desempenha sua atividade edáfica (DOUBE; SCHMIDT, 1997; LAVELLE et al., 1997). Em SAM, apesar da baixa densidade de minhocas, quando comparados aos demais grupos, como, por exemplo, Coleoptera (TABELA 3), as minhocas apresentaram maior biomassa fresca (49,12 g/m²) individual quando comparadas a Coleoptera (2,72 g/m²) (Tabela 5). Pode-se dizer que a atividade de minhocas pode ser tão intensa quanto a de cupins na área mesmo possuindo menor densidade, em razão do valor de sua biomassa.

SAF1 apresentou valores maiores de biomassa de Oligochaeta em relação aos outros sistemas de uso do solo depois de PAS. Resultados similares foram observados por Alves (2010), em sistemas agrofloretais, caracterizados pela elevada deposição de resíduos orgânicos na superfície do solo. Bartz (2011) e Hernandez-Catellanos (2010) citam que as minhocas são consideradas organismos pioneiros na conservação da estrutura do solo e na dinâmica de ciclagem de nutrientes, em decorrência da sua biomassa, densidade populacional, tamanho e função ecológica.

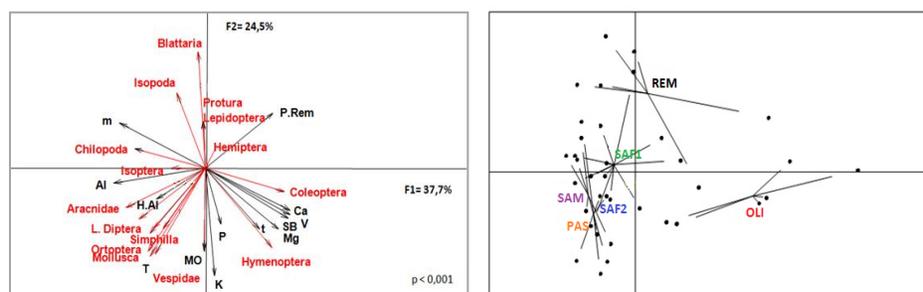
A menor biomassa foi observada para SAM. A baixa densidade e biomassa encontrada para a fauna edáfica em SAM podem estar ligadas às

características das samambaias presentes na área de regeneração. Todas as partes da planta contêm o princípio tóxico na forma ativa, cujas concentrações variam com a idade e o segmento da planta (CRUZ; BRACARENSE, 2004). Normalmente, o rizoma e seus rizoides, estão profundamente enterrados, e seus brotos e rizomas contêm as maiores concentrações tóxicas (ROPERTO et al., 2010), sendo o broto a porção mais tóxica em sua parte aérea e o rizoma a parte que possui maior atividade carcinogênica (MARÇAL, 2003). Diante do presente estudo, é possível que esses compostos tóxicos possam ser a causa dos efeitos do samambaial na constituição da biomassa e densidade dos organismos do solo.

3.2 Macrofauna edáfica e relações com atributos do solo

O diagrama de ordenação mostra o agrupamento dos pontos em função dos sistemas de manejo do solo, em que os dois primeiros eixos explicaram 37,7% da variação: 24,5% explicada pelo primeiro eixo, que sofreu maior influência dos sistemas REM e OLI; e 17,6% pelo segundo, com influência dos demais sistemas de uso. Esse resultado evidencia clara separação dos sistemas, ao analisar as variáveis químicas do solo, por meio da análise de componentes principais totalizando 62,2% da variabilidade dos resultados na amostragem de verão (FIGURA 3).

Figura 3 - Biplot da análise dos componentes principais (ACP) na época chuvosa, 2015, sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo considerando; A) análise dos componentes da abundância da fauna com componentes da química do solo e B) influência dos fatores da PCA (F1 e F2) na divisão dos sistemas de uso do solo.



SAM: Samambaial, OLI: cultivo convencionai de oliveiral, REM: Remanescente de Floresta, SAF1: Sistema Agroflorestal com seis anos, SAF2: Sistema Agroflorestal com três anos, PAS: Pastagem. Atributos químicos: Ca, K, P, Mg, Al, M.O, Soma de Bases (SB), Capacidade de troca de cátions (T e t), H+Al, Fósforo Remanescente (P.Rem).
Fonte: Dados do autor (2016)

Entre os atributos químicos avaliados estão matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (T e t), saturação por bases (V) e alumínio (m) e principais nutrientes (Ca, K, P, P-Rem. e Mg). Os resultados provenientes da seleção de variáveis (*forward selection*) e das permutações de Monte Carlo sugerem elevada correlação entre as variáveis da fauna com os atributos químicos selecionados (FIGURA 3).

A análise de grupos principais (ACP) evidencia a separação principalmente do REM dos demais tratamentos do estudo, considerando a abundância da macrofauna do solo. Os tratamentos variaram muito, conforme a abundância principalmente de grupos como Coleoptera que apresentou autovetor positivo influenciando o eixo 1, bem como Isoptera apresentando autovetor negativo. Oligochaeta e Hemiptera apresentaram autovetor positivo e negativo respectivamente influenciando o eixo 2.

O segundo eixo separou solos com maior concentração de bases dos solos de solos com maiores valores de acidez e alta saturação de alumínio.

A maioria dos grupos da macrofauna teve ocorrência correlacionada com o teor de MO o que também é observado no estudo de Silva et al. (2006). A MO está associada ao tratamento REM que provém microclima e atributos edáficos favoráveis à macrofauna do solo.

O diagrama de ordenação em função do manejo dos sistemas de uso do solo mostra que o agrupamento dos sistemas foi influenciado pelas características químicas do solo ($p < 0,01$). As melhores condições químicas do solo sob os SAF1 e REM estão representadas no agrupamento. Os demais grupos foram separados pela diferença de manejo como em OLI e menores teores de nutrientes nos sistemas como PAS e SAM. Observa-se que os resultados evidenciaram uma separação entre SAF1 e OLI e REM e PAS, nos quais os grupos de fauna do solo e as variáveis dos atributos químicos explicativos ocorreram de forma diferenciada na época chuvosa.

REM apresentou maior abundância de Hemiptera, OLI de Coleoptera e Hymenoptera: Formigas; PAS de Oligochaetas e SAM maior relação com a abundância de Aracnidae. Para SAF1 foi com Isoptera, Chilopoda e Isopoda e SAF2 com Vespidae, Symphylla, Mollusca e Orthoptera. Baretta, Brown e Cardoso (2010) e Merlin et al. (2005) encontraram Chilopodas e Isopodas como grupos mais abundantes em florestas de araucária preservadas em comparação a áreas de reflorestamento com a mesma espécie. A presença desses grupos indica maior disponibilidade de alimento relacionado com a maior disponibilidade de cobertura vegetal existente nas áreas do SAF1. Além disso, observaram-se associados a SAF2 outros grupos também menos frequentes como Mollusca, Orthoptera, Vespidae e Symphylla. Esses últimos grupos estiveram diretamente associados a MO nas áreas estudadas. A ocorrência

frequente e conjunta de predadores e saprófagos associada à matéria orgânica indica uma melhoria na qualidade biológica do solo (PAOLETTI, 1999).

Segundo Baretta et al. (2007) e Brown, Maschio e Froufe (2009) a maior abundância de Oligochaeta em PAS pode indicar a condição pioneira desse grupo, que cria condições em longo prazo para colonização por outros grupos, pois atuam diretamente na estrutura do solo.

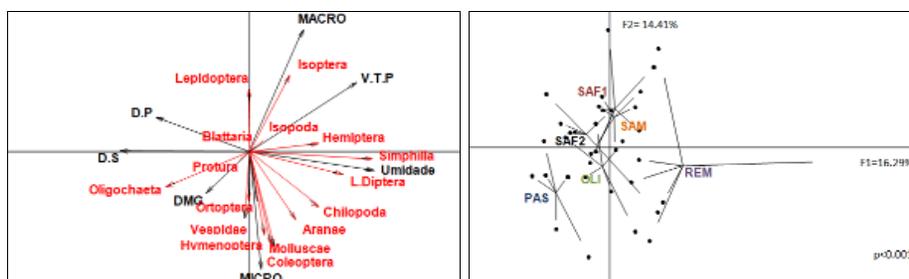
Os maiores valores de CTC (t e T) encontrados estão relacionados com um maior número de grupos de fauna como Ortoptera (T) e Hymenoptera:Formicidae (t). A literatura destaca que a matéria orgânica que possui maior CTC, constitui fator importante para o estabelecimento de organismos no solo, mais precisamente no que se refere às formigas (Hymenoptera). Além disso, a acidez também é um fator importante para esse grupo (JACQUEMIM et al., 2012).

O teor de Al está mais relacionado à abundância de Isoptera e Aracnidae. A presença de nutrientes no solo, como o Ca, por exemplo, mais relacionado com a abundância de Coleoptera, também é importante para diversos invertebrados, pois fisiologicamente esse cátion está relacionado a vários mecanismos de regulação osmótica, assim como processos de ecdise, pois durante a pré-muda o exoesqueleto é solubilizado da carapaça, e o Ca livre é transferido do epitélio cuticular para a hemolinfa, constituindo um efluxo de Ca. No pós-muda, o inverso acontece, e o processo gera um influxo de Ca, onde esse íon é direcionado da hemolinfa para o epitélio (BLOTTA-BAPTISTA, 2009).

Alguns autores também encontraram relação positiva em relação à ordem Coleoptera e Ca, SB e Mg (ALVES; BARETTA; CARDOSO, 2006; CASTALDELLI et al., 2015; LOURENTE et al., 2007; TESSARO et al., 2013).

Para a análise dos atributos físicos com a fauna do solo, foram utilizados: macroporos, microporos, volume total de poros, umidade, densidade de partículas, densidade do solo e diâmetro médio de agregados. A análise de componentes principais (ACP) evidenciou novamente a separação do tratamento REM dos demais tratamentos considerando a abundância do solo. O primeiro componente principal (F1) explica 16,29% dos dados e F2 14,41%, o que relata uma maior variabilidade nos dados de física comparados aos dados de química. Os resultados provenientes das permutações de Monte Carlo demonstram que, apesar da variância dos dados, os elementos físicos obtiveram alta correlação com a maioria dos dados de fauna ($p < 0.001$) (Figura 4).

Figura 4 - Biplot da análise dos componentes principais (ACP) época chuvosa, 2015, sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo considerando; A) análise dos componentes da abundância da fauna com componentes da física do solo. B) influência dos fatores da PCA (F1 e F2) na divisão dos sistemas de uso do solo.



SAM: Samambaial, OLI: cultivo convencional de oliveiral, REM: Remanescente de Floresta, SAF1: Sistema Agroflorestal com seis anos, SAF2: Sistema Agroflorestal com três anos, PAS: Pastagem. Atributos físicos: Macroporos (MACRO), Microporos (MICRO), Volume total de poros (VTP), Umidade, Densidade de Partículas (D.P), Densidade do Solo (D.S), Diâmetro médio de agregados (DMG).

Fonte: Dados do autor (2016)

Pode-se notar a grande separação de REM em relação aos demais ecossistemas evidenciada pelos aspectos já estudados. O segundo eixo separou

REM e SAM dos demais sistemas avaliados, sistemas altamente relacionados com a porosidade do solo e inversamente relacionados à maior densidade do solo. O atributo densidade do solo (DS) esteve fortemente relacionado aos sistemas estudados, posicionando-se e pode ser considerado um atributo chave recomendado para a avaliação da qualidade do solo.

Um maior número de grupos da fauna esteve relacionado a esses dois ambientes. Observa-se que os resultados evidenciaram uma separação em três grupos formados pelos SAFs, pelos sistemas de manejo convencional OLI e PAS e pelos sistemas sem manejo do solo, enquanto que a MICRO estiveram relacionados à presença de Coleoptera e Hymenoptera. Jacquemin et al. (2012) relatam que a porosidade é importante para esse grupo. A densidade do solo e DMG se relacionaram com a ocorrência de Oligochaetas. VTP e MACRO estiveram correlacionados positivamente com a abundância de Isoptera e negativamente com Oligochaeta. A correlação positiva entre Isoptera e porosidade total pode ser decorrente da criação de macroporos, decorrente da construção de túneis e galerias, produzidos por indivíduos como Isoptera, que têm um efeito direto sobre a ciclagem de nutrientes e podem contribuir ativamente favorecendo a melhoria da infiltração de água no solo, por meio da melhoria da estrutura do solo e porosidade (LAL; CONACHER, 1990; LAMOUREUX; O'KANE, 2012).

O grupo Oligochaeta correlacionou-se negativamente com a PT e positivamente com a densidade do solo, resultado que pode ser explicado pelo fato de que, estruturas biogênicas formadas por Oligochaetas, possuem elevada densidade (LAVELLE; SPAIN, 2001), pois o rearranjo e a ingestão de materiais podem resultar em forte compactação dentro da estrutura biogênica (MARTIN; MARINISSEN, 1993).

Bottinelli et al. (2010), em estudo para determinar como coprólitos produzidos por atividade de minhocas influenciam na porosidade do solo,

verificaram, em condições de campo, que a baixa estabilidade de coprólitos recém-formados, pode proporcionar compactação do solo após a chuva. No entanto, elevadas produções de coprólitos podem impedir que a porosidade do solo seja diminuída. Assim, melhorias na estrutura do solo ocorrerão quando a produção predominar. Oligochaeta apresentou correlação positiva com a umidade do solo e com a época chuvosa (Figura 4).

Segundo Jouquet et al. (2008), que analisaram as propriedades de coprólitos e agregados não ingeridos, observaram que coprólitos apresentavam maior densidade, baixa porosidade e elevada estabilidade. Além de estarem associados à maior estabilidade do solo, esses organismos foram correlacionados negativamente com a porosidade total do solo (Figura 4).

De acordo com esses resultados, os Oligochaeta contribuem para a maior estabilidade dos agregados do solo e menor porosidade total, visto que as estruturas produzidas pelas mesmas apresentaram-se mais compactas, de acordo com a literatura, denominando, assim, a atividade das minhocas envolvidas nesse processo de compactadoras. É possível observar, na Figura 4, que OLI e PAS correlacionaram-se com os principais grupos de engenheiros do ecossistema, sendo eles: Oligochaeta, Hymenoptera:Formicidae quando analisados pelos atributos físicos. Ambos os sistemas produzem grande quantidade de raízes provenientes de gramíneas e essas são fontes de alimento para os grupos citados, pois, eles possuem hábito alimentar decompositor.

Já os Isoptera apresentaram-se positivamente correlacionados com a estabilidade dos agregados, mas ao contrário dos Oligochaeta, correlacionaram-se positivamente com a porosidade total, provavelmente, em razão dos ninhos e galerias formados por esses organismos, favorecendo a criação de macroporos (LAMOUREUX; O'KANE, 2012). Formicidae apresentou correlação negativa com VTP e MACRO mostrando, assim, pouca participação na melhoria dessas propriedades. Resultados semelhantes foram encontrados por Velásquez et al.

(2007), que observaram que formigas apresentaram posição neutra em relação aos agregados biogênicos, indicando pouco efeito na macroagregação. Os atributos físicos macroporos (MACRO) e volume total de poros (VTP) estão mais correlacionado com os táxons Hemiptera e Isoptera. Esses táxons, principalmente os cupins, possuem uma grande diversidade de indivíduos e com maior diversidade nos tratamentos REM e SAF2, como mostra a Figura 4. A correlação com volume total de poros pode estar ligada a bioperturbação dos cupins ao solo, com o aumento de galerias e bioporos, como já mencionado no item anterior. Os Isopteras também podem ser benéficos ao solo, ao atuar na decomposição de material orgânico (VALÉRIO et al., 2004) e contribuir para a produtividade do solo, estimulando a vida vegetal e animal, por meio de redes de colônia uniformemente distribuídas (PRINGLE et al., 2010). Czapak, Araújo e Fernandes (2003) também observaram a ocorrência desse táxon em sistemas de manejo como, por exemplo, áreas de pastagem cultivada continuamente, mantidas por longos períodos.

O táxon Oligocheta, grupo a qual pertencem as minhocas, obteve maior correlação com o atributo físico diâmetro médio de agregados (DMG), essa correlação dá-se pelo fato de que as minhocas são responsáveis não somente pela construção de galerias, mas também por suas secreções que graças a sua composição (polissacarídeos e demais complexos químicos) é capaz de aumentar a agregação do solo, e também ativar bactérias presentes no solo. Também, por meio do coprólito (excremento), as minhocas facilitam o desenvolvimento de raízes, pois seus coprólitos são enriquecidos com compostos nitrogenados disponíveis às plantas, facilitando sua absorção (RÖMBKE et al., 2005; VLEESCHAUWER; LAL, 1981). O atributo umidade do solo obteve maior correlação com grupos de fauna como Larvas de díptera, chilopoda e shimphilla. Já o atributo de microporos teve maior correlação com os grupos coleóptera, hymenoptera, araneae, o que pode ser explicado pelo fato de que as

formas imaturas desses grupos de fauna podem ser benéficas para a fertilidade e para a física do solo (CORREIA; OLIVEIRA, 2005).

4 CONCLUSÃO

Os sistemas de manejo e de preparo do solo afetam a estrutura dos grupos taxonômicos dominantes da macrofauna edáfica. Cada táxon de fauna respondeu de uma maneira diferente ao uso e manejo do solo. Os grupos: Isoptera (Blattaria), Formicidae (Hymenoptera), Oligochaeta e Coleoptera apresentaram maior densidade dentro dos sistemas estudados. Sendo as maiores densidades de Hymenoptera para SAFs, Isoptera em REM, Oligochaeta em PAS e Coleoptera para OLI.

A densidade e riqueza de espécies dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica variou com a época de coleta e, em geral, foram favorecidas no verão, chegando a ser o dobro para determinados grupos de fauna. Apenas SAF1 apresentou maiores valores de fauna edáfica, no inverno, com pouca diferença para o verão, esse fato foi combinado com valores equilibrados de riqueza entre as épocas para esse tratamento. A diferença desse sistema para os demais pode estar no equilíbrio e expressividade da medida de riqueza e densidade na época da seca, indicando uma maior capacidade de transformação e resiliência desse ecossistema.

A macrofauna edáfica foi fortemente influenciada por fatores químicos e físicos, sendo esses fatores limitantes para a dispersão desses organismos. A maior abundância dos grupos da macrofauna teve ocorrência correlacionada com o teor de MO e com a densidade do solo. O manejo do solo também é fundamental para a manutenção dos organismos.

De modo geral, observou-se que os ambientes de SAFs propiciaram condições mais próximas da qualidade do solo quando comparadas ao ambiente de referência para a colonização de grupos da fauna do solo, com exceção de Oligochaeta, Coleoptera e Hymenoptera: Formicidae indicando que esses grupos foram sensíveis às alterações ambientais nas áreas de PAS e OLI, associadas a menores diversidades. Provavelmente relacionadas a mudanças no ambiente

solo-serrapilheira, que é a principal, fonte de todos os recursos necessários a esses organismos.

Para estudos futuros, sugere-se a implementação de coletas mais específicas, atuando em conjunto ao método de TSBF, como Pitfall e Funis de Berlese. Outras formas de coleta possibilitariam uma melhor amostragem da fauna, abrangendo também outros níveis categóricos como microfauna e demais componentes da mesofauna. Possibilitando assim aumentar a visibilidade do contexto em que se encontram esses tratamentos, por meio de uma visão holística do ecossistema, e um melhor entendimento do papel de cada atributo químico, físico e morfológico estudado e sua relação com a fauna do solo.

REFERENCIAS

- ALVES, M. V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. B. J. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 1, p. 31-41, ago. 2006.
- ALVES, M. V. **Propriedades físicas do solo e Oligochaetas em diferentes sistemas de uso da terra no Alto Solimões – AM**. 2010. 118 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- ANDERSEN, A. et al. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 39, n. 1, p. 8-17, Feb. 2002.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd. ed. Oxford: CABI, 1993. 221 p.
- ANTONIOLLI, Z. I. et al. Método alternativo para estudar a fauna do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 407-417, out. 2006.
- AQUINO, A. M. de. et al. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, New Jersey, v. 44, n. 2, p. 191-197, Mar. 2008.
- AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; ALVES, M. V. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Editora da UFLA, 2008. p. 143-170.
- ARAÚJO, A. R. **Solos da Bacia do Alto Rio Grande (MG): base para estudos hidrológicos e aptidão agrícola**. 2006. 345 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- BANDEIRA, A. G.; HARADA, A. Y. Densidade e distribuição vertical de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 191-204, jun. 1998.
- BANDEIRA, A. G.; VASCONCELLOS, A. A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed highland forest in Northeastern Brazil (Isoptera). **Sociobiology**, Feira de Santana, v. 39, n. 3, p. 429-439, jan. 2002.

BARETTA, D. et al. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic Forests with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 384-392, jul./ago. 2007.

BARETTA, D. et al. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 715-724, set./out. 2005.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, n. 2, p. 97-106, mar. 2003.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 119-170.

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; CARDOSO, E. J. B. N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Acta Zoologica Mexicana**, Xalapa, v. 26, n. 2, p. 135-50, Jan. 2010.

BARETTA, D. et al. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1675-1679, nov. 2006.

BARROS, E. et al. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, Jena, v. 47, n. 3, p. 273-280, July 2003.

BARROS, E. et al. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, n. 5, p. 338-347, June 2002.

BARROS, E. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazonia. **Applied Soil Ecology**, v. 26, p. 157-168, 2004.

BARTZ, M. L. C. et al. Earthworm communities in organic and conventional coffee cultivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 8, p. 928-933, ago. 2009.

BARTZ, M. L. C. **Ocorrência e taxonomia de minhocas em agroecossistemas no Paraná, Brasil.** 2011. 175 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

BENITO, N. P. et al. Transformation of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, Germany, v. 40, n. 3/4, p. 147-154, July/Dec. 2004.

BLOTTA-BAPTISTA B. **Transporte de cálcio em células isoladas de hepatopancreas do caranguejo dulcícola *Dilocarcinus pagei*: efeitos do ATP e Ca²⁺.** 2009. 94 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Geral) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BORROR, D. J.; TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **Introduction to the study of insects.** 6. ed. New York: Saunders College Publishing, 1989. 875 p.

BOTTINELLI, N. et al. Earthworms accelerate soil porosity turnover under watering conditions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, n. 1/2, p. 43-47, Apr. 2010.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos.** 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 878 p.

BROWN, G. G. et al. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. et al. (Ed.). **Sistema agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável.** Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. p. 217-242.

BROWN, G. G. et al. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MANAGING BIODIVERSITY IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS, 2002, Montreal. **Proceedings...** Montreal: United Nations University, 2002. p. 1-20.

BROWN, G. G.; MASCHIO, W.; FROUFE, L. C. M. **Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos municípios de Barra do Turvo, SP, e Adrianópolis, PR.** Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 51 p.

BUZZI, Z. J. **Entomologia didática.** 4. ed. Curitiba: Editora da UFPR, 2002. 347 p.

CANTO, A. et al. Alterações da mesofauna do solo causadas pelo uso de cobertura com plantas leguminosas na Amazônia central. **Série Ciências Agrárias**, Manaus, v. 1, n. 4/5, p. 79-94, jan./dez. 2000.

CARVALHO, D. A. et. al. Variações florísticas e estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta ombrófila alto-montana às margens do Rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 91-109, jan./mar. 2005.

CASTALDELLI, A. P. A et al. Meso e macrofauna de solo cultivado com milho e irrigado com água residuária da suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 5, p. 905-917, out. 2015.

CASTELLANOS, L. R.; HERNANDEZ, J. C. A. Earthworm biomarkers of pesticide contamination: Current status and perspectives. **Journal of Pesticide Science**, Mexicana, v. 32, n. 4, p. 360–371, Jan. 2007.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Banco de dados meteorológicos**. Brasília: CPTEC, 2016. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 02 mar. 2016.

CHAN, K. Y. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity implications for functioning in soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 57, n. 4, p. 179-191, July 2001.

CORDEIRO, F. et al. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, v. 24, n. 2, p. 29-34, jul./dez. 2004.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. de. **Fauna de solo**: aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 46 p. (Documento, 112).

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. de. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica, 2005. p. 77-99.

COSTA, P. **Fauna edáfica e sua atuação em processos do solo**. Boa Vista: Embrapa, 2004. 32 p. (Documentos, 2).

- CRUZ, G. D.; BRACARENSE, A. P. F. R. L. Toxicidade da samambaia (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) para a saúde animal e humana. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 25, n. 3, p. 249-258, jan. 2004.
- CZEPAK, C.; ARAÚJO, E. A. de; FERNANDES, P. M. Ocorrência de espécies de cupins de montículo em pastagens no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 35-38, jan./jul. 2003.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p. 443-461.
- DECAËNS, T.; BUREAU, F.; MARGERIE, P. Earthworm communities in a wet agricultural landscape of the Seine Valley (Upper Normandy, France). **Pedobiologia**, Jena, v. 47, n. 5/6, p. 479-489, May 2003.
- DELLA LUCIA, T. M. C. et al. Criação de formigas cortadeiras em laboratório. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.). **As formigas cortadeiras**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1993. p. 151-162.
- DOUBE, B. M.; SCHMIDT, O. Can the abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Ed.). **Biological indicators of soil health**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 265-295.
- DRAY, S.; DUFOUR, A. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. **Journal of Statistical Software**, Innsbruck, v. 22, n. 4, p. 1-20, Sept. 2007.
- DUNXIÃO, H. et al. Relationship between soil arthropods and soil properties in a Suburb of Qianjiang City, Hubei, China. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Canadá, v. 18, n. 3, p. 467-473, June 1999.
- EDWARDS, C. A.; BOHLEN, P. J. **Biology and ecology of earthworms**. 3rd. ed. London: Chapman and Hall, 1996. 426 p.
- EKSCHMITT, K.; WEBER, M.; WOLTERS, V. Spiders, carabids, and staphylinids: the ecological potential of predatory macroarthropods. In: BENCKISER, G. (Ed.). **Fauna in soil ecosystems**. New York: Marcel Dekker, 1997. p. 307-362.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.
Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**.
2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.
Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC.
Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CETEC,
1983. 158 p.

GALLO, D. et al. **Manual de entomologia agrícola**. 2. ed. São Paulo:
Agronômica Ceres, 1988. 649 p.

GALLO, D. et al. **Manual de entomologia agrícola**. São Paulo: CEALQ, 2002.
920 p.

GIRACCA, E. M. N. et al. Levantamento da meso e macrofauna do solo na
microbacia de Arroio Lino, Agudo/RS. **Agrociências**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 257-
261, jul./set. 2003.

HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. The Puerto Rico tropical
cloud forests symposium: introduction and workshop synthesis. In:
HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. (Ed.). **Tropical montane
cloud forests**. New York: Springer-Verlag, 1995. p. 1-23.

HEISLER, C.; KAISER, E. A. Influence of agricultural traffic and crop
management on Collembola and microbial biomass in arable soil. **Biology and
Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, n. 2/3, p. 159-165, Feb. 1995.

HERNANDEZ-CASTELLANOS, B. et al. Modificaciones químicas inducidas
por dos especies de lombrices geófagas en suelos de Veracruz, México. **Acta
Zoológica Mexicana**, Xalapa, v. 26, nesp. 2, p. 295-308, Enero 2010.

HUTSON, B. R. The role of fauna in nutrient turnover. In: MAJER, J. D. (Ed.).
Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands. New
York: Cambridge University Press, 1989. p. 51–70.

JACQUEMIN, J. et al. Soil properties only weakly affect subterranean ant distribution at small spatial scales. **Applied Soil Ecology**, London, v. 62, n. 1, p. 163-169, Nov. 2012.

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

JOUQUET, P. et al. Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. **Geoderma**, Amsterdam, v. 146, n. 1/3, p. 231–238, July 2008.

JOUQUET, P. et al. Impact of subterranean fungus-growing termites (Isoptera, Macrotermitinae) on chosen soil properties in a West African Savanna. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 5, n. 5, p. 365-370, July 2005.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. Part 1, p. 425-442.

LAL, B.; CONACHER, A. J. Corrigenda - the role of termites and ants in soil modification - a review. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 28, p. 55–93, 1990.

LAMOUREAUX, S.; O'KANE, M. A. Effects of termites on soil cover system performance. In: MINE CLOSURE, 2012, Brisbane. **Palestras....** Brisbane: Australian Centre for Geomechanics, 2012. p. 433-446.

LAOSSI, K. et al. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian Pastures, **Pedobiologia**, Jena, v. 51, n. 5/6, p. 397-407, abr. 2008.

LAVELLE P. Faunal activities and soil process: strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, London, v. 37, n. 1, p. 93-132, Jan. 1997.

LAVELLE, P. et al. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, New Jersey, v. 33, n. 4, p. 159-193, Oct. 1997.

LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, France, v. 42, n. 1, p. 3-15, 2006.

LAVELLE, P. et al. SOM management in the tropics: why feeding the soil macrofauna? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Ithaca, v. 61, n. 1, p. 53-61, Sept. 2001.

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

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

LEE, K. E.; WOOD, T. G. Physical and chemical effects on soils of some Australian termites, and their pedological significance. **Pedobiologia**, Jena, v. 11, n. 9, p. 376-409, Jan. 1971.

LEIVAS, F. W. T.; FISCHER, M. L. Avaliação da composição de invertebrados terrestres em uma área rural localizada no município de Campina Grande do Sul, Paraná, Brasil. **Biotemas**, Florianópolis, v. 21, n. 1, p. 65-73, mar. 2008.

LEWINSOHN, T. M.; FREITAS, A. V. L.; PRADO, P. I. Conservation of terrestrial invertebrates and their habitats in Brazil. **Conservation Biology**, Melbourne, v. 19, n. 3, p. 640-645, June 2005.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. K. L.; ALMEIDA, A. M. Inventários bióticos centrados em recursos: Insetos fitófagos e plantas hospedeiras. In: DIAS, B. F. S. Et al. (Ed.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. São Paulo: Vozes, 2001. p. 174-189.

LIMA, S. S. et al. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 322-331, mar. 2010.

LOURENTE, E. R. P. et al. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 55-61, ago. 2007.

LOURENTE, E. R. P. et al. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 17-22, jan. 2007.

MARÇAL, W. S. A Intoxicação por samambaia em bovinos criados no Estado do Paraná. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 197-208, jan. 2003.

- MARCHÃO, R. L. et al. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 8, p. 1011-1020, ago. 2009.
- MARINONI, R. C.; DUTRA, R. R. C. Famílias de Coleoptera capturadas com armadilha malaise em oito localidades do Estado do Paraná, Brasil. Diversidades alfa e beta. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 14, n. 3, p. 751-770, set. 1997.
- MARTIN, A.; MARINISSEN, J. C. Y. Biological and physic-chemical processes in excrements of soil animals. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 331-347, Mar. 1993.
- MELO, F. V. et al. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como biondicadores. **Boletim Informativo da SBCS**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 38-43, jan./abr. 2009.
- MENEZES, C. E. G. et al. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1647-1656, nov./dez. 2009.
- MERLIM, A. de O. et al. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 1, p. 57-61, jan. 2005.
- MOÇO, M. K. S. et al. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 565-571, jul./ago. 2005.
- NASA. **Analyses reveal record-shattering global warm temperatures in 2015**. Washington: NOAA, 2016. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-analyses-reveal-record-shattering-global-warm-temperatures-in-2015>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A. de; MENEZES, R. I. de Q. Diversidade da fauna edáfica em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo no semi-árido nordestino. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 43-49, mar./abr. 2009.

OLIVEIRA FILHO, A. T. et. al. Dinâmica da comunidade e populações arbóreas da borda e interior de um remanescente florestal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, em um intervalo de cinco anos (1999-2004). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 149-161, jan./mar. 2007.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. Classificação das fitofisionomias da América do Sul cisandina tropical e subtropical: proposta de um novo sistema - prático e flexível - ou uma injeção a mais de caos? **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 60, n. 2, p. 237-258, mar. 2009.

PAOLETTI, M. G. (Ed). **Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes**: practical use of invertebrates to assess sustainable land use. Amsterdam: Elsevier, 1999. 446 p.

PAOLETTI, M. G. et al. Invertebrates as bioindicators of soil use. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 34, n. 1/4, p. 341-362, July 1991.

PARR, C. L. et al. Savanna fires increase rates and distances of seed dispersal by ants. **Oecologia**, Germany, v. 151, n. 1, p. 33-41, Feb. 2007.

PASINI, A. et al. Macrofauna invertebrada do solo em pastagens do norte do Estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2004, Lages. **Anais...** Lages: SBCS, 2004.

PRIMAVERESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. 9. ed. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

PRINGLE, R. M. et al. Spatial pattern enhances ecosystem functioning in an African Savanna. **PLoS Biology**, Canadá, v. 8, n. 5, p. e1000377, May 2010.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. 409 p.

RÖMBKE, J. et al. Legislation and ecological quality assessment of soil: implementation of ecological indication systems in Europe. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 62, n. 2, p. 201-210, Oct. 2005.

ROPERTO, S. et al. A review of bovine urothelial tumours and tumour-like lesions of the urinary bladder. **Journal of Comparative Pathology**, Bristol, v. 142, n. 2, p. 95-108, Feb./Apr. 2010.

ROSA, A. S.; DALMOLIN, R. S. D. Fauna edáfica em solo construído, campo nativo e lavoura anual. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 913-917, 2009.

ROSSI, J. P. et al. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: matching sampling with patterns. **Soil Biology and Biochemistry**, Leicestershire, v. 38, n. 8, p. 2178-2187, Aug. 2006.

ROUSSEAU, L. et al. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, Portugal, v. 27, n. 1, p. 71-82, Apr. 2013.

ROVEDDER, A. P. et al. Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do rio grande do sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 3, n. 2, p. 87-96, May 2004.

SANTOS, G. G. et al. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 115-122, jan. 2008.

SILVA, R. F. da et al. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 865-871, jun. 2007.

SILVA, R. F. da. et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 697-704, abr. 2006.

SILVA, R. F. da; AQUINO, M. et al. Populações de oligoquetos (Annelida: Oligochaeta) em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de uso do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 673-677, 2006.

SILVA, R. R.; SILVESTRE, R. Riqueza da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) que habita as camadas superficiais do solo em Seara, Santa Catarina. **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 1-11, jan. 2004.

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil**. 2006. 150 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

TAPIA-CORAL, S. C. **Macro-invertebrados do solo e estoques de carbono e nutrientes em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia Peruana**. 2004. 135 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2004.

TER BRAAK, C. J. F. Ordination. In: JONGMAN, R. H. G.; TER BRAAK, C. J. F.; VAN TONGEREN, O. F. R. (Ed.). **Data analysis in community and landscape ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 91-173.

TESSARO, D. et al. Macrofauna of soil cultivated with babycorn treated with Swine wastewater combined with chemical fertilization. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 8, n. 1, p. 86-92, Jan. 2013.

THIOULOUSE, J. et al. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. **Statistics and Computing**, London, v. 7, n. 1, p. 75-83, Mar. 1997.

TOLEDO, L. O. **Aporte de serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no Município de Pinheiral, RJ**. 2003. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

TOPP, W. et al. Soil fauna of a reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: improvement of soil quality by surface pattern. **Ecological Engineering**, Flórida, v. 17, n. 1/2, p. 307-322, June 2001.

VALÉRIO, J. R. et al. Cupins em pastagens, cana-de-açúcar e plantações florestais. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. da (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. p. 409-456.

VELÁSQUEZ, E. et al. This ped is my ped: visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. **Pedobiologia**, Jena, v. 51, n. 1, p. 75-87, Apr. 2007.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 271 p.

VLEESCHAUWER, D. de; LAL, R. Properties of worm casts under secondary tropical forest regrowth. **Soil Science**, Nova Jersey, v. 132, n. 2, p. 175-181, Aug. 1981.

ZAGATTO, M. R. G. et al. Soil macrofauna in land use systems in Ponta Grossa-Paraná state, Brazil. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília. **Proceedings...** Brasília: Embrapa, 2015. p. 1-17.

ZAGATTO, M. R. G. **Fauna edáfica em sistemas de uso do solo no Município de Ponta Grossa-PR.** 2014. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CAPÍTULO 5 INDICADOR GERAL DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USOS E MANEJO NA APA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG

RESUMO

A utilização e desenvolvimento de metodologias capazes de avaliar a qualidade do solo e suas alterações causadas por diferentes manejos e usos se fazem cada vez mais necessárias para identificar e desenvolver práticas agrícolas mais sustentáveis. Conduziu-se este trabalho, com o objetivo de avaliar a qualidade de diferentes usos e manejos do solo, comparando-os com remanescente florestal nativo na Área de Preservação Ambiental (APA) Serra da Mantiqueira, por meio da avaliação de atributos físicos, químicos, morfológicos e da macrofauna do solo pelo método desenvolvido por Velásquez, Lavelle e Andrade (2007). Foram avaliados seis sistemas diferentes de cobertura vegetal; sistemas agroflorestais agroecológicos (com 3 e 6 anos); pastagem, cultivo convencional de oliveira, área de regeneração natural dominada por samambaia (*Pteridium aquilinum*). Os atributos do solo avaliados envolveram aspectos físicos, morfológicos e da macrofauna do solo. A análise de componentes principais mostrou uma separação significativa ($P < 0,001$) para o remanescente florestal, que apresentou o maior valor médio do GISQ (0,7) influenciado pelo elevado subindicador da macrofauna do solo, em seguida, está o sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos (0,6) com elevado subindicador para aspectos morfológicos do solo. A área de cultivo de oliveira apresentou elevado subindicador para a qualidade química do solo, no entanto, apresentou o menor índices para a macrofauna do solo. O cultivo de oliveira e o sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos apresentaram valores intermediários (0,5). As áreas de pastagem e de regeneração natural dominadas por samambaia apresentaram menores valores para o GISQ (0,3), sendo apresentado por essa última melhor subindicador de física do solo. Pode-se confirmar a importância de áreas florestais, a fim de manter a qualidade do solo para preservação e conservação dos remanescentes de Mata Atlântica. Observou-se que a metodologia utilizada pode ser aplicada extensivamente e permite o monitoramento da troca do uso do solo ao longo do tempo. Podendo, portanto, orientar a implementação de sistemas agroflorestais agroecológicos na restauração do solo, podendo, de acordo com seu manejo, substituir as áreas de regeneração natural dominadas por samambaias.

Palavras-chave: *Pteridium aquilinum*. Agricultura de montanha. Sistemas agroflorestais agroecológicos. Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ).

**CHAPTER 5 GENERAL INDICATOR OF SOIL QUALITY IN
DIFFERENT USE AND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE
PROTECTED AREA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG, BRAZIL**

ABSTRACT

The use and development of methods capable of evaluating soil quality and the changes caused by different management and use are increasingly more necessary to identify and develop more sustainable agricultural practices. Our objective was to evaluate the quality of different use and management systems comparing them to a reference native forest ecosystem in the protected area Serra da Mantiqueira, using physic, chemic and morphological attributes of soil, as well as its macrofauna, by the method developed by Velásquez et al. (2007). We evaluated six systems of different vegetation cover: agroecologic agroforestry systems (3- and 6-year old); pasture; conventional Olive tree planation; natural regeneration area dominated by ferns (*Pteridiu aquilinum*). The attributes evaluated comprised physic, morphologic and macrofauna characteristics of soils. Principal Component Analysis separated clearly ($p < 0.001$) the forest remnant, which had the highest average value for GISQ (0.7) influenced by the elevated sub-indicator of soil macrofauna, followed by the six-year old agroecologic agroforestry system (0.6) with elevated sub-indicator for soil morphology. The Olive tree plantation showed elevated sub-indicator for soil chemical quality, however, showed the lowest index for soil macrofauna. The Olive tree plantation and the three-year old agroecological agroforestry system showed intermediate values (0.5). The pasture and fern dominated regeneration area showed lower values for GISQ (0.3), the latest showing the best sub-indicator for soil physical characteristics. We confirmed the importance of these forest areas for maintaining soil quality in order to preserve and conserve Atlantic Forest remnants. We observed that the methods used can be applied widely and allow the monitoring od land use change through time. These method can, so forth, orient the implementation of agroecological agroforestry systems for soil restoration and can, depending on its management, replace the areas under natural regeneration currently dominated by ferns.

Key-words: *Pteridium aquilinum*. Mountain agriculture. Agroecologic agroforestry systems. *General Indicator of Soil Quality (GISQ)*.

1 INTRODUÇÃO

Ambientes de montanha, são extremamente frágeis, porém são fontes essenciais de uma grande diversidade de funções do ecossistema que fornecem as populações serviços e produtos relacionados à água, alimentos e artigos oriundos de sua alta biodiversidade (LOPEZ NETTO; ASSIS, 2015). Na porção mineira da Área de Preservação Ambiental da Serra da Mantiqueira, estão localizadas as maiores altitudes médias do estado e a degradação e frequente perda de solos decorrentes das pastagens é um dos problemas ambientais nessa região. A degradação dos ecossistemas está associada com uma significativa perda de biodiversidade do solo e há uma necessidade imperiosa para a avaliação da qualidade do solo em a fim de identificar e desenvolver práticas mais sustentáveis (PULLEMAN et al., 2012.)

Diversos indicadores de qualidade do solo têm sido propostos na literatura e grande parte deles se concentra em determinados atributos como características físicas e químicas do solo (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000) e aspectos biológicos como presença de organismos da macrofauna edáfica. A observação de atributos isolados do solo, no entanto, proporciona uma avaliação mais específica e pouco abrangente das modificações causadas pelo manejo.

Portanto, deve ser realizada avaliação integrada de um conjunto de indicadores, por meio do desenvolvimento de índices de qualidade do solo, para assim poder subsidiar a indicação específicas de uso dos solos em regiões mais suscetíveis a impactos ambientais, em especial para ambientes de montanha, ecossistemas marcados pela elevada fragilidade ambiental e reconhecidos como de grande importância para a conservação da biodiversidade e manutenção dos recursos hídricos, faz-se emergencial a necessidade de instrumentos que permitam monitorar a sustentabilidade de seus sistemas de produção e manejo,

sob pena da intensificação das atividades produtivas comprometerem drasticamente a diversidade de seus recursos naturais.

Nesse contexto, Velásquez, Lavelle e Andrade (2007) propuseram um indicador geral de Qualidade do Solo (GISQ), sistema de avaliação que aborda diferentes atributos do solo, como características físicas, químicas, morfológicas e da fauna do solo. Esse indicador combinado um conjunto de diferentes subindicadores visando a proporcionar bons resultados na avaliação da qualidade do solo.

O cálculo de indicadores de qualidade do solo que envolvem diversas classes de atributos permite uma avaliação mais abrangente e holística dos impactos causados pelo manejo e usos e manejo do solo e a possibilidade de generalização dos dados encontrados para áreas mais extensas nesse tipo de avaliação, dessa forma, é maximizada.

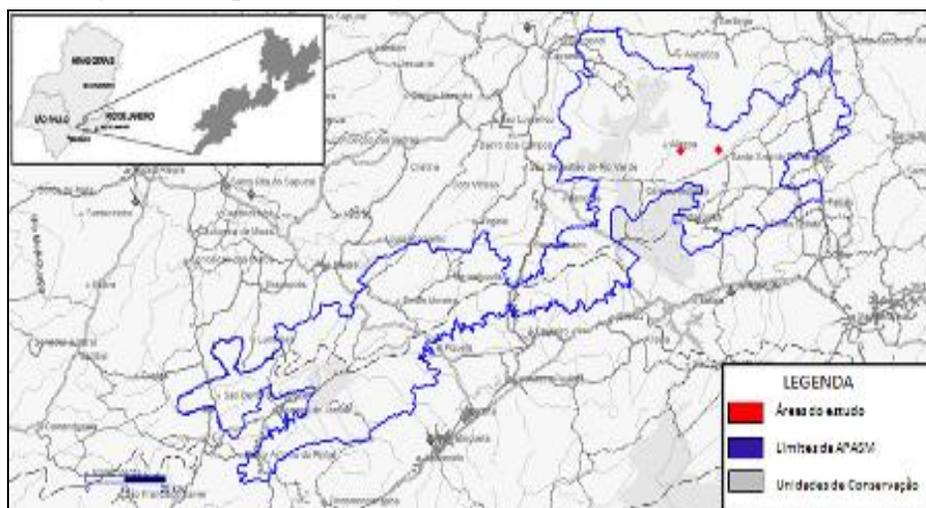
Neste trabalho, objetivou-se construir um indicador geral de qualidade do solo (GISQ), pelo método desenvolvido por Velásquez, Lavelle e Andrade (2007) para avaliar a qualidade a partir de variáveis físicas, químicas, morfológicas e biológicas do solo em seis diferentes ambientes; sistemas agroflorestais agroecológicos (com 3 e 6 anos); pastagem, cultivo convencional de oliveira, área de regeneração natural dominada por samambaia (*Pteridium aquilinum*), tendo como referência um ambiente de floresta nativa na APA Serra da Mantiqueira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo

As amostragens do presente artigo foram realizadas em novembro de 2015 nos municípios de Alagoa e Bocaina de Minas, ao sul do Estado de Minas Gerais, entre as latitudes de 22°10'06"S e 22°10'51"S e as longitudes de 44°36'01"W e 44°30'76"W, respectivamente, localizados na unidade de conservação APA da Serra da Mantiqueira. Os municípios em questão integram a Bacia do Alto Rio Grande, estão localizados em uma importante zona tampão e de conectividade entre o Parque Nacional de Itatiaia (PNI) e o Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESB). Bocaina de Minas possui 11,29% do total da área do PNI em seu território (ICMBIO, 2013). Ambos os municípios do estudo possuem toda sua extensão localizada dentro dos limites da APASM (Figura 1).

Figura 1 - Mapa da localização da área de estudo dentro da APASM.



Fonte: Dados do autor (2016)

Esses municípios possuem 80% de seu território coberto por relevo montanhoso, com altitude média de 1.822 m (INSTITUTO BRASILEIRO DE

GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010), clima Cwb, segundo classificação de Köppen (subtropical úmido e mesotérmico), com médias anuais de temperatura e precipitação respectivas de 16,7 °C e 2.108 mm e predomínio de florestas ombrófilas (CARVALHO et al., 2005). De acordo com Radambrasil (BRASIL, 1983), a unidade litológica mais comum na região Sul da Serra da Mantiqueira é o grupo Andrelândia. Suas encostas íngremes e solos pouco profundos, com textura arenosa fazem com que haja alto risco potencial de erosão (SANTOS et al. 2015; SILVA et al., 2014; SIMAS, 2005). O solo nos locais de estudo está classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) como Cambissolo Háplico Tb Distróficos (CX). Nos locais de estudo, predominam Floresta Ombrófila Altomontana (OLIVEIRA-FILHO et al., 2007) considerando que os limites entre Floresta Altomontana e Montana não são precisos, podendo ocorrer uma transição gradual no local de pesquisa. Os ambientes avaliados estão caracterizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição, uso e localização das áreas estudadas na APA Serra da Mantiqueira, MG.

Local	Descrição
Remanescente de floresta nativa (REM)	Solos com textura franco-argilo-arenosa, área de reserva legal, cobertura vegetal composta por Floresta Ombrófila Altomontana (OLIVEIRA-FILHO et al., 2007), pastagem nativa abandonada há mais de 30 anos. Altitude média 1308 m. Coordenadas : 22°10'36.81"S/ 44°30'41.71"O
Pastagem (PAS)	Solos com textura argilo-arenosa, pastagem extensiva para produção de gado de corte (de cinco unidade animal (UA)/ha) por meio de manejo rotativo, área de pastagem nativa que foi substituída por braquiária (<i>Uruçloa sp.</i>) há, aproximadamente, 20 anos. Altitude média 1254 m. Coordenadas : 22°10'41.40"S/ 44°30'27.12"O
Cultivo convencional de Oliveira (OLI)	Solos com textura argilosa, cultivo convencional de oliveira realizada em 2009, antes disso a área era utilizada como pastagem para gado leiteiro. Altitude média 1278 m. Coordenadas : 22°10'53.42"S/ 44°36'6.37"O
Regeneração natural dominada por samambaia (SAM)	Solo com textura argilo-arenosa. A área de regeneração natural é uma área de pastagem nativa abandonada há 9 anos e dominada pela samambaia <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn. Observa-se a regeneração das comunidades arbóreas ocorrendo simultaneamente à colonização por samambaias. Altitude média 1240 m. Coordenadas : 22°10'28.67"S/ 44°30'30.37"O
Sistema agroflorestal agroecológico com 3 anos (SAF2)	Solo com textura argilo-arenosa. Área similar à área de SAM eram compostas por pastagem utilizada por bezerras com posterior queima e domínio por <i>Pteridium</i> . Plantio de espécies frutíferas, anuais e olerícolas realizado no ano de 2012, utilizando plantio direto por meio de abafamento da adubação verde. Altitude média 1232 m. Coordenadas : 22°10'35.76"S/ 44°30'28.90"O
Sistema agroflorestal agroecológico com 6 anos (SAF1)	Solo com textura argilo-arenosa. Área similar à área de SAM eram compostas por pastagem utilizada por bezerras com posterior queima e domínio por <i>Pteridium</i> . Plantio de espécies frutíferas, anuais e olerícolas realizado no ano de 2009, tendo como cultura principal a oliveira. Utilização de adubação verde. Altitude média 1270 m. Coordenadas : 22°10'35.17"S/ 44°30'34.82"O

Fonte: Dados do autor (2016)

2.2 Amostragem

Em cada sistema estudado, foram amostradas, aleatoriamente, seis parcelas de 25 x 25 m distantes a no mínimo 30 m entre si e a 20 m de bordadura. Foram alocados seis pontos amostrais no centro de cada parcela. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com seis tratamentos e seis repetições.

2.2.1 Macrofauna do solo

A amostragem foi realizada utilizando-se o método recomendado pelo Programa “Tropical Soil Biology and Fertility” (TSBF), descrito por Anderson e Ingram (1993). Um monólito de solo foi retirado no centro de cada parcela. Os monólitos foram alocados, com o auxílio de um gabarito metálico de 25 cm x 25 cm x 10 cm de profundidade, medidas mínimas necessárias para avaliar biodiversidade do solo segundo Rossi et al. (2006).

No final de todas as coletas por área, as amostras foram transferidas separadamente para uma bandeja plástica e a triagem dos animais foi realizada manualmente com o auxílio de pinça. Foram coletados todos os indivíduos visíveis a olho nu e, posteriormente, foram fixados e preservados em solução de álcool a 70%, com exceção das minhocas que ficaram em álcool absoluto.

No Laboratório de Biologia do Solo da Embrapa Florestas (Colombo, PR), a fauna edáfica foi contada e identificada por amostra em placa de Petri sob auxílio de microscópio estereoscópico. Os grupos da macrofauna foram classificados por diferentes níveis taxonômicos como classe e ordem e separados de acordo com o estágio de desenvolvimento em adultos ou imaturos (larvas). Ovos, pupas e indivíduos não identificados foram classificados como outros.

2.2.2 Atributos físicos e químicos do solo

Nos pontos de amostragem da fauna, também foram coletadas amostras de solo para a caracterização química (teores de K, Ca, Mg, P, Al, P-Rem, MO, H+Al, apacidade de troca catiônica (T e t), saturação por bases (V) e alumínio (m) e soma de bases trocáveis (SB) conforme Embrapa (1997) e física.

Para a caracterização física foram retiradas amostras deformadas com a finalidade de determinação umidade (Umid.), densidade de partículas (Dp) e densidade do solo (Ds), seguindo protocolo da Embrapa (1997). Para porosidade, utilizaram-se amostras indeformadas coletadas com o amostrador de Uhland com auxílio de anéis com volume conhecido. O volume total de poros (VTP) foi determinado segundo Danielson e Sutherland (1986). A microporosidade (MICRO) foi obtida em amostras previamente saturadas por 24 horas utilizando-se mesa de tensão com 60 cm de altura de coluna de água, sendo a macroporosidade (MACRO) obtida pela diferença entre a porosidade total e microporosidade (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da resistência do solo à penetração (RP), utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, segundo metodologia preconizada por Stolf, Fernandes e Furlani Neto (1983).

A condutividade hidráulica (Ks) do solo foi realizada utilizando o método de infiltração no campo, por meio do infiltrômetro de minidisco manual com sucção controlada. O funcionamento detalhado do infiltrômetro a disco encontra-se nos trabalhos de Borges et al. (1999) e Thony et al. (1991).

2.2.3 Atributos morfológicos do solo

Para agregados, utilizaram-se as mesmas amostras indeformadas coletadas para tributos físicos. A estabilidade de agregados foi determinada por meio de peneiramento em água, após pré-umedecimento lento dos agregados por capilaridade com um jogo de peneiras de 2; 1; 0,5; 0,25; 0,105 mm para a

separação das classes de tamanho dos agregados , sendo os resultados expressos em diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados (KEMPER; ROSENAU, 1986).

Antes da retirada dos monólitos de solo para a coleta de macrofauna, a serrapilheira foi coletada, utilizando o mesmo gabarito. As amostras de serrapilheira foram separadas e acondicionadas em sacos de polietileno, bem como, posteriormente, as amostras de solo. O solo de cada amostra foi armazenado para posterior retirada de raízes, que depois foram lavadas e, posteriormente, passaram por processos de peneiramento, sendo a primeira peneira com dimensões de 0,33 x 0,40 cm e a segunda peneira (0,26 x 0,26 cm). Depois, as raízes foram secas ao ar. A massa seca de serrapilheira e das raízes foi determinada a 65°C por, aproximadamente 48h e, a seguir, as amostras foram pesadas e registradas. A massa seca foi transformada em gramas/m².

3 ANÁLISE DOS DADOS

Para a construção do indicador geral de qualidade do solo (GISQ) consideraram-se atributos físicos, morfológicos e da fauna do solo. O indicador geral de qualidade do solo (GISQ) é um índice sintético validado por meio de sua utilização ao em vários projetos ao redor do mundo (GRIMALDI et al., 2014; LAVELLE et al., 2014; VELASQUEZ et al., 2012; VELASQUEZ; LAVELLE; ANDRADE, 2007). É baseado em uma sequência de 37 Análises de Componentes Principais (ACP) para identificação das variáveis que melhor diferenciam os locais e a criação de subindicadores, com valores de 0,10 a 1,00 que, posteriormente, são usados para calcular os indicadores da qualidade do solo (VELASQUEZ; LAVELLE; ANDRADE, 2007). Os subindicadores valoram a qualidade física, de fertilidade, morfológicas e a fauna do solo. Por fim, realizou-se uma combinação dos quatro subindicadores em um índice geral.

Os subindicadores de qualidade do solo, para o presente estudo, foram calculados a partir de atributos diagnósticos para cada subindicador em separado. Os atributos químicos utilizados para calcular o subindicador foram: P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, m, P-Rem e MO. Foram avaliados os seguintes atributos físicos: Ds, Dp, MACRO, MICRO, VTP, Ks e RP. Para o subindicador de morfologia foram utilizados os atributos de agregados de tamanhos diferentes (>2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; 0,25- 0,105 e < 0,105) e DMG a biomassa de raízes (kg/m³) e serrapilheira (kg/m²). Para o subindicador de fauna foram utilizados como atributos todos os grupos taxonômicos.

Para a construção do GISQ, foi realizada a ACP para cada conjunto de atributos e o teste de Monte Carlo para discriminar os tratamentos em função do uso e manejo do solo e se obter uma melhor visibilidade do conjunto de dados e suas correlações com as componentes principais. Para o cálculo dos subindicadores, utiliza-se a metodologia descrita por Velasquez, Lavelle e Andrade (2007), onde os dados de cada subindicador são transformados,

possuindo um menor intervalo pela transformação homotética. Cada atributo foi analisado separadamente, onde se atribui a ele valor “positivo ou negativo”, de acordo com sua funcionalidade no solo e no contexto da área amostrada. Se o atributo é positivo, utilizou-se a seguinte equação de transformação homotética:

$$0.1+(x-b)/(a-b)*0.9$$

*onde x: o valor do atributo para cada repetição; a: o valor máximo entre todas as repetições para o atributo em questão; b: o valor mínimo entre todas as repetições para o atributo em questão.

Se o atributo é considerado negativo, utilizou-se a seguinte equação de transformação homotética:

$$1.1-(0.1+(x-b)/(a-b)*0.9)$$

* onde x: o valor do atributo para cada repetição; a: o valor máximo entre todas as repetições para o atributo em questão; b: o valor mínimo entre todas as repetições para o atributo em questão.

Neste trabalho, utilizou-se como atributo negativo apenas os atributos Al e H+Al. Todos os demais grupos foram considerados positivos, por causa da variabilidade dos dados e por serem tratamentos distintos, onde um atributo pode ser positivo ou não para determinado tratamento. Então, optou-se por não assumir este tipo de erro na análise. Após a transformação, seguiu-se a metodologia descrita por Velasquez, Lavelle e Andrade (2007). Por meio de Análises de Componentes Principais (ACPs) foi construído um indicador geral

de qualidade do solo (GISQ) e possíveis relações entre os atributos químicos, físicos e a macrofauna edáfica.

As análises (PCA e coinéncia) foram feitas no software R Studio (R CORE TEAM, 2013) com o auxílio do pacote ADE-4 (THIOULOUSE et al., 1997) para análises multivariadas (DRAY; DUFOUR, 2007) as premissas de análise de variância (homocedasticidade e normalidade) foram verificadas e log transformações foram aplicadas, se necessário.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ambiente REM apresentou maiores valores para Fauna e Morfologia, indicando que este possui uma melhor estrutura do solo, entre outras propriedades, que o beneficiam para o aumento da biodiversidade do solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Representação do resultado dos Subindicadores de cada variável (Morfologia, Macrofauna e Física). (Continua)

Área	Amostra	SubInd Fauna	SubInd Física	SubInd Química	SubInd Morfologia
OLI	1	0.5	0.5	1.0	0.1
	2	0.3	0.7	0.7	0.3
	3	0.3	0.7	0.4	0.3
	4	0.2	0.5	0.7	0.7
	5	0.1	0.7	0.5	0.1
	6	0.1	0.5	0.9	0.1
	Média		0.2	0.6	0.7
SAF 1	1	0.4	0.5	0.3	0.6
	2	0.3	0.4	0.5	1.0
	3	0.5	0.4	0.4	0.7
	4	0.5	0.4	0.4	0.5
	5	0.2	0.3	0.6	0.7
	6	0.3	0.6	0.3	0.9
	Média		0.3	0.4	0.4
SAF 2	1	0.8	0.5	0.5	0.4
	2	0.2	0.4	0.4	0.7
	3	0.3	0.5	0.3	0.4
	4	0.1	0.4	0.3	0.5
	5	0.2	0.2	0.3	0.4
	6	0.1	0.1	0.5	0.5
	Média		0.3	0.3	0.4
PAS	1	0.4	0.5	0.3	0.3
	2	0.2	0.5	0.2	0.4
	3	0.4	0.4	0.2	0.3
	4	0.2	0.7	0.2	0.3
	5	0.3	0.5	0.4	0.2
	6	0.8	0.5	0.3	0.3
	Média		0.4	0.5	0.3

Tabela 1 - Representação do resultado dos Subindicadores de cada variável (Morfologia, Macrofauna e Física). (Conclusão)

Área	Amostra	SubInd Fauna	SubInd Física	SubInd Química	SubInd Morfologia
REM	1	0.8	0.5	0.4	0.8
	2	0.6	0.4	0.6	0.5
	3	0.1	0.7	0.6	0.5
	4	0.2	0.4	0.5	0.5
	5	0.6	1.0	0.7	0.9
	6	1.0	0.3	0.5	0.5
	Média		0.6	0.6	0.5
SAM	1	0.3	0.9	0.1	0.6
	2	0.3	0.5	0.2	0.3
	3	0.4	0.6	0.4	0.4
	4	0.2	0.7	0.4	0.4
	5	0.4	0.6	0.4	0.5
	6	0.2	0.7	0.2	0.4
	Média		0.3	0.7	0.3

REM: Remanescente de Floresta, OLI: Olival, SAF1: Sistema Agroflorestal 1, SAF2: Sistema Agroflorestal 2, PAS: Pastagem, SAM: Samambaial
 Fonte: Dados do autor (2016)

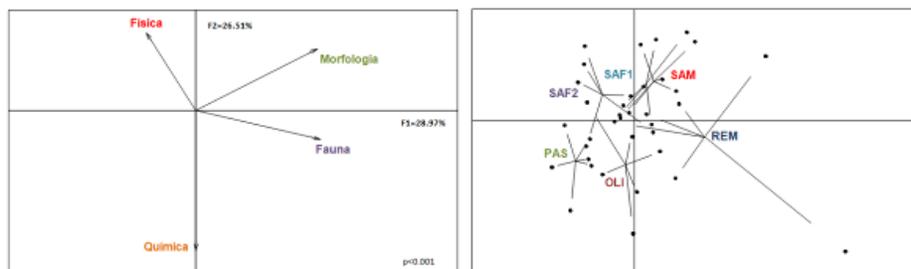
A área do Cultivo convencional de Oliveira (OLI), apesar de possuir elevado valor para os subindicadores de física e química, apresenta baixa qualidade na morfologia, por apresentar alto nível de antropização, efeito do manejo realizado e na fauna, possivelmente ocasionada pela adoção do monocultivo, o que proporciona redução na diversidade de espécies. Já, a área de pastagem (PAS), apesar de possuir bons subindicadores de qualidade para fauna e física do solo demonstrando a eficiência do manejo racional rotativo ou da atividade dos engenheiros do ecossistema, possui baixa qualidade química e morfológica. SAF2 apresenta mais baixos valores para indicadores de fauna e física quando comparados ao SAF1, PAS e SAM. SAF2 apresentou mais altos valores para química e morfologia o que leva a crer que o SAF com o tempo possui potencial de recuperação da qualidade do solo, sendo esse tratamento o mais próximo dos ambientes sem intervenção ou manejo como REM.

REM apresentou maiores valores para Fauna, indicando que este possui uma melhor estrutura do solo que beneficia o aumento da sua biodiversidade. Para Brown et al. (1999), o subindicador relacionado a macrofauna contribui para a avaliação da biodiversidade geral no solo, que, por sua vez, são influenciados por outros os parâmetros conhecidos do solo, contribuindo para o valor mais alto para REM.

SAF2 apresentou os mais baixos valores para indicadores de Fauna e Física quando comparados aos sistemas manejados. SAF1 apresentou os mais altos valores para Química e Morfologia o que leva a crer que os SAFs, com o tempo, possuem potencial de recuperação da qualidade do solo, sendo esse tratamento o mais próximo dos ambientes sem intervenção ou manejo como REM.

A Análise de Componentes Principais (ACP) mostrou uma separação significativa ($p < 0,001$) dos sistemas de uso e manejo do solo, considerando o conjunto dos quatro subindicadores utilizados (Figura 1). O primeiro fator (explicando 28,97% da variação) separou REM das demais áreas estudadas com base nos valores mais altos obtidos para todos os subindicadores. Esse sistema apresentou a maior diversidade de macroinvertebrados do solo, o que explica a boa qualidade do solo medida na área de florsta nativa (REM) ($GISQ > 0,7$). O segundo fator (26,51%), separou SAF1 com valores mais elevados para o subindicador morfologia.

Figura 2 - Projeção dos sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo no espaço fatorial definido pela análise ACP dos subindicadores. (A) Análise de coinerchia dos subindicators com fator 1 e 2 da ACP. (B) Projeção dos sistemas de uso e manejo do solo e remanescente florestal nativo no plano definido pelo fator 1 e 2.



REM: Remanescente de Floresta, OLI: Olival, SAF1: Sistema Agroflorestal 1, SAF2: Sistema Agroflorestal 2, PAS: Pastagem, SAM: Samambaial

A análise multivariada de componentes principais para atributos físicos, morfológicos químicos e fauna demonstra a distinção dos grupos de subindicadores em dois grupos distintos, a fauna e a morfologia estão mais relacionadas com os tratamentos que possuem um maior indicador REM e SAF1, respectivamente (FIGURA 2). Por sua vez, o indicador químico possui uma maior correlação com o tratamento OLI.

Os tratamentos SAF1 e SAF2 estão muito próximos na ACP indicando uma menor variação do valor final do GISQ. O REM se diferenciou, com maior valor do GISQ geral, porém os valores dos subindicadores não são tão elevados, o que comprova que esse tratamento possui uma maior qualidade em comparação com os demais, porém ainda é um índice mediano (0.7) (Tabela 2).

O valor mais alto para média do GISQ foi (0,7) foi calculado para REM com os maiores valores para macrofauna (Tabela 2). OLI e SAF2 apresentaram valores intermediários (0.6) quando comparados. OLI apresentou valores superiores para os subndicadores de Quimica e Fisica e SAF2 para Fauna e Morfologia. O alto valor do subindicator química avalia a fertilidade do solo no

sistema estudado, assim avaliando a capacidade dos solos para sustentar a produção primária (VELASQUEZ; LAVELLE; ANDRADE, 2007) o que demonstra o aporte alto de fertilização na produção de oliveiras para OLI.

Valores menores do GISQ (0,3) foram calculados para SAM e para PAS como esperado para esse sistema agrícola sem a presença de espécies arbóreas e como confirmado em um estudo recente para as culturas anuais na Colômbia, também sem apresentar espécies perenes (LAVALLE et al., 2014).

Tabela 2 - Valores médios do GISQ para cada sistema de uso e manejo estudado e remanescente florestal nativo na APA Serra da Mantiqueira, MG.

ÁREAS	GISQ
OLI	0.5
SAF1	0.6
SAF2	0.5
PAS	0.3
REM	0.7
SAM	0.3

REM: Remanescente de Floresta, OLI: Olival, SAF1: Sistema Agroflorestal 1, SAF2: Sistema Agroflorestal 2, PAS: Pastagem, SAM: Samambaial

Fonte: Dados do autor (2016)

O remanescente florestal nativo (REM) apresentou maior nível de qualidade geral por obter bom desempenho nos diferentes atributos do solo avaliados, mostrando os maiores valores de indicadores de qualidade do solo (GISQ), em relação às outras áreas, com uma média de 0,7 (Tabela 4). REM apresentou maiores valores para Fauna e Morfologia o que resultou em um maior valor do indicador geral. Portanto, o GISQ apresentou maior valor em REM, quando comparado aos sistemas antropizados, indicando que este possui uma melhor estrutura do solo, entre outras propriedades, que o beneficiam para o aumento da biodiversidade do solo. REM também apresentou valores representativos para Física e Morfologia do solo que estão ligados à infiltração e armazenamento da água no solo

A análise de sistemas de uso da terra por diferentes atributos de qualidade do solo permite, dessa forma, uma avaliação e interpretação holística da condição do sistema. Avaliando-se os atributos isoladamente, pode-se chegar a conclusões precipitadas e errôneas sobre como as ações antropogênicas afetam os sistemas. Conclui-se, dessa forma, que para avaliação de sistemas de uso da terra é necessário adoção de critérios abrangentes e avaliações sobre diversos pontos de vista, com o objetivo de tirar conclusões mais embasadas e consistentes.

5 CONCLUSÃO

Quanto aos subindicadores: a área de cultivo de oliveira apresentou elevados índices para a qualidade química do solo, porém obteve baixo desempenho para a qualidade da fauna do solo. A área de pastagem obteve melhores índices para física e fauna do solo do que para química e morfologia. O SAF1 e SAF2 apresentaram melhores índices para morfologia, sendo que SAF 2 apresentou menores índices para fauna e física e SAF1 para fauna. SAM apresentou maiores índices para física do solo e menores para química e fauna.

A área de mata nativa apresentou maior nível de qualidade geral, por obter bom desempenho nos diferentes atributos do solo avaliados bem como valores encontrados por Silva et al. (2015), estudando remanescente florestal de Mata Atlântica. O GISQ permitiu uma análise mais abrangente, envolvendo diferentes atributos de qualidade do solo, por meio de melhor avaliação dos sistemas de uso e manejo do solo, revelando a degradação da qualidade do solo proveniente da conversão de áreas nativas em pastagens e da invasão em áreas em regeneração natural por *Pteridium aquilinum*.

Ao comparar os sistemas de produção agroecológica com o convencional, pode-se perceber que o índice de qualidade do solo em SAF1 foi maior que em OLI, sistemas de uso e manejo com a mesma idade. Com isso, pode-se dizer que observando valores equiparados para OLI e SAF2 os SAFs têm capacidade de aumentar a qualidade do solo nessa região aproximando-se da condição de remanescentes florestais nativos ao longo do tempo.

Este estudo confirmou a importância de áreas florestais a fim de manter a qualidade do solo para a preservação e conservação dos remanescentes de Mata Atlântica. Observou-se que a metodologia utilizada pode ser aplicada extensivamente e permite o monitoramento da troca do uso do solo ao longo do tempo. Podendo, portanto, orientar a implementação de sistemas agroflorestais agroecológicos na restauração do solo, podendo, de acordo com seu manejo,

substituir as áreas de regeneração natural dominadas por samambaias. Além disso, o GISQ poderia ser utilizado pelos agricultores, a fim de ajudar-lhes a avaliação da gestão mais sustentável do solo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd. ed. Oxford: CABI, 1993. 221 p.
- BORGES, E. et al. Determinação das propriedades hidráulicas de solos não saturados utilizando-se permeômetros a disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2083-2090, nov. 1999.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL: levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1983.
- BROWN, G. G. et al. Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. F. (Ed.). **Earthworm management in tropical agroecosystems**. York: CABI Publishing, 1999. p. 87-147.
- CARVALHO, D. A. et. al. Variações florísticas e estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta ombrófila alto-montana às margens do Rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 91-109, jan./mar. 2005.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p. 443-461.
- DRAY, S.; DUFOUR, A. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. **Journal of Statistical Software**, Innsbruck, v. 22, n. 4, p. 1-20, Sept. 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p. (Documentos, 1).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.
- GRIMALDI, M. et al. Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts: searching for landscape drivers. **Landscape Ecology**, Arizona, v. 29, n. 2, p. 311-328, Feb. 2014.

ICMBIO. **Diagnostico socioeconômico, histórico e cultural da área de proteção ambiental da Serra da Mantiqueira**: relatório de dados secundarios. Curitiba: ICMBIO, 2013. 405 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. Part 1, p. 425-442.

LAVELLE, P. et al. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of eastern Colombia. **Agriculture, Ecosystems, and Environment**, Zurich, v. 185, n. 4, p. 106-117, Dec. 2014.

LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, New Jersey, v. 42, n. 1, p. 3-15, Nov. 2006. Suplemento.

LÓPEZ NETTO, A.; ASSIS, R. L. Políticas publicas para a sustentabilidade em ambientes de montanha no Brasil. **Revista Produção e Desenvolvimento**, Nova Iguaçu, v. 1, n. 2, p. 1-14, maio/ago. 2015.

MULDER, C. et al. The use of nematodes in ecological soil classification and assessment concepts. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 62, n. 2, p. 278-289, Oct. 2005.

OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. Dinâmica da comunidade e populações arbóreas da borda e interior de um remanescente florestal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, em um intervalo de cinco anos (1999-2004). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 149-161, jan./mar. 2007.

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

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. 409 p.

ROSSI, J.-P. et al. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: matching sampling with patterns. **Soil Biology and Biochemistry**, Leicestershire, v. 38, n. 8, p. 2178-2187, Aug. 2006.

SANTOS, M. de C. N. et al. Influência topo-edafo-climática na vegetação de um fragmento de Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 928-942, dez. 2015.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Austrália, v. 138, n. 1, p. 335-356, Nov. 2000.

SILVA, A. da et al. General indicator of soil quality in different land-use systems of South Brazil. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE SERVICIOS ECOSISTEMICOS EN LOS NEOTROPICOS: DE LA INVESTIGACION A LA ACCION, 4., 2015, Mar del Plata. **Proceedings...** Mar del Plata: [s.n.], 2015.

SILVA, S. H. G. et al. A technique for low cost soil mapping and validation using expert knowledge on a watershed in Minas Gerais, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Tennessee, v. 78, n. 4, p. 1310-1319, July 2014.

SIMAS, F. N. B. et al. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, n. 3/4, p. 187-201, Apr. 2005.

STOLF, R.; FERNADES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto: modelo IAA/PLANALSUCAR/STOLF**. Piracicaba: Ministério da Indústria e Comércio, 1983. 9 p. (Boletim Técnico, 1).

THIOULOUSE, J. et al. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. **Statistics and Computing**, London, v. 7, n. 1, p. 75-83, Mar. 1997.

THONY, J. L. et al. Field measurements of the hydraulic properties of soil. **Soil Technology**, Cremlingen, v. 4, n. 2, p. 111-123, June 1991.

VELÁSQUEZ, E. et al. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. **Applied Soil Ecology**, Pretty, v. 56, n. 1, p. 43-50, Jan. 2012.

VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, Leicestershire, v. 39, n. 12, p. 3066-3080, Dec. 2007.