

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

DANIELLE INÁCIO ALVES

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM LAVOURA DE
CAFÉ CONILON CONSORCIADO

ALEGRE-ES

2017

DANIELLE INÁCIO ALVES

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM LAVOURA DE
CAFÉ CONILON CONSORCIADO

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal do Centro de
Ciências Agrárias e Engenharias da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito para a
obtenção do título de Mestre em
Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Julião Soares de
Souza Lima.

ALEGRE-ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

A474a Alves, Danielle Inácio, 1991-
Atributos físicos e químicos do solo em lavouras de café conilon
consorciado / Danielle Inácio Alves. – 2017.
77 f. : il.

Orientador: Julião Soares de Souza Lima.

Coorientadores: Samuel de Assis Silva ; Gustavo Soares de
Souza.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Análise multivariada. 2. Café conilon. 3. Sombreamento. I. Lima,
Julião Soares de Souza. II. Silva, Samuel de Assis. III. Souza, Gustavo
Soares de. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 63

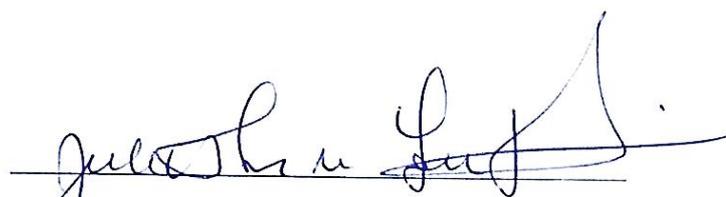
DANIELLE INÁCIO ALVES

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM LAVOURA DE
CAFÉ CONILON CONSORCIADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Aprovada em 21 de fevereiro de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. D. Sc. Julião Soares de Souza Lima
CCAUE-UFES (Orientador)


D. Sc. Gustavo Soares de Souza
Incaper


Prof. D. Sc. Alexandre Cândido Xavier
CCAUE-UFES

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me abençoa e ajuda na minha caminhada;

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade de cursar o mestrado;

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), pelo apoio a realização deste trabalho;

Aos meus pais pelos conselhos, amor e incentivo;

Ao meu irmão, pela paciência e apoio. À minha irmã, que é um grande exemplo na minha vida, pelo incentivo e conselhos;

Ao professor Julião Soares de Souza Lima, pela oportunidade, paciência e orientação;

Aos meus coorientadores, professor Samuel de Assis Silva e pesquisador Gustavo Soares de Souza, pelas contribuições e paciência;

A todos os professores que contribuíram para minha formação profissional, pelo conhecimento e apoio;

Ao CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto de pesquisa;

Aos membros da banca, Alexandre Cândido Xavier e Gustavo Soares de Souza, pela disponibilidade e contribuições;

Aos amigos e a todos que de alguma forma me ajudaram e me apoiaram.

RESUMO

ALVES, Danielle Inácio. Universidade Federal do Espírito Santo. Fevereiro de 2017. **Atributos físicos e químicos do solo em lavoura de café conilon consorciado.** Orientador: D.Sc. Julião Soares de Souza Lima. Coorientadores: D.Sc. Samuel de Assis Silva e D.Sc. Gustavo Soares de Souza.

O café conilon possui grande importância socioeconômica para o Brasil, principalmente para o Estado do Espírito Santo, maior produtor nacional da cultura. O cultivo de café no Espírito Santo, como no resto do país, é predominantemente realizado em monocultivo a pleno sol, porém este sistema tem sido questionado pelos efeitos negativos que causa ao solo quando mal manejado, sendo uma alternativa a adoção de sistemas de cultivo consorciado. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do cultivo de café conilon consorciado nos atributos do solo em relação ao monocultivo a pleno sol. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Bananal do Norte (Incaper), localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim. A variedade plantada é “EMCAPER 8151” e os sistemas de cultivo estudados foram: M1- cafeeiro conilon em monocultivo; cafeeiro conilon consorciado com: M2- pupunheira, M3- gliricídia, M4- bananeira cv. Japira e M5- ingazeiro e; M6- vegetação natural em estado de regeneração. Amostras indeformadas e deformadas de solo foram coletadas nas áreas nas camadas 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,80 m para análise dos atributos físicos (densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade) e químicos do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V, m, P-rem, MO, Zn, Fe, Mn, Cu e B). A análise estatística foi realizada por meio da análise de variância pelo teste F ($p > 0,05$) e, quando significativo, aplicado o teste de médias de Tukey ($p < 0,05$). A análise multivariada foi realizada pelo método de componentes principais (ACP) e pelo método de agrupamento (Cluster) envolvendo as variáveis em estudo. A fertilidade do solo nas camadas 0-0,1 m e 0,1-0,2 m nos anos 2015 e 2016 apresentou teores adequados, variando de médio a alto, de acordo com a recomendação da literatura. Devido ao pequeno tempo de implantação dos sistemas de cultivo não foi possível observar diferenças marcantes entre os sistemas de cultivo do cafeeiro conilon para os atributos avaliados. Na análise de agrupamento a formação de grupos ocorreu principalmente em função da profundidade da camada do solo nos dois anos avaliados, camada de 0-0,10 m, o que também pode ser observado pela análise de variância onde as camadas superficiais apresentaram maiores valores para a maioria dos atributos avaliados. As componentes principais 1 e 2, no ano de 2015, explicaram juntas 58,08% da variância dos dados, e no ano de 2016, explicaram juntas 68,26% da variância total dos dados.

Palavras-chave: Análise multivariada. *Coffea canephora* Pierre. Sombreamento.

ABSTRACT

ALVES, Danielle Inácio. Universidade Federal do Espírito Santo. February, 2017. **Physical and chemical attributes of soil in intercropped conilon coffee**. Advisor: D.Sc. Julião Soares de Souza Lima. Co-advisors: D.Sc. Samuel de Assis Silva and D.Sc. Gustavo Soares de Souza.

Conilon coffee has great socioeconomic importance for Brazil, especially for the State of Espírito Santo, the largest national producer of the crop. Coffee cultivation in Espírito Santo, as in the rest of the country, is predominantly carried out in monoculture in full sun, but this system has been questioned by the negative effects that it causes to the soil when poorly managed, being an alternative to the adoption of systems of intercropping. The objective of this work was to evaluate the effects of conilon coffee intercropping on soil attributes in relation to monoculture in full sun. The experiment was carried at Farming Experimental Bananal of the North (Incaper), located in Cachoeiro de Itapemirim. The planted variety is "EMCAPER 8151" and the cultivation systems studied were: M1- conilon coffee monoculture; Conilon coffee consortium with: M2- peach palm, M3- gliricidia, M4- banana cv. Japira and M5- ingazeiro and; M6 - natural vegetation in state of regeneration. Undeformed and deformed soil samples were collected in the areas in the layers 0-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.40; 0.40-0.80 m to analyze the physical attributes (soil density, total porosity, macroporosity and microporosity) and soil chemistry (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V, m, P-rem, MO, Zn, Fe, Mn, Cu and B). Statistical analysis was performed through analysis of variance by the F test ($p > 0.05$) and, when significant, Tukey's mean test ($p < 0.05$) was applied. The multivariate analysis was performed using the main components method (PCA) and the Cluster method involving the variables under study. Soil fertility in the 0-0.1 m and 0.1-0.2 m layers in the years 2015 and 2016 presented adequate levels, varying from medium to high, according to the literature recommendation. Because to the short time of implantation of the cultivation systems it was not possible to observe marked differences between the systems of cultivation of conilon coffee for the assessed attributes. In group analysis, group formation occurred mainly as a function of the depth of the soil layer in the two evaluated years, 0-0.10 m layer, which can also be observed by analysis of variance where the surface layers presented higher values for most of the evaluated attributes. Principal components 1 and 2, in the year 2015, together explained 58.08% of the data variance, and in 2016, 68.26% of the total data variance.

Keywords: Multivariate analysis. *Coffea canephora* Pierre. Shading.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos	10
3 REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1 Cafeicultura de Conilon	11
3.2 Cafeicultura de conilon no Espírito Santo	12
3.3 Café Consorciado e Agroflorestal	13
3.4 Atributos do solo	17
3.4.1 Atributos físicos.....	18
3.4.1.1 Densidade do solo	19
3.4.1.2 Porosidade do solo	20
3.4.2 Atributos químicos	20
3.4.2.1 pH	21
3.4.2.2 Capacidade de troca catiônica (CTC)	21
3.4.2.3 Soma de bases	21
3.4.2.4 Matéria orgânica do solo.....	22
3.4.2.5 Nutrientes Minerais	22
3.5 Análise Multivariada	23
3.5.1 Análise de agrupamento	24
3.5.2 Análise de componentes principais.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Localização	26
4.2 Variedade do cafeeiro	26
4.3 Sistemas de cultivo	26
4.4 Preparação da área e plantio das mudas	29
4.5 Manejo	29
4.6 Amostragem de solo	30
4.6.1 Atributos químicos do solo	30
4.6.2 Atributos físicos do solo	31
4.7 Análises realizadas	31
4.7.1 Análise de variância.....	32

4.7.2	Análise de agrupamento	32
4.7.3	Análise de componentes principais.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1	Análise de Variância e Teste de Tukey.....	34
5.1.1	Primeiro ano de avaliação (2015)	34
5.1.1.1	Atributos químicos do solo.....	34
5.1.1.2	Atributos físicos do solo	43
5.1.2	Segundo ano de avaliação (2016)	44
5.2	Análise de Agrupamento	52
5.2.1	Primeiro ano de avaliação (2015)	52
5.2.2	Segundo ano de avaliação (2016)	54
5.3	Análise de Componentes Principais.....	57
5.3.1	Primeiro ano de avaliação (2015)	57
5.3.2	Segundo ano de avaliação (2016)	60
6	CONCLUSÕES	64
7	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura possui grande importância no cenário socioeconômico brasileiro, uma vez que se emprega grande número de mão de obra no seu manejo e na sua colheita, que grande parte é realizada manualmente. Em regiões em que a declividade da área sob cultivo não é um empecilho ao tráfego de máquinas vem se utilizando a colheita mecanizada, sendo o Brasil o maior produtor mundial desta cultura. O estado do Espírito Santo destaca-se como o maior produtor nacional de café conilon.

O cultivo de café conilon (*Coffea canephora*) no Brasil é realizado, em sua grande maioria, com cultivares desenvolvidos a pleno sol. Esse sistema permite altas produtividades, devido a maior quantidade de radiação solar que chega até a planta e pelo melhoramento genético do cafeeiro conilon para essas condições. Porém, esse sistema de cultivo pode causar a degradação do solo devido a perdas de partículas, matéria orgânica e nutrientes por meio da erosão, principalmente em áreas com declividade acentuada e com manejo inadequado, em decorrência do escoamento superficial no período de chuva.

Com intuito de reduzir os danos causados na lavoura cafeeira, sistemas de consórcio vêm sendo estudados, como, por exemplo, o consórcio do cafeeiro com bananeira, cacaueteiro, coqueiro, seringueira e gliricídia.

Os sistemas de cultivo consorciados permitem uma maior diversidade de produtos, o que contribui para um aumento da renda das famílias rurais, menor dependência de um único produto e novas oportunidades de emprego no meio rural. Por ser um sistema de cultivo diferenciado, que causa menores danos ambientais, devido a maior cobertura vegetal e maior presença de restos vegetais na superfície, pode-se ainda agregar valor ao produto através da certificação do café.

Além disso, os consórcios com o cafeeiro promovem a melhoria das condições microclimáticas na lavoura, reduzindo a exposição das plantas a fatores climáticos prejudiciais, como excessos de radiação solar, temperaturas elevadas e ventos excessivos. Esses sistemas de cultivo permitem melhor qualidade dos atributos físicos do solo do que em monocultivo, como menor densidade, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior agregação do solo. A diversificação vegetal

na lavoura faz com que se aumente o aporte de biomassa no solo, ou seja, aumenta os níveis de matéria orgânica do solo, promovendo maior diversidade de organismos, reduzindo a perda de nutrientes por lixiviação e melhorando a fertilidade do solo.

Porém, quando manejados de forma inadequada, os sistemas de cultivo consorciado, como qualquer outra cultura, podem trazer prejuízos ao produtor. Em épocas de deficiência hídrica e/ou altas densidades de plantio, as culturas consorciadas podem competir com as plantas do cafeeiro por recursos, tais como: nutrientes, água e radiação. Para evitar esses problemas deve-se escolher as culturas adequadas ao consórcio e conduzi-las de forma a gerar um sombreamento adequado na lavoura, de maneira a melhorar a sustentabilidade do ambiente, aumentar a estabilidade de produção da cultura e permitir a produção de outros produtos.

Ainda existem poucas pesquisas sobre os sistemas de cultivo de cafeeiro conilon consorciado e seus efeitos nos atributos do solo. Além disso, é importante o estudo das variedades de café mais adaptadas ao sombreamento, das espécies mais recomendadas ao consórcio com o cafeeiro, bem como o manejo que deve ser adotado nesse tipo de sistema de cultivo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de sistemas de cultivo consorciado (cafeeiro conilon + pupunheira; cafeeiro conilon + gliricídia; cafeeiro conilon + bananeira e cafeeiro conilon + ingá) nos atributos químicos e físicos do solo em relação ao solo de vegetação em regeneração natural (“mata nativa”) e o monocultivo a pleno sol do cafeeiro conilon (*Coffea Canephora* Pierre ex Froehner), Robusta Topical.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I- Avaliar a fertilidade do solo em diferentes profundidades nos sistemas de consórcio;
- II- Agrupar os sistemas de consórcio em função da fertilidade do solo;
- III- Determinar qual sistema de cultivo do cafeeiro causa maiores benefícios ao solo nas condições avaliadas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CAFEICULTURA DE CONILON

O cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre) pertence ao gênero *Coffea* da família Rubiaceae. Esta é a segunda espécie mais cultivada do gênero, sendo a primeira o *Coffea arabica*. Tem como centro de origem o continente africano, mais precisamente do Congo (PRADO; NASCIMENTO, 2003). Possui ampla distribuição geográfica no continente africano, porém, é cultivado em locais de baixa altitude.

O desenvolvimento do cafeeiro conilon é mais lento que do cafeeiro arábica, mas em regiões quentes e com boa disponibilidade hídrica, pode atingir 5 m de altura (ZAMBOLIM, et al., 2009). Seu crescimento apresenta dimorfismo, onde os ramos ortotrópicos (caule principal) crescem verticalmente e ramos plagiotrópicos (ramos laterais) crescem lateralmente ao ramo ortotrópico. É uma planta perene, arbustiva, com caule lenhoso e multicaule. Possui folhas elípticas e lanceoladas, que se diferem das do cafeeiro arábica por serem maiores e de coloração verde menos intensa. O sistema radicular é volumoso e eficiente na absorção de nutrientes e da água (FAZUOLI, 1986; MONTAGNON et al., 1998). Suas flores são brancas, com grande número por inflorescência e por axila foliar. O número e formato dos frutos variam de acordo com o material genético (DUSSERT et al., 1999; FAZUOLI, 1986).

Segundo Ferrão et al. (2000), o *C. canephora* é uma espécie rústica, com tolerância a pragas e doenças e adaptada a uma ampla faixa de condições edafoclimáticas tropicais, de baixas altitudes e temperaturas elevadas, podendo desenvolver-se em regiões com temperaturas médias anuais entre 22 e 26°C, altitudes inferiores a 500m, estações secas entre 150 e 200 mm e ambiente com elevado déficit de pressão de vapor (FAVARIN, 2004; MATIELLO, 1998).

As variedades do cafeeiro conilon são alógamas devido à sua autoincompatibilidade genética, possuindo alta heterogeneidade entre plantas (BRAGANÇA et al., 2001; CONAGIN; MENDES, 1961). Essa elevada heterogeneidade diminui a produtividade e dificulta o manejo da lavoura, sendo mais recomendada a propagação assexuada utilizando clones elites. A propagação assexuada proporciona maior uniformidade das plantas, produtividade e qualidade dos grãos. Segundo Ramalho et al. (2011), por ser uma planta multicaule e possuir altas taxas de enraizamento, ele pode ser

multiplicado por estaquia. Apesar da multiplicação sexuada não ser muito utilizada nessa variedade, no ano de 2000, foi lançada uma variedade multiplicada por sementes, a “EMCAPER 8151”- Robusta Tropical, essa variedade é oriunda do cruzamento entre clones elites do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (FERRÃO et al., 2000).

O café conilon é muito utilizado na indústria, tanto na fabricação de cafés solúveis quanto em misturas com café arábica (blends). Possui características únicas, como menor acidez e maior teor de cafeína (BELING, 2005; MAPA, 2016).

Assim como a demanda, a produção de café conilon mundial tem aumentado. Em 2015, das 143.306 milhões de sacas de café produzidas no mundo, aproximadamente 42% foi de *C. canephora* (OIC, 2016). Já o Brasil, produziu cerca de 50 milhões de sacas de café beneficiado no mesmo ano, sendo 23% de café conilon (CONAB, 2016). O país é o segundo maior produtor mundial de café conilon, atrás apenas do Vietnã (OIC, 2016). O estado do Espírito Santo é o maior produtor nacional de café conilon, responsável por 70% da produção em 2015, seguido dos estados de Rondônia e Minas Gerais (CONAB, 2016).

3.2 CAFEICULTURA DE CONILON NO ESPÍRITO SANTO

O cafeeiro conilon é a espécie de café mais cultivada no Espírito Santo, em mais de 35 mil propriedades rurais, principalmente, quando se leva em consideração o sistema de cafeicultura familiar. No Brasil, a quase totalidade das lavouras de café, genericamente conhecido por Robusta, é da cultivar Conilon (*Coffea canephora*). O estado do Espírito Santo é o maior produtor nacional de café conilon, responsável por 70% da produção em 2015, oriunda de 283 mil hectares (CONAB, 2016). Deve-se observar que quase toda essa área é cultivada com café a pleno sol, e quando a lavoura for mal manejada expõe o solo ao contato direto com a precipitação pluvial facilitando a erosão hídrica, promovendo o depauperamento das plantas e do solo, o que é um grande problema na agricultura atual.

Conforme descrito por Oliveira (2007), o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) estabeleceu, a partir de 1985, um programa e pesquisa com a cultivar, iniciado com a área de melhoramento genético, que se

estendeu posteriormente para outras áreas do conhecimento, como fisiologia vegetal; fertilidade dos solos; nutrição de plantas; conservação do solo; espaçamento; poda e desbrota; manejo de irrigação; multiplicação vegetativa; entre outras.

Os resultados relacionados à primeira fase desse programa permitiram para o cafeeiro a obtenção e a recomendação de seis variedades melhoradas para o Estado do Espírito Santo: 'Emcapa 8111', 'Emcapa 8121', 'Emcapa 8131', 'Emcapa 8142-Robustão Capixaba' e 'Conilon Vitória-Incaper 8142', clonais, esta última lançada em maio de 2004 e a 'Emcaper 8151-Robusta Tropical' de propagação por sementes. Essas variedades melhoradas do cafeeiro conilon foram as primeiras criadas, recomendadas e registradas oficialmente no país (BRAGANÇA et al. 1993; FERRÃO et al., 1999; FONSECA et al., 2004).

Em estudos realizados por Oliveira (2007), Costa (2011) e Fonseca et al. (2015) o cafeeiro conilon apresentou baixos valores médios de produtividade, com grande variabilidade espacial dentro da lavoura. Portanto, com potencial de aumento na sua produtividade, faz-se necessário o estudo da aplicação de técnicas inovadoras de maneira a contribuir para minimização dos custos e aumento sistemático na produtividade da cultura.

3.3 CAFÉ CONSORCIADO E AGROFLORESTAL

Como mencionado anteriormente, a espécie *Coffea canephora*, tem sua origem nos sub-bosques da floresta africana, ou seja, é uma espécie que se desenvolve em ambientes parcialmente sombreados, sendo sua consorciação com árvores comum em alguns países tropicais (DAMATTA, 2004; RODRIGUES, 2007). Segundo Rodrigues (2009), o sombreamento do cafeeiro deve atingir cerca de 30 a 50% da cobertura da área plantada. Esse tipo de cultivo foi resgatado durante a crise internacional do preço do café, nos anos 90, visando melhorar a economia de alguns países, principalmente os da América Latina.

O cultivo do cafeeiro pode ser realizado em diferentes ambientes, isso é possível pela existência de diferentes genótipos e pela sua plasticidade fenotípica (CARVALHO, 2008; RICCI et al., 2011). A plasticidade fenotípica é a capacidade do

organismo, no caso, o cafeeiro, de alterar sua expressão fenotípica (fisiologia/morfologia) em resposta a condições ambientais especiais, sem a necessidade de alterações genéticas (SCHEINER, 1993). A cultura pode ser conduzida desde sistemas a pleno sol até sistemas multiestratificados ou de policultivo.

Nos países da América Latina (México, Nicarágua, El Salvador, Peru, Panamá e Guatemala) e alguns países da África (Etiópia, Sumatra, Nova Guiné e Timor) o cafeeiro é cultivado sob sombra, já no Brasil, é predominante o cultivo a pleno sol, onde houve melhoramento genético para a adaptação das plantas a essa condição (LUNZ, 2006; MOREIRA, 2009). No estado do Espírito Santo, na maioria das lavouras, o cafeeiro é conduzido em monocultivo, em áreas declivosas e sem a manutenção da cobertura vegetal do solo, o que leva a perdas de solo no processo erosivo (BRINATI et al., 2008).

O cultivo a pleno sol se deve a diversos fatores, tais como: adaptação do cafeeiro a esta prática, aumento da necessidade de mão de obra e resultados de pesquisas contraditórias sobre o efeito do sombreamento na produtividade da cultura, apresentando resultados positivos, negativos ou nulos (DAMATTA, 2004; DAMATTA; RODRIGUEZ, 2007; RICCI et al., 2006).

Rezende et al. (2006) consideram o cultivo consorciado um sistema intermediário entre o monocultivo e a vegetação natural, onde duas ou mais culturas desenvolvem-se em uma mesma área por determinado período de tempo.

No Brasil, diversas plantas têm sido estudadas para o cultivo consorciado com café, como o ingazeiro (*Inga sessilis*), a leucena (*Leucaena leucocephala*), o cedro australiano [*Toona ciliata* var. *australis* (F. Muell.) Bahadur] (GUIMARÃES et al., 2014), a seringueira (*Hevea brasiliensis* Mull.) (NASCIMENTO et al., 2006; SANTOS et al., 2015; SALES et al., 2013), a gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud], o mamoeiro (*Carica papaya* L.) (SALES et al. 2013), a teca (*Tectona grandis* L.f.) (MACEDO et al., 2004), a macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) (PERDONÁ et al., 2012; PEZZOPANE et al., 2010), a eritrina (*Erythrina verna* Vell.) (RICCI; COSTA; OLIVEIRA, 2011), a grevílea (*Grevillea robusta* A. Cunn.) (SALGADO et al., 2005), a bananeira (*Musa* spp.) (ARAÚJO et al., 2015; RICCI;

COSTA; OLIVEIRA, 2011; THOMAZINI et al., 2013a) e o coqueiro (*Cocos nucifera* L.) (PEZZOPANE et al., 2011; SALES et al., 2013; THOMAZINI et al., 2013a).

O sombreamento promovido pelos consórcios com o cafeeiro melhora as condições microclimáticas na lavoura, a qualidade de bebida, as características do solo e proporciona a diversificação da produção (LIMA et al., 2010; SILES; HARMAND; VAAST, 2010; THOMAZINI et al., 2013a).

Em relação aos aspectos microclimáticos, o sombreamento do cafeeiro proporciona uma redução da exposição das plantas a riscos climáticos, tais como: geadas, excesso de ventos, temperaturas altas e excesso de radiação solar (SILES; HARMAND; VAAST, 2010). O consórcio proporciona condições microclimáticas mais amenas, através da redução da amplitude térmica, redução da velocidade do vento, manutenção ou aumento da umidade do ar e melhora da qualidade e quantidade da radiação solar que chega às plantas de café (LUNZ, 2006). Deve-se salientar que ao minimizar a ação dos ventos, diminuem-se os danos mecânicos a planta, o que facilitaria a penetração de patógenos (HERNANDES; PEDRO JUNIOR; BARDIN, 2004). Em trabalho realizado por Araújo et al. (2015), o sistema de consórcio cafeeiro com bananeira promoveu melhorias nas condições microclimáticas, reduzindo o excesso de radiação e diminuindo a temperatura foliar. Araújo et al. (2016), avaliando os efeitos microclimáticos do cultivo do cafeeiro consorciado com seringueira, observaram que o sombreamento diminuiu a temperatura e aumentou a umidade relativa do ar.

Dentre os aspectos sociais e econômicos esse sistema de cultivo permite a exploração de uma variedade maior de produtos em uma mesma área de cultivo, otimizando a utilização do espaço, reduzindo os riscos econômicos pela diversificação dos produtos colhidos, proporcionando maior uniformidade na distribuição de mão de obra e da receita gerada (BERTOLOT et al., 2004). Para a agricultura familiar, o consórcio de culturas se torna uma excelente alternativa para a diversificação da geração de renda, sem a necessidade de aumentar a área de produção.

Thomazini et al. (2013b), avaliando o cultivo de café em sistemas agroecológicos, observaram que o consórcio é uma alternativa para os agricultores diversificarem a produção agrícola, reduzir o uso de insumos externos e contribuir na geração de

renda extra ao produtor ao longo do ano. Além disso, por ser um sistema de cultivo diferenciado, com maior apelo ambiental e social, pode-se agregar valor ao produto. Em uma pesquisa realizada por Sepúlveda, Ureta e Sepulveda-Sepúlveda (2016), observou-se que a certificação de qualidade do produto pode ser utilizada na diferenciação da produção de café, uma vez que as certificações de comércio justo e orgânico *Rainforest* passam a ter efeito positivo na avaliação dos consumidores.

Em relação à morfologia da planta, o consórcio leva ao aumento da área foliar, da altura e do diâmetro da copa, bem como o aumento da distância entre nós, do número de ramos e do número de folhas nos ramos. Quando consorciadas com árvores fixadoras de nitrogênio, promovem o aumento do teor de nitrogênio foliar (RICCI; ROUWS; OLIVEIRA, 2011). Ricci et al. (2013), estudando o cafeeiro conilon consorciado com *Gliricidia sepium* e *Erythrina poeppigiana*, observaram que não houve diferenças na fenologia do cafeeiro consorciado em relação ao monocultivo, sendo que a arborização com gliricídia resultou em maior área foliar, número de ramos plagiotrópicos, distância entre as rosetas e altura, quando comparado ao monocultivo. Araújo et al. (2015), também não encontraram alterações morfofisiológicas no cafeeiro sombreado com bananeira em relação ao cultivo a pleno sol. Já no trabalho realizado por Ricci et al. (2010) com as espécies *C. arabica* e *C. canephora*, o sombreamento alterou algumas características vegetativas do cafeeiro, mas não diminuiu a produção dos grãos em relação ao cultivo a pleno sol.

Segundo Matta e Rodríguez (2007), o sombreamento excessivo provoca a redução de número de nós produtivos por ramo, o que reduz a produtividade da planta. Porém, de acordo com Lunz et al. (2007), o sombreamento moderado não reduz a produtividade do cafeeiro e ainda melhora a qualidade dos grãos. Enquanto no cultivo a pleno sol ocorre o amadurecimento dos grãos de forma rápida, devido ao excesso de radiação solar e temperatura, no cultivo consorciado, o sombreamento ao alterar a quantidade de radiação que chega a planta, permite o acúmulo de teores adequados de substâncias que melhoram a qualidade da bebida (LIMA et al., 2010). Além disso, o atraso na maturação dos frutos de café pode proporcionar o escalonamento do uso de mão de obra na colheita (RICCI; ROUWS; OLIVEIRA, 2011).

Os cultivos consorciados aumentam a biodiversidade das lavouras. Essa diversidade torna o sistema mais vigoroso, reduzindo ou até mesmo dispensando o uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos (BERTALOT et al., 2004). Esse sistema de cultivo reduz a pressão de pragas e doenças (MOREIRA, 2009) e promove o aumento de inimigos naturais das pragas do cafeeiro (LIMA et al., 2010).

A adoção de sistemas com maior diversificação vegetal e/ou arborização, aumenta o aporte de fitomassa no solo, contribui para a conservação da umidade, diminui as variações bruscas de temperatura do solo, favorece o desenvolvimento de comunidades microbianas, protege o solo dos impactos das gotas de chuva, reduz a perda de carbono e nitrogênio, melhora a fertilidade do solo, aumenta a capacidade de absorção de nutrientes, melhora a agregação e a estrutura do solo (ALVARENGA; MARTINS, 2004; BARBERA-CASTILLO, 2001; SILES; HARMAND; VAAST, 2010). Segundo Zambolim (2010), por melhorar a ciclagem de nutrientes, esse sistema diminui a necessidade de uso de insumos externos a propriedade. A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo evita a desagregação de partículas, ocasionada pelo impacto das gotas de chuva, e reduz o transporte do sedimento erodido (MARTINS FILHO, 2009). Em trabalho realizado por Thomazini et al. (2012), observou-se menores perdas de solo e de água em sistemas consorciados do que em sistemas convencionais.

Como pode ser observado, estudos têm sido realizados para avaliar a produtividade, viabilidade econômica e benefícios sociais (SOUZA, GRAAFF, PULLEMAN, 2012), bem como crescimento, fixação de nitrogênio, morfologia da planta, microclima, qualidade do solo, disponibilidade de água, armazenamento de carbono e decomposição da serapilheira (DOSSA et al. 2003, OIJEN et al., 2010) em consórcios com cafeeiro. Porém, no Brasil, existem poucas informações sobre as práticas de manejo nos cultivos de cafeeiro consorciado (PERDONÁ, 2013). Os atributos químicos e físicos do solo influem diretamente no desenvolvimento e produção da lavoura cafeeira, sendo necessárias maiores informações sobre esses atributos nos cultivos consorciados em comparação com o monocultivo do cafeeiro.

3.4 ATRIBUTOS DO SOLO

O manejo do solo e da cultura influenciam na variabilidade dos atributos do solo (CAVALCANTE et al., 2007), ou seja, a qualidade do solo não depende apenas da sua classe, mas também das diferentes práticas de manejo adotadas.

Segundo Muller et al. (2001), a retirada da cobertura vegetal original e implantação de novos cultivos, juntamente com práticas de manejo inadequadas, modificam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo causar danos à sua qualidade e à produtividade das culturas (CARNEIRO et al., 2009). Além disso, as modificações nos atributos do solo são maiores em sistemas de cultivo convencionais quanto comparado com os sistemas considerados conservacionistas (BERTOL et al., 2004).

Na cafeicultura, assim como em outros cultivos agrícolas, existe a preocupação em utilizar práticas de manejo que melhorem a produção, destacando-se o manejo do solo, cuja qualidade deve ser mantida ou até mesmo melhorada para obter a sustentabilidade (SANTANA; BAHIA FILHO, 1998).

Os principais solos utilizados na cafeicultura brasileira são muito intemperizados, ácidos, com baixa fertilidade, alta capacidade de fixação de fósforo, alta saturação de alumínio, friáveis e sem pedregosidade (ZAMBOLIM, 2010).

Segundo Mendonça et al. (2001), a cafeicultura a pleno sol pode promover, em longo prazo, redução da qualidade física, química e biológica do solo, causando a fragmentação dos macroagregados e favorecendo a decomposição da matéria orgânica devido à exposição da fração lábil desta aos microrganismos. Em contrapartida, a utilização de sistemas de consórcio na cultura do café, como os sistemas agroflorestais, reduz a erosão, melhora a estrutura dos solos, aumenta o teor de matéria orgânica e a capacidade de troca catiônica dos solos (ZAMBOLIM, 2010).

3.4.1 Atributos físicos

A qualidade do solo está relacionada com os atributos do solo, dentre eles destaca-se os atributos físicos. Os principais atributos físicos avaliados são: densidade do

solo, porosidade total, textura, resistência à penetração, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica e capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2012).

As propriedades físicas do solo são influenciadas pelo manejo adotado na lavoura. Quando o solo é submetido ao uso agrícola, geralmente, os atributos físicos sofrem alterações desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA et al., 2004).

Geralmente com o aumento do cultivo tem-se um aumento da densidade do solo, redução da porosidade total, redução do tamanho dos agregados e aumento da resistência à penetração (CARNEIRO et al., 2009; GIAROLA et al., 2007; TAVARES FILHO; RIBON, 2008). Segundo Mendes et al. (2006), as alterações nos atributos físicos do solo são maiores nos sistemas de cultivo convencionais do que em sistemas conservacionistas, influenciando a emergência de plântulas, o crescimento radicular, a retenção de água e a erosão do solo.

3.4.1.1 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) é a relação entre a massa de solo seco e o volume total, incluindo o espaço poroso. Ela está relacionada com a capacidade de penetração das raízes e difusão do oxigênio, ou seja, com a absorção de água e nutrientes, afetando o desenvolvimento e produtividade das culturas (DORAN; PARKIN, 1994). Segundo Chioderoli et al. (2012), com o aumento da D_s há uma redução da porosidade total e da macroporosidade e aumento da microporosidade e da resistência à penetração do solo.

A D_s é afetada por diversos fatores, como: uso e manejo do solo, cobertura vegetal, teor de matéria orgânica, grau de compactação e profundidade do solo (CARVALHO et al., 1999; SILVA et al., 2000). Em estudo realizado por Argenton et al. (2005), comparando a qualidade física de um Latossolo sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura com a mata nativa, observou-se aumento da densidade do solo e da resistência à penetração e redução da porosidade total e macroporosidade. Aguiar (2008), comparando o cultivo em sistema agroflorestal (SAF) e cultivo a pleno sol em um Latossolo, verificou que o SAF apresentou melhoras nos atributos físicos do solo, com redução da densidade do solo e da resistência à penetração do solo.

3.4.1.2 Porosidade do solo

A porosidade do solo é a fração do volume do solo ocupado com solução e ar, ela depende da estrutura e textura do solo. Os poros, de acordo com seu diâmetro, podem ser classificados em macroporos e microporos, os quais atuam nos processos de aeração e drenagem, e retenção de água, respectivamente (AGUIAR, 2008; FERREIRA, 2010). Em solos arenosos há predominância de macroporos, sendo bem drenados e arejados enquanto em solos argilosos há predominância de microporos, possuindo maior capacidade de retenção de água (KLEIN, 2005).

A relação entre macroporosidade e microporosidade afeta o desenvolvimento das plantas, sendo que em solos com macroporosidade reduzida, ocorre a indução do crescimento lateral das raízes e, em solos excessivamente porosos há a redução da absorção de nutrientes e água pelo sistema radicular, devido ao menor contato solo-raiz (BEUTLER; CENTURION, 2003).

A relação entre macro e microporosidade pode ser afetada pelo manejo de solo adotado. Normalmente ocorre a redução dos macroporos com o uso do solo, isso se deve a quebra de agregados e consequente entupimento de poros (AGUIAR, 2008).

Freitas (2011), comparando sistemas agroflorestais e pastagem, verificou diferenças na densidade e porosidade do solo, sendo que o sistema agroflorestal apresentou menor densidade e menor porosidade do solo do que a pastagem.

3.4.2 Atributos químicos

Os atributos químicos do solo são responsáveis por fornecer nutrientes, reter elementos, compostos benéficos e compostos nocivos e melhorar o desenvolvimento e a produtividade das plantas. Os atributos químicos que normalmente são utilizados na avaliação da qualidade do solo são: matéria orgânica, pH, nutrientes disponíveis e capacidade de troca catiônica (CARDOSO et al., 2013; KELLY et al., 2009).

Dos atributos do solo, os atributos químicos são os que refletem mais rapidamente o efeito causado pelo manejo adotado. Lourente et al. (2011), observaram que a substituição da vegetação original por sistemas de cultivo pode alterar os atributos

químicos do solo já no primeiro ano de cultivo. Além disso, segundo Frazão et al. (2008), a adoção de sistemas de cultivo conservacionistas pode melhorar os atributos químicos do solo devido ao maior aporte e qualidade da matéria orgânica.

3.4.2.1 pH

O pH representa a acidez ativa do solo, sendo considerado acidez média o valor de pH em água entre 5,0 e 5,9 (PREZOTTI et al., 2007).

O pH do solo está relacionado com a disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas, sendo influenciado, dentre outros fatores, pelo manejo adotado na lavoura. De acordo com Amaral et al. (2004), o material vegetal depositado no solo (matéria orgânica) pode promover o aumento do pH do solo nas camadas mais superficiais, devido à troca ou complexação dos íons de hidrogênio e de alumínio e aumento da saturação de bases, pelo aumento de nutrientes como cálcio, magnésio e potássio.

3.4.2.2 Capacidade de troca catiônica (CTC)

A CTC do solo está relacionada com a capacidade do solo de reter e fornecer nutrientes às plantas. Esta capacidade está relacionada com a quantidade de cargas negativas nos colóides do solo, podendo ser originadas do pH ou da substituição isomórfica nas reações de formação de minerais (BARRETO et al., 2008). Segundo Mendonça e Silva (2007), em solos de regiões tropicais, a matéria orgânica normalmente oferece a maior contribuição nos valores da CTC do solo. Os valores de CTC considerados médios encontram-se entre 4,5 e 10 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (PREZOTTI et al., 2007).

3.4.2.3 Soma de bases

A soma de bases está relacionada com a fertilidade do solo. Ela representa as bases trocáveis presentes no complexo sorativo do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) (PREZOTTI et al., 2007).

3.4.2.4 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo é todo material orgânico de origem animal e vegetal e os produtos resultantes de seu processo de decomposição. Ela exerce influência em vários atributos químicos, físicos e biológicos do solo. A matéria orgânica atua no processo de agregação do solo, melhora a retenção de água no solo, promove os processos biológicos do solo, poder tampão, aumenta a capacidade de troca catiônica e disponibilidade de nutrientes para as plantas (NOVAIS et al., 2007). Ela possui uma importância ainda maior nos solos tropicais e subtropicais, pois estes sofreram intensa atuação do intemperismo, acarretando a degradação e carência de nutrientes, sendo a matéria orgânica importante na melhoria dos atributos destes solos para o desenvolvimento das plantas (BAYER; MIELNICZUK, 1999). A MO é classificada como valor médio no solo para os valores entre 1,5 e 3,0 dag dm⁻³ (PREZOTTI et al., 2007).

A matéria orgânica do solo sofre grande influência do sistema de manejo adotado no cultivo agrícola (BARRETO et al., 2008). Segundo Campos et al. (1995), o adequado manejo dos sistemas de cultivo proporciona um maior aporte de matéria orgânica por meio da deposição de resíduos vegetais e protege a superfície do solo, reduzindo o processo erosivo. A adição da matéria orgânica no solo melhora suas propriedades físicas e químicas (VASCONCELOS et al., 2014). Frazão et al. (2008), notaram que a matéria orgânica resultante da manutenção de resíduos vegetais na superfície de um solo arenoso, aumentou a CTC e a disponibilidade de nutrientes do solo.

3.4.2.5 Nutrientes Minerais

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são fundamentais no crescimento e desenvolvimento vegetal, tendo importância no processo fotossintético do cafeeiro, principalmente nos sistemas de cultivo a pleno sol, predominantes no Brasil (CARELLI; FAHL; RAMALHO, 2006). Já o potássio (K), está relacionado aos processos de frutificação e defesa natural da planta de café (GUIMARÃES et al., 2002). O Ca é importante na estrutura da planta e o Mg na formação da clorofila (TAIZ; ZIEGER, 2013). Os micronutrientes, apesar de requeridos em menores quantidades, são tão importantes

quanto os macronutrientes para as plantas. Participam de processos vitais das plantas como a ativação e constituição de enzimas (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

A disponibilidade dos elementos essenciais às plantas pode ser reduzida devido ao manejo inadequado do solo. Segundo Trindade et al. (2011), a realização de queimadas juntamente com a redução do tempo de pousio, provocam a retirada da serapilheira, maior exposição do solo, perda de nutrientes minerais e aumento da mineralização orgânica. Porém, alguns sistemas de manejo podem aumentar a fertilidade do solo quando comparados aos sistemas convencionais. Em estudo realizado por Iwata et al. (2012), comparando sistema agroflorestal (SAF) com seis e treze anos de implantação, agricultura de corte e queima e floresta nativa, os solos sob SAF, em relação aos demais sistemas, apresentaram aumento do pH, dos teores dos nutrientes e do carbono orgânico total e redução nos teores de alumínio.

3.5 Análise Multivariada

A estatística univariada, ainda muito utilizada na análise de dados, não considera o efeito conjunto de variáveis, sendo considerada apenas uma das diversas variáveis por vez (MALUCHE-BARETTA et al., 2006). Esse tipo de análise pode comprometer as interpretações e conclusões ao se analisar vários atributos (FIDALSKI et al., 2007). Para estes casos, recomenda-se a utilização da estatística multivariada.

Os primeiros autores que contribuíram com ideias sobre a análise multivariada de dados e iniciaram o desenvolvimento de procedimentos para tratar os dados nessas situações, foram Pearson (1901), Fisher (1928), Hotelling (1931), Wilks (1932) e Bartlett (1937) (SARTORIO, 2008). Com estudos posteriores a estes e com o avanço computacional, o uso de métodos multivariados tem aumentado em diversas áreas: biológicas, ecológicas, agrônômicas e outras (COIMBRA et al., 2007), sendo utilizados em diversas pesquisas para a análise de dados de solos (PRAGANA et al., 2012).

Segundo Esbensen (2002), a análise multivariada consiste de técnicas estatísticas utilizadas na análise de várias medições realizadas nas unidades amostrais. Ainda de acordo com este autor, esse tipo de análise pode ser utilizado em três casos: na descrição dos dados, apresentando informações úteis e gráficos; discriminação e

classificação, separando as amostras em grupos, e; regressão e predição, relacionando conjunto de variáveis entre si. As técnicas multivariadas são: Análise de Componentes Principais (ACP); Análise Fatorial (AF); Análise de Correlação Canônica (ACC); Análise de Agrupamentos (AA); Análise Discriminante (AD); Análise de Correspondência (AC); Testes de Hipóteses, Análise de Variância, de Covariância e de Regressão Multivariadas (MINGOTI, 2005). Dentre estes métodos, a ACP e a AG são muito utilizados para a análise da qualidade do solo (HE et al., 2008; LOVATO et al., 2005; MELÉM et al., 2008; SILVA et al., 2010).

A estatística multivariada permite uma abordagem mais ampla do estudo, avaliando simultaneamente diversas variáveis, o que permite a geração de respostas mais precisas (ALMEIDA JÚNIOR, 2012). Segundo Melloni et al. (2008), ao analisar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo em conjunto e correlacioná-los com diferentes ecossistemas, tem-se uma visualização mais clara da influência das variáveis.

3.5.1 Análise de agrupamento

A Análise de Agrupamento (AG), também conhecida como Análise de Cluster, agrupa objetos em classes de acordo com suas similaridades, de forma que objetos pertencentes ao mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às variáveis utilizadas na análise, e que objetos em grupos diferentes tenham alta heterogeneidade em relação a estas mesmas variáveis (MINGOTI et al., 2005). Antes de se realizar a análise é importante que os dados do estudo estejam padronizados, para evitar erros devido à dimensão natural dos dados, tornando-os adimensionais (ZHANG et al., 2011).

Neste tipo de análise normalmente os grupos são apresentados por meio de um dendrograma, diagrama em forma de árvore, onde se tem fusões sucessivas dos objetos, apresentando os grupos e sua proximidade (SHRESTHA; KAZAMA, 2007). Segundo Vicini (2005), pode-se traçar uma linha paralela ao eixo horizontal do dendrograma (linha de corte) para a definição dos grupos, sendo que, essa linha de corte pode ser colocada com base nas maiores distâncias em que os grupos foram formados.

Alguns trabalhos na área de solos têm utilizado a análise de agrupamento. Silva (2009) utilizou este método na classificação de atributos de solo em grupos homogêneos. Lovato et al. (2005), estudaram o agrupamento de organismos da fauna edáfica do solo. E Bueno (2001) utilizou a análise de agrupamento em atributos do solo e produtividade.

3.5.2 Análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi introduzida por Pearson no século XX e foi fundamentada por Hotteling em 1933 (MINGOTI et al., 2005). Por meio da utilização dessa análise é possível reduzir o número de variáveis do conjunto de dados, formando componentes, chamados componentes principais. Estes são ordenados de forma que os primeiros componentes extraíam a maior parte da variabilidade dos dados originais (JOLLIFFE, 2002), ou seja, este método permite a retirada de informações redundantes do conjunto de dados original (LATTIN et al., 2011).

O número máximo de Componentes na ACP vai ser no máximo o número de variáveis existentes no conjunto de dados (REIMANN et al., 2008). A primeira componente principal (CP1) resulta da combinação linear das variáveis Y1, Y2, Y3, etc, que possuem a máxima variância. A segunda CP explica a maior variação possível restante, após a extração da CP1, e deve ser ortogonal a CP1, não correlacionados. O mesmo ocorre para as demais CP (LATTIN et al., 2011).

Na agricultura, mais precisamente na área de solos, alguns estudos têm utilizado esse método estatístico de forma satisfatória. He et al. (2008) e Franco-Uria, (2008), estudaram o controle de metais pesados e substâncias tóxicas presentes no solo. Valladares et al. (2008), utilizaram a ACP na discriminação de variáveis específicas para a classificação de grupos de classes de Organossolos e solos afins. Da mesma forma, Melém Junior et al. (2008), utilizaram a ACP no agrupamento de classes de solo. Enquanto, Burak, Passos e Andrade (2012) e Lima et al. (2009), utilizaram a ACP para estudar a variabilidade dos atributos químicos do solo em lavoura cafeeira.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Bananal do Norte, pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizada no distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim – ES, sob a latitude 20°45' S, longitude 41°47' W e altitude de 146 m. O solo da área onde está instalado o experimento é um Neossolo Flúvico Tb Eutrófico e o relevo do terreno é suave ondulado.

A região apresenta clima classificado como Cwa, com verão chuvoso e inverno seco de acordo com a classificação de Köpen; com temperatura média anual de 23 °C e precipitação anual média de 1.346 mm.

4.2 Variedade do cafeeiro

A variedade cultivada é a “EMCAPER 8151”, denominada Robusta Tropical. Essa é uma cultivar melhorada de propagação por sementes (sexuada) para o estado do Espírito Santo. Foi obtida através da recombinação, polinização aberta em campo isolado, de 53 clones elites do programa de melhoramento do Incaper (ZAMBOLIM; CAIXETA; ZAMBOLIM, 2010).

O espaçamento utilizado para o cafeeiro em todos os tratamentos foi de 3,0 x 1,0 m (3.333 plantas ha⁻¹ no monocultivo e 2.778 plantas ha⁻¹ nos consórcios), sendo adotado o manejo orgânico.

4.3 Sistemas de cultivo

Na área de estudo o cafeeiro conilon está sendo cultivado nos seguintes sistemas (Figura 1):

4.3.1 Manejo um (M1): cafeeiro em monocultivo e a pleno sol (testemunha).

4.3.2 Manejo dois (M2): cafeeiro consorciado com pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth). A pupunheira é uma planta multicaule, pertencente à família Palmae (Arecaceae). É utilizada, principalmente, para a produção de palmito e frutos para consumo humano e animal (RIBEIRO; JORGE, 2013).

4.3.3 Manejo três (M3): cafeeiro consorciado com gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth). A gliricídia é uma leguminosa arbórea de crescimento rápido e raízes profundas. É utilizada na alimentação animal, reflorestamento, cerca viva, adubação verde, entre outros (CARVALHO FILHO; DRUMOND; LANGUIDEY, 1997).

4.3.4 Manejo quatro (M4): cafeeiro consorciado com bananeira, cultivar Japira (*Musa* spp.), que é um híbrido tetraploide, resistente a diversas doenças (Sigatoka, mal-do-Panamá e antracnose). É utilizada para a produção de frutos (banana), com produtividade superior a 20 t ha⁻¹ (PEREIRA; GASPAROTTO; PEREIRA, 2005).

4.3.5 Manejo cinco (M5): cafeeiro consorciado com ingazeiro (*Inga edulis* Mart.). O ingazeiro é uma espécie arbórea pertencente à família Leguminosae. Seus frutos são comestíveis e comercializados e sua madeira é utilizada para lenha, carvão e confecção de caixotes (LORENZI, 2002).

4.3.6 Manejo seis (M6): fragmento de vegetação nativa em regeneração natural – floresta estacional semidecidual da Mata Atlântica.

No estudo foram definidos os manejos Mij, em que i = manejo e j = profundidade da camada (m) de solo estudada. Os manejos foram os apresentados anteriormente (de 1 a 6) e as quatro profundidades estudadas na análise dos atributos químicos e físicos do solo foram: 0-0,10 m (P1), 0,10-0,20 m (P2), 0,20-0,40 m (P3) e 0,40-0,80 m (P4).



Figura 1- Sistemas de cultivo (manejos) avaliados.

As espécies em consórcio foram instaladas nas linhas de plantio do cafeeiro no espaçamento de 3,0 x 6,0 m (555 plantas ha⁻¹) (Figura 2).

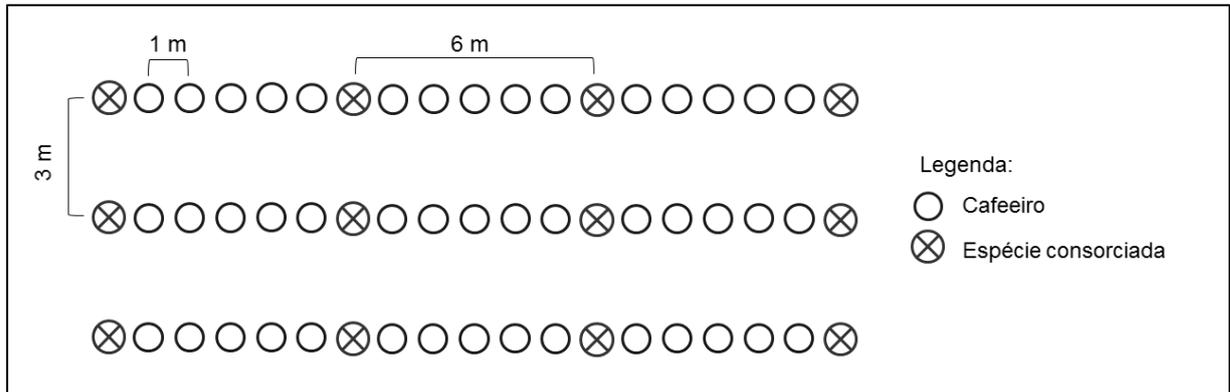


Figura 2- Representação esquemática do espaçamento utilizado entre as plantas de café e as espécies consorciadas.

4.4 Preparação da área e plantio das mudas

Antes da instalação do experimento a área se encontrava em pousio por 6 anos, sendo anteriormente utilizada para o plantio de milho, feijão e sorgo em rotação, conforme descrito por Souza et al. (2016).

Os plantios das mudas do cafeeiro conilon e das espécies em consórcio foram realizados no mesmo período, em janeiro de 2013, em cova de 0,45 m de diâmetro por 0,40 m de profundidade, usando um motocoveador acionado pela TDP de um trator 4x4, com potência no motor de 78 cv e massa total de 4150 kg. Após o plantio das mudas foi realizada irrigação suplementar das plantas, aplicando uma lâmina de 10 mm em um intervalo de sete dias por cova. A adubação de plantio foi com 0,30 kg de fosfato natural reativo, 0,20 kg de calcário e 10 L cova⁻¹ de esterco de galinha, seguindo as recomendações de Prezotti et al. (2007). Duas adubações de cobertura foram realizadas com 5 L e 10 L cova⁻¹, sendo a primeira com esterco de galinha (cama) e a segunda com composto orgânico de capim elefante e de esterco bovino curtido.

4.5 Manejo das lavouras

Os sistemas de cultivo foram conduzidos por meio de manejo orgânico, ou seja, sem a utilização de agroquímicos, sendo realizados:

- 1- O manejo das plantas daninhas nas entre linhas foi realizado com roçadora mecânica montada no Sistema de Levantamento Hidráulico – SLH de um microtrator 4x2 com 15 cv e acionada pela TDP e nas linhas de plantio foi realizada capina manual;
- 2- As podas das culturas consorciadas, gliricídia e ingazeiro, foram realizadas duas vezes por ano, sendo aproximadamente em setembro e março, deixando um sombreamento de 30%;
- 3- A pupunheira foi conduzida sem desbastes, retirando-se o palmito após o aparecimento do primeiro nó na base da planta;
- 4- A bananeira foi conduzida com desbastes mantendo um pseudocaule por touceira no sistema denominado “avó, filha e neta”;
- 5- A adubação foi realizada com composto orgânico, constituído de metade do volume de esterco bovino e metade de palha de café, ambos curtidos, sendo duas aplicações por ano de 12 L, uma em outubro e a outra no período chuvoso no mês de janeiro;
- 6- Nenhum controle fitossanitário foi realizado.

4.6 Amostragem de solo

Amostras indeformadas e deformadas de solo foram coletadas em cada parcela experimental (manejo). Os pontos de amostragens em cada manejo foram feitos aleatoriamente em quatro repetições por profundidade. As amostras foram coletadas em uma trincheira no centro das camadas 0-0,10 m (P1); 0,10-0,20 m (P2); 0,20-0,40 m (P3); 0,40-0,80 m (P4) para análise dos atributos do solo (químicos e físicos), distante 0,50 m da linha de plantio.

4.6.1 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos avaliados foram: pH em água (relação 1:2,5); fósforo, potássio, ferro, zinco, manganês e cobre (extrator de Mechich⁻¹); cálcio, magnésio e

alumínio (extrator KCL– 1 mol L⁻¹); H+Al (correlação com pH SMP); boro (extrator água quente); fósforo remanescente (ou de equilíbrio).

Com base na análise química do solo foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB) [Ca+Mg+K], capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), índice de saturação por bases (V) [(SB/T)*100] e índice de saturação por alumínio (m) [(Al/T)*100] (DONAGEMA et al., 2011).

Os teores de carbono orgânico do solo foram medidos após oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico e aquecimento (WALKLEY; BLACK, 1934). A matéria orgânica do solo (MO) foi estimada a partir dos valores de carbono orgânico do solo (DONAGEMA et al., 2011).

4.6.2 Atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo foram avaliados apenas no primeiro ano de avaliação, em 2015. A densidade (Ds) e a porosidade do solo (macro, micro e total) foram determinadas em amostras de solo de estrutura preservada coletadas em cilindros volumétricos de 0,05 x 0,05 m, conforme Donagema et al. (2011), na projeção da copa do cafeeiro.

4.7 Análises realizadas

As avaliações dos atributos do solo foram realizadas em dois anos. No primeiro ano (2015) foram analisados os atributos químicos e físicos do solo, já no segundo ano (2016) foram analisados apenas os atributos químicos do solo, sendo considerados seis manejos e quatro profundidades no estudo.

O experimento foi conduzido considerando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições por camada de solo em cada manejo, conforme Maia et al. (2007).

4.7.1 Análise de variância

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F ($p < 0,05$), e, quando significativo indicando a existência de pelo menos um contraste entre as médias das variáveis, utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) na análise qualitativa para comparação dos valores médios. Considerou-se como fonte de variação a camada de amostragem de solo nos diferentes manejos e em cada manejo.

4.7.2 Análise de agrupamento

A análise dos dados pelo método de agrupamento hierárquico (Joining) foi realizada adotando os seguintes procedimentos: i) padronização dos dados, na matriz de dados o valor da i -ésimo coluna (atributo) e j -ésimo da linha (ponto amostral) foi denominado por X_{ij} . O correspondente valor padronizado na matriz de dados foi representado por Z_{ij} , calculado pela equação 1:

$$Z_{ij} = (X_{ij} - M)/S_i \quad (1)$$

em que: M = média do atributo e S = desvio padrão do atributo.

A padronização faz com que os atributos contribuam com o mesmo peso no cálculo do coeficiente de similaridade entre eles. ii) escolha do coeficiente de semelhança: adotou-se a medida de dissimilaridade, utilizando a distância euclidiana, pois quanto menor o valor mais próximo está um atributo do outro. Na análise de agrupamento hierárquico utilizou-se a distância euclidiana, conforme equação 2, entre os acessos para o conjunto dos atributos estudados:

$$d_{AB} = \sqrt{(X_{1A} - X_{1B})^2 + (X_{2A} - X_{2B})^2 + \dots + (X_{mA} - X_{mB})^2} \quad (2)$$

em que: X_{1A} = valor do atributo um no ponto amostral A, X_{1B} = valor do atributo um no ponto amostral B, X_{mA} e X_{mB} = valor do atributo m no ponto amostral A e B. iii) Estratégia de agrupamento: foi utilizado o método Ward's, que forma os grupos buscando minimizar a soma das diferenças entre os elementos de cada grupo e o valor médio do grupo, minimizando o desvio padrão entre os dados de cada grupo formado. Neste estudo utilizou-se do dendrograma.

Com a análise de agrupamento, buscou-se verificar as similaridades entre os manejos e os atributos químicos e físicos nas respectivas camadas de solo nas diferentes profundidades de amostragens, a partir de agrupamentos homogêneos. Na representação dos agrupamentos foi utilizado o dendrograma de similaridade na definição dos acessos, no qual os grupos foram definidos pelo traçado de duas linhas paralelas ao eixo horizontal para os manejos nas profundidades, para verificar alterações nos acessos, e de uma linha para o agrupamento dos atributos, onde se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados.

4.7.3 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada no intuito de reduzir o número de variáveis e identificar as componentes principais dos atributos de solo nos diferentes manejos e nas diferentes profundidades estudadas (Mij). A seleção do número das componentes principais foi baseada no critério de análise da qualidade de aproximação da matriz de correlação utilizando as componentes associadas a autovalores superiores a uma unidade, que é a variância média dos atributos quando se utiliza a matriz de correlação. No caso da correlação dos atributos químicos e físicos do solo com as componentes principais considerou-se o quanto cada atributo explica cada componente, sendo assim, significativos os valores superiores em módulo a 0,7, conforme apresentado em Lima et al. (2013).

A representação gráfica por meio do biplot foi para mostrar a correlação dos atributos com as componentes principais um e dois (CP1 e CP2). Já para os escores das respectivas componentes objetivou-se, com o biplot, mostrar grupos formados pelos diferentes manejos nas diferentes profundidades.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de Variância e Teste de Tukey

A análise de variância foi significativa pelo teste F ($p < 0,05$), indicando a existência de pelo menos um contraste entre as médias dos atributos estudados.

5.1.1 Primeiro ano de avaliação (2015)

5.1.1.1 Atributos químicos do solo

Para verificar a diferença entre as médias dos atributos do solo em cada camada de solo nos diferentes manejos aplicou-se o teste de Tukey (Tabelas 1 e 2).

Na Tabela 1, observa-se que na camada 1 (0-0,10 m) não houve diferença significativa para o Ca, Al, H+Al, SB, T, V e m pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. O Al apresentou teores considerados baixos (Prezotti et al., 2007) em todos os manejos para todas as profundidades.

O pH foi maior para os manejos 1, 2, 4 e 5, devido à compostagem da cama de galinha utilizada no plantio das mudas. O menor pH foi de 5,43 no M6 (“mata”), que está com valor no intervalo médio, segundo Prezotti et al. (2007). O P apresentou maiores valores nos manejos 1, 3, 4 e 5 (cafeeiro a pleno sol, consorciado com gliricídia, bananeira e ingazeiro, respectivamente), com valores acima de 10 mg dm^{-3} , que segundo Prezotti et al. (2007), se encontra na faixa média (10 a 20 mg dm^{-3}). O Ca se encontra dentro dos valores considerados médios ($1,5$ a $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nas diferentes camadas. Já o Mg foi maior nos manejos 2, 3, 4 e 5, com valores dentro do recomendado pela literatura. O nutriente K apresentou acima de 120 mg dm^{-3} para o M1 (cafeeiro a pleno sol) e o M2 (cafeeiro consorciado com pupunheira) na camada superficial (0-0,10 m), considerada alta concentração. Para os demais manejos encontrou-se valores acima de 60 mg dm^{-3} , considerado de média concentração de acordo com Prezotti et al. (2007) (60 a 150 mg dm^{-3}) no solo para o cultivo do cafeeiro. Carneiro (2013), estudando a fertilidade do cafeeiro a pleno sol e em sistema agroflorestal, verificou valores elevados de K e P para o cultivo a pleno sol.

Com base nesses dados é possível afirmar que os sistemas de cultivo proporcionaram melhoria na fertilidade do solo em comparação com a “mata” na camada de 0-0,10 m, uma vez que quando significativos, os sistemas de cultivo apresentaram os maiores valores para os atributos do solo.

Para a camada 2 (0,10-0,20 m) não houve diferença significativa para o pH, Ca, Mg, Al, SB, V e m nos diferentes manejos. Para T não houve diferença significativa para todos os manejos, exceto o manejo 6 (“mata”), com menor valor. Em estudo realizado por Menezes et al. (2008) os solos cultivados com sistemas agroflorestais apresentaram maiores teores de pH, Ca e Mg que os solos de florestas remanescentes. Segundo Barreto et al. (2006), em solos de “mata” ocorre elevada ciclagem de nutrientes, aumentando os teores de Ca, Mg e K, responsáveis pela soma de bases e conseqüente CTC do solo, nas camadas superficiais do solo e reduzindo em profundidade. O H+Al apresentou menor valor na área de “mata” (M6) que em relação aos outros manejos, o que levou a menor T. Na camada de 0,40-0,80 m o pH e o V foram menores no manejo 1, não diferindo dos manejos 2, 4, 5 e 6. O K apresentou valor maior que 60 mg dm^{-3} para M1 e com diferença entre os demais.

Tabela 1 - Análise estatística dos atributos químicos nos diferentes manejos, para as diferentes camadas, no ano de 2015.

Manejo	Atributos											
	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca	Mg	Al	H+Al cmol _c dm ⁻³	SB	T	V %	m %	P-rem mg L ⁻¹
Camada 0-0,10 m												
M1	6,58 a	31,45 a	200,25 a	3,66 a	1,03 b	0,00 a	1,70 a	5,55 a	7,25 a	76,20 a	0,00 a	80,48 abc
M2	6,13 abc	14,10 bc	189,50 a	3,22 a	1,36 ab	0,00 a	2,23 a	5,41 a	7,64 a	68,88 a	0,00 a	70,83 bc
M3	5,70 bc	20,35 ab	87,00 b	3,43 a	1,52 a	0,04 a	2,35 a	5,26 a	7,61 a	67,88 a	1,18 a	67,25 c
M4	6,48 ab	33,53 a	97,25 b	3,92 a	1,16 ab	0,00 a	1,58 a	5,40 a	6,97 a	77,35 a	0,00 a	82,63 ab
M5	6,23 abc	21,55 ab	105,75 b	3,55 a	1,09 ab	0,00 a	1,80 a	4,99 a	6,79 a	72,58 a	0,00 a	80,03 abc
M6	5,43 c	1,85 c	68,25 b	3,11 a	0,93 b	0,13 a	2,53 a	4,23 a	6,76 a	60,28 a	5,43 a	86,85 a
Camada 0,10-0,20 m												
M1	5,63 a	12,48 a	100,00 a	2,48 a	0,52 a	0,10 a	2,65 ab	3,47 a	6,12 ab	56,30 a	3,38 a	75,40 ab
M2	5,28 a	3,35 a	62,25 a	2,59 a	0,60 a	0,13 a	3,33 a	3,65 a	6,97 a	51,98 a	3,70 a	61,85 b
M3	5,30 a	4,15 a	32,75 a	2,63 a	0,86 a	0,09 a	2,83 ab	3,66 a	6,48 ab	56,35 a	2,48 a	62,58 b
M4	5,40 a	5,88 a	25,75 a	2,40 a	0,49 a	0,10 a	2,30 ab	3,02 a	5,32 ab	56,40 a	3,35 a	77,38 a
M5	5,23 a	5,53 a	49,00 a	1,87 a	0,46 a	0,18 a	2,85 ab	2,53 a	5,38 ab	46,98 a	6,93 a	72,98 ab
M6	5,63 a	0,98 a	35,50 a	2,26 a	0,64 a	0,03 a	1,90 b	3,00 a	4,90 b	60,80 a	0,98 a	79,33 a
Camada 0,20-0,40 m												
M1	5,03 a	4,05 a	64,00 a	1,57 a	0,28 a	0,33 a	3,23 a	2,11 a	5,33 ab	40,28 b	13,43 a	69,78 a
M2	5,33 a	2,40 a	58,25 a	2,54 a	0,50 a	0,11 ab	3,10 ab	3,34 a	6,44 a	51,90 ab	3,73 abc	57,60 ab
M3	5,55 a	2,98 a	13,75 a	2,56 a	0,56 a	0,06 ab	2,28 abc	3,23 a	5,50 ab	59,73 a	1,85 bc	52,28 b
M4	5,28 a	3,05 a	19,25 a	2,11 a	0,35 a	0,13 ab	2,00 bc	2,59 a	4,59 b	55,95 ab	5,08 abc	71,85 a
M5	5,10 a	3,33 a	28,25 a	1,39 a	0,25 a	0,30 a	2,60 abc	1,79 a	4,39 b	43,80 ab	12,83 ab	65,80 ab
M6	5,78 a	1,18 a	33,50 a	2,02 a	0,56 a	0,01 b	1,70 c	2,69 a	4,39 b	61,35 a	0,53 c	70,68 a
Camada 0,40-0,80 m												
M1	5,20 b	2,83 a	24,75 a	1,75 a	0,31 a	0,09 a	2,05 a	2,21 a	4,26 a	51,43 b	4,33 a	67,73 a
M2	6,00 ab	3,58 a	53,75 a	1,98 a	0,37 a	0,00 a	1,60 a	2,58 a	4,18 a	61,55 ab	0,00 a	29,18 c
M3	6,23 a	5,78 a	7,50 a	2,34 a	0,43 a	0,00 a	1,25 a	2,86 a	4,11 a	69,53 a	0,00 a	28,33 c
M4	5,78 ab	6,80 a	9,00 a	1,91 a	0,33 a	0,00 a	1,28 a	2,33 a	3,60 a	64,65 ab	0,00 a	51,10 b
M5	5,63 ab	4,15 a	15,50 a	1,42 a	0,26 a	0,10 a	1,48 a	1,79 a	3,26 a	55,63 ab	4,90 a	57,20 ab
M6	5,65 ab	1,18 a	31,50 a	1,76 a	0,53 a	0,01 a	1,60 a	2,39 a	3,99 a	59,68 ab	0,58 a	64,10 ab

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). P=fósforo, P-rem=fósforo remanescente, K=potássio, Ca=cálcio, Mg=magnésio, Al=alumínio, H+Al=acidez potencial, SB=soma de bases, T=CTC pH 7, V=saturação por bases, m=saturação de alumínio.

Na Tabela 2, observar-se a análise estatística da MO, micronutrientes e atributos físicos do solo nos diferentes manejos, para diferentes camadas, em 2015. A MO não apresentou diferença significativa entre os diferentes manejos na camada de 0,0-0,10 m. O tempo de condução do experimento, três anos, provavelmente, não foi suficiente para alterar consideravelmente os teores de MO no solo. Segundo Rasmussen e Collins (1991), a alteração no teor de matéria orgânica em solos cultivados muda lentamente com o tempo e as diferenças nos manejos são difíceis de serem detectadas em curto prazo.

No entanto, na camada de 0,10-0,20 m a MO foi maior no consórcio com pupunheira (M2) e menor no consórcio com bananeira (M4). Na camada de 0,40-0,80 m os maiores valores encontrados foram para os manejos 4 e 3. Os valores da MO nas diferentes camadas, com maior e menor concentração no solo, não se pode afirmar categoricamente que ocorreram em função das culturas consorciadas em cada manejo. Esta observação se faz em virtude do pouco tempo da instalação do experimento.

Os micronutrientes que não apresentaram diferença significativa foram o Zn, em todas as camadas, o Fe na camada de 0,40-0,80 m, o Mn nas camadas 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,80 m e o Cu nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. O B apresentou maiores valores no M4 (consórcio com bananeira) em todas as camadas. Na camada de 0-0,10 m o Fe foi menor no solo de “mata” (M6) e o Mn foi maior nos manejos 2, 3 e 6. Na camada de 0,10-0,20 m o Fe apresentou maiores valores para os sistemas de cultivo de cafeeiro consorciado e a pleno sol (testemunha) em relação à “mata”. Na camada de 0,20-0,40 m o Fe foi maior nos manejos 1 e 5. Na camada de 0,40-0,80 m o Cu foi maior no consórcio com gliricídia (M3), não diferindo estatisticamente dos manejos 1, 2, 4 e 5. Segundo Miguel et al. (2002), apesar dos micronutrientes serem requeridos em pequenas quantidades, eles são fundamentais para crescimento, desenvolvimento e produção do cafeeiro, sendo os principais B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Tabela 2 - Análise estatística da MO, micronutrientes e atributos físicos do solo nos diferentes manejos, para diferentes camadas, 2015.

Manejo	Atributos									
	MO dag kg ⁻¹	Zn	Fe	Mn mg dm ⁻³	Cu	B	Ds kg dm ⁻³	PT	Micro m ³ m ⁻³	Macro
Camada 0-0,10 m										
M1	1,79 a	9,05 a	50,73 a	94,78 b	4,04 a	1,95 cd	1,40 a	0,47 b	0,28 bc	0,19 ab
M2	2,50 a	8,30 a	62,65 a	158,13 a	6,00 a	2,63 cd	1,12 b	0,58 a	0,45 a	0,13 b
M3	2,25 a	12,03 a	47,85 a	112,20 ab	7,46 a	9,95 b	1,23 ab	0,54 ab	0,41 ab	0,13 b
M4	1,49 a	9,28 a	47,60 a	101,35 b	6,12 a	12,28 a	1,33 a	0,50 b	0,24 c	0,26 a
M5	1,74 a	10,63 a	58,30 a	109,63 b	5,44 a	0,75 d	1,38 a	0,48 b	0,27 c	0,21 ab
M6	1,95 a	14,45 a	10,80 b	130,90 ab	2,53 a	0,95 d	1,22 ab	0,54 ab	0,27 c	0,27 a
Camada 0,10-0,20 m										
M1	1,18 abc	5,15 a	58,55 a	63,45 a	4,54 a	1,35 c	1,43 a	0,46 b	0,28 bc	0,18 b
M2	1,67 a	5,58 a	52,25 a	79,63 a	6,63 a	1,83 c	1,14 b	0,57 a	0,42 a	0,15 b
M3	1,49 ab	9,50 a	38,68 ab	74,48 a	8,31 a	9,25 b	1,22 b	0,54 a	0,37 ab	0,17 b
M4	0,60 c	5,35 a	47,60 a	53,78 a	7,11 a	11,50 a	1,45 a	0,45 b	0,26 bc	0,20 ab
M5	1,14 abc	5,58 a	66,05 a	53,70 a	6,04 a	0,70 c	1,43 a	0,46 b	0,27 bc	0,20 ab
M6	0,86 bc	10,15 a	16,68 b	79,20 a	3,47 a	0,68 c	1,33 ab	0,50 ab	0,23 c	0,27 a
Camada 0,20-0,40 m										
M1	0,97 a	4,88 a	73,25 a	62,58 a	5,18 a	1,10 c	1,44 a	0,46 c	0,26 c	0,19 b
M2	1,33 a	5,68 a	44,78 b	76,63 a	6,50 a	1,50 c	1,07 c	0,59 a	0,44 a	0,15 b
M3	1,12 a	9,28 a	30,75 b	63,55 a	8,61 a	7,70 b	1,16 bc	0,56 ab	0,39 ab	0,17 b
M4	0,61 a	5,60 a	37,58 b	48,88 a	7,36 a	10,65 a	1,42 a	0,47 c	0,26 c	0,21 b
M5	0,71 a	4,93 a	48,60 ab	46,83 a	6,11 a	0,58 c	1,34 ab	0,49 bc	0,32 bc	0,18 b
M6	0,55 a	5,35 a	21,85 b	57,65 a	3,85 a	0,53 c	1,18 bc	0,55 ab	0,26 c	0,30 a
Camada 0,40-0,80 m										
M1	0,54 b	4,98 a	44,13 a	53,88 a	5,49 ab	0,73 c	1,36 ab	0,48 bc	0,30 bc	0,18 a
M2	0,32 b	3,83 a	22,00 a	42,98 a	7,67 ab	0,50 c	1,15 c	0,57 a	0,44 a	0,13 a
M3	0,80 a	5,35 a	24,25 a	39,20 a	10,03 a	4,05 b	1,17 bc	0,56 ab	0,40 ab	0,16 a
M4	0,37 b	4,13 a	21,53 a	26,73 a	7,25 ab	7,53 a	1,45 a	0,45 c	0,26 c	0,19 a
M5	0,22 b	3,43 a	22,05 a	38,90 a	5,82 ab	0,40 c	1,43 a	0,46 c	0,26 c	0,20 a
M6	0,32 b	2,50 a	29,83 a	34,58 a	3,70 b	0,50 c	1,43 a	0,46 c	0,25 c	0,22 a

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). MO=matéria orgânica, Zn=zinco, Fe=ferro, Mn=manganês, Cu=cobre, B=boro, Ds=densidade do solo, PT=porosidade total, Micro=microporosidade, Macro=macroporosidade.

A análise estatística dos atributos químicos e físicos do solo nas diferentes camadas de solo em cada manejo está nas Tabelas 3 e 4. No manejo 1 (cafeeiro a pleno sol) observa-se que pelo menos em uma camada do solo houve diferença significativa, sendo que o maior valor ocorreu na camada mais superficial (0-0,10 m), exceto para os micronutrientes Zn, Mn e Cu e fósforo remanescente (P-rem), que não apresentaram diferença estatística. Os valores de P e K foram até duas vezes maiores na camada 1 em relação à camada 2, para todos os manejos, exceto o P na área de “mata” (M6). Este fato se deve à adubação ocorrida na instalação dos manejos (consórcios), bem como da cama de galinha utilizada por cova, considerando, assim, manejo “orgânico”. De acordo com Fidalski e Chaves (2010), adubos orgânicos, tais como, esterco bovino e cama de frango, melhoram a fertilidade do solo. Sturião (2012) no seu experimento utilizou cama de galinha na adubação do plantio das mudas de mamoeiro em covas e que, segundo autor este material de compostagem tem pH de 7,8 e 34% de matéria orgânica compostável.

Tabela 3 - Análise estatística dos atributos químicos nas diferentes camadas, para os diferentes manejos, no ano de 2015.

Camada	Atributos											
	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V %	m %	P-rem mg L ⁻¹
Manejo 1 (cafeeiro a pleno sol)												
P1	6,58 a	31,45 a	200,25 a	3,66 a	1,03 a	0,00 b	1,70 b	5,55 a	7,25 a	76,20 a	0,00 a	80,48 a
P2	5,63 b	12,48 b	100,00 b	2,48 b	0,52 b	0,10 ab	2,65 ab	3,47 b	6,12 ab	56,30 b	3,38 b	75,40 a
P3	5,03 b	4,05 b	64,00 bc	1,57 b	0,28 b	0,33 a	3,23 a	2,11 b	5,33 bc	40,28 b	13,43 b	69,78 a
P4	5,20 b	2,83 b	24,75 c	1,75 b	0,31 b	0,09 ab	2,05 b	2,21 b	4,26 c	51,43 b	4,33 ab	67,73 a
Manejo 2 (cafeeiro consorciado com pupunheira)												
P1	6,13 a	14,10 a	189,50 a	3,22 a	1,36 a	0,00 a	2,23 bc	5,41 a	7,64 a	68,88 a	0,00 a	70,83 a
P2	5,28 b	3,35 a	62,25 b	2,59 ab	0,60 b	0,13 a	3,33 a	3,65 b	6,97 a	51,98 b	3,70 a	61,85 ab
P3	5,33 b	2,40 a	58,25 b	2,54 ab	0,50 b	0,11 a	3,10 ab	3,34 b	6,44 a	51,90 b	3,73 a	57,60 b
P4	6,00 ab	3,58 a	53,75 b	1,98 b	0,37 b	0,00 a	1,60 c	2,58 b	4,18 b	61,55 ab	0,00 a	29,18 c
Manejo 3 (cafeeiro consorciado com gliricídia)												
P1	5,70 ab	20,35 a	87,00 a	3,43 a	1,52 a	0,04 a	2,35 a	5,26 a	7,61 a	67,88 a	1,18 a	67,25 a
P2	5,30 b	4,15 b	32,75 ab	2,63 a	0,86 b	0,09 a	2,83 a	3,66 ab	6,48 ab	56,35 a	2,48 a	62,58 ab
P3	5,55 ab	2,98 b	13,75 ab	2,56 a	0,56 bc	0,06 a	2,28 a	3,23 b	5,50 bc	59,73 a	1,85 a	52,28 b
P4	6,23 a	5,78 b	7,50 b	2,34 a	0,43 c	0,00 a	1,25 b	2,86 b	4,11 c	69,53 a	0,00 a	28,33 c
Manejo 4 (cafeeiro consorciado com bananeira)												
P1	6,48 a	33,53 a	97,25 a	3,92 a	1,16 a	0,00 a	1,58 ab	5,40 a	6,97 a	77,35 a	0,00 a	82,63 a
P2	5,40 b	5,88 b	25,75 ab	2,40 b	0,49 b	0,10 a	2,30 a	3,02 b	5,32 b	56,40 b	3,35 a	77,38 a
P3	5,28 b	3,05 b	19,25 b	2,11 b	0,35 b	0,13 a	2,00 ab	2,59 b	4,59 bc	55,95 b	5,08 a	71,85 a
P4	5,78 ab	6,80 b	9,00 b	1,91 b	0,33 b	0,00 a	1,28 b	2,33 b	3,60 c	64,65 ab	0,00 a	51,10 b
Manejo 5 (cafeeiro consorciado com ingazeiro)												
P1	6,23 a	21,55 a	105,75 a	3,55 a	1,09 a	0,00 b	1,80 bc	4,99 a	6,79 a	72,58 a	0,00 b	80,03 a
P2	5,23 b	5,53 b	49,00 ab	1,87 b	0,46 b	0,18 ab	2,85 a	2,53 b	5,38 ab	46,98 b	6,93 ab	72,98 ab
P3	5,10 b	3,33 b	28,25 b	1,39 b	0,25 b	0,30 a	2,60 ab	1,79 b	4,39 bc	43,80 b	12,83 a	65,80 bc
P4	5,63 ab	4,15 b	15,50 b	1,42 b	0,26 b	0,10 ab	1,48 c	1,79 b	3,26 c	55,63 b	4,90 ab	57,20 c
Manejo 6 ("mata")												
P1	5,43 a	1,85 a	68,25 a	3,11 a	0,93 a	0,13 a	2,53 a	4,23 a	6,76 a	60,28 a	5,43 a	86,85 a
P2	5,63 a	0,98 a	35,50 a	2,26 ab	0,64 a	0,03 a	1,90 a	3,00 ab	4,90 b	60,80 a	0,98 a	79,33 ab
P3	5,78 a	1,18 a	33,50 a	2,02 ab	0,56 a	0,01 a	1,70 a	2,69 ab	4,39 b	61,35 a	0,53 a	70,68 bc
P4	5,65 a	1,18 a	31,50 a	1,76 b	0,53 a	0,01 a	1,60 a	2,39 b	3,99 b	59,68 a	0,58 a	64,10 c

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 4 - Análise estatística da MO, micronutrientes e atributos físicos do solo nas diferentes camadas, para diferentes manejos, 2015.

Camada	Atributos									
	MO dag kg ⁻¹	Zn	Fe	Mn mg dm ⁻³	Cu	B	Ds kg dm ⁻³	PT	Micro m ³ m ⁻³	Macro
Manejo 1 (cafeeiro a pleno sol)										
P1	1,79 a	9,05 a	50,73 ab	94,78 a	4,04 a	1,95 a	1,40 a	0,47 a	0,28 a	0,19 a
P2	1,18 ab	5,15 a	58,55 ab	63,45 a	4,54 a	1,35 ab	1,43 a	0,46 a	0,28 a	0,18 a
P3	0,97 b	4,88 a	73,25 a	62,58 a	5,18 a	1,10 ab	1,44 a	0,46 a	0,26 a	0,19 a
P4	0,54 b	4,98 a	44,13 b	53,88 a	5,49 a	0,73 b	1,36 a	0,48 a	0,30 a	0,18 a
Manejo 2 (cafeeiro consorciado com pupunheira)										
P1	2,50 a	8,30 a	62,65 a	158,13 a	6,00 a	2,63 a	1,12 a	0,58 a	0,45 a	0,13 a
P2	1,67 b	5,58 a	52,25 a	79,63 b	6,63 a	1,83 a	1,14 a	0,57 a	0,42 a	0,15 a
P3	1,33 b	5,68 a	44,78 ab	76,63 b	6,50 a	1,50 ab	1,07 a	0,59 a	0,44 a	0,15 a
P4	0,32 c	3,83 a	22,00 b	42,98 b	7,67 a	0,50 b	1,15 a	0,57 a	0,44 a	0,13 a
Manejo 3 (cafeeiro consorciado com gliricídia)										
P1	2,25 a	12,03 a	47,85 a	112,20 a	7,46 a	9,95 a	1,23 a	0,54 a	0,41 a	0,13 a
P2	1,49 b	9,50 a	38,68 a	74,48 ab	8,31 a	9,25 a	1,22 a	0,54 a	0,37 a	0,17 a
P3	1,12 b	9,28 a	30,75 a	63,55 b	8,61 a	7,70 b	1,16 a	0,56 a	0,39 a	0,17 a
P4	0,80 b	5,35 a	24,25 a	39,20 b	10,03 a	4,05 c	1,17 a	0,56 a	0,40 a	0,16 a
Manejo 4 (cafeeiro consorciado com bananeira)										
P1	0,37 a	9,28 a	47,60 a	101,35 a	6,12 a	12,28 a	1,33 a	0,50 a	0,24 a	0,26 a
P2	0,60 b	5,35 a	47,60 a	53,78 b	7,11 a	11,50 ab	1,45 a	0,45 a	0,26 a	0,20 a
P3	0,61 b	5,60 a	37,58 ab	48,88 b	7,36 a	10,65 b	1,42 a	0,47 a	0,26 a	0,21 a
P4	1,49 b	4,13 a	21,53 b	26,73 b	7,25 a	7,53 c	1,45 a	0,45 a	0,26 a	0,19 a
Manejo 5 (cafeeiro consorciado com ingazeiro)										
P1	1,74 a	10,63 a	58,30 a	109,63 a	5,44 a	0,75 a	1,38 a	0,48 a	0,27 a	0,21 ab
P2	1,14 ab	5,58 ab	66,05 a	53,70 b	6,04 a	0,70 a	1,43 a	0,46 a	0,27 a	0,20 ab
P3	0,71 bc	4,93 ab	48,60 a	46,83 b	6,11 a	0,58 a	1,34 a	0,49 a	0,32 a	0,18 a
P4	0,22 c	3,43 b	22,05 b	38,90 b	5,82 a	0,40 a	1,43 a	0,46 a	0,26 a	0,20 b
Manejo 6 ("mata")										
P1	1,95 a	14,45 a	10,80 a	130,90 a	2,53 a	0,95 a	1,22 b	0,54 a	0,27 a	0,27 a
P2	0,86 b	10,15 ab	16,68 a	79,20 b	3,47 a	0,68 a	1,33 ab	0,50 ab	0,23 a	0,27 a
P3	0,55 b	5,35 bc	21,85 a	57,65 bc	3,85 a	0,53 a	1,18 b	0,55 a	0,26 a	0,30 a
P4	0,32 b	2,50 c	29,83 a	34,58 c	3,70 a	0,50 a	1,43 a	0,46 b	0,25 a	0,22 b

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A concentração da MO foi maior na primeira camada do solo em todos os manejos (Tabela 4). Este fato se dá em decorrência do sistema radicular e dos restos vegetais das culturas na área que antecedeu a instalação do experimento, bem como a cama de galinha e composto orgânico utilizados na adubação. Os teores de MO tendem a ser maiores nas camadas mais superficiais do solo, pois é onde se tem um maior aporte de resíduos orgânicos (MORAIS et al., 2012). Moreira (2003), Theodoro et al. (2003), Salgado et al. (2006) e Silva et al. (2010) também encontraram valores próximos do médio para a matéria orgânica em solos cultivados com cafeeiro.

A matéria orgânica atua nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (NOVAIS et al., 2007), sendo de grande importância para a qualidade do solo. O manejo utilizado nos sistemas de cultivo, roçagem e adubação orgânica, favorece o acúmulo de serapilheira na superfície do solo, além disso, nos manejos consorciados há a deposição de materiais (folhas, galhos, entre outros) das espécies consorciadas, favorecendo maiores teores de MO nas camadas mais superficiais do solo. De acordo com Calvo et al. (2010), a manutenção de palhada na superfície do solo favorece a manutenção da umidade do solo, a biota do solo e a ciclagem de nutrientes, podendo aumentar a produtividade do cafeeiro.

O Cu não apresentou diferença estatística entre as profundidades (camadas) avaliadas para todos os manejos, bem como o Zn nos manejos 1, 2, 3 e 4, o Fe nos manejos 3 e 6 e o Mn no manejo 1. O Zn apresentou os maiores valores nas camadas 1 e 2 dos manejos 5 e 6 e na camada 3 do manejo 6. O Fe apresentou maiores níveis nas três primeiras camadas nos manejos 1, 2, 4 e 5. Os valores de Mn foram maiores na primeira camada para todos os manejos, exceto para o M1 que não diferiu estatisticamente. O B foi maior nas três primeiras camadas nos manejos 1 e 2 e nas duas primeiras camadas nos manejos 3 e 4.

Em relação à fertilidade do solo, de acordo com Prezotti et al. (2007), o pH está dentro dos limites considerados adequados para o cafeeiro para todos os manejos e em todas as profundidades. O Ca e a SB, encontram-se abaixo do nível adequado apenas nas camadas 3 e 4 do manejo 5. O P só apresenta níveis adequados na camada 1 para todos os manejos, exceto para o manejo 6, e na camada 2 do manejo 1. De acordo com Fernandes et al. (1997), maiores valores de P na camada

superficial do solo estão relacionados com a maior concentração de MO nessa camada. O K está dentro da recomendação para todos os manejos na camada 1 e nas camadas 2 e 3 dos manejos 1 e 2. O Mg apresenta-se adequado para todas as camadas do manejo 6, para as camadas 1, 2 e 3 dos manejos 2 e 3, para as camadas 1 e 2 do manejo 1 e para a camada 1 dos manejos 4 e 5. A T está abaixo do recomendado na camada 4 de todos os manejos e na camada 3 dos manejos 5 e 6. Já o Al e a m estão abaixo dos níveis propostos, o que é bom, uma vez que esta relação baixa não permite toxidez devido ao alumínio.

Os micronutrientes apresentaram valores altos para praticamente todas as camadas em todos os manejos, sendo que apenas o B e o Fe apresentaram valores médios na camada 4 dos manejos 1, 2, 5 e 6, nas camadas 2 e 3 dos manejos 5 e 6 e na camada 1 do manejo 5, para o primeiro elemento, e na camada 4 para os manejos 1, 2, 3, 4 e 5, na camada 3 dos manejos 3 e 4, na camada 2 dos manejos 3 e 6 e na camada 1 do manejo 6. O excesso desses micronutrientes pode causar fitotoxidez às plantas de café, prejudicando seu desenvolvimento e produção. Outros autores também encontraram altos valores de micronutrientes em solos cultivados com cafeeiro. Silva et al. (2010), encontraram altos teores de Fe e B, médios de Zn e Mn e baixo de Cu. Já Moreira et al. (2003), encontraram valores altos de Fe e Zn e médios de Mn para cafeeiro cultivado a pleno sol e cafeeiro sombreado (consórcio com *Platycyamus regnellii*). Andrade et al. (2014), avaliando 18 lavouras cafeeiras, obtiveram teores considerados altos para Fe, Cu, Zn e Mn, independente da profundidade do solo e médios valores de B. Estudando 21 lavouras cafeeiras sob sistema de cultivo orgânico, Malta et al. (2008) encontraram, em geral, altos teores de Fe e Mn, médios a bons de Cu e médios a baixos de B.

5.1.1.2 Atributos físicos do solo

Na Tabela 2 observa-se que a densidade do solo (D_s) é maior nos manejos M1, M4 e M5 em todas as camadas de solo, enquanto a porosidade total é maior nos manejos M2, M3 e M6 nas camadas de 1 a 3 mostrando a relação inversa existente entre esses atributos. Esses resultados corroboram com os encontrados por Aguiar (2008), que ao comparar cafeeiro consorciado com ingá e a pleno sol, o primeiro, apresentou os menores valores de D_s e microporosidade e maior porosidade total.

A maior porcentagem de microporos ocorreu na camada 0-0,10 m no M2 e, conseqüentemente, menor macroporos. Observa-se que na camada 0-0,10 m a micro e a macroporosidade são iguais no M6 (“mata”).

Estes valores encontrados para esses atributos físicos, provavelmente não estão relacionados com os manejos em consórcios e sim com uma característica intrínseca do solo da área em estudo, devido ao pouco tempo de instalação do experimento.

Os valores de D_s encontrados variaram de 1,07 (M2 na camada 3) a 1,45 (M4 nas camadas 2 e 4). A densidade crítica para o desenvolvimento radicular do café conilon é em torno de $1,45 \text{ mg dm}^{-3}$, porém em valores acima de $1,80 \text{ mg dm}^{-3}$ as raízes não são capazes de romper o solo (MATIELLO et al., 2002). Portanto, os manejos de cultivo estudados não apresentaram valores de densidade do solo restritivos ao desenvolvimento do cafeeiro conilon.

De maneira geral, os sistemas de cultivo que apresentaram menor densidade do solo (D_s) também apresentaram maiores valores de microporosidade. Segundo Klein (2006), a maior microporosidade do solo pode ser explicada pela ocorrência de microagregação de partículas de argila, as quais possuem porosidade intra-agregados (microporos), conferindo aos solos menor densidade.

Todos os atributos físicos do solo não apresentaram diferença estatística significativa nas diferentes camadas estudadas para um mesmo manejo (Tabela 4), exceto a densidade do solo no manejo 6, onde foi maior na camada 4, e a PT e macroporosidade foram menores nessa mesma camada, e a macroporosidade no manejo 5, sendo menor também na camada 4. Essa similaridade pode ter ocorrido pelo pequeno tempo de implantação da lavoura nos sistemas de cultivo (manejos 1, 2, 3, 4 e 5).

5.1.2 Segundo ano de avaliação (2016)

O pH não diferiu estatisticamente entre os manejos para todas as camadas analisadas (Tabela 5). Na camada de 0-0,1 m os atributos que também não diferiram significativamente foram o Ca, Mg, Al, H+Al, SB, m e V. Romero-Alvarado et al.

(2002), comparando cultivo de cafeeiro convencional e em sistemas agroflorestais, não encontraram diferença significativa para os teores de K, Ca e Mg entre os manejos. Segundo Marin (2002), mudanças nos atributos do solo em sistemas agroecológicos, principalmente atributos químicos, não ocorrem em curto prazo, de acordo com o autor o tempo para encontrar diferenças nos atributos do solo pode variar de 10 a 35 anos desde a adoção do sistema de manejo.

Já a T foi maior no cafeeiro a pleno sol (M1), consorciado com pupunheira (M2) e consorciado com gliricídia (M3) e o P foi menor no solo de “mata” (M6). Na camada 0,10-0,20 m, os valores de P foram maiores para os manejos 1, 2, 3 e 5, os de K nos manejos 1 e 2 e os de SB e \underline{m} nos manejos 1, 2, 3, 5 e 6. Na camada 0,20-0,40 m o P apresentou maiores concentrações nos sistemas de cultivo de café (1, 2, 3, 4 e 5), o mesmo ocorreu para o Al, Al+H e V da camada 0,40-0,80 m. Na camada mais profunda (0,4-0,8 m), o Ca e a SB foram maiores nos manejos 1, 2, 3, 4 e 6. Para o Mg e \underline{m} os manejos com valores mais altos foram M1, M4 e M6.

A MO não diferiu estatisticamente para todas as camadas, variando de 1,55 (M4 e M5 da camada 4) a 2,95 (M2 da camada 1) (Tabela 6). Enquanto os micronutrientes, na maioria dos casos, apresentaram menores valores para o manejo 1.

Tabela 5 - Análise estatística dos atributos químicos nos diferentes manejos, para as diferentes camadas, no ano de 2016.

Manejo	Atributos											
	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca	Mg	Al		H+Al	SB	T	V %	m %
						cmol _c dm ⁻³						
Camada 0-0,10 m												
M1	6,15 a	45,50 a	218,00 a	4,13 a	1,00 a	0,00 a	2,88 a	5,69 a	8,56 ab	66,38 a	0,00 a	
M2	6,25 a	50,33 a	172,50 ab	4,68 a	1,13 a	0,00 a	2,93 a	6,24 a	9,17 a	67,93 a	0,00 a	
M3	6,08 a	69,63 a	114,75 bc	4,05 a	1,05 a	0,00 a	3,25 a	5,39 a	8,64 ab	62,48 a	0,00 a	
M4	6,03 a	50,23 a	78,25 c	3,73 a	0,98 a	0,00 a	3,13 a	4,90 a	8,02 b	61,00 a	0,00 a	
M5	6,05 a	70,73 a	106,75 c	3,90 a	1,00 a	0,00 a	3,03 a	5,17 a	8,20 b	63,10 a	0,00 a	
M6	5,90 a	2,80 b	81,00 c	3,80 a	0,93 a	0,00 a	3,15 a	4,93 a	8,08 b	61,00 a	0,00 a	
Camada 0,10-0,20 m												
M1	6,10 a	31,20 ab	153,25 a	3,78 ab	0,98 a	0,00 a	3,03 a	5,14 ab	8,17 a	62,98 ab	0,00 a	
M2	6,10 a	33,53 ab	100,75 ab	4,33 a	1,13 a	0,00 a	2,53 a	5,71 a	8,23 a	69,10 a	0,00 a	
M3	5,93 a	44,90 a	74,50 b	3,75 ab	0,98 a	0,00 a	3,25 a	4,92 ab	8,17 a	60,23 ab	0,00 a	
M4	5,70 a	17,95 bc	50,00 b	2,98 b	0,83 a	0,16 a	4,50 a	3,93 b	8,43 a	47,40 b	5,18 a	
M5	5,95 a	31,75 ab	60,75 b	3,50 ab	0,88 a	0,07 a	3,53 a	4,53 ab	8,06 a	56,70 ab	1,65 a	
M6	6,18 a	2,55 c	69,00 b	3,80 ab	1,03 a	0,00 a	2,90 a	5,00 ab	7,90 a	63,25 ab	0,00 a	
Camada 0,20-0,40 m												
M1	5,48 a	14,45 ab	69,00 a	3,05 a	0,75 a	0,16 a	4,73 a	3,98 a	8,70 a	46,30 a	4,10 a	
M2	6,00 a	24,05 ab	48,50 a	3,68 a	0,93 a	0,06 a	3,45 a	4,73 a	8,18 a	58,28 a	1,55 a	
M3	5,48 a	34,65 a	47,25 a	3,08 a	0,80 a	0,17 a	4,95 a	4,00 a	8,95 a	44,38 a	4,60 a	
M4	5,48 a	12,15 ab	30,50 a	2,53 a	0,63 a	0,28 a	5,33 a	3,23 a	8,56 a	37,98 a	9,45 a	
M5	5,68 a	24,70 ab	34,50 a	2,73 a	0,70 a	0,23 a	4,95 a	3,51 a	8,46 a	41,80 a	8,10 a	
M6	6,00 a	1,93 b	50,25 a	3,58 a	0,93 a	0,07 a	3,45 a	4,63 a	8,08 a	57,75 a	2,05 a	
Camada 0,40-0,80 m												
M1	5,48 a	3,95 a	46,00 a	2,65 ab	0,63 ab	0,22 ab	4,98 ab	3,39 ab	8,37 ab	41,00 ab	6,65 ab	
M2	5,25 a	6,03 a	28,75 a	2,45 ab	0,63 ab	0,29 a	5,53 a	3,15 ab	8,67 ab	36,33 b	8,43 a	
M3	5,50 a	7,75 a	25,00 a	2,48 ab	0,58 b	0,26 a	5,48 a	3,12 ab	8,59 ab	37,10 b	8,90 a	
M4	5,55 a	13,83 a	26,50 a	2,63 ab	0,68 ab	0,25 a	5,03 ab	3,37 ab	8,39 ab	40,65 ab	8,33 a	
M5	5,33 a	9,48 a	27,50 a	2,18 b	0,53 b	0,33 a	6,08 a	2,77 b	8,84 a	31,20 b	11,38 a	
M6	5,88 a	1,88 a	41,50 a	3,50 a	0,95 a	0,00 b	3,23 b	4,56 a	7,78 b	58,53 a	0,00 b	

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). P=fósforo, K=potássio, Ca=cálcio, Mg=magnésio, Al=alumínio, H+Al=acidez potencial, SB=soma de bases, T=CTC pH 7, V=saturação por bases, m=saturação de alumínio.

Tabela 6 - Análise estatística da MO, P-rem e micronutrientes do solo nos diferentes manejos, para diferentes camadas, em 2016.

Manejo	Atributos						
	MO dag kg ⁻¹	P-rem mg L ⁻¹	Zn	Fe	Mn	Cu	B
			mg dm ⁻³				
Camada 0-0,10 m							
M1	2,55 ab	33,05 a	3,05 b	12,50 d	19,15 c	0,20 c	0,40 b
M2	2,95 a	32,70 a	3,55 b	16,00 cd	37,25 bc	1,05 abc	0,45 ab
M3	2,70 ab	31,93 a	5,20 a	22,00 ab	70,03 a	2,40 ab	0,55 a
M4	2,23 b	33,28 a	3,28 b	24,75 a	56,05 ab	2,60 a	0,35 b
M5	2,33 ab	33,63 a	5,23 a	25,75 a	64,08 a	1,85 ab	0,40 b
M6	2,33 ab	33,98 a	3,60 ab	18,00 bc	64,50 a	0,83 bc	0,45 ab
Camada 0,10-0,20 m							
M1	2,13 a	33,13 ab	2,33 b	12,50 d	19,40 c	0,35 c	0,35 a
M2	2,45 a	30,38 b	2,60 ab	17,25 c	38,53 bc	1,53 bc	0,40 a
M3	2,33 a	32,30 ab	4,13 a	22,75 b	64,78 a	3,28 a	0,45 a
M4	1,88 a	33,98 a	2,10 b	28,25 a	48,75 ab	3,45 a	0,33 a
M5	1,98 a	33,15 ab	2,88 ab	30,00 a	41,58 b	2,70 ab	0,33 a
M6	1,93 a	33,93 a	2,98 ab	20,00 bc	61,80 a	1,25 bc	0,40 a
Camada 0,20-0,40 m							
M1	1,85 a	32,55 a	1,80 ab	14,00 c	23,38 b	1,10 b	0,28 ab
M2	1,90 a	26,80 c	2,03 ab	20,00 b	35,90 ab	2,25 ab	0,35 ab
M3	2,00 a	28,30 c	3,23 a	22,50 ab	53,58 a	3,53 a	0,40 a
M4	1,63 a	31,85 ab	1,80 ab	25,25 a	32,10 b	3,48 a	0,25 b
M5	1,70 a	32,50 a	3,15 ab	25,25 a	33,20 b	3,25 a	0,30 ab
M6	1,70 a	29,35 bc	1,58 b	20,50 b	35,08 ab	1,55 b	0,30 ab
Camada 0,40-0,80 m							
M1	1,58 a	27,78 a	1,33 a	13,25 b	11,08 b	1,38 d	0,25 a
M2	1,58 a	23,63 b	1,00 a	19,25 a	15,83 ab	1,85 bcd	0,30 a
M3	1,60 a	26,53 ab	2,05 a	22,00 a	34,78 a	4,40 a	0,28 a
M4	1,55 a	28,08 a	1,63 a	22,50 a	23,20 ab	3,23 ab	0,23 a
M5	1,55 a	28,43 a	1,90 a	22,00 a	23,40 ab	3,00 abc	0,25 a
M6	1,60 a	29,38 a	1,05 a	20,25 a	21,58 ab	1,50 cd	0,30 a

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). MO=matéria orgânica, P-rem=fósforo remanescente, Zn=zinco, Fe=ferro, Mn=manganês, Cu=cobre, B=boro, Ds=densidade do solo, PT=porosidade total, Micro=microporosidade, Macro=macroporosidade.

Ao se comparar os nutrientes nas diferentes camadas do solo, observa-se que, quando apresentaram diferença estatística significativa, os maiores valores foram encontrados nas primeiras camadas de solo, com exceção dos valores encontrados para os atributos relacionados à acidez do solo (Al, H+Al e m), onde ocorreu o inverso, menores valores foram encontrados nas camadas mais superficiais do solo (Tabelas 7 e 8). Esses menores valores de acidez nas camadas mais superficiais do solo se devem, provavelmente, à maior concentração de matéria orgânica nessas camadas. A serapilheira depositada no solo promove a liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, os quais são capazes de formar complexos orgânicos com alumínio, cálcio e magnésio, neutralizando o Al tóxico (AMARAL; ANGHINONI; DESCHAMPS, 2004).

De acordo com as recomendações de Prezotti et al. (2007), o pH, o Ca, o Mg, a SB, a T, o Zn e a MO estão dentro dos limites considerados adequados para o cafeeiro para todos os manejos e em todas as profundidades. Silva et al. (2010), em lavoura cafeeira, também encontraram valores médios para o pH, K, T, MO e Zn, porém encontraram valores baixos para Ca, Mg e SB. Os valores de P foram baixos para todos os manejos na camada 4 e em todas as camadas da área de “mata” (M6), sendo considerado adequado nas demais camadas. O K encontra-se em níveis adequados para todos os manejos nas camadas 1 e 2 e na camada 3 do cafeeiro a pleno sol (M1). Santos et al. (2015), encontraram valores médios para os teores de P e K em solo cultivado com cafeeiro consorciado com seringueira. A saturação de bases (V) foi média para todas as camadas do manejo 6, para as camadas 1, 2 e 3 do manejo 2, para as camadas 1 e 2 dos manejos 1, 3 e 5 e apenas na camada 1 do manejo 4. Esses resultados indicam que o solo dos sistemas de cultivo estudados apresenta boa fertilidade, favorecendo o crescimento, o desenvolvimento e a produção do cafeeiro conilon e das espécies consorciadas.

O Fe apresentou valores baixos para todas as camadas do cafeeiro a pleno sol (M1) e para as camadas 1 e 2 do consórcio com pupunheira (M2). O Cu foi baixo nas camadas 1 e 2 do M1. O B apresentou níveis adequados em todas as camadas do manejo 2, nas camadas 1, 2 e 3 do manejo 3, nas camadas 1 e 2 dos manejos 1 e 6 e na camada 1 dos manejos 4 e 5. O Al e a m encontram-se abaixo dos níveis propostos. Esses valores baixos de Al corroboram com os valores de pH observados, reduzindo a solubilidade do Al (PAVAN, 1983).

Ao comparar os dois anos de avaliação, observa-se que os níveis de fertilidade, disponibilidade de nutrientes, melhoraram em todos os manejos (exceto para os micronutrientes), com destaque para as primeiras camadas do solo. Este fato se deu em decorrência da mineralização do composto orgânico presente na cama de galinha, no composto de capim elefante e do esterco bovino colocado como adubação de cobertura.

Tabela 7 - Análise estatística dos atributos químicos nas diferentes camadas, para os diferentes manejos, no ano de 2016.

Camada	Atributos											
	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V %	m %	
cmol _c dm ⁻³												
Manejo 1 (cafeeiro a pleno sol)												
P1	6,15 a	45,50 a	218,00 a	4,13 a	1,00 a	0,00 b	2,88 c	5,69 a	8,56 a	66,38 a	0,00 a	
P2	6,10 a	31,20 ab	153,25 b	3,78 a	0,98 a	0,00 b	3,03 bc	5,14 ab	8,17 a	62,98 ab	0,00 a	
P3	5,48 b	14,45 bc	69,00 c	3,05 ab	0,75 ab	0,16 ab	4,73 ab	3,98 bc	8,70 a	46,30 bc	4,10 a	
P4	5,48 b	3,95 c	46,00 c	2,65 b	0,63 b	0,22 a	4,98 a	3,39 c	8,37 a	41,00 c	6,65 a	
Manejo 2 (cafeeiro consorciado com pupunheira)												
P1	6,25 a	50,33 a	172,50 a	4,68 a	1,13 a	0,00 b	2,93 b	6,24 a	9,17 a	67,93 a	0,00 b	
P2	6,10 a	33,53 ab	100,75 b	4,33 a	1,13 a	0,00 b	2,53 b	5,71 ab	8,23 ab	69,10 a	0,00 b	
P3	6,00 a	24,05 bc	48,50 bc	3,68 a	0,93 ab	0,06 b	3,45 b	4,73 b	8,18 b	58,28 a	1,55 ab	
P4	5,25 b	6,03 c	28,75 c	2,45 b	0,63 b	0,29 a	5,53 a	3,15 c	8,67 b	36,33 b	8,43 a	
Manejo 3 (cafeeiro consorciado com gliricídia)												
P1	6,08 a	69,63 a	114,75 a	4,05 a	1,05 a	0,00 b	3,25 b	5,39 a	8,64 a	62,48 a	0,00 b	
P2	5,93 ab	44,90 b	74,50 ab	3,75 a	0,98 a	0,00 b	3,25 b	4,92 a	8,17 a	60,23 a	0,00 b	
P3	5,48 b	34,65 b	47,25 b	3,08 ab	0,80 ab	0,17 ab	4,95 ab	4,00 ab	8,95 a	44,38 ab	4,60 ab	
P4	5,50 b	7,75 c	25,00 b	2,48 b	0,58 b	0,26 a	5,48 a	3,12 b	8,59 a	37,10 b	8,90 a	
Manejo 4 (cafeeiro consorciado com bananeira)												
P1	6,03 a	50,23 a	78,25 a	3,73 a	0,98 a	0,00 b	3,13 b	4,90 a	8,02 a	61,00 a	0,00 b	
P2	5,70 a	17,95 b	50,00 a	2,98 ab	0,83 ab	0,16 ab	4,50 ab	3,93 ab	8,43 a	47,40 ab	5,18 ab	
P3	5,48 a	12,15 b	30,50 a	2,53 b	0,63 b	0,28 a	5,33 a	3,23 b	8,56 a	37,98 b	9,45 a	
P4	5,55 a	13,83 b	26,50 a	2,63 b	0,68 ab	0,25 a	5,03 a	3,37 b	8,39 a	40,65 b	8,33 a	
Manejo 5 (cafeeiro consorciado com ingazeiro)												
P1	6,05 a	70,73 a	106,75 a	3,90 a	1,00 a	0,00 c	3,03 c	5,17 a	8,20 a	63,10 a	0,00 c	
P2	5,95 a	31,75 b	60,75 ab	3,50 ab	0,88 a	0,07 bc	3,53 bc	4,53 ab	8,06 a	56,70 ab	1,65 bc	
P3	5,68 ab	24,70 b	34,50 b	2,73 bc	0,70 ab	0,23 ab	4,95 ab	3,51 bc	8,46 a	41,80 bc	8,10 ab	
P4	5,33 b	9,48 b	27,50 b	2,18 c	0,53 b	0,33 a	6,08 a	2,77 c	8,84 a	31,20 c	11,38 a	
Manejo 6 ("mata")												
P1	5,90 a	2,80 a	81,00 a	3,80 a	0,93 A	0,00 a	3,15 a	4,93 a	8,08 a	61,00 a	0,00 a	
P2	6,18 a	2,55 a	69,00 a	3,80 a	1,03 A	0,00 a	2,90 a	5,00 a	7,90 a	63,25 a	0,00 a	
P3	6,00 a	1,93 a	50,25 a	3,58 a	0,93 A	0,07 a	3,45 a	4,63 a	8,08 a	57,75 a	2,05 a	
P4	5,88 a	1,88 a	41,50 a	3,50 a	0,95 A	0,00 a	3,23 a	4,56 a	7,78 a	58,53 a	0,00 a	

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 8 - Análise estatística da MO, P-rem e micronutrientes do solo nas diferentes camadas, para diferentes manejos, em 2016.

Camada	Atributos						
	MO dag kg ⁻¹	P-rem mg L ⁻¹	Zn	Fe	Mn mg dm ⁻³	Cu	B
Manejo 1 (cafeeiro a pleno sol)							
P1	2,55 a	33,05 a	3,05 a	12,50 a	19,15 a	0,20 a	0,40 a
P2	2,13 ab	33,13 a	2,33 ab	12,50 a	19,40 a	0,35 a	0,35 ab
P3	1,85 b	32,55 a	1,80 ab	14,00 a	23,38 a	1,10 a	0,28 ab
P4	1,58 b	27,78 b	1,33 b	13,25 a	11,08 a	1,38 a	0,25 b
Manejo 2 (cafeeiro consorciado com pupunheira)							
P1	2,95 a	32,70 a	3,55 a	16,00 b	37,25 a	1,05 a	0,45 a
P2	2,45 ab	30,38 a	2,60 ab	17,25 ab	38,53 a	1,53 a	0,40 ab
P3	1,90 bc	26,80 b	2,03 bc	20,00 a	35,90 a	2,25 a	0,35 ab
P4	1,58 c	23,63 c	1,00 c	19,25 ab	15,83 b	1,85 a	0,30 b
Manejo 3 (cafeeiro consorciado com gliricídia)							
P1	2,70 a	31,93 a	5,20 a	22,00 a	70,03 a	2,40 b	0,55 a
P2	2,33 ab	32,30 a	4,13 ab	22,75 a	64,78 a	3,28 ab	0,45 ab
P3	2,00 bc	28,30 b	3,23 bc	22,50 a	53,58 a	3,53 ab	0,40 bc
P4	1,60 c	26,53 b	2,05 c	22,00 a	34,78 b	4,40 a	0,28 c
Manejo 4 (cafeeiro consorciado com bananeira)							
P1	2,23 a	33,28 a	3,28 a	24,75 ab	56,05 a	2,60 a	0,35 a
P2	1,88 ab	33,98 a	2,10 ab	28,25 a	48,75 ab	3,45 a	0,33 a
P3	1,63 b	31,85 a	1,80 ab	25,25 ab	32,10 bc	3,48 a	0,25 a
P4	1,55 b	28,08 b	1,63 b	22,50 b	23,20 c	3,23 a	0,23 a
Manejo 5 (cafeeiro consorciado com ingazeiro)							
P1	2,33 a	33,63 a	5,23 a	25,75 b	64,08 a	1,85 a	0,40 a
P2	1,98 ab	33,15 a	2,88 b	30,00 a	41,58 b	2,70 a	0,33 ab
P3	1,70 b	32,50 a	3,15 b	25,25 b	33,20 bc	3,25 a	0,30 ab
P4	1,55 b	28,43 b	1,90 b	22,00 b	23,40 c	3,00 a	0,25 b
Manejo 6 ("mata")							
P1	2,33 a	33,98 a	3,60 a	18,00 a	64,50 a	0,83 a	0,45 a
P2	1,93 ab	33,93 a	2,98 ab	20,00 a	61,80 a	1,25 a	0,40 ab
P3	1,70 b	29,35 b	1,58 bc	20,50 a	35,08 b	1,55 a	0,30 b
P4	1,60 b	29,38 b	1,05 c	20,25 a	21,58 b	1,50 a	0,30 b

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, para um atributo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5.2 Análise de Agrupamento

5.2.1 Primeiro ano de avaliação (2015)

Na análise de agrupamento dos diferentes manejos (consórcios) nas respectivas camadas de solo nas quatro profundidades houve a formação de dois grupos ao se adotar o ponto de corte na distância euclidiana de 19 (linha de corte vermelha) (Figura 3). O segundo grupo (G2) foi formado por todos os sistemas de cultivo de café na camada 1 (0-0,1 m), enquanto o primeiro grupo (G1) foi formado por todos os sistemas nas demais camadas (camadas 2, 3 e 4) e pelo manejo 6 (“mata”) na camada 1. Portanto, o principal fator que contribuiu na formação dos grupos foi a profundidade da camada do solo, destacando-se a camada 1 das demais. Este fato também pode ser observado na análise de variância onde a matéria orgânica (MO) e os atributos químicos do solo, com exceção dos micronutrientes que para a maioria dos casos não apresentaram diferença estatística significativa, apresentaram os maiores valores na primeira camada do solo (0-0,10 m).

Ao considerar a distância euclidiana 14 (Figura 3), houve a formação de três grupos (linha de corte azul), sendo que os manejos que compõem o G1 são agora divididos em dois grupos e mantendo os manejos presentes no G2 agora no G3. Sendo assim distribuídos, o terceiro grupo (G3) com os manejos 1, 2, 3, 4 e 5 na camada 1 (cor vermelha); o segundo grupo (G2) com os manejos 1 nas camadas 2 (cor verde) e 3 (cor azul), manejo 4 nas camadas 3 (cor azul) e 4 (cor cinza), manejo 5 nas camadas 3 (cor azul) e 4 (cor cinza) e manejo 6 nas camadas 1, 2, 3 e 4 e; o primeiro grupo (G1) foi composto dos manejos 2 e manejo 3 nas camadas 2, 3 e 4. Observa-se claramente no G3 a importância da camada 1 (cor vermelha) no agrupamento de todos os manejos, com exceção para o M6. As inter-relações entre os atributos químicos e físicos nesta camada proporcionaram menor distância euclidiana entre estes manejos, portanto, maior similaridade entre esses manejos.

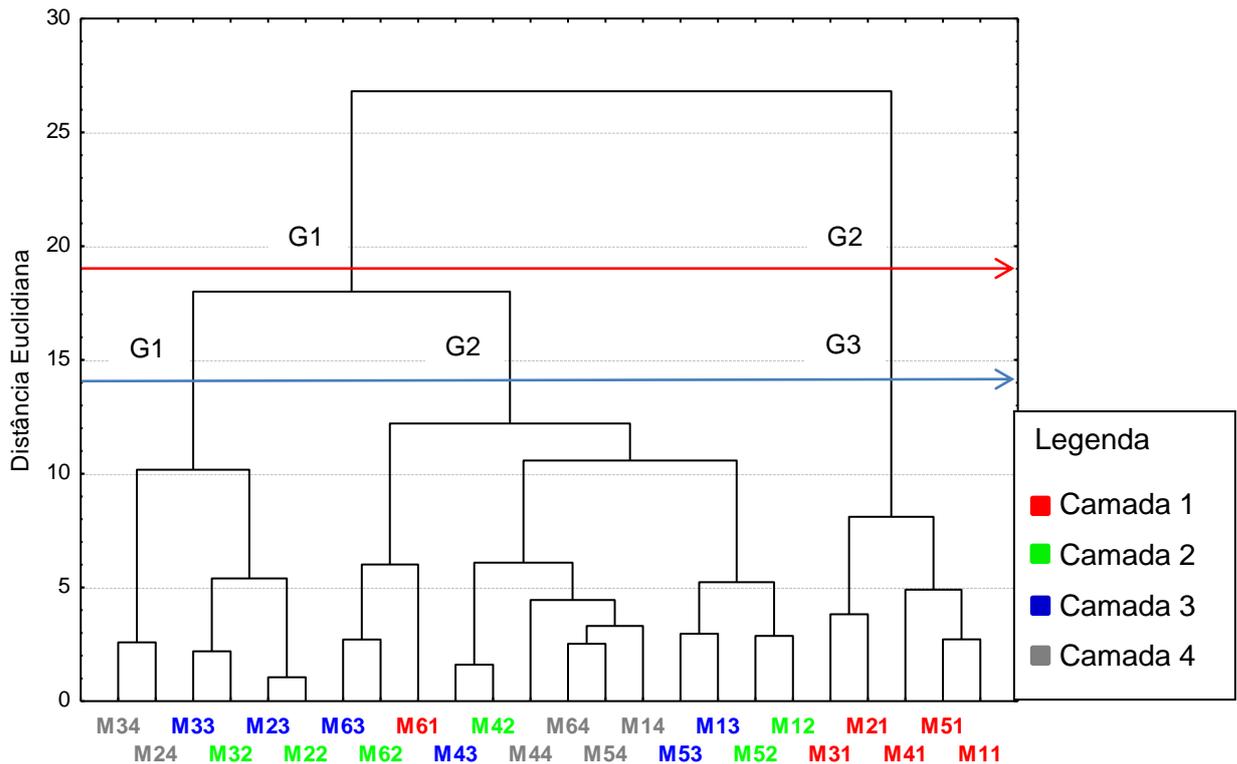


Figura 3 - Dendrograma do agrupamento dos seis manejos em função das profundidades de amostragens para o cultivo do cafeeiro conilon consorciado no ano de 2015.

Na análise de agrupamento dos atributos físicos e químicos do solo (Figura 4), ao realizar o ponto de corte na distância euclidiana 12, tem-se a formação de três grupos. O primeiro grupo (G1) foi composto pela densidade do solo (Ds), macroporosidade, fósforo remanescente (P-rem), ferro (Fe), alumínio (Al), saturação por alumínio (m) e H+Al. Fazem parte do segundo grupo (G2) porosidade total (PT), microporosidade e os micronutrientes boro (B) e cobre (Cu). O terceiro grupo (G3) é composto pelos demais atributos (macronutrientes, pH, MO, V, SB, T=CTC, Mn e Zn). Portanto, no terceiro grupo, agruparam-se os atributos que possuem maiores correlações negativas com a primeira componente principal (Tabela 10), representados em vermelho, e o pH.

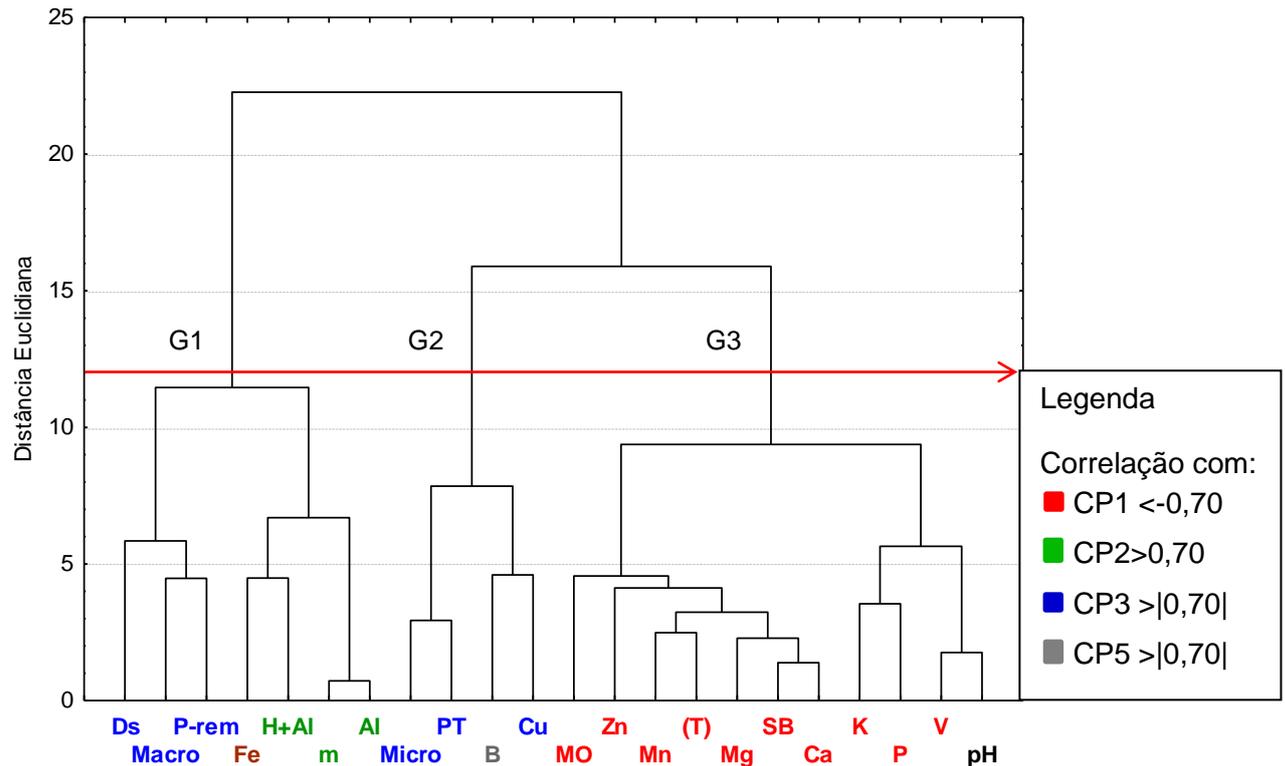


Figura 4 - Dendrograma do agrupamento dos atributos químicos e físicos do solo para o cultivo do cafeeiro conilon consorciado no ano de 2015.

Os atributos Al e m seguidos da SB e o Ca apresentaram as menores distâncias euclidianas entre eles, respectivamente. Isto se explica por serem altamente correlacionados, ou seja, baixo Al implica em baixa saturação por alumínio (m). O mesmo raciocínio se aplica aos atributos SB e Ca.

Segundo Cambardella et al. (1994), a variabilidade de atributos do solo pode ser de origem intrínseca (relacionado com a pedogênese e intemperismo de minerais) ou extrínseca (relacionado ao uso do solo, práticas culturais, adubação, variedades cultivadas, erosão e compactação do solo). Sendo assim, os sintomas de diferenciação entre os manejos dependerão de um tempo maior de estudo.

5.2.2 Segundo ano de avaliação (2016)

Na análise de agrupamento dos diferentes manejos (consórcios) nas respectivas camadas de solo nas quatro profundidades observa-se a formação de dois grupos ao considerar a distância euclidiana média de 14 (linha de corte vermelha) (Figura 5). O segundo grupo (G2) foi composto por manejo 1 (camada 1 e 2), manejo 2

(camadas 1 e 2), manejo 3 (camadas 1, 2 e 3), manejo 4 (camadas 1 e 2), manejo 5 (camadas 1 e 2) e manejo 6 (camadas 1, 2, 3 e 4). Enquanto que o primeiro grupo (G1) foi formado pelos manejos 1 (camadas 3 e 4), manejo 2 (camada 4), manejo 3 (camada 4), manejo 4 (camada 3 e 4) e manejo 5 (camadas 3 e 4). Verifica-se maior similaridade entre os atributos estudados nos manejos de 1 a 6 nas camadas 1 e 2 e o mesmo se verifica para as camadas 3 e 4 nos seis manejos.

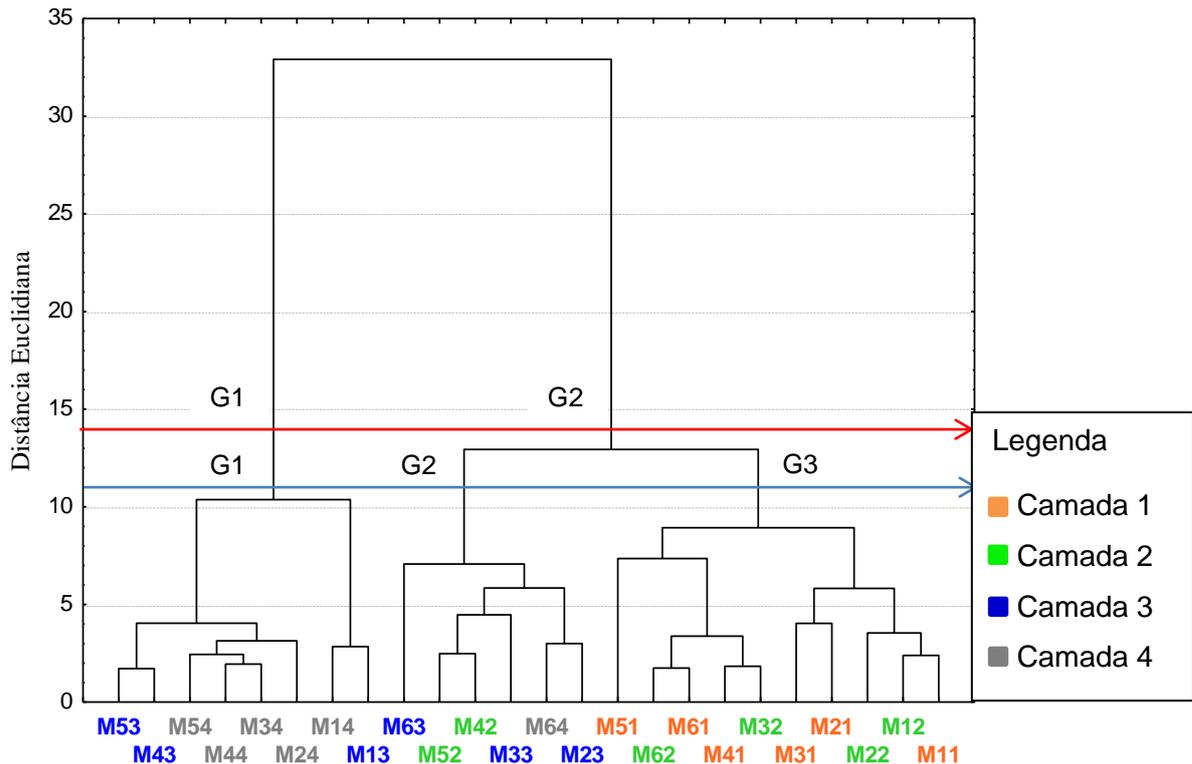


Figura 5 - Dendrograma do agrupamento dos seis manejos em função das camadas de amostragens para o cultivo do cafeeiro conilon consorciado no ano de 2016.

Adotando o ponto de corte na distância euclidiana de 11 (Figura 5), formam-se três grupos (linha de corte azul). O terceiro grupo (G3) composto de todos os manejos na camada 1 e os manejos 1, 2, 3 e 6 na camada 2. O segundo grupo (G2) formado pelos manejos 2 e 3 (camada 3), manejo 4 e 5 (camada 2) e manejo 6 (camadas 3 e 4). O primeiro grupo (G1) composto pelos manejos 1, 4 e 5 (camadas 3 e 4) e os manejos 2 e 3 (camada 4).

Como no ano anterior, 2015 (Figura 3), a profundidade da camada do solo foi o fator que mais influenciou na formação dos grupos, onde a camada 1 (cor vermelha) em todos os manejos pertence ao grupo 3, menos no M6. No segundo ano (2016) além dos seis manejos na camada 1, agruparam-se também no G3, os manejos 1

(cafeeiro a pleno sol), 2 (conilon + pupunheira), 3 (conilon+ gliricídia) e 6 (“mata”), na camada 2. Portanto, observa-se uma aproximação da fertilidade do solo na camada 2 (0,10-0,20 m) com a camada 1 (0-0,10 m). Cabe ressaltar que os consórcios adotados para o cafeeiro conilon ainda não apresentaram alterações nos atributos físicos e químicos do solo de forma a se distanciar em relação aos resultados do cultivado a pleno sol.

A ocorrência de similaridade na camada 1 em todos os manejos pode estar relacionada com o aporte de matéria orgânica oriunda da roçagem das plantas invasoras e que permanecem sobre a superfície e a adubação orgânica utilizada nos sistemas de cultivo do cafeeiro. Outra explicação pode ser devido ao pouco tempo de implantação da lavoura, não apresentando modificações claras ao solo nos consórcios em relação ao cultivo a pleno sol.

Na análise de agrupamento dos atributos químicos do solo (Figura 6), considerando a distância euclidiana de 11 como ponto de corte, houve a formação de três grupos.

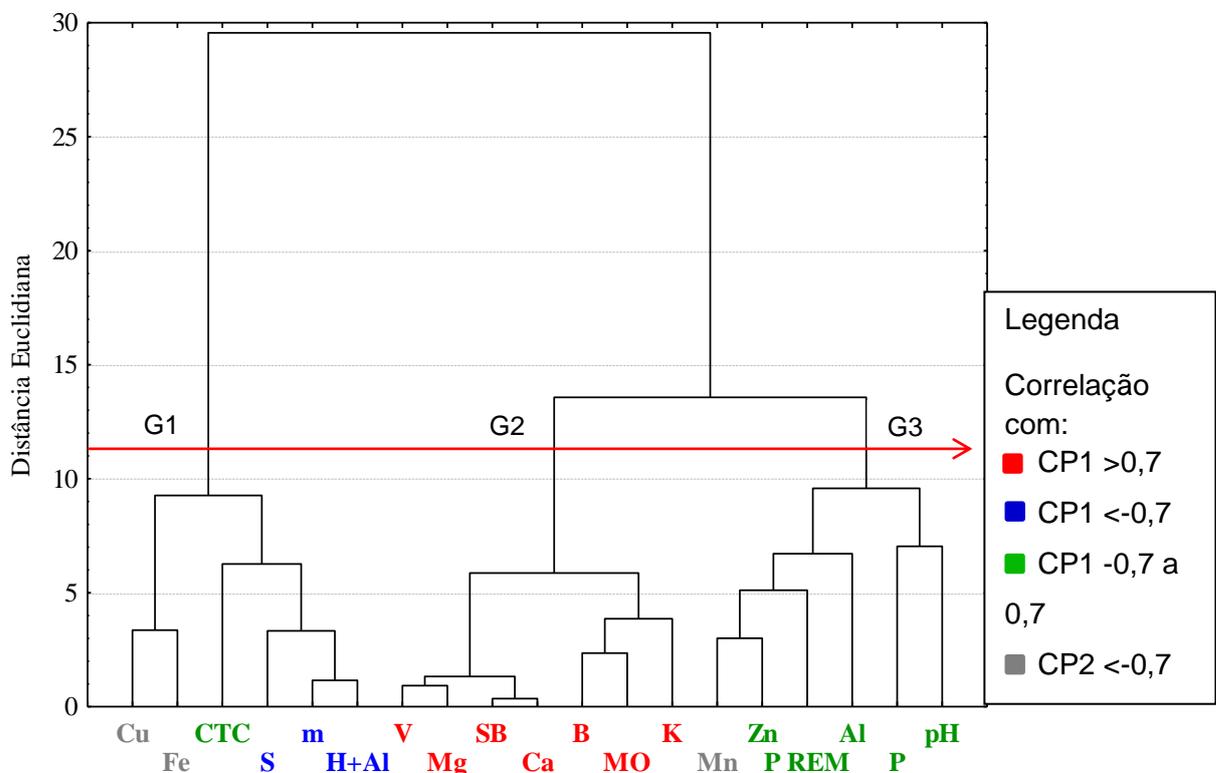


Figura 6 - Dendrograma do agrupamento dos atributos químicos e físicos do solo para o cultivo do cafeeiro conilon consorciado no ano de 2016.

O primeiro grupo (G1) foi composto pelos atributos Cu, Fe, T=CTC, S, m e H+Al. O segundo grupo (G2) foi formado pelos atributos com correlação positiva com a primeira componente principal (V, Mg, SB, Ca, B, MO e K), em cor vermelha, e o terceiro grupo (G3) foi composto pelos demais atributos (Mn, Zn, P-rem, Al, P e pH).

Os atributos K, Ca, Mg, V, T=CTC, SB e MO fazem parte de um mesmo grupo tanto no ano de 2015 como no de 2016, com exceção para o P, Zn, Mn e o B. Este fato indica que estes atributos em cor vermelha apresentam uma correlação maior ou igual a $|0,70|$ com a componente principal 1 nos dois anos, como será apresentado a seguir na análise de componente principal.

A menor distância euclidiana foi obtida entre a SB e o Ca, como encontrado no ano anterior, para atributos químicos.

5.3 Análise de Componentes Principais

5.3.1 Primeiro ano de avaliação (2015)

Os atributos químicos e físicos do solo foram agrupados em cinco fatores (componentes principais) com autovalores acima de 1 (Tabela 9). Esses autovalores em conjunto foram capazes de explicar 92,02% da variância total dos dados. As componentes 1 e 2 explicam 58,08% da variância total dos dados.

Tabela 9 - Resumo dos componentes principais dos atributos químicos e físicos do solo em 2015.

	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP1	8,59	39,07	39,07
CP2	4,18	19,02	58,08
CP3	4,07	18,50	76,58
CP4	1,98	8,99	85,57
CP5	1,42	6,45	92,02

Na Tabela 10 estão as correlações dos atributos estudados com as componentes principais de 1 a 5.

Tabela 10 - Correlações dos atributos químicos e físicos do solo com as componentes principais (CP), no ano de 2015.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
pH	-0,66	-0,63	-0,13	0,17	0,25
P	-0,77	-0,11	-0,31	0,44	0,01
K	-0,80	0,23	-0,17	0,19	0,44
Ca	-0,94	0,09	-0,08	0,07	-0,14
Mg	-0,95	0,06	-0,04	-0,05	-0,09
Al	0,52	0,79	-0,04	0,09	-0,09
H+Al	0,04	0,92	0,26	-0,04	-0,07
SB	-0,99	0,05	-0,04	0,04	-0,03
(T)	-0,86	0,47	0,08	0,02	-0,06
V	-0,76	-0,63	-0,11	0,04	0,00
M	0,54	0,74	-0,11	0,07	-0,06
MO	-0,70	0,40	0,21	-0,06	0,07
P-rem	-0,36	0,46	-0,75	-0,16	-0,16
Zn	-0,74	0,18	-0,09	-0,40	-0,35
Fe	-0,22	0,66	-0,07	0,62	0,16
Mn	-0,86	0,34	-0,03	-0,24	0,03
Cu	0,07	-0,22	0,72	0,47	-0,39
B	-0,25	-0,18	0,08	0,36	-0,85
Ds	0,30	-0,02	-0,80	0,45	-0,02
PT	-0,30	0,02	0,80	-0,45	0,02
Micro	-0,27	0,08	0,94	0,06	0,14
Macro	0,10	-0,13	-0,71	-0,57	-0,22

Em negrito correlação maior ou igual $|0,70|$.

A primeira componente principal (CP1) apresentou correlações altas e negativas com o P, K, Ca, Mg, SB, T, V, MO, Zn e Mn, sendo esta componente denominada de fertilidade do solo (Tabela 10).

O sinal negativo indica atributos que se correlacionam inversamente entre eles. A componente principal 2 (CP2) apresentou alta correlação positiva com o Al, H+Al e m, sendo denominada acidez do solo. Esses resultados também podem ser observados no gráfico biplot na Figura 7. A CP3 apresentou alta correlação positiva com a porosidade total (PT), microporosidade e Cu e negativa com macroporosidade, densidade do solo (Ds) e P-rem, denominando este fator de atributos físicos do solo. A CP4 não apresentou correlação maior que $|0,70|$. A CP5 apresentou correlação negativa e significativa ($<-0,70$) somente com o B, explicando sozinha a variância nessa componente.

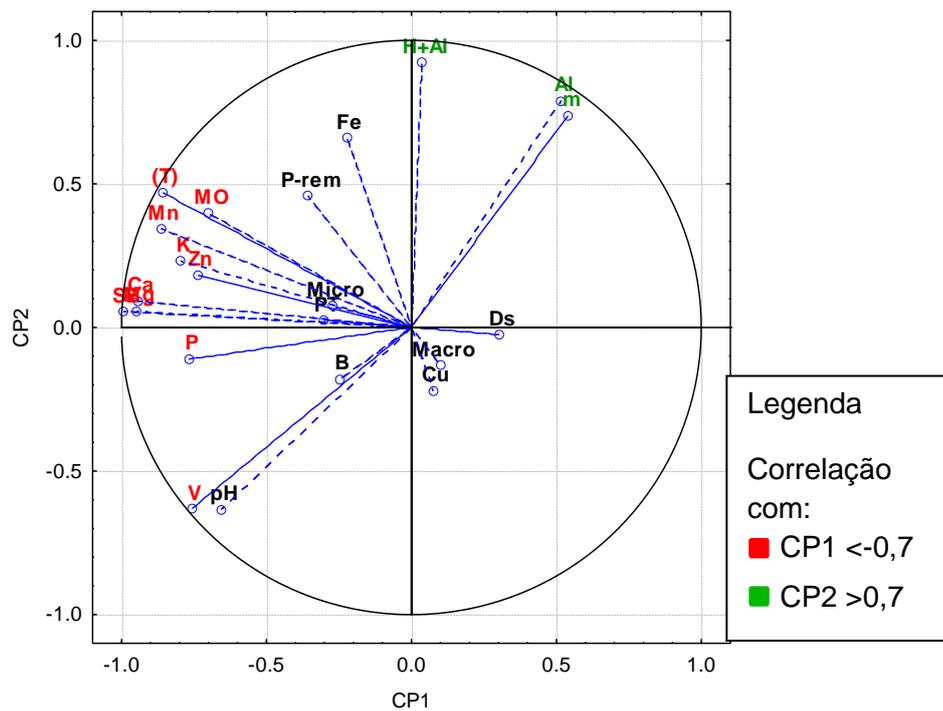


Figura 7 - Biplot das correlações dos atributos químicos e físicos do solo com as componentes principais um (CP1) e dois (CP2) no ano de 2015.

O biplot dos escores das componentes principais 1 e 2 estão na Figura 8. Observa-se que para os manejos de 1 a 5 na camada 1 os escores ficaram entre -4 a -6, comprovando o acesso ao um mesmo grupo como discutido na análise de agrupamento (cor vermelha). Pode-se afirmar que a formação deste grupo se deu em virtude dos atributos químicos que apresentaram correlação maior ou igual ao modulo de 0,70 ($|0,70|$) com a CP1, tais como: K, Ca, Mg, SB, T, V, MO, Zn e Mn.

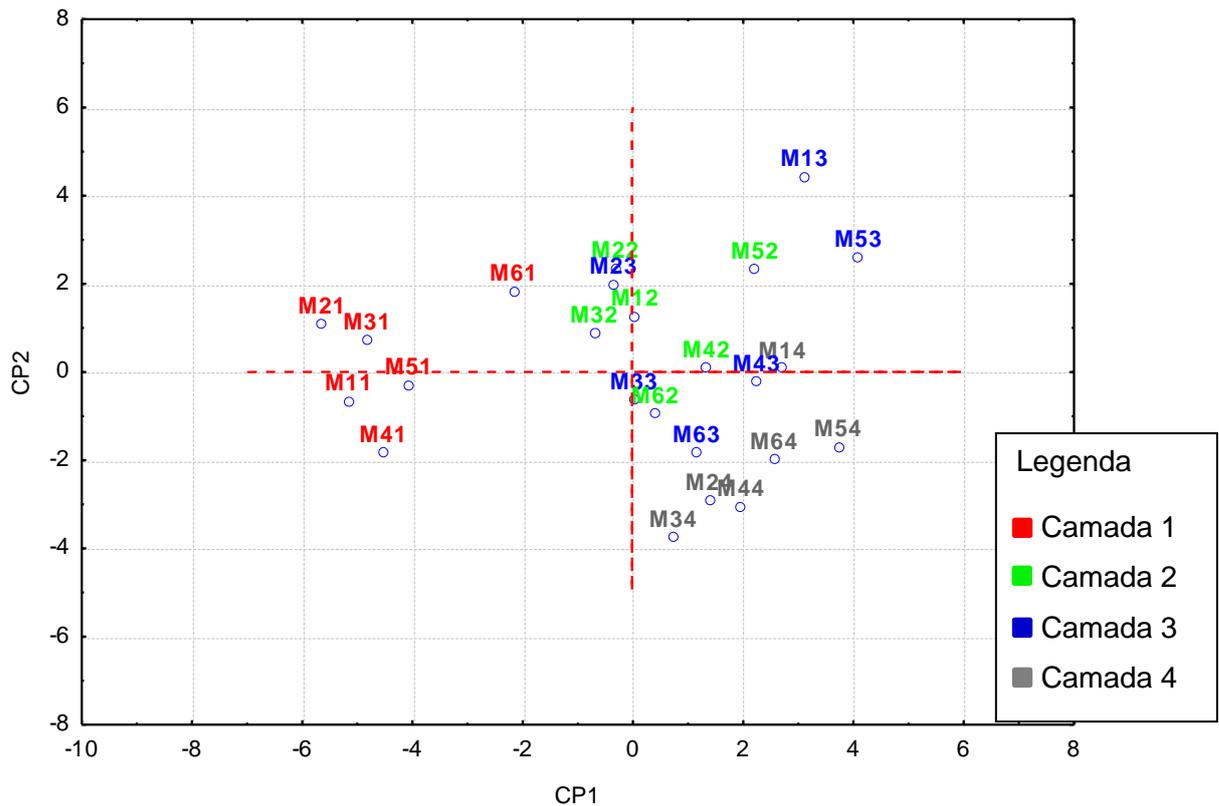


Figura 8 - Biplot dos escores das componentes principais um (CP1) e dois (CP2) para os seis manejos em função das profundidades (camadas) de amostragens para o cultivo do cafeeiro conilon consorciado no ano de 2015.

5.3.2 Segundo ano de avaliação (2016)

Os atributos químicos do solo foram agrupados em quatro componentes principais (CP), que correspondem juntos a 84,16% da variância dos dados (Tabela 11), sendo a CP1 é responsável, sozinha, por 53,33% da variação total dos dados.

Tabela 11 - Resumo dos componentes principais dos atributos químicos do solo em 2016.

	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP1	10,13	53,33	53,33
CP2	2,83	14,93	68,26
CP3	1,82	9,58	77,84
CP4	1,20	6,32	84,16

Na Tabela 12 estão as correlações das variáveis originais (atributos químicos do solo) com as componentes principais 1 e 2, que apresentaram correlações maiores e iguais a $|0,70|$. A CP1 apresentou correlações altas e positivas com o K, Ca, Mg, SB, V, P-rem e B (cor vermelha) e negativa com o H+Al, S e m (cor azul) ($< -0,70$) caracterizada pela fertilidade e acidez do solo. A CP2 teve alta correlação apenas com os micronutrientes Fe, Mn e Cu de forma negativa ($< -0,70$), tendo estes elementos comportamento semelhante em todos os manejos e para todas as camadas, com exceção para as camadas 2 e 3. Esses resultados também podem ser observados no gráfico biplot na Figura 9.

Nenhum dos atributos químicos estudados apresentaram correlação significativa, ou seja, maior ou igual ao módulo de 0,70 ($|0,70|$) com os componentes 3 e 4.

Tabela 12 - Correlações dos atributos químicos do solo com as componentes principais, no ano de 2016.

	CP1	CP2
pH	-0,26	0,53
P	0,04	0,12
K	0,78	0,34
Ca	0,97	0,11
Mg	0,96	0,03
Al	0,11	-0,35
H+Al	-0,95	-0,09
S	-0,86	0,06
SB	0,98	0,13
CTC	-0,28	0,05
V	0,97	0,11
M	-0,95	-0,09
MO	0,88	-0,04
P-rem	0,66	-0,21
Zn	0,69	-0,54
Fe	-0,19	-0,89
Mn	0,55	-0,73
Cu	-0,56	-0,73
B	0,84	-0,23

Em negrito correlação maior ou igual $|0,70|$.

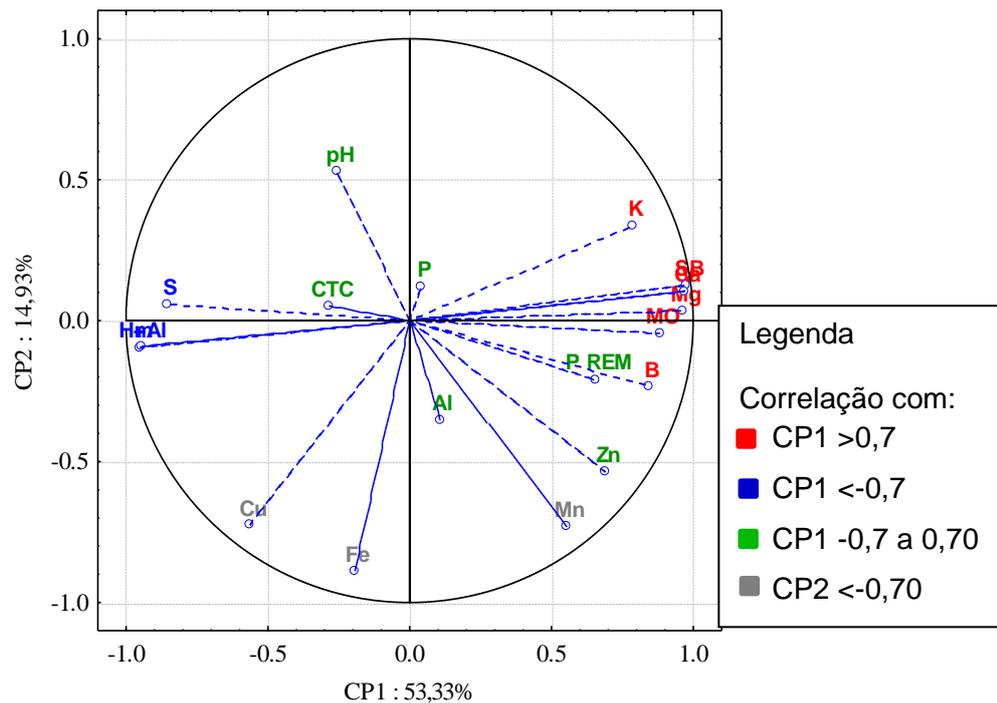


Figura 9 - Biplot das correlações dos atributos químicos e físicos do solo com as componentes principais um (CP1) e dois (CP2) no ano de 2016.

Na Figura 10, a disposição dos escores dos manejos nas diferentes camadas se aproxima do agrupamento realizado, como mostrado na Figura 8, invertendo o sinal dos escores. Neste caso os escores foram positivos com valores entre 2 e 5, para a profundidade da camada 0-0,10 m e escores da CP1 entre zero (0) e 4 para os manejos na camada 0,10-0,20 m, com exceção para o consórcio de conilon + bananeira na camada 2. Este comportamento está relacionado com as características extrínsecas do solo da área em estudo devido ao preparo adotado e as práticas de manejo adotadas na área ao longo dos anos.

Na Figura 10 verifica-se um agrupamento na camada 4 de profundidade (0,40-0,80 m) para todos os manejos, com exceção para o solo de “mata”, com os escores da componente principal (CP1) entre -6 a -3. Nesta profundidade as características intrínsecas do solo, como mencionado anteriormente, não apresentam grande variabilidade entre os atributos estudados.

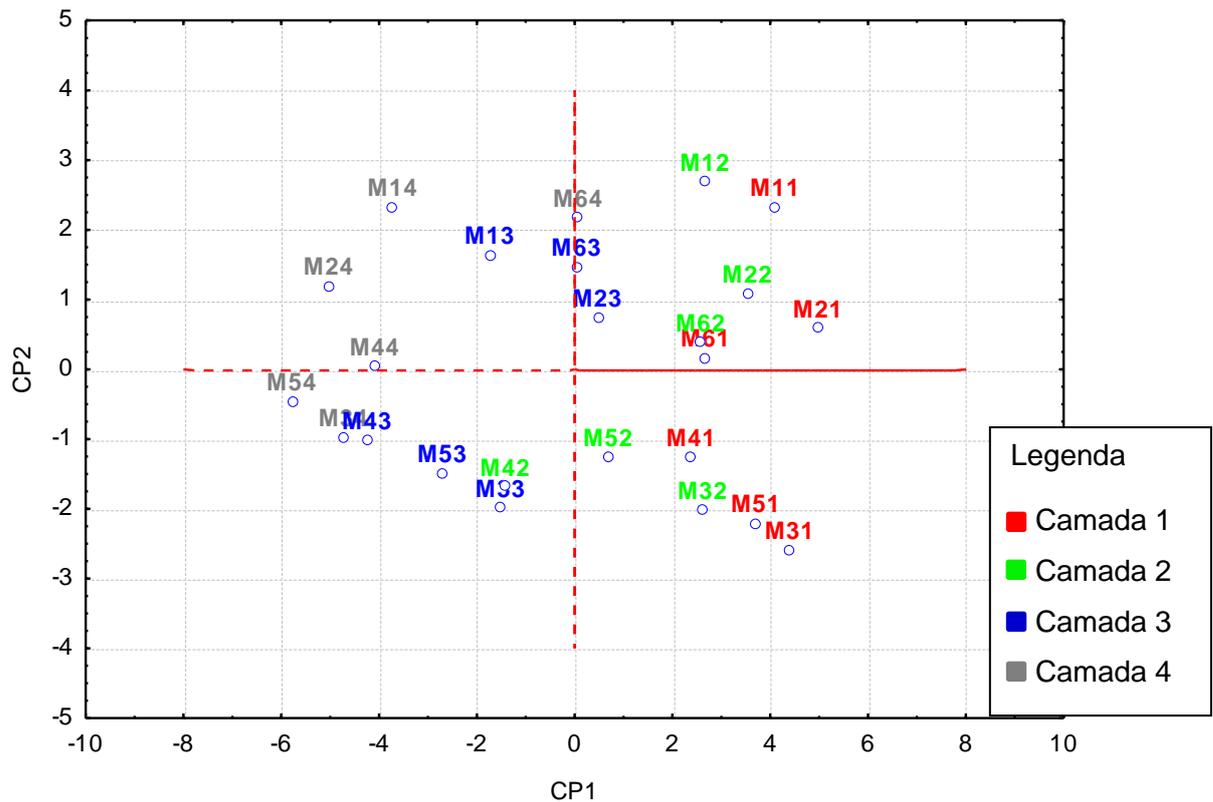


Figura 10 - Biplot dos escores das componentes principais um (CP1) e dois (CP2) para os seis manejos em função das profundidades de amostragens para o cultivo do cafeeiro conilon consorciado no ano de 2016.

No geral as avaliações realizadas em dois anos consecutivos, 2015 e 2016, não apresentaram comportamentos distintos relevantes para os atributos estudados nas quatro camadas de solo objeto do estudo. Cabe ressaltar, que o tempo de avaliação em relação à implantação dos experimentos também foi fundamental para os resultados encontrados.

6 CONCLUSÕES

- A fertilidade do solo nos manejos consorciados nos anos de 2015 e 2016 está em conformidade com os valores recomendados em literatura, de média a alta concentração, nas camadas de solo 1 (0,0-0,10 m) e 2 (0,10-0,20 m);
- Devido ao pequeno tempo de implantação dos sistemas de cultivo e das avaliações não foi possível observar diferenças marcantes entre os diferentes manejos (consórcios) do cafeeiro conilon;
- A análise de agrupamento mostrou que a profundidade da camada de solo estudada é o principal fator de agrupamento dos atributos do solo (químicos e físicos);
- As componentes principais 1 e 2 estão correlacionadas com a fertilidade do solo e seus atributos físicos explicando juntas 58,08% da variância dos dados, no ano de 2015. No ano de 2016, a componente principal 1 explica sozinha a fertilidade do solo com 53,33% da variância total dos dados.

7 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. V. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008.79 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade federal de Viçosa. 2008.
- ALMEIDA JÚNIOR, J. Aplicações da análise multivariada em solos que podem ser utilizadas em melhorias de processos produtivos agrícolas. In: SEPRONE, 7, 2012, Mossoró. **Anais “A Engenharia de Produção frente ao novo contexto de desenvolvimento sustentável do Nordeste: coadjuvante ou protagonista?”** Mossoró-RN, UFERSA, 2012.
- ALVARENGA, M. I. N.; MARTINS, M. Fatores edáficos de cafezais arborizados. **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: Uesb, 2004. p. 45-84.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.1, p.115-123, 2004.
- ANDRADE, W. E. B.; FERREIRA, J. M.; RÊGO FILHO, L. M.; SOUZA FILHO, B. F. Atributos químicos do solo em lavouras de café conilon no Norte Fluminense. **Informações Tecnológicas**, n. 23, p. 1-6, 2014.
- ARAÚJO, A. V.; PARTELLI, F. L.; OLIOSI, G.; PEZZOPANE, J. R. M. Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 4, p. 700-709, 2016.
- ARAÚJO, A. V.; PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M. G.; PEZZOPANE, J. R. M.; FALQUETO, A. R.; CAVATTE, P. C. Microclima e crescimento vegetativo do café conilon consorciado com bananeiras. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 214-222, 2015.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 5, p. 187-206, 2012.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma de estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.
- BARBERA-CASTILLO, N. M. **Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica**. 2001. 99p. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 2001.
- BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento físico e químico do carbono orgânico total em um solo de “mata” submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1471-1478, 2008.
- BARRETO, A. C; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características Químicas e Físicas de um solo sob floresta, Sistemas Agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999, p.9-26.

BELING, R. R. **Anuário brasileiro do café 2005**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 88 p.

BERTALOT, M. J. A.; GUERRINI, I. A.; MENDOZA, E.; DUBOC, E.; BARREIROS, R. M.; CORRÊA, F. M. Retorno de nutrientes ao solo via deposição de serapilheira de quatro espécies leguminosas arbóreas na região de Botucatu –São Paulo, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 219-277, 2004.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 849-856, 2003.

BRAGANÇA, S. M.; CARVALHO, C. H. S.; FONSECA, A. F. A. **EMCAPA 8111, EMCAPA 8121, EMCAPA 8131**: Primeiras variedades de café conilon lançadas para o Espírito Santo. Vitória, ES: EMCAPA, 1993. 2p. (EMCAPA. Comunicado Técnico, 68).

BRAGANÇA, S. M.; CARVALHO, C. H. S.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.765- 770, 2001.

BRINATE, S. V. B. ; NOGUEIRA, N. O. ; MARTINS, L. D ; TOMAZ, M. A. ; ANDRADE, F. V ; PASSOS, R.R. Avaliação dos atributos físicos de solos sob cultivo de café na microrregião do caparaó ES. In: **Encontro latino americano de iniciação científica júnior-II INICJR**, 2008, São José dos Campos. Resumos expandidos... São José dos Campos, 2008,v. 1. p. 12-16.

BUENO, B.F. **Aplicação de técnicas multivariadas em mapeamento e interpretação de parâmetros do solo**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas(Dissertação de Mestrado), 2001. 84p.

BURAK, D. L; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 538-547, 2012.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivo e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, p. 77-86, 2010.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, R. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos

de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A. dos; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M. de; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. de M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; RAMALHO, J. D. C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 9-21, 2006.

CARNEIRO, J. J. **Sistemas agroecológicos conservam solo e água**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CARVALHO FILHO, O. M.; DRUMOND, M. A.; LANGUIDEY, P. H. *Gliricidia sepium* leguminosa promissora para regiões semiáridas. Petrolina, Embrapa/CPATSA, 1997.

CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. 334 p.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Compartimento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho – Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 257-265, 1999.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; NORONHA, R. H. F.; PARIZ, C. M.; LIMA, R. C. Spatial and linear correlations between soil and corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 765-774, 2012.

COIMBRA, J. L. M.; SANTOS, J. C. P.; ALVES, M. V.; BARZOTTO, I. Técnicas multivariadas aplicadas ao estudo da fauna do solo: contrastes multivariados e análise canônica discriminante. **Revista Ceres**, v. 54, n. 313, p. 270-276, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

CONAGIN, C. H. T. M.; MENDES, A. J. T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*: autoincompatibilidade em *Coffea canephora*. **Bragantia**, v. 20, n. 34, p. 787-804, 1961.

COSTA, F. P. **Uso da geoestatística e da lógica fuzzy no estudo da variabilidade espacial e temporal da produtividade e da fertilidade do solo em café conilon**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.

- DAMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, n. 1, p. 99-114, 2004.
- DaMATTA, F. M.; RODRÍGUEZ, N. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del eotrópico: una vision agronómica y ecofisiológica. **Agronomía Colombiana**, v. 25, n. 1, p. 113-122, 2007.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXIERA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 225p.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; CELEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (eds). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, p.3-21.1994.
- DOSSA, E. L.; FERNANDES, E. C. M.; REID, W. S.; EZUI, K. Above and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. **Agroforestry Systems**, v. 72, p. 103-115, 2008.
- DUSSERT, S.; LASHERMES, P.; ANTHONY, F.; MONTAGNON, C.; TROUSLOT, P.; COMBES, M.; BERTHAUD, J.; NOIROT, M.; HAMON, S. **Le cafeier Coffea canphora**. In: HAMON, P. et al. (Eds.). Diversité génétique des plantes tropicales cultivées. Montpellier: CIRAD, 1999. p.175-194.
- ESBENSEN, K. H. **Multivariate data analysis: in practice**, 5th.ed. Oslo: Camo, 2002. 598 p.
- FAVARIN, J. L. **A cultura do cafeeiro**. Piracicaba: ESALQ, 2004. 45 p.
- FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 87-106.
- FERNANDES, L. A.; SIQUEIRA, J.; GUEDES, G.; CURI, N. Propriedades químicas e bioquímicas de solos sob vegetação de mata e campos cerrado adjacentes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 21, n. 1, p. 58-70, 1997.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRAO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M. Avaliação de clones de café Conilon no Estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa café, 2000.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G. **Programas de melhoramento genético de café robusta no Brasil**. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3, 1999, Lavras. UFLA. Lavras – MG, 1999, p. 50-65.
- FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: VAN LIER, Q. J., ed. Física do Solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2010. Cap. 1, p. 1-28
- FIDALSKI, J.; CHAVES, J. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) IAPAR-59 à aplicação superficial de resíduos orgânicos em um latossolo vermelho distrófico típico. **Coffee Science**, v. 5, n. 1, p. 75-86, 2010.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 9-19, 2007.

FONSECA, A. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; XAVIER, A. C.; DRUMOND NETO, A. P. Variabilidade espacial da produtividade e do estado nutricional do cafeeiro *Canephora*. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 420-428, 2015.

FRANCO-ÚRIA, A.; MATEO-LOPEZ, C.; ROCA, E.; FERNÁNDEZ-MARCOS, M.L. Source identification of heavy metals in pastureland by multivariate analysis in N.W Spain. **Journals of Hazardous Materials**, v. 165, p. 1008-1015, 2008.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.5, p.641-648, 2008.

FREITAS, I.C.; SANTOS, F. C. V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; MENDONÇA, K. H.; CORRECHEL, V. Caracterização Física de Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos do solo em Araguatins, TO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLO, **Anais...**, Uberlândia, MG. 2011.

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 863-873, 2007.

GUIMARÃES, G. P.; MENDONÇA, E. D. S.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Stocks and oxidizable fractions of soil organic matter under organic coffee agroforestry systems. **Coffee Science**, v. 9, n. 1, p. 132-141, 2014.

GUIMARÃES, P. T. G.; NOGUEIRA, F. D.; LIMA, P. C.; GUIMARÃES, M. J. C. L.; POZZA, A. A. A. Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. **Informe Agropecuário**, v. 23, n. 214/215, p. 63-81, 2002.

HE, M; HAM, W.; GU, Y.; LI, J. Analysis and assessment on heavy metal source in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. **Journals of Hazardous Materials**, v. 164, p. 976-981, 2008.

HERNANDES, J. L.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BARDIN, L. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua. **Revista Árvore Viçosa**, v. 28, p. 167-172, 2004.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F.; ARAÚJO, A. S.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**, 2nd.ed. New York: Springer, 2002. 491 p.

KELLY, B.; ALLAN, C.; WILSON, B. P. Soil indicators and their use by farmers in the Billabong Catchment, southern New South Wales. **Australian Journal of Soil Research**, v. 47, n. 2, p. 234-242, 2009.

- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações agrônômicas**, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.
- KLEIN, V. A. Densidade relativa-um indicador da qualidade física de um latossolo vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.
- KLEIN, V. A. **Propriedades do solo e manejo da água em ambientes protegidos com cultivo de morangueiro e figueira**. Passo Fundo: ed. UPF, 2005. 61 p.
- LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455 p.
- LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, S. A. Estudo da fertilidade do solo em lavoura de café conilon utilizando análise multivariada e geoestatística. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2009, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2009.
- LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, p.16-23, 2013.
- LIMA, S. S. D.; LEITE, L. F. C.; AQUINO, A. M. D.; OLIVEIRA, F. D. C.; CASTRO, A. A. J. F. Serapilheira e teores de nutrientes em argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 75-84, 2010.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.
- LOVATO, T.; BORTOLUZZI, O. A.; VICINI, L.; GUTH, P. L.; JACOBS, L. E. Avaliação da fauna edáfica em campo nativo mediante técnicas da análise multivariada. In: XI Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica, Londrina, PR, Brasil, **Anais...**, 2005.
- LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 94p. 2006.
- LUNZ, A. M. P.; BERNARDES, M. S.; RIGHI, C. A.; FAVARIN, J. L. Acúmulo de biomassa acima do solo em cafeeiro sob diferentes regimes de radiação solar. In: **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2007, Águas de Lindóia. Anais... Brasília: Embrapa Café, 2007.
- MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; MORAIS, V. M.; OLIVEIRA, T. K.; SALGADO, B. G.; VALE, R. S. Estabelecimento de *Tectona grandis* L.f. (Teca) em sistemas agroflorestais com *Coffea arabica* L. em Lavras-MG. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 1, p. 71-80, 2004.
- MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional

farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 71, n. 2, p. 127-138, 2007.

MALTA, M. R.; THEODORO, V. C. A.; CHAGAS, S. J. R.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, J. G. Caracterização de lavouras cafeeiras cultivadas sob o sistema orgânico no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1402-1407, 2008.

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

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>>. Acesso em: 28 out. 2016.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002. 83p.

MATIELLO, J. B. **Café Conilon**: como plantar, tratar, colher, preparar e vender. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1998. 162 p.

MATIELLO, J.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.; ALMEIDA, S.; FERNANDES, D. Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ. 2002. 387 p.

MATINS FILHOS, M. V.; LICCIOTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, J. M.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

MATTA, F. M.; RODRÍGUEZ, N. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del eotrópico: una vision agronómica y ecofisiológica. **Agronomía Colombiana**, v. 25, n. 1, p. 113-122, 2007.

MELÉM JÚNIOR, N. J.; FONSECA, I. C. B.; BRITO, O. R.; DECAËNS, T.; CARNEIRO, M. M.; MATOS, M. F. A.; GUEDES, M. C.; QUEIROZ, J. A. L.; BARROSO, K. O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, p. 499-506, 2008.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, 2008.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MENDONÇA, E. S.; SILVA, A. C.; MEDEIROS, M. L.; FONTES, M. P. F. Carbono orgânico extraído por soluciones salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. **Agrociencia (Montecillo)**, v. 35, n.4, p. 397-406, 2001.

MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.275-374.

MENEZES, J. M. T; VAN LEEUWEN J.; VALERI S. V.; CRUZ M. C. P.; LEANDRO R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 32, p. 893-898, 2008.

MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B.; VIANA, A. S.; JAPIASSU, L. Teores de micronutrientes nas amostras de solo analisadas pelo laboratório do mapa em Varginha, Sul de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., Caxambu, 2002. **Anais**. Rio de Janeiro, MAPA/PROCAFÉ, 2002. p.76-77.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 295p.

MONTAGNON, C. T. Genetic parameters of several biochemical compounds from Green coffee, *Coffea canephora*. **Plant Breeding**, Berlin, v. 117, p. 576-578, 1998.

MORAIS, T. P. S.; PISSARRA, T. C. T.; REIS, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 213-223, 2012.

MOREIRA, C. F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2003. 113 p.

MOREIRA, C. F. **Sustentabilidade de sistemas de produção de café sombreado orgânico e convencional**. 146 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, 2001.

NASCIMENTO, E. A.; OLIVEIRA, L. E. M.; CASTRO, E. M.; DELÚ FILHO, N.; MESQUITA, A. C.; VIEIRA, C. V. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 852-857, 2006.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OIJEN, M.; DAUZAT, J.; HARMAND, J. M.; LAWSON, G.; VAAST, P. Coffee agroforestry systems in Central America: I., a review of quantitative information on

physiological and ecological processes. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 3, p. 341-359, 2010.

OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. Dissertação (Mestrado) em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo. 2007. 129 f.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - OIC. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.ico.org/>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

PAVAN, M. A. Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre alumínio não-trocável, trocável e solúvel com pH, DTC, porcentagem de saturação de Al e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 1, p. 39-47, 1983.

PERDONÁ, M. J. **Cultivo consorciado do cafeeiro (*coffea arabica L.*) e cultivares da noqueira-macadâmia (*Macadamia integrifolia maiden e betche*) sob os regimes sequeiro e irrigado**. Botucatu, 2013, 130 f. Tese (doutor em agricultura), ciências agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho. 2013.

PERDONÁ, M. J.; MARTINS, A. N.; SUGUINO, E.; SORATTO, R. P. Crescimento e produtividade de noqueira-macadâmia em consórcio com cafeeiro arábica irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1613-1620, 2012.

PEREIRA, J. C. R.; GASPAROTTO, L.; PEREIRA, M. C. N. **BRS Japira**: Cultivar de Bananeira Resistente à Sigatoka Negra e à Antracnose para o Estado do Amazonas. (Comunicado técnico). 2005. 2 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/678422/brs-japira-cultivar-de-bananeira-resistente-a-sigatoka-negra-e-a-antracnose-para-o-estado-do-amazonas>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, 2010.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; FERRARI, W. R.; PEZZOPANE, J. E. M. Alterações microclimáticas em cultivo de café conilon arborizado com coqueiro anão-verde. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 865-871, 2011.

PRADO, R. M.; NASCIMENTO, V. M. **Manejo e adubação do cafeeiro**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 2003. 274 p.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1591-1600, 2012.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RAMALHO, A. R.; ROCHA, R. B.; SOUZA, F. D. F.; TEIXEIRA, A. L.; VENEZIANO, W. Progresso genético com a seleção de clones de conilon no estado de Rondônia.

In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Anais...** 2011.

RASMUSSEN, P. E.; COLLINS, H. P. Long-term impacts of tillage, fertilizer and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. **Advances in Agronomy**, v. 45, p. 93-134, 1991.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R. G.; DUTTER, R. **Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R**. Chichester: Wiley, 2008. 343 p.

REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; FELTRIM, A. L.; COSTA, C. C.; BARBOSA, J. C. Viabilidade da consorciação de pimentão com repolho, rúcula, alface e rabanete. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 36-41, 2006.

RIBEIRO, C. C.; JORGE, L. H. A. **Dossie Técnico Beneficiamento de Produtos da Pupunha para Exportação**. Manaus, AM: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, 2013.

RICCI, M. D. S. F.; JUNIOR, D. G. C.; ALMEIDA, F. F. D. Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiro em sistemas arborizados e a pleno sol. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 379-388, 2013.

RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, N. G. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, v. 6, n. 1, p. 44-54, 2011.

RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V. L. D. S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.

RICCI, M. S. F.; OLIVEIRA, N. G.; RODRIGUES, M. B. **Produtividade e alterações vegetativas ocorridas em cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 6 p. (Boletim de Pesquisa, 65).

RODRIGUES, V. G. S. **Arborização de café Robusta e implicações na formação de liteira e no estabelecimento de plantas companheiras**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2007. (Circular Técnica, 91).

RODRIGUES, V. G. S. **Avaliação do desenvolvimento vegetativo de cafeeiros arborizados e a pleno sol**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 4 p. (Circular Técnica, 112).

ROMERO-ALVARADO, Y; SOTO-PINTO, L.; GARCÍA-BARRIOS, L. E.; BARRERA GAYTÁN, J. F. Coffee yields and soil nutrients under the shades of Inga sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, v. 54, n. 3, p.215-224, 2002.

SALES, E. F. et al. Agroecological transition of Conilon Coffee (*Coffea canephora*) agroforestry systems in the State of Espírito Santo, Brazil. **Agroecology and Sustainable Food**, v. 37, p. 405-429, 2013.

SALGADO, B. G., MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; CARVALHO, V. L. Produtividade de cafeeiros arborizados com ingazeiros e com grevilea em Lavras, MG. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 155-162, 2005.

SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; ALVARENGA, M. I. N.; VENTURIN, N. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras-MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 343-349, 2006.

SANTOS, E. O. J. S.; PINTO, F. B.; BARBOSA, M. A.; GONTIJO, I. Delineamento de zonas de manejo para macronutrientes em lavoura de café conilon consorciada com seringueira. **Coffee Science**, v. 10, n. 3, p. 309-319, 2015.

SARTORIO, S. D. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R**. 2008. Dissertação para título de Mestre em Agronomia. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2008. 130 p.

SCHEINER, S. M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. **Annual review of ecology and systematics**, v. 24, p. 35-68, 1993.

SEPÚLVEDA, W. S.; URETA, I.; SEPÚLVEDA-SEPÚLVEDA, A. Perfil y preferencia de los consumidores ecuatorianos por atributos de calidad en la producción de café. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 298-307, 2016.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river, Japan. **Environmental Modeling & software**, n. 22, p. 464-475, 2007.

SILES, P.; HARMAND, J. M.; VAAST, P. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 1, p. 269-286, 2010.

SILVA, M. O.; SANTOS, M. B. G. F.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Aguas salinas , na região de Mossoró (RN), com o uso de análise multivariada. **Ambiência Guarapuava**, v. 6, p. 261-270, 2010.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 2485-2492, 2000.

SILVA, S. A. **Variabilidade espacial de atributos de solo e folhas em lavouras de café arábica utilizando análise multivariada e geoestatística**. 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Solo e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2009.

SILVA, Samuel A.; LIMA, J. S. S.; CÂNDIDO, A.; TEICEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.

SOUZA, G. S.; DAN, M. L.; ARAÚJO, J. B. S. Qualidade física do solo sob cafeeiro conilon consorciado e em monocultivo. **Coffee Science**, v. 11, n. 02, p. 180-186. 2016.

SOUZA, H. N.; GRAAFF, J.; PULLEMAN, M. M. Strategies and economics of farming systems with coffee in the Atlantic Rainforest Biome. **Agroforestry Systems**, v. 84, n. 3, p. 227-242, 2012.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

STURIÃO, W. P. **Distribuição espacial de atributos de solo e de plantas na cultura do mamoeiro no norte capixaba**. Dissertação de Mestrado. 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 487-494, 2008.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1039-1047, 2003.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; PINHEIRO, P. L.; MENDONÇA, E. S. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café, na região sul do Espírito Santo. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 450-459, 2013a.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; MENDONÇA, E. S. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas conservacionistas e convencionais de café no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 150-159, 2012.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; PINHEIRO, P. L.; MENDONÇA, E. S. Indicadores participativos de qualidade do cafeeiro conilon e do solo em sistema agroflorestal e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, Supplement 1, p. 1469-1478, 2013b.

TRINDADE, E. F. S.; KATO, O. R.; CARVALHO, E. J. M.; SERAFIM, E. C. S. Disponibilidade de fósforo em solos manejados com e sem queima no nordeste paraense. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 6, n. 12, p. 7-19, 2011.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 285-296, 2008.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 381-386, 2014.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 215 f. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T.; ZOMBOLIM, E. M. **Estratégia para produção de café com qualidade e sustentabilidade**. Viçosa MG: UFV, 2010. 332p.

ZAMBOLIM, L.; SOBREIRA, D. G.; SOUZA, A. F.; COSTA, H. Manejo integrado das doenças do Conilon (*Coffea canephora*). In: ZAMBOLIM, L (Ed.). **Tecnologias para produção do café Conilon**. Viçosa: UFV, 2009. p. 1-46.

ZHANG, X.; WANG, Q.; LIU, Y.; WU, J.; YU, M. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. **Environ Monit Assess**, v. 173, p. 17-27, 2011.