

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

FLÁVIA BARRETO PINTO

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA
SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO NORTE DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

**São Mateus, ES
Março de 2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM
ÁREA SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO
NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

FLÁVIA BARRETO PINTO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires

**São Mateus, ES
Março de 2016**

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

FLÁVIA BARRETO PINTO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada: 28 de março de 2016

Prof. Dr. Marcelo Suzart de Almeida
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Edilson Romais Schimdt
Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-orientador)

Prof. Dr. Robson Bonomo
Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-orientador)

Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

À minha filha, Íris, que me deu, e dá, alegria e força para finalizar este trabalho com ânimo e disposição.

Ao meu marido e pais por apoiarem e acreditarem em meu potencial de mãe, trabalhadora e estudante.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo - CEUNES/UFES, por me oferecer a oportunidade de renovar os meus conhecimentos, além de facilitar minha pesquisa através de sua infraestrutura;

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER, por ter me concedido horário especial, visando meu crescimento profissional;

Ao professor Dr. Fábio Ribeiro Pires, pela orientação e muitas correções realizadas neste trabalho;

Ao co-orientador, o professor Dr. Edilson Romais Schmidt, pelas orientações referentes às análises estatísticas;

Ao co-orientador, o professor Dr. Robson Bonomo, pelas orientações referentes ao uso do permeâmetro e demais análises;

Aos agricultores, Zilmar Marianelli e Gino Margotto Marianelli, por ceder a área da Fazenda Boa Sorte para a realização do experimento;

Ao técnico do Laboratório de Análise Física de Solo do CEUNES, Helder Ivo Pandolfi Marques, por compartilhar seus conhecimentos e ajudar em todas as análises físicas do solo necessárias;

Aos técnicos de laboratório e ao professor Diego Lang Burak, coordenador do Laboratório de Análise de Solos do Centro de Ciências Agrárias da UFES/Alegre, por realizarem as análises químicas de solo;

Aos estagiários Gabriel e Kervim, por dispenderem tempo e muito esforço físico na parte prática do trabalho;

Aos colegas de curso, por tornarem os momentos de estudos mais prazerosos e menos tensos;

Ao meu marido e colega de pesquisa, Cláudio Machado Filho, pelo grande apoio em todas as fases desta dissertação e principalmente pela paciência.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Qualidade dos solos.....	3
2.2. Qualidade e atributos físicos do solo	4
2.3. Qualidade e atributos químicos do solo	6
2.4. Conservação do solo	8
2.5. SAF e consórcio.....	9
3. CAPÍTULOS.....	12
3.1. Capítulo 1 - Atributos físicos do solo sob diferentes tipos de uso e manejo no norte do Espírito Santo.....	13
3.1.1. Resumo.....	13
3.1.2. Abstract.....	14
3.1.3. Introdução	15
3.1.4. Material e métodos.....	16
3.1.5. Resultados e discussão	27
3.1.6. Conclusões.....	40
3.1.7. Referências	40
3.2. Capítulo 2 – Atributos químicos do solo sob diferentes tipos de uso e manejo.....	45
3.2.1. Resumo.....	45
3.2.2. Abstract.....	46
3.2.4. Material e métodos.....	48
3.2.5. Resultados e discussão	52
3.2.6. Conclusões.....	64
3.2.7. Referências	65
4. CONCLUSÕES GERAIS	69
5. REFERÊNCIAS	70
6. ANEXOS.....	78

RESUMO

PINTO, Flávia Barreto; M.Sc; Universidade Federal do Espírito Santo; Março de 2016; **Atributos físicos e químicos do solo em área sob diferentes usos na região norte do estado do Espírito Santo**; Orientador: Fábio Ribeiro Pires. Co-orientadores: Robson Bonomo; Edilson Romais Schmildt.

Diante da demanda crescente quanto à produção agrícola do Brasil torna-se necessária uma compreensão maior e melhor sobre como mantê-la sustentável. O estudo em conjunto dos atributos físicos e químicos do solo permite inferir sobre a qualidade deste recurso natural. Neste sentido, objetivou-se avaliar as alterações de atributos físicos e químicos do solo em áreas com usos distintos em uma propriedade localizada no município de Jaguaré-ES. Os tipos de usos estudados foram: plantio homogêneo de café conilon (*Coffea canefora* Pierre ex A. Froehner) (Cc); seringueira (*Hevea brasiliensis* L.) (S); consórcio de seringueira e café conilon (SCc); consórcio de seringueira e coco (*Cocos nucifera* L.) (SCo); consórcio de seringueira, pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) e cacau (*Theobroma cacao* L.) (SPCa); e mata (MN). Foram coletadas amostras de solo em cinco parcelas de 6 x 6 m em cada sistema de uso do solo. Os atributos químicos analisados nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm foram: matéria orgânica do solo (MOS), pH, P, Ca, Mg, Na, K, Al, H + Al, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V) e saturação por Al (m). Por sua vez, os atributos físicos analisados nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm foram: textura, densidade de partículas, densidade do solo, macro e microporosidade e estabilidade de agregados. Nas profundidades de 15 e 30 cm condutividade hidráulica e nas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm a resistência do solo à penetração. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se, ainda, o método de agrupamento Tocher, com base na dispersão de Mahalanobis. A área sob MN apresentou menor resistência à penetração, menor densidade do solo e maior macroporosidade quando comparada às outras áreas, provavelmente devido à maiores valores de MOS. As áreas sob Cc e sistema agroflorestal SPCa foram similares quando avaliados os atributos Dp, Ds, Pt, Mip, Map e porcentagem de areia, argila e silte. As coberturas com Cc e MN foram similares quando

considerados os atributos químicos e profundidades analisadas. Os manejos adotados na área do Cc obtiveram melhores resultados do que os adotados nos sistemas agroflorestais, nas camadas mais superficiais, melhorando, de maneira mais eficaz, a qualidade dos atributos químicos do solo. O uso agrícola do solo, mesmo em se tratando de culturas perenes, causou alteração nos atributos físicos do solo e degradaram a MOS em relação à sua condição original.

Palavras-chave: Degradação do solo, qualidade do solo, café conilon, seringueira, pimenta-do-reino, coco, cacau, culturas perenes.

ABSTRACT

PINTO, Flávia Barreto; M.Sc; Universidade Federal do Espírito Santo; May, 2016; **Physical and chemical soil properties due to their use in northern Espírito Santo**; Adviser: Fábio Ribeiro Pires; Co-advisors: Edilson Romais Schmildt and Robson Bonomo.

Considering an increasing demand related to Brazil's agricultural production becomes a need for greater and better understanding of how to keep it sustainable, it is important to keep a good soil for future crops have a suitable environment and it has good productivity. Studies about soil physical and chemical attributes allows a good indication of the quality of a given soil. In this sense, it was evaluated in this study changes in physical and chemical properties in areas with different uses within a property located in the city of Jaguaré-ES. The areas studied were under the homogeneous planting conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) (Cc); rubber tree (*Hevea brasiliensis* L.) (S); consortium with rubber tree and conilon coffee (SCc); consortium with rubber tree and coconut (*Cocos nucifera* L.) (SCo); consortium with rubber tree, black pepper (*Piper nigrum* L.) and cocoa (*Theobroma cacao* L.) (SPCa); and native vegetation (MN). The experiment was carried out by sampling in five installments of 6 x 6 meters on each use system. The chemical attributes were analyzed at 0-10, 10-20 e 20-40cm depths are: soil organic matter (SOM), pH, P, Ca, Mg, Na, K, Al, H + Al, sum of bases (SB), effective CEC (t), potencial CEC (T), base saturation (V) and Al saturation (m). The physical attributes analyzed at 0-10, 10-20 e 20-40cm depths were: texture, particle density, soil density, macro and microporosity and aggregate stability. At 15 and 30cm depths were analyzed hydraulic conductivity and 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm penetration soil resistance. Data were subjected to variance analysis and treatment means were compared by Tukey test at 5% probability. It used also Tocher grouping method based on the Mahalanobis dispersion. MN had lower penetration soil resistance and soil density and higher macroporosity compared to other areas, probably due to the higher values of soil organic matter. The areas under Cc and agroforestry system SPCa were similar when evaluated particle density, soil density, total porosity, microporosity, microporosity and sand, clay and silt percentage. The covers Cc and MN were similar when was considered the chemistry and analyzed depths. The management adopted in Cc area performed better than adopted in agroforestry

systems in the upper layers. It worked more effectively, improving the quality of soil chemical properties. The agricultural use of the soil, even in the case of perennial crops, caused changes in soil physical properties and degraded soil organic matter when compared with original condition.

Keywords: Land degradation, soil quality, conilon coffee, rubber tree, pepper, coconut, cocoa, perennial crops.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A expansão agrícola recente no Brasil se caracteriza por um aumento muito rápido de áreas plantadas, como é o exemplo da seringueira e coco, que aumentaram sua área de plantio em 105% e 28,42%, respectivamente, em 20 anos, entre 1990 e 2010, conforme séries históricas de produção agrícola formulada pelo IBGE (1990-2010). O aumento da produção equivale, em muitos casos, ao aumento da área, permanecendo restrito o aumento da produtividade, encarecendo, assim a produção já que cada hectare cultivado custa mais máquinas, adubos, defensivos, sementes e mão-de-obra (PRIMAVESI, 1984). Evidencia-se, então, que as tecnologias utilizadas na agricultura brasileira não estão sendo utilizadas de maneira adequada, assim como o uso e o manejo dado ao solo. Um dos desafios da atual agricultura é contornar práticas agrícolas com elevado impacto ambiental, reduzindo, por exemplo, a erosão e a perda de fertilidade dos solos (MORAES et al., 2014).

A remoção da cobertura vegetal natural e a implantação de atividades agropecuárias, devido às ações que envolvem as diferentes formas de uso e manejo, provocam desequilíbrio no ecossistema, uma vez que o manejo adotado influenciará os processos físicos, químicos e biológicos do solo, modificando atributos químicos e físicos (LAL e BRUCE, 1999; CANELLAS et al., 2003; SOUZA e ALVES, 2003; RANGEL e SILVA, 2007; COSTA et al., 2008).

A qualidade desses atributos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (DORAN e PARKIN, 1994). Suas variações, ainda, são determinadas pelo manejo e uso do solo, e suas avaliações são

importantes para o melhor manejo, visando à sustentabilidade do sistema (CARNEIRO et al., 2009).

O conhecimento sobre a fertilidade dos solos é um dos aspectos mais importantes para a agricultura sustentável para que intervenções sejam realizadas da maneira mais racional possível, evitando-se os desequilíbrios ambientais. A ferramenta mais importante para se fazer sua avaliação é a análise química de diversas variáveis que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (PREZOTTI e MARTINS, 2013).

A contínua avaliação dos atributos físicos permite monitorar a eficiência ou não do uso e manejo do solo adotados (ROSA et al., 2003; SECCO et al., 2005; ALBUQUERQUE et al., 2005; VIEIRA e KLEIN, 2007). Sendo assim, alguns atributos físicos do solo, como densidade, espaço poroso, resistência do solo à penetração, estabilidade de agregados, umidade volumétrica, água disponível e condutividade hidráulica, podem ser utilizados como indicadores da qualidade do mesmo, por variarem de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido (PRAGANA et al., 2012).

Em conformidade com o exposto, objetivou-se com este trabalho a avaliação de alterações dos atributos físicos e químicos específicos do solo em áreas com usos distintos em uma propriedade localizada no município de Jaguaré-ES. Já os objetivos específicos são as determinações de atributos físicos textura, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração e as determinações, também, dos atributos químicos matéria orgânica do solo (MOS), pH, P, Ca, Mg, Na, K, Al, H + Al, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V) e saturação por Al (m).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Qualidade dos solos

A qualidade do solo apresenta dificuldades para se estabelecer padrões e, portanto, não têm sido criadas regulamentações como forma de aferir sua qualidade, e ainda não existe, até o presente, um consenso no que diz respeito ao seu conceito (KARLEN et al., 1997; ARAÚJO et al., 2012). MELLO (2006) destaca que a sustentabilidade agrícola depende da manutenção da qualidade do solo no âmbito do ecossistema e da interação positiva com os ecossistemas vizinhos ao longo do tempo. A sua qualidade não pode ser mensurada diretamente, podendo ser estimada a partir de indicadores arbitrados pelo homem (ARAÚJO et al., 2012). A busca por indicadores definitivos de qualidade do solo é uma tarefa difícil, devido à existência de uma grande diversidade de solos, os quais variam naturalmente quanto às características físicas, químicas e biológicas (COSTA e COSTA, 2015).

Uma das primeiras definições sobre qualidade do solo foi dada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura – FAO (1976), a qual descrevia como um complexo de atributos que atuam de forma distinta, influenciando a adequação do solo para um determinado tipo de uso. Já Doran e Parking (1994) definem qualidade do solo como a capacidade que ele tem de manter seu ecossistema, sua capacidade produtiva, qualidade do meio ambiente e promover o crescimento e desenvolvimento saudáveis de plantas e animais. A Sociedade Americana de Ciência do Solo, por sua vez, conceitua qualidade do solo

como a capacidade de um dado solo funcionar, dentro de um sistema natural ou manejado, de forma a manter a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e suportar a saúde humana e habitacional (KARLEN et al., 1997).

De acordo com Gugino et al. (2009), um solo de boa qualidade precisa ter as seguintes características: boa estrutura física; profundidade suficiente para um bom crescimento e desenvolvimento das raízes; fornecimento de nutrientes em quantidades adequadas; pequena população de fitopatógenos; boa drenagem; grande população de organismos benéficos (microbiota); baixa quantidade de plantas daninhas; ser livres de químicos e toxinas que danifiquem lavouras; resistentes à degradação; e maior poder de resiliência em condições desfavoráveis.

A qualidade do solo é estimada pela observação ou medição de diferentes propriedades ou processos. Nenhuma propriedade pode ser utilizada isoladamente como um índice de qualidade do solo (COSTA e COSTA, 2015). A utilização de indicadores de qualidade do solo, relacionados à sua funcionalidade, constitui uma maneira indireta de mensurar a qualidade dos solos, sendo úteis para o monitoramento de mudanças no ambiente (ARAÚJO, et al., 2012).

Conforme Vezzani e Mielniczuk (2009), a proposta é de que esses indicadores sejam relacionados com cinco funções do solo: habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água e elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um habitat biológico adequado; e responder ao manejo, resistindo à degradação.

O entendimento da interação entre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é fundamental para nortear as atividades antrópicas (MAGDOFF e VAN ES, 2009; SILVA et al., 2011). Há uma tendência, então, de tratar esses atributos como indicadores da qualidade de solos (DORAN e PARKIN, 1996; SNAKIN et al., 1996).

2.2. Qualidade e atributos físicos do solo

As plantas necessitam de solos com condições físicas favoráveis para o seu desenvolvimento adequado. Esses fatores físicos interagem e regulam o

crescimento e a funcionalidade das raízes, com reflexo no crescimento e produtividade dos cultivos (COLLARES et al., 2006).

Os estudos sobre a qualidade física do solo evoluíram significativamente nos últimos anos, justificados quase sempre pela necessidade de avaliação do comportamento de diversos atributos físicos do solo em áreas cultivadas (LANZANOVA et al., 2007; FIDALSKI et al., 2008; SPERA et al., 2009, SALES et al., 2010).

A qualidade física do solo foi definida por Kay et al. (1994) como o crescimento das plantas sendo influenciado pelas propriedades do solo, como porosidade total, densidade, compactação relativa, distribuição dos tamanhos dos agregados e disponibilidade de água. Já Collares et al. (2006) a define como a capacidade do solo em promover condição adequada para o crescimento e desenvolvimento da planta, considerando fatores como umidade, aeração, temperatura, resistência mecânica, densidade e distribuição do tamanho de poros do solo.

A qualidade física do solo engloba o conhecimento de propriedades e processos relativos à sua habilidade em manter efetivamente os serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos essenciais à saúde do ecossistema (MEA, 2005), cujo estudo é realizado por meio de indicadores físicos da qualidade do solo, responsáveis pela avaliação da sua estrutura (COSTA e COSTA, 2015).

A degradação física do solo é um dos componentes do processo de sua degradação, alterando suas propriedades, e geralmente é associada às perdas de matéria orgânica e da integridade estrutural dos solos (GUIMARÃES et al., 2013). De acordo com Omuto (2008), a perda da qualidade física do solo é um processo gradual que se inicia com a deterioração da estrutura do solo e termina com a perda diferencial de partículas por meio da erosão, sendo relacionada com a modificação dos arranjos de agregados e poros do solo. Fidalski et al. (2007) destacou, em seu estudo sobre pomar de laranjeira, que a degradação física do solo resultante da compactação pode comprometer a eficiência da adubação e a produtividade dos pomares.

Para evitar a degradação dos solos, deve-se promover práticas que conservem a boa qualidade de um solo. Dessa forma Imhoff et al., (2000) destacam que os solos de boa qualidade devem possuir suficiente espaço poroso, para o movimento da água e gases e resistência favorável à penetração das raízes.

Segundo Ingaramo (2003) e Gugino (2009), para avaliação da qualidade do solo, algumas das principais propriedades e fatores físicos considerados adequados para descrevê-la são: porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas e profundidade em que as raízes crescem.

Em estudos com o objetivo de avaliação da qualidade física de solos mais atuais são analisados, ainda, outros atributos tais como densidade de partículas e estabilidade de agregados.

Como exemplo de estudo que avaliou a qualidade física do solo em diferentes sistemas encontram-se o trabalho de Marinato (2012), o qual realizou estas avaliações utilizando-se diferentes profundidades num solo de tabuleiros costeiros no município de Jaguaré-ES em áreas de mata nativa, reflorestamento de eucalipto e outra com espécies nativas, pastagem, seringueira, café conilon e pimenta-do-reino. Outro exemplo, é o trabalho de Corrêa et al. (2010), que avaliaram esses atributos em áreas com culturas de ciclo curto, fruticultura, pastagem, áreas descartadas e vegetação nativa em profundidades distintas em área no semiárido do Nordeste do Brasil.

2.3. Qualidade e atributos químicos do solo

Indicadores de fertilidade do solo, representados por atributos químicos, apresentam relevância para estudos agronômicos e ambientais quando incidem nas características que indicam processos do solo ou de seu comportamento, capacidade de resistir à troca de cátions, necessidades nutricionais de plantas e contaminação ou poluição ambiental (COSTA e COSTA, 2015).

Os atributos químicos do solo são dependentes do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. Sendo assim, a interação desses fatores estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo (MARCHIORI JÚNIOR e MELO, 2000).

A análise desses indicadores deve ser compreensível e útil para o agricultor e barata mensuração (DORAN e ZEISS, 2000). Deve ainda ser sensível às alterações na qualidade do solo induzidas por modificações recentes no manejo. Há

vários recursos disponíveis de avaliação de fertilidade, sendo a análise do solo uma técnica disponível e de fácil acesso (COSTA et al., 2008).

De acordo com Gomes e Filizola (2006), os indicadores químicos de qualidade do solo são normalmente agrupados em quatro classes: aqueles que indicam os processos do solo ou de comportamento, como o pH; aqueles que indicam a capacidade do solo de resistir à troca de cátions, como a CTC; aqueles que indicam as necessidades nutricionais das plantas, como o N, P, K, Ca e Mg; e aqueles que indicam contaminação ou poluição, como os metais pesados. Corroborando com isto, Costa e Costa (2015) afirmam que alguns indicadores químicos, considerados fundamentais para a determinação da capacidade produtiva do solo são utilizados para avaliação de sua qualidade, como o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), o pH do solo, a condutividade elétrica e a disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

A MOS se destaca. Ela representa um dos melhores indicadores de sua qualidade. Além de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é uma fonte primária de nutrientes para as plantas. Atua também na ciclagem de nutrientes, na complexação de elementos tóxicos e na estruturação do solo (COSTA e COSTA, 2015). Shukla et al. (2006) considera que a MOS é suficiente na monitorização de mudanças da qualidade do solo no tempo. Alguns pesquisadores, ainda, consideram que a MOS é o indicador ideal para se avaliar a qualidade do solo, fundamentando-se no fato de que várias funções e processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem no solo estão relacionados diretamente com a sua presença (PULLEMAN et al., 2000; CARTER, 2001; FRANZLUEBBERS, 2002; SHUKLA et al., 2006).

Um exemplo de estudo já realizado avaliando os atributos químicos do solo em diferentes sistemas é o trabalho de Carneiro et al. (2009), que avaliaram amostras de um Latossolo Vermelho Distrófico com áreas de Cerrado Nativo, pastagem, milheto, nabo forrageiro e sorgo e um Neossolo Quartzarênico órtico sob Cerrado com áreas de Cerrado nativo, pastagem nativa, integração agricultura-pecuária, pastagem cultivada, soja e milho. Outro exemplo é o trabalho de Silva et al. (2009), que compararam esses atributos em áreas com diferentes culturas florestais, tais como pínus, eucalipto, carvoeiro e Cerrado Nativo em área caracterizada por um Latossolo Vermelho-Amarelo de Cerrado. Já Portugal et al. (2008) avaliaram os atributos químicos de um Cambossolo Háplico Tb Distrófico sob

uso de seringueira, laranja, cana, pastagem e mata numa área localizada na Zona da Mata mineira.

2.4. Conservação do solo

O solo e a água são fundamentais na sustentação dos sistemas agrícolas e naturais (ANDRADE et al., 2010). A alteração do uso e da cobertura dos solos têm contribuído para a modificação da paisagem devido à expansão urbana (LI et al., 2010; JIANG et al., 2012; WANG et al., 2012) e à conversão de áreas florestais em áreas agrícolas (ANDRIEU et al., 2011), vindo a causar grandes impactos que podem repercutir ao longo de vários anos. A destruição da cobertura vegetal, para abertura de novas fronteiras agrícolas, pode afetar a estrutura física, química e atividade biológica do solo (MENESES, 2013). Dessa forma, alguns dos desafios para a conservação do solo são reverter o quadro de degradação e otimizar o uso dos solos (ANDRADE et al., 2010).

A importância da conservação do solo no mundo e de processos que mitiguem a sua degradação estão mais em evidência no mundo atual do que no passado. Isso ocorre porque há um crescimento da capacidade humana de intervenções que causem a degradação e que tomou uma proporção tão grande que, pela primeira vez na história, as ações de como será manejado e usado cada solo pode impactar diretamente nos bens e serviços ambientais (DUMANSKI, 2010).

No Brasil, porém, as práticas de conservação do solo não têm ainda ampla adoção por parte dos agricultores. Acredita-se que hajam vários motivos, tais como: difícil percepção da essencialidade dessas práticas para o sucesso do empreendimento; dificuldade no processo de transferência de tecnologias; e falta de conscientização devido aos problemas causados pela falta da conservação do solo e da água (MACHADO, et al., 2010).

O planejamento conservacionista é essencial para se obterem melhores rendimentos na exploração das culturas, visando obter o máximo rendimento da terra por unidade de área plantada, proporcionando o desenvolvimento socioeconômico do produtor rural e sua família, assim como a conservação dos recursos naturais da propriedade agrícola (MACEDO et al., 2009).

A adoção de práticas de conservação do solo visa minimizar os efeitos de processos erosivos, por exemplo, conciliando a exploração econômica com a preservação dos recursos naturais como o solo e a água. Algumas das técnicas utilizadas são: cultivo em nível; construção de terraços; plantio de leguminosas, como adubos verdes intercaladas com espécies comerciais (WADT, 2003); e os Sistemas Agroflorestais (SAF's).

2.5. SAF e consórcio

A atividade agrícola com ênfase na monocultura tem sido fator de aceleração da degradação do solo, geralmente ultimada pelo superpastejo e uso do fogo (ALVES et al., 2007).

Uma alternativa para minimização desses problemas é a mudança desse tipo de uso para o sistema agroflorestal (SAF), especialmente quando se trata de culturas perenes.

O SAF é, genericamente, o sistema produtivo que inclui árvores em consórcio e, ou, associação com culturas agrícolas e, ou, com criação de animais (MACDICKEN e VERGARA, 1990; YOUNG, 1994; e VIEIRA et al., 2003). É uma forma de uso do solo que é capaz de conciliar produção agrícola com conservação dos recursos naturais (JOSE, 2009). Para Carvalho et al. (2004), os SAF's constituem uma alternativa de produção agropecuária que minimiza o efeito da intervenção humana.

Um determinado consórcio pode ser chamado de *agroflorestal* na condição de ter, entre as espécies componentes, pelo menos uma espécie tipicamente florestal, ou seja, uma espécie nativa ou aclimatada, de porte arborescente ou arbustivo (MAY et al., 2008).

Young (1994) propôs que um sistema agroflorestal bem definido pode ainda ter potencial para conter o escoamento superficial da chuva e controlar processos erosivos, mantendo a MOS e as propriedades físicas do solo. Portanto, protegem os solos, minimizando eventos de erosão; melhoram a ciclagem de nutrientes, a fertilidade e estrutura física; e causam melhorias no ciclo da água, aumentando a capacidade de retenção e também em sua qualidade (SANTOS e PAIVA, 2002;

ALAVALAPATI et al., 2004; CARVALHO et al., 2004; GARCIA-BARRIUS e ONG, 2004, KUMAR e NAIR, 2004; MAIA et al., 2006). Possibilitam, ainda, maior diversidade de produtos a serem explorados, o que alivia a sazonalidade, fenômeno comum no setor agropecuário (IZAC e SANCHEZ, 2001). A inclusão de componentes arbóreos pode manter ou aumentar a produtividade de determinado local, devido a processos que aumentem a entrada ou reduzam perdas no solo, como matéria orgânica, nutrientes e água, além de melhorar as propriedades físicas e químicas e beneficiar processos microbiológicos do solo (YOUNG, 1994).

Os SAF's devem se basear em 4 aspectos: interação entre luz, água e nutrientes; complexidade (ecologia e socioeconômica); lucratividade (produção e mercado); e sustentabilidade (conservação dos recursos naturais, solos, recursos hídricos e carbono) (SANCHEZ, 1995).

A consorciação de espécies florestais com cultivos agrícolas tem como principal objetivo otimizar a produção e o retorno econômico por unidade de área em dado período de tempo (EHIAGBONARE, 2006). Varella (2003) afirmou que a introdução de espécies semiperenes e perenes, juntamente com cultivos agrícolas, possibilita renda no médio e no longo prazo, reduz o custo com roçadas e capinas, auxilia no controle da erosão e da luminosidade, aumenta a concentração de matéria orgânica do solo e gera sustentabilidade do sistema.

Um exemplo muito difundido é o plantio consorciado do café com espécies arbóreas, utilizado em várias regiões produtoras de café por apresentar vantagens sócioeconômicas e biológicas em relação ao cultivo tradicional em monocultivo (SANTOS et al., 2000). A consorciação do cafeeiro com diferentes culturas pode melhorar a viabilidade da cafeicultura, sem requerer investimentos muito elevados, e proporciona renda adicional ao empreendimento (NICOLELI e MOLLER, 2006; Silva et al., 2012). Exemplificando o exposto, o trabalho de Perdoná et al. (2015) analisou o desempenho produtivo e econômico do consórcio de cafeeiro arábica com a noqueira-macadâmia. Valentini et al. (2010) compararam em um estudo a temperatura do ar em sistemas de arborização de cafeeiro, um consorciado com seringueira e outro consorciado com coqueiro-anão com um cafeeiro a pleno sol na região de Mococa-SP.

Outro trabalho com SAF's foi realizado por Loss et al. (2009), os quais estudaram os atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo, localizado no município de Seropédica-RJ, com diferentes sistemas de plantio: milho

com feijão, berinjela com milho, maracujá com *Desmodium* sp., figo e um SAF com diversas espécies arbóreas e frutíferas. Já Marques et al. (2004) estudaram os parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica, sob um SAF composto por cupuaçu, urucum, pupunha e castanha do Brasil.

Neste sentido, conforme os tópicos acima discutidos e levando-se em consideração que existem poucos estudos sobre qualidade do solo em SAF's, este trabalho procura fornecer maiores bases sobre a qualidade físico-química de um determinado solo submetido a diferentes tipos de usos, incluindo diferentes consórcios, como detalhado nos capítulos seguintes.

3. CAPÍTULOS

3.1. Capítulo 1 - Atributos físicos do solo sob diferentes tipos de uso e manejo no norte do Espírito Santo

3.1.1. Resumo

O uso e o manejo do solo podem provocar alterações na sua qualidade, incluindo os seus atributos físicos. Neste sentido, objetivou-se avaliar os atributos físicos do solo tais como textura, densidade de partículas (D_p), densidade do solo (D_s), porosidade total (P_t), microporosidade (M_{ip}), macroporosidade (M_{ap}), estabilidade de agregados, através do diâmetro médio geométrico (DMG) e do diâmetro médio ponderado (DMP), resistência do solo à penetração (R_p) e condutividade hidráulica saturada (k_0) em seis áreas com usos distintos, no intuito de fornecer respostas sobre a sua qualidade. O estudo foi desenvolvido numa fazenda localizada no município de Jaguaré-ES, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico. Os diferentes tipos de uso do solo analisados foram: café (Cc); seringueira e coco (SCo); seringueira (S); seringueira, pimenta-do-reino e cacau (SPCa); seringueira e café (SCc) e; mata nativa (MN). Não se analisou os atributos DMG e DMP na mata nativa. D_p , D_s , P_t , M_{ip} , M_{ap} , DMG, DMP, areia, argila e silte foram avaliados nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, utilizando-se 5 repetições. Para R_p foram analisadas 4 profundidades, 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com 5 repetições. Já a análise de k_0 foi realizada nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, com 3 repetições. Os diferentes tipos de solo foram agrupados pelo método Tocher, com base na dispersão pelo método de Mahalanobis. Como resultados SPCa e SCc se destacaram obtendo maiores valores de R_p na camada mais superficial e, ainda,

não houve diferenças estatísticas entre as áreas para DMG, DMG e k_0 , em nenhuma das profundidades. Conclui-se que MN, conforme esperado, apresentou resultados mais favoráveis ao melhor desenvolvimento das plantas, já que obteve menor R_p , menor D_s e maior Map quando comparada às outras áreas, provavelmente devido à maior presença de MOS. As áreas Cc e SPCa foram similares quando avaliados os atributos D_p , D_s , P_t , Mip , Map e porcentagem de areia, argila e silte em todas as profundidades. A prática agrícola causou alteração nos atributos físicos do solo.

Palavras-chave: cobertura vegetal, seringueira, café conilon, coco, cacau, pimenta-do-reino.

3.1.2. Abstract

The use and management of soil can cause changes in its quality, including its physical attributes. The objective was to evaluate soil physical attributes, particles density (D_p), soil density (D_s), total porosity (P_t), microporosity (Mip), macroporosity (Map), aggregate stability through the geometric mean diameter (GMD) and the weighted average diameter (MWD), soil penetration resistance (R_p) and hydraulic conductivity (k_0) in six areas with different uses, in order to provide answers about its quality. The study was conducted at a farm in Jaguaré-ES, in a Ultisol typical Distrocoeso. The different types of land use were analyzed: coffee (Cc); rubber and coconut (SCo); rubber (S); rubber, pepper and cocoa (SPCa); rubber and coffee (SCc) and; native forest (MN). DMG and DMP were not analyzed in the native forest. The attributes D_p , D_s , P_t , MIP , MAP , DMG , DMF , sand, clay and silt were analyzed at 0-10, 10-20 and 20-40 cm depths, using 5 repetitions. R_p were analyzed 4 depths, 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm, using 5 repetitions. The k_0 analysis was performed at 0-15 and 15-30 cm depths, using 3 repetitions. The different soil types were grouped by Tocher method, based on the dispersion by Mahalanobis method. MN, as expected, showed less R_p , lower BD and greater Map when compared to other areas, probably due to the higher levels of soil organic matter. Cc and SPCa areas were similar when evaluated D_p attributes, D_s , P_t , Mip , Map and sand, clay and silt percentages. The agricultural practice caused changes in soil physical properties.

Keywords: vegetation cover, rubber, conilon coffee, coconut, cocoa, black pepper.

3.1.3. Introdução

Os atributos físicos do solo são de grande importância já que contribuem indiretamente com a melhoria das condições químicas e biológicas do mesmo (DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2007). O uso e o manejo do solo provocam alterações nesses atributos, podendo significar perda de qualidade, afetando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (NIERO et al., 2010). Ainda com esse mesmo ponto de vista, Carvalho et al. (2004) apontam que a preocupação com a qualidade do solo tem crescido à medida em que o seu uso e mobilização intensiva possam redundar na diminuição da sua capacidade de manter uma produção biológica sustentável.

Estudos relativos ao monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos são importantes para a avaliação e manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, além de sinalizar o manejo adequado do ambiente, visando à sua conservação e produtividade (MOTA et al., 2013).

Os atributos físicos são usados para estimar a condição de estruturação dos solos, com relação ao potencial de lixiviação, produtividade e aspectos erosivos, sendo afetados por vários fatores, como o sistema de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos na superfície e teor de matéria orgânica (DORAN e PARKIN, 1994; TORMENTA et al., 2002; CRUZ et al., 2003; SPERA et al., 2006).

Um exemplo clássico sobre o sistema de manejo adotado é a utilização intensiva de equipamentos agrícolas em algumas operações como semeadura e colheita, que tem promovido aumento da compactação, principalmente na zona de exploração radicular (ASSIS et al., 2005). A principal razão desse fenômeno é a repetitividade das operações realizadas ao longo dos anos (OLIVEIRA et al., 2002). No Brasil e no resto do mundo, há uma grande preocupação com o aumento das áreas agrícolas com problemas de compactação, o que, em grande parte, se deve às operações mecanizadas realizadas sem considerar a umidade do solo (SILVA et al., 2000).

Já foram realizados alguns trabalhos científicos relatando os benefícios dos sistemas conservacionistas no melhoramento das propriedades físicas do solo

(ASSIS et al., 2005), assim como do uso do solo, tais como os de Marques et al. (2004), Loss et al. (2009) e Marinato (2012).

Neste estudo, objetivou-se avaliar os atributos físicos do solo tais como textura, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração em seis áreas com usos distintos, no intuito de fornecer respostas sobre a sua qualidade.

3.1.4. Material e métodos

Este trabalho foi conduzido em uma propriedade denominada Fazenda Boa Sorte, localizada no município de Jaguaré, norte do Estado do Espírito Santo, nas coordenadas geográficas UTM 24k 400602E 7896567N, pertencente à bacia do rio Barra Seca. A topografia da área é plana.

Foram estudadas seis áreas, conforme a Figura 1, próximas umas das outras, com usos, manejo e históricos distintos, conforme mostrado na Tabela 1.

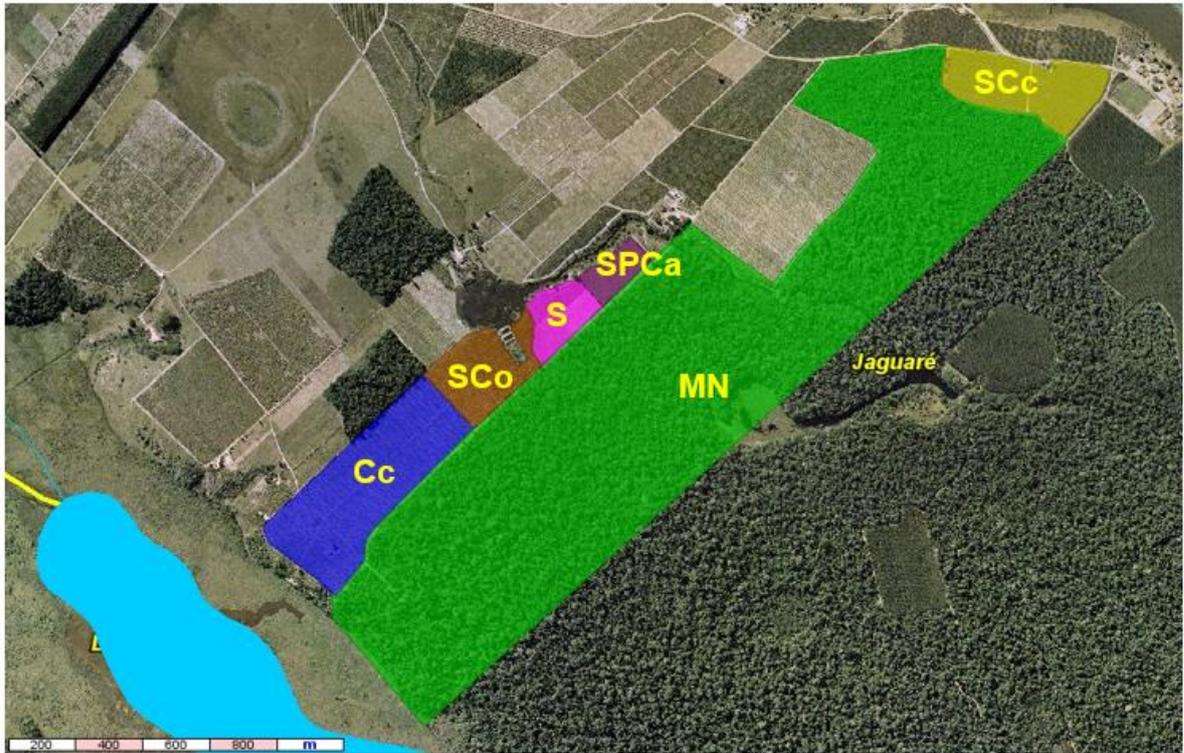


FIGURA 1. Mapa com as áreas estudadas. Cc: café conilon; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa.

TABELA 1. Descrição das áreas experimentais (tratamentos) e seus históricos

Área	Sistema de uso	Sigla	Área Aprox. (ha)	Histórico e manejo
1	Café	Cc	16	Houve plantio de café por mais de 20 anos, logo após foi plantado mamão por 7 anos. No último ano de mamão foi plantado café novamente e este já tem 7 anos. Utilização da subsolagem para adubação e plantio entre 60-90 cm de profundidade. A irrigação foi feita por aspersão convencional. A última calagem, superficial, foi feita em 2014. Pelo menos 1 vez ao mês tem trânsito de maquinário. Adubações recentes com fertirrigação (ureia e KCl), organomineral e aminoácidos.
2	Seringueira com coco	SCo	6	Era uma área de vegetação secundária formada por gramíneas e arbustos (capoeira) onde foi plantado primeiramente o maracujá. No ano de 1994 plantou-se coco. Atualmente encontra-se com plantio de 2 anos de coco e 2 anos de seringueira. Houve a utilização de aração e gradagem. Irrigação por microaspersão. Última calagem, superficial, foi realizada em 2010. Após este mesmo ano, houve pouca intensidade do trânsito de máquinas e pouca adubação.
3	Seringueira	S	2	Foi cultivada primeiramente o maracujá e culturas anuais como abóbora, feijão e arroz. Posteriormente foi plantada a pimenta-do-reino. O plantio atual é formado por seringueira com 5 anos em um espaçamento mais adensado que o plantio convencional, pois os indivíduos têm a finalidade de reprodução, utilizando-se estacas em outros plantios. Utilizou-se aração e gradagem e irrigação por microaspersão. Última calagem foi feita em 2010. Após este mesmo ano, houve baixíssima intensidade de trânsito de máquinas e quase nada de adubação.

(continua)

Área	Sistema de uso	Sigla	Área Aprox. (ha)	Histórico e manejo
4	Seringueira, pimenta-do-reino e cacau	SPCa	4	Foi primeiramente cultivado o maracujá. Após a sua retirada plantou-se pimenta-do-reino no ano de 1990. Em 2007, em consórcio, foi feito o plantio da seringueira e, em 2013, do cacau. Houve a utilização de aração e gradagem. Irrigação por microaspersão. Última calagem, superficial, foi feita em 2014. Após 2008 não houve mais trânsito de máquinas. A adubação com NPK foi realizada de 3 a 4 vezes no ano.
5	Seringueira com café	SCc	8	Era uma mata, a qual foi desbastada através da queimada. Hoje, apresenta um plantio de café com 17 anos consorciado com a seringueira com 5 anos. Houve a utilização de subsolagem entre 60-90 cm de profundidade. A irrigação foi feita por microaspersão. Em 2014 foi feita uma última calagem superficial. Passou maquinário pelo menos 1 vez ao mês. Adubações recentes com fertirrigação (ureia e KCl), organomineral e aminoácidos.
6	Mata	MN	120	Fragmento de mata primária nativa do bioma Mata Atlântica. A formação vegetal encontrada é a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (Mata dos Tabuleiros).

O solo da propriedade onde foi conduzido o trabalho é classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

A definição da metodologia, tratamentos e delineamento utilizados neste trabalho foi baseada nos estudos de Melo et al. (2006), Miranda (2007), Carneiro et al. (2009), Portugal et al. (2010) e Marinato (2012), conforme descrita a seguir.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado e a amostragem do solo foi realizada entre os meses de abril de 2015 a fevereiro de 2016. Para cada área ou tipo de uso do solo (tratamento) foram demarcadas cinco

parcelas de 36 m² (6 x 6m), distribuídas aleatoriamente. As coordenadas geográficas UTM das parcelas seguem apresentadas no Anexo 1.

Os atributos físicos analisados foram: textura, densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mip), macroporosidade (Map), estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG). Esses atributos foram analisados segundo metodologia descrita em Embrapa (1997), nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com cinco repetições. Foi determinada ainda a resistência do solo à penetração (Rp), empregando-se um penetrômetro de impacto, sendo os cálculos realizados conforme Stolf (1991), nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com cinco repetições também. Por fim, determinou-se a condutividade hidráulica do solo saturado (k_0) utilizando-se um permeâmetro de fluxo constante (Permeâmetro de Guelph), de acordo como os procedimentos descritos no manual de instruções operacionais do próprio permeâmetro (SOILMOISTURE, 2010), nas profundidades de 15 e 30 cm e duas colunas de água (5 e 10 cm) para cada profundidade, sendo empregada três repetições.

Para a análise de textura e densidade de partícula coletaram-se 10 amostras simples, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, em cada uma das cinco parcelas para formar uma amostra composta por parcela. Para isto, utilizou-se trado tipo sonda. As amostras foram levadas para o Laboratório Física do Solo do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, secadas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneiras de 2mm.

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta. Na fase de dispersão foi utilizada a agitação lenta em Mesa Agitadora Orbital SL180/D, marca SOLAB, utilizando-se Terra Fina Seca ao Ar – TFSA e o agente dispersante NaOH 1N. Na fase de separação utilizaram-se duas peneiras, de 0,25 mm e de 0,0053 mm, e uma proveta de 500 mL, separando areia grossa e fina. As areias foram levadas para secar em estufa e em seguida determinaram-se os pesos secos. Para a suspensão que foi para a proveta, calculou-se o tempo de sedimentação da menor partícula de silte para cada amostra, usando a expressão:

$$t = (9 h \eta) / [2 (Dp - Df) g r^2]$$

Onde:

t = tempo de sedimentação (s);

h = profundidade de coleta (cm);

η = viscosidade da água (poises);

Dp = densidade de partículas (g cm^{-3});

Df = densidade da água (g cm^{-3});

g = aceleração da gravitacional no laboratório ($g = 978,4221 \text{ cm s}^{-2}$);

r = raio da menor partícula a se sedimentar (cm).

Após homogeneização com agitador próprio de cada amostra, foi medida a temperatura das suspensões e deixou t horas em repouso. Após esses tempos, foram pipetadas alíquotas de 25 mL das suspensões a uma profundidade de 10 cm (silte com argila) e a uma profundidade de 5 cm (argila), que foram transferidas para placas de Petri devidamente identificadas. Logo após foram levadas para estufa a 105°C durante 24 horas. Após o resfriamento das amostras, determinaram-se as massas dos materiais. Por último, foram calculadas as porcentagens de argila, silte e areia, classificando as amostras com base no triângulo textural de Lemos e Santos (1984).

Para a densidade de partícula foi utilizado o método do balão volumétrico com álcool etílico, sendo as amostras de 20 g de Terra Fina Seca em Estufa – TFSE colocadas em um balão volumétrico de 50 mL para posterior complementação com álcool etílico. Após 15 minutos de espera com o balão contendo apenas 25 mL de álcool, fez-se a complementação até marcação, sendo, então, realizada a leitura do nível do álcool na bureta. Em seguida, foram determinados o volume de TFSE (V_s) e a densidade de partícula (D_p) de cada amostra, através das seguintes equações:

$$V_s = V_a - L$$

Onde:

V_s = volume de TFSE (mL);

V_a = volume aferido do balão volumétrico (mL);

L = volume da leitura do nível do álcool na bureta com mais os 25mL posto anteriormente (mL).

$$D_p = 20 / V_s$$

Onde:

D_p = densidade de partícula (g/cm³);

V_s = volume de TFSE (mL).

Para a coleta de amostras visando à análise de densidade do solo e porosidade foi aberta uma trincheira em cada uma das cinco parcelas e foram coletadas amostras indeformadas nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Esta coleta foi realizada com o auxílio de um amostrador de Uhland e anéis com volume conhecido, aproximadamente 92 cm³, sendo imediatamente fechados com tampa específica e, posteriormente, colocadas em caixas, para evitar a perda da estrutura do solo. Em laboratório, os monólitos foram umedecidos colocando-os em bandejas contendo 3 cm de altura de água até que a parte superior do monólito fosse umedecida por capilaridade; determinou-se, assim, o peso do monólito saturado. Colocou-se, então, os monólitos na mesa de tensão a uma tensão de 6 kPa. Após o cessamento da drenagem removeram-se os monólitos e determinaram-se os seus pesos. Secaram-se os mesmos em estufa (105-110°C), até massa constante, determinando, assim, a massa seca. Determinou-se, também, a massa da amostra saturada em água, da amostra seca a 6 kPa, do cilindro, da gaze e do elástico quando secos e saturados. Em seguida, calculou-se a D_s , P_t , M_{ip} e M_{ap} , conforme descrito abaixo:

$$D_s = M_s / V$$

Onde:

D_s = densidade do solo (g/cm^3);

M_s = massa do solo seco (g);

V = volume total do solo (cm^3).

$$P_t = 1 - (D_s / D_p)$$

Onde:

P_t = porosidade total;

D_s = densidade do solo (g/cm^3);

D_p = densidade de partícula (g/cm^3).

$$M_{ip} = (M_e - M_s) / V_a$$

Onde:

M_{ip} = microporosidade;

M_e = massa da amostra após passar pela pressão de 6 kPa (g);

M_s = massa da amostra seca (g);

V_a = volume do monólito (cm^3).

$$M_{ap} = P_t - M_{ip}$$

Onde:

M_{ap} = macroporosidade;

P_t = porosidade total;

M_{ip} = microporosidade.

Para a análise de estabilidade de agregados foram retirados em campo amostras com o formato de torrão, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm, abrindo-se trincheiras, e, posteriormente, em laboratório, foi utilizado o método de peneiramento dos agregados imersos em água, utilizando o equipamento Yooder. O procedimento desta análise consiste basicamente em passar os agregados previamente homogeneizados quanto ao tamanho, passando por peneiras de 8 mm, em um conjunto de peneiras de diâmetros de 2; 1; 0,5 e 0,25 mm imersas em água. Após leve agitação, foram retirados de cada peneira os agregados retidos e colocados em potes para secar em estufa, de 105 a 110°C por um período de 24 horas. A estabilidade de agregados foi calculada por meio do DMG e o DMP, como mostrado abaixo:

$$DMG = 10x \quad DMP = \sum(n d)$$

$$X = [\sum(n \log d) / \sum n]$$

Onde:

DMG = diâmetro Médio Geométrico (mm);

DMP = diâmetro Médio Ponderado (mm);

n = % dos agregados retidos em uma determinada peneira;

d = diâmetro médio de uma determinada faixa de tamanho do agregado (mm).

A k_0 foi determinada no campo utilizando-se o permeâmetro de fluxo constante, Permeâmetro Guelph, de acordo como os procedimentos descritos no manual de instruções operacionais do próprio permeâmetro (SOILMOISTURE, 2010). As medidas das taxas de infiltração foram realizadas em duas profundidades distintas, 15 e 30 cm e em cargas constantes de 5 e 10 cm de água, utilizando-se 3 repetições. A escolha da melhor equação para o cálculo da k_0 dependeu da opção de reservatório duplo ou único. As equações seguem abaixo:

$$k_0 = (0,0041) (X) (R_2) - (0,0054) (X) (R_1)$$

$$k_0 = (0,0041) (Y) (R_2) - (0,0054) (Y) (R_1)$$

Onde:

k_0 = condutividade hidráulica do solo saturado (cm s^{-1});

R_1 e R_2 = taxas de infiltração de água, determinadas pelo permeâmetro, para as cargas constantes de 5 e 10 cm, respectivamente (cm s^{-1});

X e Y = constantes fornecidas pelo fabricante do permeâmetro.

No caso do permeâmetro utilizado, as constantes X e Y são respectivamente 35,39 para o reservatório combinado e 2,16 para o interno.

Para a análise de R_p foi utilizado o penetrômetro de impacto para obtenção de dados em quatro profundidades distintas, 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com 5 repetições. O número de impactos dm^{-1} foi transformado em resistência dinâmica (MPa) por meio da equação proposta por Stolf (1991):

$$R_p = 5,6 + 6,89 N$$

Onde:

R_p = resistência do solo à penetração (kgf cm^{-2});

N = (impactos dm^{-1}).

E para converter a R_p em kgf cm^{-2} para MPa, multiplicou-se o resultado obtido pela constante 0,098.

Para análise dos dados, foram considerados os usos agrícolas como tratamentos e o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado.

Os dados dos atributos D_p , D_s , P_t , M_{ip} , M_{ap} , % areia, % argila e % silte foram submetidos a uma análise complementar, com a técnica multivariada por meio de variáveis canônicas, a partir da qual foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando os escores das duas primeiras variáveis que explicam mais de 80% da variação total, conforme recomendado por Cruz et al.

(2004). Os escores foram utilizados na confecção de gráficos bidimensionais. Também foi realizada uma análise de agrupamento, sendo que, para tal, foi utilizado o método de Tocher com base na dispersão pelo método de Mahalanobis, permitindo visualizar melhor as coberturas vegetais que apresentaram maior similaridade. Todas estas avaliações foram realizadas para cada uma das diferentes profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm), considerando 6 tratamentos e 5 repetições.

Os dados de estabilidade de agregados, DMG e DMP, foram avaliados em cada uma das diferentes profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm), considerando 5 tratamentos e 5 repetições. A utilização de apenas 5 tratamentos foi devida a impossibilidade de retirar amostras de torrão nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm da área MN.

Os dados de Rp foram avaliados em cada uma das 4 diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm), considerando 6 tratamentos e 5 repetições.

Os dados de umidade do solo, importantes de serem avaliadas juntos com a Rp, foram avaliados para cada uma das duas diferentes profundidades (0-20 e 20-40cm), considerando 6 tratamentos e 5 repetições.

Para k_0 as avaliações foram realizadas para cada uma das 2 diferentes profundidades (15 e 30 cm), considerando 6 tratamentos e 3 repetições.

Para todas as avaliações descritas acima foi utilizado o programa GENES (CRUZ, 2013) e todos os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de significância para comparação entre médias.

3.1.5. Resultados e discussão

3.1.5.1 Resistência à penetração e umidade do solo

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados obtidos para Rp e umidade, a qual tem influência direta nas medições deste atributo.

TABELA 2. Resistência do solo à penetração (Rp) em quatro profundidade e sob seis usos em um Argissolo Amarelo Distrocioso típico em Jaguaré-ES

Uso do solo	Rp (MPa)			
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Cc	1,81 ab	2,43 a	2,91 a	3,63 a
SCo	1,57 ab	2,72 a	3,52 a	4,25 a
S	2,03 ab	3,83 a	5,47 a	6,68 a
SPCa	2,53 a	3,74 a	4,46 a	4,70 a
SCc	2,51 a	3,47 a	3,88 a	4,33 a
MN	0,29 b	1,45 a	2,82 a	4,71 a
CV (%)	60,56	51,98	48,47	44,63

Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação; Rp: resistência à penetração. Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA 3. Valores de umidade do solo em duas profundidades e sob seis usos em um Argissolo Amarelo Distrocioso típico em Jaguaré-ES

Uso do solo	Umidade (kg kg ⁻¹)	
	0-20cm	20-40cm
Cc	0,010 ab	0,011 ab
SCo	0,003 b	0,007 b
S	0,004 b	0,006 b
SPCa	0,018 a	0,013 a
SCc	0,009 ab	0,010 ab
MN	0,005 ab	0,007 b
CV (%)	89,12	26,74

Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelos testes de Tukey a 5% (0-20cm) e a 1% (20-40cm).

Observou-se que somente houve diferença significativa entre as médias da profundidade 0-10 cm. Este resultado também foi observado no trabalho de Marinato (2012), em um Latossolo Amarelo distrófico e em um Argissolo Amarelo distrófico, onde a camada mais superficial medida foi de 0-20 cm. Já no trabalho de Araújo et

al. (2007), em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico A moderado textura muito argilosa, foi observado que houve diferenças estatísticas entre as médias de cada tipo de uso em cada uma das profundidades estudadas, que foram de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

Avaliando-se somente a profundidade 0-10 cm, constatou-se que as áreas SPCa e SCc obtiveram maiores médias de R_p , sendo, respectivamente, 2,53 e 2,51 MPa. Esses valores encontram-se um pouco acima do limite crítico de 2,5 MPa, conforme (CAMARGO e ALLEONI, 1997), indicando que as plantas começam a encontrar limitações físicas ao crescimento do sistema radicular. Salienta-se, ainda, que a área SPCa obteve, controversamente, maior média referente à umidade, assim como apresentado por Silveira et al. (2010).

Quase todas as médias para as profundidades de 10-20, 20-30 e 30-40 cm obtiveram valores de R_p muito acima do considerado crítico por (CAMARGO e ALLEONI, 1997), ou seja, são maiores que 2,5 MPa. Isto pode ter ocorrido devido à umidade do solo estar muito baixa. A região onde foi realizado o experimento passou por um longo período de estiagem, chegando a afetar o período de irrigação comumente utilizada em todas as áreas estudadas, tendo, o município de Jaguaré, que tomar medidas de racionamento e restrições de captação de água.

A MN obteve o menor valor de R_p , 0,29 MPa, na profundidade de 0-10 cm, assim como no trabalho de Araújo et al. (2007), onde a cobertura vegetal de Cerrado nativo obteve menor R_p do que as áreas plantadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Isto pode ter ocorrido devido ao longo período em que o solo de MN permanece sem sofrer processos de mobilização, não sofrendo o trânsito de máquinas e equipamentos, mantendo, portanto, sua estrutura original e ainda incrementada pelos elevados teores de MOS em decorrência da serapilheira. Apesar de não diferir significativamente, em valores absolutos, a R_p também foi menor na MN considerando a camada de 10-20 cm.

3.1.5.2 Estabilidade de Agregados

Na Tabela 4, abaixo, são mostrados os dados obtidos referentes à classe de tamanho dos agregados e as médias referente aos dados dos índices de agregação,

por meio do DMG e DMP, analisadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, para os seis usos distintos do solo.

TABELA 4. Porcentagem média dos agregados distribuídos por tamanho, DMG e DMP, em três profundidades e sob cinco usos em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico em Jaguaré-ES

Uso do solo	Classe de tamanho dos agregados (mm)					DMG (mm)	DMP (mm)
	4-2	2-1	1-0,5	0,5- 0,25	<0,25		
%							
0-10cm							
Cc	68,27	7,55	10,15	9,19	4,84	2,73 a	3,64 a
SCo	87,07	4,21	3,88	2,86	1,98	3,85 a	4,46 a
S	76,97	6,68	7,12	5,87	3,36	3,24 a	4,03 a
SPCa	66,68	8,52	9,76	8,96	6,08	2,47 a	3,58 a
SCc	52,71	11,04	15,13	13,68	7,45	2,06 a	2,98 a
CV (%)						35,24	22,50
10-20cm							
Cc	61,30	11,01	12,53	10,05	5,11	2,28 a	3,37 a
SCo	65,85	10,13	10,55	8,32	4,97	2,64 a	3,56 a
S	57,48	11,04	12,10	12,57	6,48	2,51 a	3,19 a
SPCa	44,25	14,03	17,01	15,93	8,78	1,52 a	2,62 a
SCc	53,34	10,08	13,84	14,57	8,17	2,17 a	2,99 a
CV (%)						53,02	32,30
20-40cm							
Cc	43,46	14,19	17,85	16,22	8,28	1,50 a	2,59 a
SCo	45,51	14,38	16,31	15,07	8,72	1,67 a	2,68 a
S	25,03	16,47	19,37	25,45	13,67	0,95 a	1,76 a
SPCa	19,05	14,49	25,59	25,72	15,14	0,77 a	1,48 a
SCc	33,04	12,37	19,61	22,15	12,83	1,24 a	2,08 a
CV (%)						51,28	36,73

Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; CV: coeficiente de variação; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado.

Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%, apresentando resultado não significativo pelo teste F.

Notou-se que, não houve diferença estatística entre as médias, de DMG e de DMP, em nenhuma das profundidades analisadas para os diferentes usos do solo. Presume-se, então, que o tipo de uso do solo não influenciou na estabilidade de

agregados em nenhuma profundidade. Marinato (2012) também não encontrou diferenças estatísticas nas médias entre os diferentes tipos de uso na profundidade de 0-5 cm; nas outras profundidades estudadas por ele, 5-20 e 20-40 cm, houve diferença entre as médias. Wendling et al. (2012) estudando a estabilidade de agregados em áreas com diferentes tipos de uso observaram que na profundidade de 0-10 cm todas as médias de DMG e DMP foram diferentes em relação a cada uma das coberturas vegetais, Cerrado nativo, floresta de pinus e pastagem, e na profundidade de 10-20 cm as médias de DMG e DMP para as áreas de pinus e pastagem foram estatisticamente iguais. Neste último estudo, a área de Cerrado se destacou por apresentar maiores médias de DMP e DMG nas duas profundidades, mostrando que áreas pouco revolvidas apresentam maior estabilidade de agregados.

A maior porcentagem de agregados ficou retida na peneira de malha maior que 2 mm, o que demonstra haver agregados estáveis, nesta classe de diâmetro, em cada uma das camadas de profundidades estudadas, nos diferentes tratamentos.

O fato de não se ter obtido agregados em tamanho suficiente para esta avaliação na MN, em razão da textura muito arenosa e o solo muito seco, pode ter contribuído para a não diferenciação entre os tratamentos, já que se esperava que, na vegetação original, o solo se mantivesse melhor estruturado. Contudo, há uma tendência de a SCo apresentar valores mais altos. Isso se deve, provavelmente, por esta área ser pouco manejada, tendo pouca intensidade de passagem de máquinas nos últimos 6 anos. Nesta área, ainda, foi conservada a vegetação espontânea que cresce ao redor das culturas principais.

3.1.5.3 Condutividade hidráulica

Observou-se que não houve diferenças estatísticas entre as médias nos diferentes tipos de uso do solo tanto na profundidade de 0-15 cm quanto na de 15-30 cm (Tabela 5).

TABELA 5. Valores de condutividade hidráulica (k_0) em duas profundidades e sob seis usos em um Argissolo Amarelo Distrocóseo típico em Jaguaré-ES

Uso do solo	K_0 (cm s ⁻¹)	
	0-15cm	15-30cm
Cc	0,0058 a	0,0019 a
SCo	0,0135 a	0,0010 a
S	0,0407 a	0,0051 a
SPCa	0,2138 a	0,0057 a
SCc	0,0007 a	0,0022 a
MN	0,0135 a	0,0010 a
CV (%)	285,76	114,33

Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação; k_0 : condutividade hidráulica.

Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%, apresentando resultado não significativo pelo teste F.

Nos estudos de Marinato (2012) os resultados se apresentaram da mesma forma, porém nas profundidades de 0-20 e de 20-40 cm. Em contrapartida, Souza et al. (2014), em estudo sobre as atributos físico-hídricos de um solo sob cultura de café conilon em um Argissolo Amarelo coeso, observaram que houve diferença nas médias de k_0 entre as profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Corrêa et al. (2010), estudando os atributos físicos do solo sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco, também apresentou resultado diferente ao encontrado neste trabalho, observando que a área plantada com frutíferas apresentou as maiores médias de k_0 em relação à área de pastagem e floresta nativa.

Para Marques et al. (2002), a influência de atributos, do ponto de vista textural e estrutural, nas propriedades hidráulicas do solo é esperada. Sendo assim, um solo que apresente grande quantidade de macroporos ao longo do perfil, segundo Libardi (1995), apresentará maior aeração do solo e drenagem do excesso de água. As camadas superficiais, apresentando maiores teores de material orgânico, granulometria menos arenosa e menor macroporosidade, também poderão sofrer alteração nos valores de k_0 (Bernardes, 2005). Porém, como visto nos resultados deste estudo, nenhum desses outros atributos do solo parece estar influenciando a k_0 .

3.1.5.4 Densidade de partícula, densidade do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e porcentagem de areia, argila e silte.

A Tabela 6 apresenta a comparação das médias entre as áreas de estudo, referentes às os atributos Dp, Ds, Pt, Mip e Map, em cada profundidade estudada.

TABELA 6. Efeito do uso do solo na densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mip) e microporosidade (Map), em três profundidades em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico em Jaguaré-ES

Uso do solo	Dp	Ds	Pt	Mip	Map
	-----kg dm ⁻³ -----		-----m ³ m ⁻³ -----		
0-10 cm					
Cc	2,55 ab	1,58 ab	0,38 ab	0,22 a	0,16 bc
SCo	2,59 ab	1,62 a	0,37 ab	0,13 bc	0,24 ab
S	2,60 a	1,64 a	0,37 ab	0,13 c	0,24 ab
SPCa	2,58 ab	1,77 a	0,31 b	0,20 ab	0,11 c
SCc	2,55 ab	1,66 a	0,35 b	0,22 a	0,13 c
MN	2,54 b	1,41 b	0,45 a	0,16 bc	0,30 a
CV (%)	1,06	6,55	11,48	21,00	28,18
10-20 cm					
Cc	2,55 a	1,64 ab	0,35 b	0,24 a	0,12 b
SCo	2,55 a	1,70 ab	0,33 b	0,16 b	0,18 ab
S	2,59 a	1,74 a	0,33 b	0,13 b	0,19 ab
SPCa	2,55 a	1,69 ab	0,34 b	0,23 a	0,10 b
SCc	2,58 a	1,59 b	0,38 b	0,21 ab	0,18 ab
MN	2,56 a	1,42 c	0,45 a	0,16 b	0,29 a
CV (%)	1,29	4,60	8,66	21,00	34,72
20-40 cm					
Cc	2,57 a	1,64 ab	0,36 ab	0,27 a	0,10 ab
SCo	2,55 a	1,63 ab	0,36 ab	0,19 a	0,17 ab
S	2,56 a	1,76 a	0,31 b	0,19 a	0,13 ab
SPCa	2,57 a	1,74 a	0,33 b	0,26 a	0,06 b
SCc	2,56 a	1,61 ab	0,37 ab	0,22 a	0,15 ab
MN	2,55 a	1,46 b	0,43 a	0,19 a	0,24 a
CV (%)	0,82	7,56	14,10	18,11	52,26

Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; Mip: microporosidade e; Map: macroporosidade.

Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para Dp foi observado que somente houve diferenças estatísticas entre as médias na profundidade 0-10 cm. O maior valor de Dp ocorreu no tipo de uso S, 2,60 kg dm⁻³, e o menor ocorreu na MN, 2,54 kg dm⁻³. Isto pode ter ocorrido devido ao maior teor de matéria orgânica do solo neste último tipo de uso. No trabalho de Corrêa (2010), foi observado semelhança entre as médias de Dp, nas profundidades 0-10, 10-30 e 30-60 cm, entre os solos sob vegetação nativa, fruticultura e pastagem, apresentando menores médias em relação às culturas de ciclo curto e área descartada, área imprópria para cultivo. Portugal et al. (2008) observaram em seu trabalho que não houve diferenças estatísticas, nas profundidades 0-20 e 20-40 cm, entre áreas com diferentes usos, sendo eles, mata, seringueira, laranja, cana e pastagem.

Para Ds, os usos MN e S também se destacaram. Em todas as profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, MN obteve as menores médias, 1,42, 1,42 e 1,46 kg dm⁻³, respectivamente, muito provavelmente devido ao alto teor de MO presente no solo resultado da deposição de serapilheira. Nas profundidades 10-20 e 20-40 cm o S apresentou os maiores resultados, 1,74 e 1,76 kg dm⁻³, respectivamente. Em relação à área S, Costa et al. (2003) reforça que aumentos de densidade do solo em superfície, em sistemas florestais, podem estar relacionados ao tempo de utilização da área, arquitetura do sistema radicular, pouca cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas, trânsito de máquinas e implementos agrícolas e condições de umidade do solo no preparo e plantio das mudas. No trabalho de Silva et al. (2009), a Ds também foi menor, na profundidade de 0-10 cm, no solo sob a mata nativa, bioma Cerrado, e área com plantio de Carvoeiro do que área plantada com eucalipto e outra com pinus. Já do estudo de Loss et al. (2009), a área sob um SAF, sistema agroflorestal, obteve menores valores de Ds em todas as profundidades e épocas avaliadas, 0-5 e 5-10 cm, verão e inverno em relação as áreas com plantio de milho com feijão, maracujá, figo e berinjela com milho.

Para Pt, a MN se destacou apresentando as maiores médias em todas as profundidades estudadas, 0-10, 10-20 e 20-40 cm, 0,45, 0,45 e 0,43 m³ m⁻³, respectivamente. Entre as áreas plantadas na profundidade 0-10 cm, SPCa e SCc obtiveram menores médias, 0,31 e 0,35 m³ m⁻³, respectivamente. Já na profundidade 20-40 cm, S e SPCa obtiveram menores médias entre as áreas plantadas, 0,31 e 0,33 m³ m⁻³, respectivamente. Observou-se, também, que paralelo à diminuição da densidade do solo, foi registrado um aumento na Pt (CARVALHO et

al., 2004; BARRETO et al., 2006 e; ALVES et al. 2007), conforme exemplo ocorrido nas áreas S, SPCa e MN em 20-40 cm. No trabalho de Marinato (2012) a mata nativa também apresentou maior média, assim como a área cultivada com a pimenta-do-reino, na profundidade de 0-10 cm. Silva et al. (2009) obtiveram maiores valores de Pt para área com Cerrado nativo e plantio de Carvoeiro do que para as áreas com plantio de eucalipto e pinus. Loss et al. (2009) observou que o SAF obteve maiores valores de Pt em relação às áreas plantadas com milho e feijão, maracujá, figo e berinjela com milho, na profundidade de 5-10 cm, tanto no verão quanto no inverno, sendo esses resultados corroborados pelos baixos valores de Ds.

Para Mip, a camada de 0-10 cm apresentou maiores valores para a área Cc e SCc, 0,22 e 0,22 m³ m⁻³, respectivamente, e menor valor em S, 0,13 m³ m⁻³. A camada 10-20 cm apresentou maiores médias em Cc e SPCa, 0,24 e 0,23 m³ m⁻³, respectivamente, e menores médias em SCo, S e MN, 0,16, 0,13, 0,16 m³ m⁻³. Já na profundidade 20-40 cm as médias não obtiveram diferenças estatísticas. Silva et al. (2009) detectaram em estudo que a área de mata nativa e eucalipto obtiveram menores percentuais de Mip em relação às áreas sob plantio de carvoeiro e pinus.

Para Map, a MN se destacou por apresentar maiores médias em todas as profundidades, 0-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo elas, 0,30, 0,29 e 0,24 m³ m⁻³, respectivamente. Na camada de 0-10 cm observaram-se as menores médias para SPCa e SCc, 0,11 e 0,13 m³ m⁻³, respectivamente. A camada de 10-20 cm apresentou menores valores em Cc e SPCa, 0,12 e 0,10 m³ m⁻³, respectivamente. O SPCa, na camada 20-40 cm, apresentou menor média, sendo ela 0,06 m³ m⁻³. Os valores de Map podem influenciar os valores de Pt, como exemplo da área MN, que obteve as maiores médias em todas as diferentes profundidades avaliadas em ambos atributos. Silva et al. (2009) detectaram em estudo que a área de mata nativa, assim com neste, e eucalipto obtiveram maiores percentuais de Map em relação às áreas sob plantio de carvoeiro e pinus. Em contrapartida, Marinato (2012) não detectou diferenças estatísticas nos valores, por profundidade 0-5, 5-20 e 20-40 cm, entre os diferentes usos, café conilon, eucalipto, mata nativa, pastagem, pimenta-do-reino, plantio de nativas e seringueira. Wendling et al. (2012) constatou, ainda, que a Map em solo sob Cerrado apresentou média inferior em relação ao solo sob plantio de pinus.

A Tabela 7 mostra as médias percentuais dos valores de textura, referentes à areia, argila e silte em cada área analisada nas diferentes profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm.

TABELA 7. Caracterização textural nos diferentes usos do solo em três profundidades em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico em Jaguaré-ES

Tipo de uso	Areia	Argila	Silte	Classe*
%				
0-10cm				
Cc	72,72 d	24,18 a	5,24 a	Franco-argilo-arenosa
SCo	87,68 a	8,72 d	4,80 a	Areia-franca
S	85,32 ab	11,88 cd	5,26 a	Areia-franca
SPCa	76,96 bcd	19,69 abc	5,11 a	Franco-arenosa
SCc	73,68 cd	21,39 ab	7,19 a	Franco-argilo-arenosa
MN	82,22 abc	16,35 bcd	4,55 a	Franco-arenosa
CV (%)	5,83	23,49	41,57	
10-20cm				
Cc	69,76 c	23,55 ab	8,36 a	Franco-argilo-arenosa
SCo	86,18 a	10,46 c	5,60 ab	Areia-franca
S	82,92 ab	13,54 bc	4,49 ab	Franco-areanosa
SPCa	70,08 c	24,40 a	6,56 ab	Franco-argilo-arenosa
SCc	73,18 bc	23,82 a	4,66 ab	Franco-argilo-arenosa
MN	78,14 abc	20,51 abc	3,17 b	Franco-arenosa
CV (%)	6,76	26,53	41,24	
20-40cm				
Cc	62,98 b	31,30 a	7,69 ab	Franco-argilo-arenosa
SCo	77,24 a	18,97 a	7,12 ab	Franco-arenosa
S	71,70 ab	24,92 a	5,07 b	Franco-argilo-arenosa
SPCa	59,30 b	26,49 a	14,48 a	Franco-argilo-arenosa
SCc	69,24 ab	26,38 a	6,95 ab	Franco-argilo-arenosa
MN	69,88 ab	25,39 a	5,50 b	Franco-argilo-arenosa
CV (%)	9,80	25,80	50,61	

Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

*Com base no triângulo textural de Lemos e Santos (1984).

Para o atributo areia, a área SCo obteve maiores percentuais em todas as profundidades analisadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo eles 87,68%, 86,18% e 77,24%, respectivamente, e Cc obteve menores médias em todas as profundidades,

sendo 72,72%, 69,76% e 62,98%, respectivamente, conforme a ordem das profundidades já mencionada neste parágrafo.

Para o atributo argila, à profundidade 0-10 cm Cc apresentou a maior média, 24,18% e SCo a menor 8,72%, à profundidade 10-20 cm SPCa e SCc apresentaram as maiores médias, 24,40% e 23,82%, respectivamente, e à profundidade 20-40 cm não houve diferença estatística entre as médias avaliadas entre os tipos de uso do solo.

Para o atributo silte, à profundidade de 0-10 cm não houve diferença estatísticas entre as médias, à profundidade 10-20 cm Cc apresentou a maior porcentagem, 8,36%, e MN a menor, 3,17%, à profundidade 20-40 cm SPCa apresentou a maior média 14,48% e S e MN apresentaram as menores, 5,07% e 5,50%, respectivamente. As avaliações realizadas quanto à textura são importantes já que podem influenciar os valores de outros atributos, como por exemplo a k_0 . Bernardes (2005) em estudo comparando três áreas com plantio de coqueiro evidenciou que a área 1 obteve maior valor de k_0 que as áreas 2 e 3, tendo em vista que o solo da área 1 apresenta grande quantidade de macroporos ao longo do perfil. Alexandre et al. (2001) evidencia que a textura é uma das características mais importantes do solo, nomeadamente pela sua influência no regime hídrico e térmico, no comportamento mecânico e dos nutrientes do solo.

A Figura 2 mostra os gráficos, das áreas agrupadas pelo método de Tocher. O agrupamento foi realizado nas diferentes profundidades estudadas, 0-10, 10-20 e 20-40 cm, considerando os atributos Dp, Ds, Pt, Mip, Map e porcentagem de areia, argila e silte.

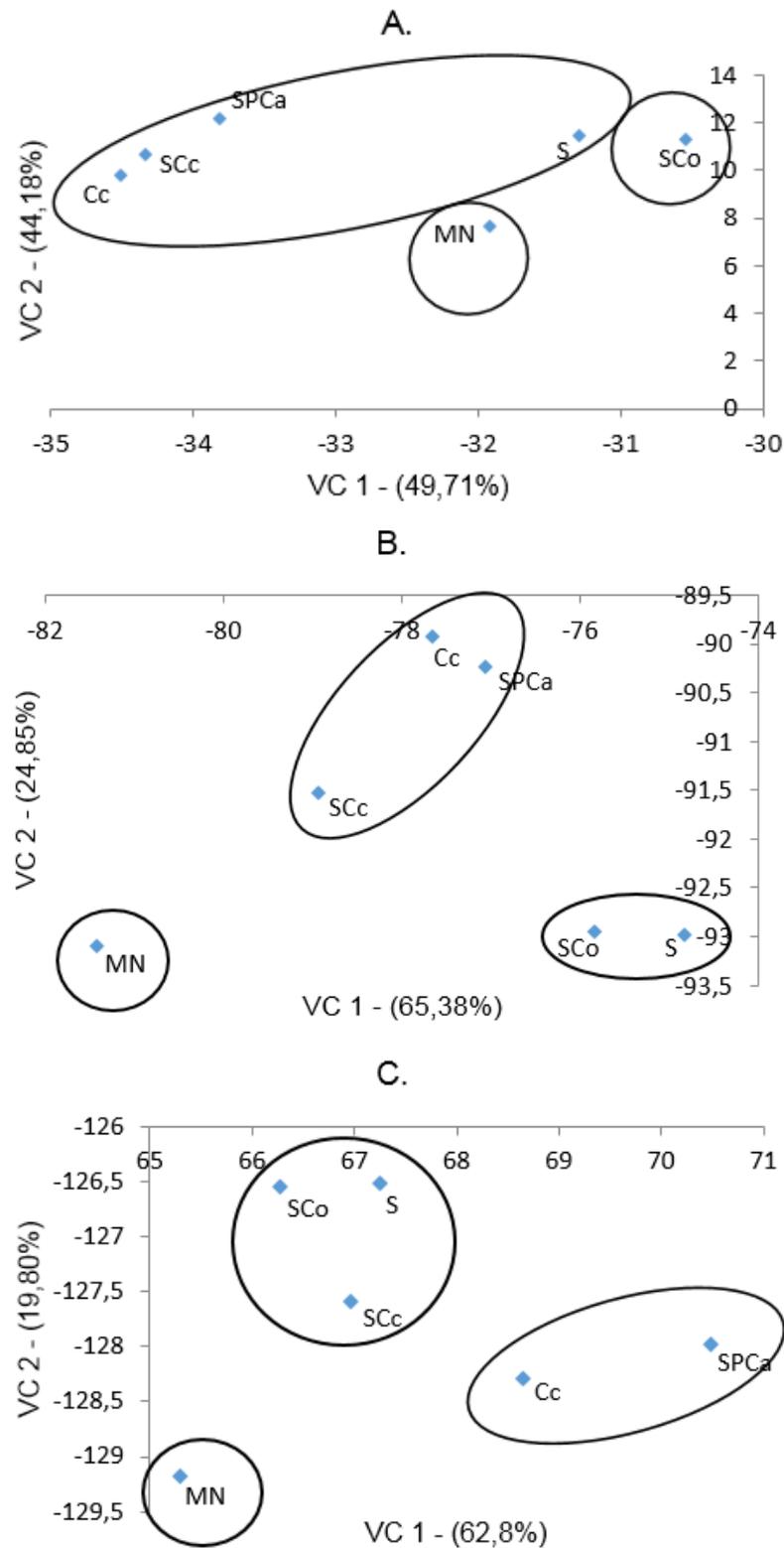


FIGURA 2. Dispersão gráfica, utilizando as duas primeiras variáveis canônicas (VC), das coberturas e nas três profundidades (A: 0-10 cm, B: 10-20 cm e C: 20-40 cm), agrupadas pelo método de Tocher, com base na dispersão pelo método de Mahalanobis, sendo Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa.

Na profundidade 0-10 cm foram agrupadas em apenas um grupo as áreas Cc, SCc, SPCa e S. Observou-se então que os manejos agrícolas realizados na camada mais superficial do solo foram suficientes para diferenciar este grupo da MN, porém algum fator na área de SCo o diferenciou dos demais. Este comportamento diferenciado do solo em SCo pode não estar relacionado ao manejo, mas sim a sua característica textural, já que ele tem maior percentual de areia que os demais. Assim, esta característica pode interferir diretamente nos outros atributos físicos do solo, como densidade e porosidade, por exemplo.

Na profundidade 10-20 cm ocorreram três agrupamentos. Em um dos grupos as áreas presentes são Cc, SCc e SPCa, no outro SCo e S, já MN se isolou. SCo e S apresentaram características de manejo semelhantes, tendo estas áreas baixa intensidade de passagem de máquinas, operações de aração e gradagem antes dos plantios e manutenção das espécies de herbáceas nativas, as quais crescem em convívio com as culturas principais. Quanto à característica textural, SCo e S obtiveram as maiores porcentagens de areia no solo, tendo isso influência direta nos outros atributos estudados.

Na profundidade de 20-40 cm ocorreram, também, três agrupamentos. Em um dos grupos as áreas presentes foram SCc, SC e S, no outro Cc e SPCa, e MN apresentou-se isolada.

Observou-se, desse modo, que as áreas Cc e SPCa estão agrupadas em todas as profundidades, existindo uma similaridade no comportamento dos seus atributos físicos do solo, ou seja, apesar das práticas agrícolas utilizadas nestas áreas terem sido pouco parecidas, elas provocaram um efeito similar nas alterações dos atributos físicos do solo. Como exemplo do exposto, na área Cc há o trânsito de máquinas pelo menos uma vez por mês e foi utilizada a subsolagem a uma profundidade de 90 cm; já na área SPCa o trânsito de máquinas é quase nulo há 8 anos e antes do plantio foram realizadas as operações de aração e gradagem. Por outro lado, observa-se que estas duas áreas possuem sistemas muito bem estabelecidos e com grande cobertura do solo, contribuindo, com o aumento da camada de MOS formada.

A prática agrícola dos solos cultivados causou alteração nos atributos físicos uma vez que MN ficou isolada em todas as profundidades analisadas. Corrêa et al. (2010) observaram que a vegetação nativa também se isolou quando comparada às áreas plantadas com espécies de ciclo curto, fruticultura e pastagem, porém,

somente na camada de 0-10 cm, tendo isto ocorrido, provavelmente, devido aos benefícios da aração e gradagem na camada superficial. Estes não foram estendidos para as camadas mais profundas, as quais sofrem com a compactação do solo.

Nos estudos de Marinato (2012) a mata nativa se isolou na profundidade 20-40 cm quando comparadas às áreas de café conilon, eucalipto, pastagem, pimentado-reino, seringueira e reflorestamento com nativas, tendo como justificativa que esta área nunca sofreu qualquer tipo de uso e manejo.

Freitas et al. (2012) estudando um Latossolo Vermelho distrófico, em Jaboticabal, SP, sob o cultivo de cana-de-açúcar, reflorestamento de 8 anos e uma área de mata com 60 anos, em duas profundidades distintas, 0-10 e 10-20 cm, realizaram uma análise de agrupamento hierárquico, objetivando buscar a similaridade por meio de um dendrograma de ordenação e observaram que houve uma diferenciação bem marcante entre três grupos, mostrando as particularidades de cada tipo de manejo. Porém, o grupo da mata apresentou qualidade física do solo mais próxima ao do grupo do reflorestamento, nas duas profundidades avaliadas, do que ao grupo da cana-de-açúcar. Os resultados indicaram que o uso intensivo do solo diminuiu a sua qualidade, tendo como referência a vegetação nativa.

Mota et al. (2013) estudando um Cambissolo sob plantios de mamoeiro, em camalhão e em sulco, e mata secundária, em diversas profundidades, concluíram que qualidade dos atributos do solo sob cultivo, em geral, está mantida ou melhorada em relação à condição atual da mata nativa secundária, quando comparados alguns atributos físicos do solo. Foi criado um dendrograma, podendo-se visualizar a criação de três grupos conforme as similaridades existentes entre as áreas e profundidades estudadas. A mata nativa secundária, na camada de 0-10 cm, se destacou, ficando isolada, como no resultado aqui exposto. Em contrapartida, as outras profundidades apresentaram similaridades entre a mata e o plantio de mamão sob camalhão. Os autores atribuíram este resultado às semelhanças das classes texturais dessas camadas.

Os resultados obtidos neste trabalho podem nortear a orientação para práticas de manejo que sejam mais sustentáveis e mantenedoras ou recuperadoras da qualidade física do solo, especialmente aquelas que envolvam o uso de plantas intercalares manejadas corretamente, principalmente aquelas com efeito de adubo verde, que possivelmente aumentarão o teor de matéria orgânica do solo,

melhorando o seu condicionamento físico, podendo contribuir com o aumento da ciclagem de nutrientes e a diminuição da densidade do solo e compactação, por exemplo.

3.1.6. Conclusões

- A área sob mata nativa (MN) apresentou menor resistência à penetração, menor densidade do solo e maior macroporosidade quando comparada às outras áreas, provavelmente devido à presença de matéria orgânica do solo;
- As áreas sob café conilon (Cc) e sistema agroflorestal composto por seringueira, pimenta e cacau (SPCa) foram similares quando avaliados os atributos densidade de partícula, densidade do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e porcentagens de areia, argila e silte;
- O uso agrícola do solo, mesmo em se tratando de culturas perenes, causou alteração nos atributos físicos do solo em relação à sua condição original;
- É necessária a utilização de técnicas que façam aumentar os teores de MOS, como por exemplo a adubação verde e/ou a incorporação de composto orgânico no solo, permitindo o aumento: da estabilidade de agregados, aumentando também a resistência do solo à erosão; de espaços porosos; e da infiltração de água no perfil do solo. E ainda permitindo a diminuição da densidade do solo e da compactação;
- Novas pesquisas sobre o manejo de sistemas agroflorestais devem ser realizadas a fim de se conhecer melhor a complexidade deste tipo de uso do solo e fornecer maiores informações sobre como manter e/ou melhorar os atributos físicos em relação ao solo original e aos monocultivos.

3.1.7. Referências

ALEXANDRE, C.; MARQUES DA SILVA, J. R.; FERREIRA, A. G. Comparação de dois métodos de determinação da textura do solo: sedimentometria por raios x vs. método da pipeta. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.14, n.3 e 4, 2001.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S. & SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.617-625, 2007.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1099-1108, 2007.

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

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. dos S.; ARAÚJO, Q. R. de; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, Mossoró, Brasil, v.19, n.4, p.415-425, 2006.

BERNARDES, R. S. **Condutividade hidráulica de três solos da região norte fluminense**. 2005. 69p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

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

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

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. dos S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. de. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p.358-365, 2010.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.527-535, 2003.

CRUZ, A. C. R. et al. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. & CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. v. 1 Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 480p.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on rootgrowth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 3-22.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; AQUINO, R. L. de. Análises multivariadas de atributos físicos em Latossolo Vermelho submetidos a diferentes manejos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15, p.126-139, 2012.

SOUZA, J. M. de.; BONOMO, R.; PIRES, F. R.; BONOMO, D. Z. Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo, em lavoura de café conilon submetida à subsolagem. **Coffee Science**, Lavras, v.9, n.2, p.226-236, 2014.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 1984. 46p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 1.ed. Piracicaba: O autor, 509p., 1995.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N; ANJOS, L. H. C. dos; SILVA, E. M. R. da. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.68-75, 2009.

MARINATO, F. A. **Atributos físicos e químicos como indicadores de qualidade do solo, em tabuleiros costeiros, no norte do Espírito Santo.** 2012. 68p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus.

MARQUES, J. D., LIBARDI, P. L., JONG VAN LIER, Q. Relação entre horizontes pedológicos e propriedades hidráulicas em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.567-577, 2002.

MARQUES, J. D. de O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. **Acta Amazonica**, Manaus, v.34, n.2, p.145-154, 2004.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, E. F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. de. Caracterização física, química e mineralógica de solos da Colônia Agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.1039-1050, 2006.

MIRANDA, E. J. **Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo no Estado do Mato Grosso.** 2007. 86p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quairoz”, Piracicaba.

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

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; MARIA, I. C. de. Avaliações Visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho Distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JUNIOR, M. de S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.291-299, 2003.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.575-585, 2010.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. da.; SANTOS B. C. M. dos. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.249-258, 2008.

SILVA, L. G da; Mendes, I. de C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T. de; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n.6, p.613-620, 2009.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, p.239-249, 2000.

SILVEIRA, D. de C.; FILHO, J. F. de M.; SACRAMENTO, J. A. A. S. do; SILVEIRA E. C. P. Relação umidade *versus* resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.659-667, 2010.

SOILMOISTURE. 2010. **Model 2800K1 Guelph permeameter operating instructions**, 51 pp. Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impactos em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, p.229-235, 1991.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1193-1200, 2006.

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

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C. de; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do Cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p.256-265, 2012.

3.2. Capítulo 2 – Atributos químicos do solo sob diferentes tipos de uso e manejo

3.2.1. Resumo

Estudos sobre os atributos químicos dos solos são importantes para que se possa manejá-lo de forma sustentável. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar as alterações de atributos químicos do solo, em áreas com usos distintos dentro de uma propriedade localizada no município de Jaguaré-ES, sob um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico. As áreas avaliadas estavam cultivadas com café (Cc), seringueira com coco (SCo), seringueira (S), seringueira, pimenta-do-reino e cacau (SPCa), seringueira e café (SCc) e; mata nativa (MN). As profundidades avaliadas foram 0-10, 10-20 e 20-40 cm, utilizando-se 5 repetições. Foram determinados pH, P, K, Na, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, m e matéria orgânica. Os diferentes tipos de uso solo foram agrupados pelo método Tocher, com base na dispersão pelo método de Mahalanobis. Constatou-se o menor valor de pH para MN na camada de 0-10 cm, assim como o valor de P. A CTC total (T) somente houve variação na camada de 20-40 cm e a área formada pelo sistema agroflorestal SPCa obteve a média mais baixa. A MOS em MN foi bem maior que nas demais em todas as profundidades analisadas. Conclui-se que as coberturas Cc e MN são similares quando considerados os atributos químicos e profundidades analisadas e que os diferentes usos degradam a MOS em relação ao teor original em MN. E ainda, o manejo adotado nos SAF's, no intuito de melhorar a qualidade química do solo, foram menos eficazes em relação à Cc nas camadas mais superficiais do solo.

Palavras-chave: química do solo, sistema agroflorestal, seringueira, café conilon, coco, cacau, pimenta-do-reino.

3.2.2. Abstract

Studies on the chemical properties of the soil are important for sustainable land management. The objective was to evaluate changes in soil chemical in areas with different uses in a property located in Jaguaré-ES, in a Yellow Ultisol typical Distrocoeso. The evaluated areas were cultivated with coffee (Cc), rubber with coconut (SCo), rubber (S), rubber, pepper and cocoa (SPCa), rubber and coffee (SCc) and; native forest (MN). The depths evaluated were 0-10, 10-20 and 20-40cm, using 5 replicates. Were determined pH, P, K, Na, Ca, Mg, Al, H+Al, sum of bases (SB), effective CEC (t), potencial CEC (T), base saturation (V), Al saturation (m) and soil organic matter. The different types of land used were grouped by Tocher method, based on the dispersion by Mahalanobis method. As results, it can highlight the lowest pH for MN in the 0-10 cm layer as well as the value of P. The total CEC (T) only variation was in the 20-40 cm layer and the area formed by agroforestry system SPCa had the lowest average. The soil organic matter in MN was higher than others areas in all analyzed depths. The conclusion is that the Cc and MN coverages are similar when considering the chemical properties and the different uses degrade the soil organic matter compared to the original content MN. The management adopted in agroforestry systems, in order to improve the chemical quality of the soil, were less effective in relation to Cc in the upper layers of the soil.

Keywords: soil chemistry, agroforestry systems, rubber, conilon coffee, coconut, cocoa, black pepper.

3.2.3. Introdução

O conhecimento das peculiaridades de cada tipo de solo é o que condiciona o seu melhor aproveitamento. Sendo assim, a presença de fatores restritivos do solo,

tais como acidez ou alcalinidade e baixa fertilidade, pode exigir diferentes tipos de manejo, dentro de uma mesma classe de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005), como pode indicar também diferentes tipos de uso.

Qualquer alteração dos atributos químicos do solo pode comprometer a produtividade das culturas, em desconformidade com o conceito clássico de qualidade do solo definido por Doran e Parkin (1994), que tem como essência a capacidade desses recursos exercerem várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para o desenvolvimento equilibrado das plantas, dos animais e dos seres humanos. Estudos sobre a variação dos atributos químicos do solo e a dinâmica de seus nutrientes, determinada pelo manejo e uso são importantes para se definir o melhor manejo, podem otimizar o uso dos insumos, fertilizantes e corretivos, visando à sustentabilidade do sistema (GOEDERT e OLIVEIRA, 2007; CARNEIRO et al., 2009).

A partir do momento que o homem provoca alterações em determinadas paisagens, assim como nos solos contidos nelas, com a utilização, por exemplo, de arado, grade e fertilizantes, novos direcionamentos relacionados às mudanças de classe do solo são dados (OLIVEIRA, 2008). Outro exemplo destas alterações é a substituição de plantas nativas por plantas anuais ou perenes de interesse comercial, provocando ascensão do lençol freático e salinidade secundária, com séria repercussão no meio ambiente e na produtividade das culturas (BARRETT-LENNARD, 2002).

No intuito de minimizar esses problemas, os sistemas agroflorestais (SAF's) vindo sendo utilizados como uma alternativa devido a sua capacidade de conciliar a produção agrícola com a conservação dos recursos naturais, contribuindo com a proteção dos solos, ciclagem de nutrientes, fertilidade de estrutura física, benefícios socioeconômicos voltados para a agricultura familiar, entre outros (ALAVALAPATI et al., 2004; CARVALHO et al., 2004; GARCIA-BARRIUS e ONG, 2004; KUMAR e NAIR, 2004; MAIA et al., 2006; JOSE, 2009; RAMOS et al., 2009). As espécies arbóreas introduzidas nos SAF's têm a função de prestação de serviços ambientais, promovendo a cobertura dos solos, deposição de matéria orgânica via serapilheira (MENDONÇA et al., 2001), redução de erosão e aumento da diversidade (GALZERANO, 2008).

Diante do exposto, neste trabalho objetivou-se avaliar de alterações de atributos químicos do solo em áreas com usos distintos, incluindo SAF's, dentro de uma propriedade localizada no município de Jaguaré-ES.

3.2.4. Material e métodos

Este trabalho foi conduzido em uma propriedade denominada Fazenda Boa Sorte, localizada no município de Jaguaré, norte do Estado do Espírito Santo, nas coordenadas geográficas UTM 24k 400602E 7896567N, pertencente à bacia do rio Barra Seca. A topografia da área é plana.

Foram estudadas seis áreas, conforme a Figura 1, próximas umas das outras, com usos, manejo e históricos distintos, conforme mostrado na Tabela 1.

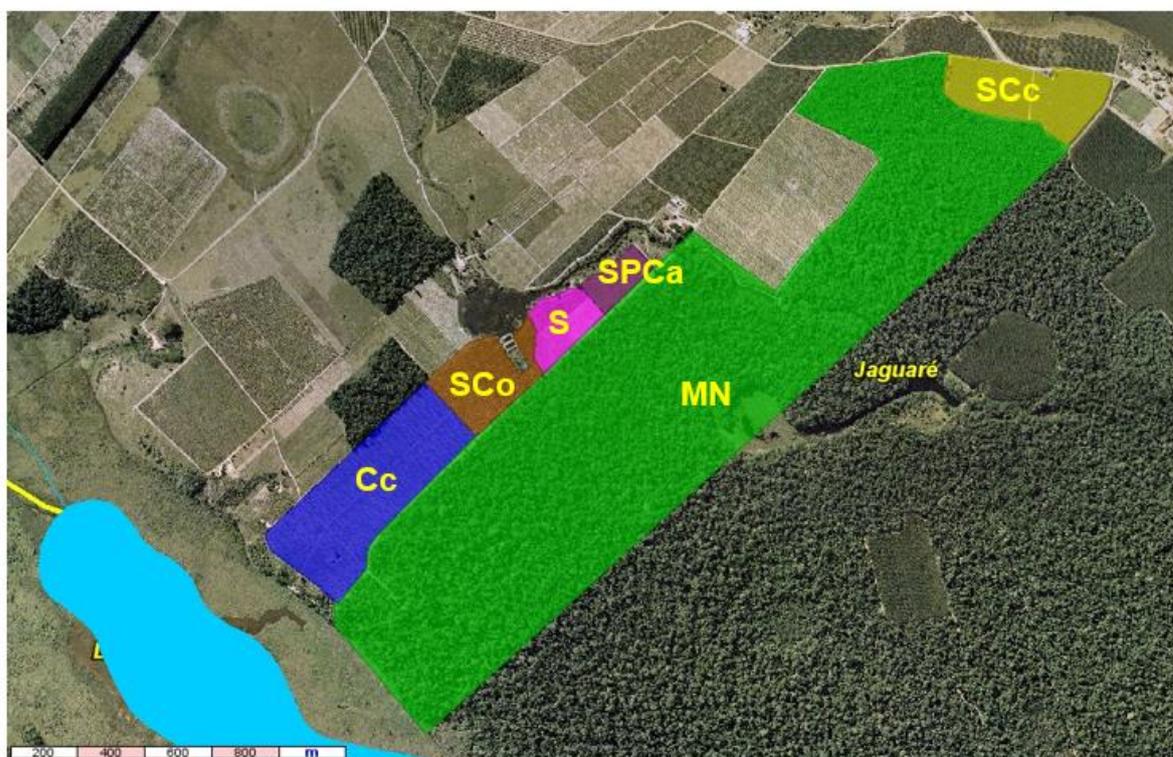


FIGURA 1. Mapa com áreas estudadas. Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa.

TABELA 1. Descrição das áreas experimentais (uso do solo - tratamentos) e históricos

Área	Sistema de uso	Sigla	Área Aprox. (ha)	Histórico e manejo
1	Café	Cc	16	Houve plantio de café por mais de 20 anos, logo após foi plantado mamão por 7 anos. No último ano de mamão foi plantado café novamente e este já tem 7 anos. Utilização da subsolagem para adubação e plantio entre 60-90 cm de profundidade. A irrigação foi feita por aspersão convencional. A última calagem, superficial, foi feita em 2014. Pelo menos 1 vez ao mês tem trânsito de maquinário. Adubações recentes com fertirrigação (ureia e KCl), organomineral e aminoácidos.
2	Seringueira com coco	SCo	6	Era uma área de vegetação secundária formada por gramíneas e arbustos (capoeira) onde foi plantado primeiramente o maracujá. No ano de 1994 plantou-se coco. Atualmente encontra-se com plantio de 2 anos de coco e 2 anos de seringueira. Houve a utilização de aração e gradagem. Irrigação por microaspersão. Última calagem, superficial, foi realizada em 2010. Após este mesmo ano, houve pouca intensidade do trânsito de máquinas e pouca adubação.
3	Seringueira	S	2	Foi cultivada primeiramente o maracujá e culturas anuais como abóbora, feijão e arroz. Posteriormente foi plantada a pimenta-do-reino. O plantio atual é formado por seringueira com 5 anos em um espaçamento mais adensado que o plantio convencional, pois os indivíduos têm a finalidade de reprodução, utilizando-se estacas em outros plantios. Utilizou-se aração e gradagem e irrigação por microaspersão. Última calagem foi feita em 2010. Após este mesmo ano, houve baixíssima intensidade de trânsito de máquinas e quase nada de adubação.

(continua)

Área	Sistema de uso	Sigla	Área Aprox. (ha)	Histórico e manejo
4	Seringueira, pimenta-do-reino e cacau	SPCa	4	Foi primeiramente cultivado o maracujá. Após a sua retirada plantou-se pimenta-do-reino no ano de 1990. Em 2007, em consórcio, foi feito o plantio da seringueira e, em 2013, do cacau. Houve a utilização de aração e gradagem. Irrigação por microaspersão. Última calagem, superficial, foi feita em 2014. Após 2008 não houve mais trânsito de máquinas. A adubação com NPK foi realizada de 3 a 4 vezes no ano.
5	Seringueira com café	SCc	8	Era uma mata, a qual foi desbastada através da queimada. Hoje, apresenta um plantio de café com 17 anos consorciado com a seringueira com 5 anos. Houve a utilização de subsolagem entre 60-90 cm de profundidade. A irrigação é feita por microaspersão. Em 2014 foi feita uma última calagem superficial. Passou maquinário pelo menos 1 vez ao mês. Adubações recentes com fertirrigação (ureia e KCl), organomineral e aminoácidos.
6	Mata	MN	120	Fragmento de mata primária nativa do bioma Mata Atlântica. A formação vegetal encontrada é a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (Mata dos Tabuleiros).

O solo da propriedade onde foi conduzido o trabalho é classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

A definição da metodologia, tratamentos e delineamento utilizados neste trabalho foi baseada nos estudos de Melo et al. (2006), Miranda (2007), Carneiro et al. (2009), Portugal et al. (2010) e Marinato (2012), conforme descrita a seguir.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado e a amostragem do solo foi realizada no mês de abril de 2015. Para cada área ou tipo de uso do solo foram utilizadas cinco parcelas de 36 m² (6 x 6m), distribuídas aleatoriamente. Para análise dos dados, consideraram-se os seis usos agrícolas

como tratamentos e foi realizada a média dos dados em cada uma das 3 diferentes profundidades, 0-10, 10-20 e 20-40 cm. As coordenadas geográficas UTM das parcelas seguem apresentadas no Anexo 1.

Para as avaliações químicas foram coletadas 10 amostras simples, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm, com auxílio de um trado tipo sonda, perfazendo uma amostra composta de cada profundidade em cada uma das 5 parcelas, utilizando-se a metodologia de caminhar em zig-zag, assim como realizada por Barreto et al. (2006), Prezotti et al. (2007) e Marinato (2012). As amostras foram secas ao ar, até massa constante, e passadas em peneira de 2 mm de abertura, obtendo-se Terra Fina Seca ao Ar – TFSA. O número total de amostras compostas foi de 90 unidades.

Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para análise no Laboratório de Solos CCA-UFES "Raphael M. Bloise" no município de Alegre, Espírito Santo.

Os atributos químicos analisados foram: matéria orgânica do solo (MOS), pH, P, Ca, Mg, Na, K, Al, H + Al, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V) e saturação por Al (m), conforme Embrapa (1997).

Estas análises foram realizadas da seguinte maneira: pH - imerso em suspensão solo-água na proporção de (1:2,5); P por extrator Mehlich⁻¹ e determinação por colorimetria; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹, com o Ca²⁺ e o Mg²⁺ sendo dosados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) e o Al³⁺ por titulometria; K⁺ e Na⁺ extraído por Mehlich⁻¹, determinados em fotômetro de chama; H+Al extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e determinado com titulação alcalimétrica do extrato. De posse dos dados de acidez potencial, bases trocáveis e alumínio trocável, calcularam-se os valores de CTC efetiva, CTC a pH 7, soma de bases (SB), índice de saturação em bases (V) e índice de saturação em Al (m). A matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada por oxidação de carbono via úmida com dicromato de potássio em meio ácido (H₂SO₄).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi feita, ainda, uma análise complementar, com a técnica multivariada por meio da análise de variáveis canônicas, a partir da qual foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando os escores das duas primeiras variáveis que explicam mais de 80% da variação total, na maioria das avaliações, conforme recomendado por Cruz

et al. (2004). Os escores foram utilizados na confecção de gráficos bidimensionais. Também foi realizada uma análise de agrupamento, sendo que, para tal, foi utilizado o método de Tocher com base na dispersão pelo método de Mahalanobis, permitindo visualizar melhor usos do solo que apresentaram maior similaridade. Para isto, utilizou-se o programa GENES (CRUZ, 2013).

3.2.5. Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta o resultado para as análises químicas dos solos avaliados. São expostos abaixo os valores médios para pH, P, K, Na, Ca, Mg e Al, para cada um dos usos do solo (tratamentos), por profundidade.

TABELA 2. Médias dos tributos químicos do solo, pH, P, K, Na, Ca, Mg e Al sob seis usos em três profundidades em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico em Jaguaré-ES

Uso do solo	pH	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol _c dm ⁻³ -----		
		P	K	Na	Ca	Mg	Al
0-10 cm							
Cc	5,85 ab	31,96 bc	182,1 a	13,4 b	3,59 a	1,09 ab	0,00 a
SCo	6,51 a	51,48 ab	89,8 b	11,0 b	4,03 a	0,81 bc	0,00 a
S	6,18 ab	68,54 a	98,2 b	13,4 b	3,11 a	0,53 c	0,00 a
SPCa	6,01 ab	38,33 abc	66,8 b	6,0 b	3,52 a	0,73 bc	0,00 a
SCc	6,24 ab	66,18 a	144,6 ab	7,6 b	4,73 a	0,82 bc	0,00 a
MN	5,54 b	7,58 c	107,2 ab	24,6 a	4,49 a	1,32 a	0,10 a
CV(%)	5,98	39,22	35,20	35,20	29,34	22,46	482,18
10-20 cm							
Cc	5,68 ab	23,09 bc	168,8 a	10,5 ab	3,38 a	0,80 a	0,06 a
SCo	6,44 a	45,41 ab	46,8 b	7,8 b	3,92 a	1,61 a	0,00 a
S	5,91 ab	51,48 ab	77,2 b	12,8 ab	2,88 a	0,43 a	0,00 a
SPCa	5,76 ab	26,69 bc	54,6 b	7,84 b	2,67 a	0,60 a	0,02 a
SCc	5,55 b	56,78 a	109,8 ab	6,8 b	3,25 a	0,47 a	0,12 a
MN	5,66 ab	4,54 c	91,2 b	14,4 a	3,27 a	0,94 a	0,19 a
CV(%)	7,07	41,99	40,28	31,88	41,21	123,59	245,97
20-40 cm							
Cc	5,36 b	15,85 ab	120,2 a	10,0 bc	2,42 ab	1,50 a	0,16 a
SCo	6,17 a	15,93 ab	36,2 b	7,8 cd	3,33 a	0,39 a	0,00 a
S	5,52 ab	21,06 ab	48,0 ab	9,8 bc	2,79 ab	0,35 a	0,10 a
SPCa	5,26 b	6,52 b	44,8 b	22,4 a	1,61 b	0,51 a	0,19 a
SCc	5,29 b	36,93 a	61,2 ab	6,0 d	2,76 ab	0,37 a	0,19 a
MN	5,26 b	2,34 b	76,4 ab	11,6 b	1,98 ab	0,58 a	0,31 a
CV(%)	7,45	86,88	57,71	14,49	33,69	151,61	130,08

Cc: café conilon; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta-do-reino e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados aqui apresentados terão como base as classificações utilizadas por Prezotti e Martins (2013) e são discutidos a seguir.

Notou-se que, para o pH, o uso do solo SCo se destacou, pois obteve maiores médias em todas as profundidades, 0-10, 10-20 e 20-14 cm, sendo elas 6,51, 6,44 e 6,17, respectivamente. Na profundidade 0-10 cm a MN obteve menor

valor que as demais, 5,54, sendo o único resultado enquadrado como acidez média. O restante é enquadrado como acidez fraca. Em 10-20 cm SCc obtive a menor média, 5,55. Observou-se que todos os valores de pH são ideais para a maioria das culturas, conforme os últimos autores citados, tendo a MN apresentado um resultado satisfatório em relação a este atributo, havendo somente necessidade de calagem a fim de adicionar algum outro elemento químico no solo exigido por alguma determinada cultura.

Em 20-40 cm Cc, SPCa, SCc e MN obtiveram as menores médias, sendo elas estatisticamente semelhantes, ou seja, a camada mais profunda apresenta pH's mais ácidos. Os valores mais baixos de MN devem ocorrer por ser este um ambiente onde nunca houve ação antrópica, se comparado aos demais, os quais passaram pela operação de calagem. De maneira geral, observou-se que os valores de pH decrescem conforme o aumento da profundidade, ou seja, o efeito da calagem diminui gradualmente, sendo a camada superficial a mais influenciada por esta operação.

Com a análise deste primeiro atributo se observou a complexidade que é a manutenção da produtividade dentro de um SAF, levando em consideração que cada cultura possui exigências específicas, assim como nutrientes em profundidades distintas.

Para o P, MN e SCc se destacaram, apresentando as menores e maiores médias, respectivamente, em todas as profundidades. Ou seja, os valores de MN foram 7,58, 4,54 e 2,34 mg dm⁻³, respectivamente, para as profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Os menores valores de MN são reflexos da falta de intervenção humana e caso fosse uma área onde houvesse algum tipo de plantio para fins de produção, esta teria baixa produtividade. Os valores de P na área SCc foram 66,18, 56,78 e 36,93 mg dm⁻³, respectivamente, para as profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo eles adequados à maioria das culturas perenes. Observou-se, ainda, que os valores de P vão decrescendo conforme o aumento da profundidade em todas as coberturas vegetais.

Para o K, SCo e SPCa se destacaram, obtendo as menores médias, em todas as profundidades. Para SCo as médias foram 89,8, 46,8 e 36,2 mg dm⁻³, para as profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente, e para SPCa as médias foram 66,8, 54,6 e 44,8 mg dm⁻³, para as profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. Cc se destacou, também, obtendo o maior valor em relação aos

demais, em todas as profundidades, sendo eles, 182,1, 168,8 e 120,2 mg dm⁻³, sendo, os dois primeiros, classificados como altos, de acordo com Prezotti et al. (2007). Possivelmente isso ocorreu devido à aplicação recente de KCl nessa área. Observou-se, ainda, que os valores de K vão decrescendo conforme o aumento da profundidade em todas as coberturas vegetais. MN obteve médias iguais a algumas áreas em todas as profundidades, ou seja, o manejo dado em algumas áreas de plantio não foi satisfatório para o aumento dos teores de K, a fim de se ter quantidade suficiente deste elemento para a boa produção das culturas perenes.

Para Na, MN se destacou nas profundidades, 0-10 e 10-20 cm, pois apresentou as maiores médias, 24,6 e 14,4 mg dm⁻³, respectivamente. Já na profundidade 20-40 cm, SPC foi a área que apresentou o maior valor, 22,4 mg dm⁻³ e SCc o menor em relação aos demais, 6,0 mg dm⁻³. De maneira geral, o Na decresceu conforme o aumento da profundidade. Porém, a área SPCa ocorreu o inverso, ou seja, as médias foram crescendo conforme o aumento da profundidade. Quando analisado o índice de saturação por sódio (ISNa) observou-se que todos valores obtidos foram muito baixos, não causando efeito depressivo sobre a produtividade das culturas, conforme Prezotti e Martins (2013).

Para Ca, as profundidades 0-10 e 10-20 cm obtiveram médias semelhantes estatisticamente, estando elas com um teor no limiar entre médio e alto. As aplicações de calcário superficial realizadas pelo agricultor foram suficientes para manter os teores de Ca apresentados na área MN, levando em consideração ainda que nas áreas já houveram outros plantios sucessivos ao longo dos anos. Já para 20-40 cm a cobertura vegetal SCo apresentou a maior média, 3,33 cmol_c dm⁻³, podendo isso ter ocorrido porque apresentou também a acidez mais baixa. De acordo com Prezotti e Martins (2013) essa relação é comum. Já SPCa apresentou a menor média em relação às demais coberturas, 1,61 cmol_c dm⁻³, que é tida como média. As diferenças que ocorreram nesta camada mostram que os distintos sistemas de produção, apesar de quase todos terem a presença da seringueira, espécie perene e com raiz profunda, podem afetar a quantidade de nutrientes que plantas podem absorver, devido ao volume de solo que cada raiz, conforme seu estágio de desenvolvimento, pode absorver. Outra observação importante é que todos os valores de Ca decrescem conforme o aumento da profundidade. Portugal et al. (2008), ao contrário do observado neste estudo, constatou que o Ca foi maior na camada mais superficial, 0-20 cm, do que na mais profunda, 20-40 cm, na mata,

seringueira, laranja, cana e pastagem, atribuindo isto à calagem realizada nestas áreas.

Para Mg, a MN apresentou a maior média e S a menor, na profundidade 0-10 cm, ou seja, 1,32 e 0,53 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. O valor de Mg na área MN nesta camada é tido como alto e o de S é tido como médio, ou seja, não há valores baixos. Para as outras profundidades, as médias obtidas foram estatisticamente iguais. Os resultados de Mg foram inversos aos de Ca, tendo este último apenas diferenças estatística na última camada avaliada. Sendo assim, considerando que os teores de Mg, assim como os do Ca, estão relacionados com a acidez do solo, a aplicação de calcário superficial somente teve efeito na camada de 0-10 cm, não sofrendo alterações nas camadas mais profundas.

Considerando as bases trocáveis do solo (K, Na, Ca e Mg), observou-se que a camada mais superficial do solo obteve, na maioria das áreas, maiores médias em relação às demais. Possivelmente isto ocorre devido à maior ciclagem de nutrientes que ocorre nesta camada, assim como a maior taxa de mineralização proveniente da deposição de serapilheira.

Para Al, todas as médias foram estatisticamente iguais, em todas as profundidades, ou seja, a presença do Al em todas áreas foi muito baixa ao ponto de se igualar a 0. Isto possivelmente ocorreu devido aos valores pH encontrados, sendo todos os das camadas 0-10 e 10-20 cm acima de 5,5; alguns valores da camada 20-40 cm apresentaram-se um pouco abaixo de 5,5, sendo este o valor crítico para se ter a presença do alumínio trocável (Al^{+3}) no solo. Nos estudos de Marinato (2012) também não houve diferenças estatísticas para as médias do Al das profundidades 0-5 e 20-40 cm.

A Tabela 3 apresenta a continuação das análises químicas dos solos sob cada uma das coberturas vegetais que correspondem aos usos do solo estudados, nas diferentes profundidades.

TABELA 3. Médias dos tributos químicos do solo, H + Al, SB, t, T, V, m e MOS sob seis usos em três profundidades em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico localizado no município de Jaguaré-ES

Uso do solo	H + Al	SB	t	T	V	m	MOS
	cmol _c dm ⁻³			%			g kg ⁻¹
0-10 cm							
Cc	3,33 a	5,21 a	5,21 a	8,54 a	60,34 a	0,00 a	20,90 b
SCo	4,01 a	5,12 a	5,12 a	9,13 a	55,93 a	0,00 a	19,48 b
S	5,02 a	3,95 a	3,95 a	8,97 a	45,02 a	0,00 a	19,09 b
SPCa	4,92 a	4,44 a	4,44 a	9,36 a	47,33 a	0,00 a	14,77 b
SCc	4,85 a	5,95 a	5,95 a	10,81 a	54,93 a	0,00 a	17,68 b
MN	3,32 a	6,19 a	6,29 a	9,51 a	63,74 a	2,97 a	28,61 a
CV(%)	24,43	26,09	25,16	14,91	17,75	520,09	19,53
10-20 cm							
Cc	3,38 b	4,65 a	4,71 a	8,03 a	55,90 a	1,47 a	19,26 ab
SCo	4,19 ab	5,48 a	5,68 a	9,87 a	54,87 a	0,00 a	18,15 ab
S	5,25 ab	3,56 a	3,56 a	8,81 a	40,97 a	0,00 a	13,50 b
SPCa	4,39 ab	3,45 a	3,47 a	7,83 a	44,22 a	0,75 a	12,14 b
SCc	6,14 a	4,04 a	4,16 a	10,17 a	39,34 a	3,85 a	15,65 b
MN	3,33 b	4,49 a	4,68 a	7,83 a	55,78 a	8,44 a	23,31 a
CV(%)	25,40	47,14	43,06	21,84	27,83	300,17	22,28
20-40 cm							
Cc	2,28 b	4,28 a	4,44 a	6,55 ab	60,49 a	6,08 a	13,27 abc
SCo	5,10 a	3,86 a	3,86 a	8,95 a	43,64 a	0,00 a	13,71 abc
S	5,13 a	3,31 a	3,41 a	8,44 a	39,39 a	2,80 a	14,19 ab
SPCa	2,82 b	2,33 a	2,52 a	5,15 b	44,50 a	8,92 a	9,28 c
SCc	5,13 a	3,32 a	3,51 a	8,45 a	38,98 a	6,21 a	12,12 bc
MN	3,61 ab	2,75 a	3,06 a	6,36 ab	42,78 a	15,97 a	17,47 a
CV(%)	22,08	40,85	35,72	19,00	19,00	173,81	17,40

Cc: café conilon; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta-do-reino e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação; SB: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7; V: índice de saturação em bases; m: índice de saturação em alumínio.

Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Foi observado para H + Al que, na profundidade 0-10 cm, não houve diferenças estatísticas entre as médias apresentadas. Nas profundidades 10-20 e 20-40 cm, a cobertura vegetal Cc obteve as menores médias, 3,38 e 2,28 cmol_c dm⁻³, respectivamente, e SCc obteve as maiores médias, 6,14 e 5,13 cmol_c dm⁻³, respectivamente.

Para SB, t e m, não houve diferenças estatísticas entre as médias em numa das profundidades analisadas.

Para T, as médias das profundidades 0-10 e 10-20 cm foram estatisticamente iguais. Já na profundidade 20-40 cm, SCo e SCc apresentaram os maiores valores, 8,95 e 8,45 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, e SPCa apresentou a menor média, 5,15 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. De maneira geral, os valores obtidos para T são considerados médios por Prezotti e Martins (2013). Araújo et al. (2007), ao contrário, obtiveram decréscimo de T conforme o aumento da profundidade avaliada, sendo elas, 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, considerando os sistemas de plantio com pastagem, pinus e, ainda, Cerrado e pastagem nativos. De maneira geral, os solos estudados em suas diferentes profundidades, apresentam média CTC total (T), apesar de ter solos classificados como franco-arenoso em quase totalidade das áreas estudadas.

O atributo V apresentou médias estatisticamente iguais em todas as profundidades, apresentando valores que indicam que os solos estudados se encontram num limiar entre os considerados férteis e não férteis, ou seja, próximos de 50%, conforme Prezotti e Martins (2013). Estes valores estão de acordo com os valores de pH observados, não muito baixos.

Para a MOS, o uso do solo que se destacou, como já esperado, foi a MN, apresentando as maiores médias 28,61, 23,31 e 17,47 g kg^{-1} , nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente, porém, conforme Prezotti e Martins (2013) esses valores são considerados médios. É destaque, ainda, o uso SPCa que na profundidade 20-40 cm obteve a menor média, 9,28 g kg^{-1} , valor classificado como baixo, podendo ser um resultado decorrente do manejo adotado ou, simplesmente, da diferente composição mineral dos restos vegetais das culturas perenes tratadas neste trabalho, as quais produzem qualidades diferentes de serapilheira, criando nas áreas diferentes níveis de decomposição da MOS, ciclagem de nutrientes e mineralização. Essa diferença entre os resultados da mata nativa em relação aos demais cultivos também foi observada por Souza e Alves (2003), que verificaram que a área com plantio de seringueira obteve médias menores de MOS do que a área de Cerrado nativo, nas três profundidades estudadas, 0-10, 10-20 e 20-40 cm, atribuindo isto a um possível uso de manejo inadequado, considerando que na área com plantio de seringueira houve uma intensa mecanização. Garay et al. (2003), constatou que a mata nativa obteve maiores teores de MOS em relação às áreas com acácia e eucalipto e, ainda, comparando esses dois plantios observaram que a

área com acácia apresentou maior quantidade de matéria orgânica incorporada ao solo, conferindo isto a uma maior qualidade nutricional do folhicho de acácia, representada pela menor fração C/N.

De forma geral, as médias dos resultados de MOS decresceram conforme houve o aumento da profundidade, indicando que as operações de preparo do solo não incorporaram a MOS nas camadas mais profundas. Marinato (2012) também destacou a presença de maior quantidade de MOS na mata nativa em relação às áreas plantadas com eucalipto, seringueira, café conilon, pastagem, pimenta-do-reino e reflorestamento com nativas, porém, somente na camada mais superficial do solo, 0-5 cm, em contraste com as camadas mais profundas que obtiveram valores estatisticamente iguais.

Quando analisadas as tabelas 3 e 4, conjuntamente, observou-se que os usos e manejos podem interferir nos resultados deste estudo, como no caso da MOS. Outros estudos evidenciaram comportamento semelhante, como os casos descritos abaixo.

No estudo realizado por Marinato (2012), também realizado no Norte do ES, ficou evidenciado que na camada mais superficial do solo ocorrem muitas reações devido às constantes atividades químicas, provavelmente decorrentes de atividades antrópicas, conforme o manejo adotado em cada área. Nas demais profundidades constataram-se que as atividades antrópicas foram menos evidentes.

Silva et al. (2009) estudando plantios de espécies florestais, eucalipto, pinus e carvoeiro, e solo sob Cerrado nativo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, em Planaltina, DF, verificou que na camada de 0-10 cm o teor de MOS encontrado para todas as áreas foi bem superior aos encontrados neste trabalho, porém os valores de T foram próximos aos do presente estudo. O V obteve resultados bem baixos se comparados aos aqui estudados, sendo um reflexo dos baixos valores de pH encontrados. Ainda neste último estudo, foi observado que a área de Cerrado nativo e plantio de carvoeiro obtiveram maior MOS, refletindo, assim, no resultado de T, sendo ele influenciado pela quantidade e qualidade de serapilheira formada nestas áreas proporcionando maior ciclagem de nutrientes. O declínio de MOS nos plantios de pinus e eucalipto está associado à oxidação biológica deste atributo, decorrente do preparo e cultivo, do declínio inicial da produção de serapilheira e das mudanças na composição qualitativa da serapilheira que ocorrem nos plantios florestais.

Loss et al. (2009) estudando áreas cultivadas com SAF formada com espécies frutíferas e arbóreas; consórcio maracujá/*Desmodium* sp.; figo; milho/feijão e; berinjela/milho, em Seropédica, RJ, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura franco-arenosa, observou que os elevados valores de pH foram semelhantes aos obtidos neste trabalho tanto na profundidade de 0-5 cm quanto na de 5-10 cm, possivelmente sendo decorrentes da ausência do Al^{3+} . Os valores de H+Al foram, de maneira geral, baixos em contrapartida aos apresentados neste trabalho, que obtiveram valores considerados médios por Prezotti e Martins (2013). Os valores de Ca+Mg, K, P, CTC e SB apresentados foram considerados altos segundo De-Polli et al. (1988), para solos do Estado do Rio de Janeiro, em consonância com este estudo que obteve valores referentes a esses atributos de médios a altos conforme Prezotti e Martins (2013) para o Estado do Espírito Santo. Esses valores elevados no estudo de Loss et al. (2009) são decorrentes do manejo adotado, pois nas áreas estudadas foi realizada adubação orgânica com cama-de-aviário, esterco bovino, adubações verdes, termofosfato e cinzas de lenha. Assim como no presente trabalho em que nas áreas Cc e SCc onde houveram a utilização de adubo organomineral, aminoácidos e fertirrigação à base de ureia e KCl, as médias foram mais altas que as demais, indicando que essa adubação trouxe benefícios quanto a fertilidade desses solos.

Corrêa et al. (2009) avaliando áreas cultivadas com espécies de ciclo curto, fruticultura e pastagem e mais vegetação nativa e área descartada, sob um solo desenvolvido de rochas sedimentares, basicamente arenitos e folhelhos calcíferos do Cretáceo, no município de Petrolândia, Pernambuco, observou que as práticas agrícolas podem modificar os atributos químicos dos solos incorporados aos sistemas produtivos. A vegetação nativa se destacou, porém, apresentando valores mais baixos que as demais áreas como relação às médias de Ca, Mg, K, P, pH, SB e V nas três camadas avaliadas, 0-10, 10-30 e 30-60 cm. Resultados esses semelhantes aos apresentados aqui para os atributos pH e P, por exemplo.

Portugal et al. (2008) avaliaram os atributos químicos em um Cambissolo Háplico Tb distrófico, em duas profundidades distintas, 0-20 e 20-40 cm, em áreas cultivadas com seringueira, laranja, cana, pastagem e uma área de mata. Os resultados demonstraram que o solo, em todos os usos, apresenta baixa fertilidade e caráter distrófico, com Al^{3+} dominando o complexo de troca, com exceção do solo sob cana, que apresenta fertilidade média e teores negligenciáveis de Al^{3+} trocável

no complexo de troca, resultado que corrobora o presente trabalho. O uso agrícola do solo reduziu a MOS, também conforme aqui estudado. Apesar das áreas estudadas possuírem espécies perenes, elas possuem e já possuíram intensas atividades antrópicas, utilizando-se de aração e gradagem, histórico com plantios anteriores e desbastes através de queimadas para que o plantio atual fosse realizado. Todas essas atividades podem ter contribuído com a atual situação em relação à perda do teor de MOS nas áreas cultivadas. O baixo valor de MOS desses solos é um indicativo de baixa produtividade, apresentando CTC total (T) média. Esses valores têm influência direta na quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas.

Souza e Alves (2003) realizando um estudo sob áreas cultivadas com seringueira e pastagem e, ainda, uma área de mata, em um Latossolo Vermelho distrófico, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, observaram que a pastagem e a seringueira apresentaram reduções nos teores de MOS, P, K, Mg, Ca, diminuição do pH, menor CTC a pH 7, SB e aumento do teor de Al, quando comparados à vegetação natural. Os resultados foram similares ao presente trabalho.

A Figura 2 apresenta os gráficos de dispersão a partir de variáveis canônicas agrupadas pelo método de Tocher, com base na dispersão pelo método de Mahalanobis, nas diferentes profundidades estudadas, 0-10, 10-20 e 20-40 cm, considerando todos os atributos químicos avaliados, ou seja, pH, P, K, Na, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, m, MOS. Verificou-se que a variabilidade foi bem explicada pelas duas primeiras variáveis canônicas, contemplando mais de 80%.

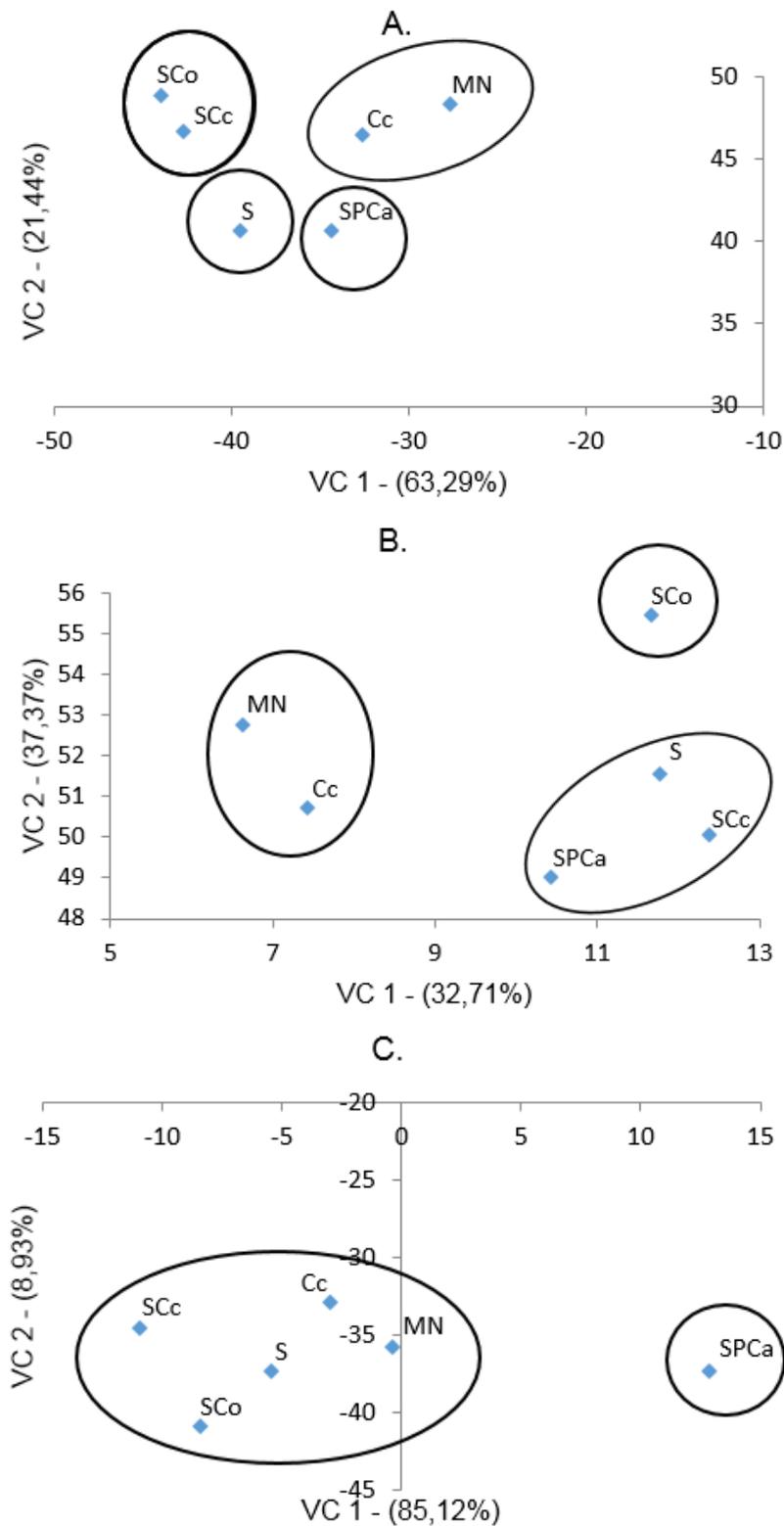


FIGURA 2. Dispersão gráfica para a análise química do solo, utilizando as duas primeiras variáveis canônicas (VC), das coberturas e nas três profundidades (A: 0-10 cm, B: 10-20 cm e C: 20-40 cm), agrupadas pelo método de Tocher, com base na dispersão pelo método de Mahalanobis, sendo Cc: café; SCo: seringueira e coco; S: seringueira; SPCa: seringueira, pimenta e cacau; SCc: seringueira e café; MN: mata nativa.

Na profundidade 0-10 cm houve a formação de quatro grupos. Um deles é formado pelas coberturas MN e Cc, ou seja, as atividades antrópicas realizadas em Cc foram suficientes para manter a qualidade química do solo em relação à área MN. Outro grupo foi formado por SCo e SCc. As coberturas vegetais S e SPCa encontram-se isoladas, não tendo similaridade com nenhuma outra.

Na profundidade 10-20 cm houve a formação de três grupos. Novamente MN e Cc são similares. Outro grupo é formado por S, SPCa e SCc. Diferentemente da primeira profundidade, a cobertura vegetal SCo ficou isolada, não tendo similaridade com qualquer outra. Um dos atributos que possivelmente o diferenciou dos demais foi o pH, o qual obteve o maior valor nesta profundidade.

Na profundidade 20-40 cm todas as coberturas foram similares, exceto SPCa, onde, possivelmente, a interferência humana se fez de maneira diferenciada em relação as demais áreas. A maior quantidade de indivíduos plantados com raízes mais profundas também deve ter tido influência neste resultado. Ou seja, o arranjo do SAF, assim como a quantidade de cada espécie utilizada e o espaço que cada sistema radicular pode ocupar poderá influenciar na quantidade de elementos químicos disponíveis no solo.

A cobertura vegetal Cc conseguiu preservar, através do uso e manejo, os atributos químicos do solo cuja referência é a MN, o que confirma o bom uso e manejo adotado pelos proprietários em relação à conservação do solo. Pode-se dizer, então, que a área Cc, nas camadas mais superficiais, 0-10 e 10-20 cm, está contribuindo melhor com a qualidade química do solo do que as demais áreas, incluindo as sob SAF, contrariamente ao que era esperado, levando-se em consideração, por exemplo, o elevado valor do pH e o melhor valor de MOS na MN.

Neste trabalho, os SAF não podem ser tidos como modelos de sistemas sustentáveis, levando-se em consideração a conservação do solo e da água e produtividade nas camadas mais superficiais, porém na camada mais profunda os consórcios SCc e SCo também foram similares à MN. Contudo, é pertinente lembrar que os resultados obtidos para MN não foram os ideais para o bom desenvolvimento de grande parte das culturas, como, por exemplo, os valores classificados como médios para pH, T e MOS.

Gama-Rodrigues et al. (2008) também utilizaram do método de Tocher em suas análises químicas do solo e observaram que a área sob capoeira, fragmento florestal de mata secundária pertencente ao bioma Mata Atlântica, ficou isolada em

relação às demais, compostas por plantios de acácia, sabiá, eucalipto e pasto. Resultados esses similares aos de Corrêa et al. (2009) ao observarem que a vegetação nativa ficou isolada em todas as três profundidades analisadas, 0-10, 10-30 e 30-60 cm, indicando que as alterações realizadas nos atributos avaliados foram suficientes para diferenciar, em todas as camadas, os usos relacionados a sistemas produtivos em relação à vegetação nativa. Ambos resultados se contrapõem à avaliação exposta no presente trabalho, já que a mata nativa foi similar a área de cultivada com café conilon.

Já Marinato (2012) observou que, somente na profundidade 0-5 cm a mata nativa se apresentou de forma isolada das demais coberturas vegetais, evidenciando que os solos sob agricultura não estão conseguindo preservar as características da área de mata, utilizada como referência. Nas demais, a mata nativa se comportou de maneira similar ao café conilon, eucalipto, pastagem e pimenta-do-reino.

3.2.6. Conclusões

- As coberturas com café conilon e mata nativa foram similares quando considerados os atributos químicos e profundidades analisadas;
- Os manejos adotados na área do café conilon (calagem, fertirrigação com ureia e KCl), utilização de organominerais e aminoácidos) obtiveram melhores resultados do que os adotados nos sistemas agroflorestais nas camadas mais superficiais, mantendo a qualidade dos atributos químicos do solo quando comparados ao solo original da mata nativa;
- Os diferentes usos degradaram a matéria orgânica do solo em relação ao teor original na Mata Nativa;
- Novas pesquisas sobre o manejo de sistemas agroflorestais devem ser realizadas a fim de se conhecer melhor a complexidade deste tipo de uso do solo e fornecer maiores informações sobre como melhorar os atributos químicos em relação ao solo original e aos monocultivos.

3.2.7. Referências

ALAVALAPATI, J. R. R.; SHRESTHA, R. K.; STAINBACK, G. A.; MATTA, J. R. Agroforestry development: an environmental economic perspective. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 299-310, 2004.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1099-1108, 2007.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. dos S.; ARAÚJO, Q. R. de; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, Sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, Mossoró, Brasil, v.19, n.4, p.415-425, 2006.

BARRETT-LENNARD, E. G. Restoration of saline land through revegetation. **Agricultural Water Management**, v.53, p.213-226, 2002.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005, 355p.

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

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

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. dos S; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. de. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.305-314, 2009.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. & CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. v.1, Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 480p.

DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PEREIRA, N. N. C.; EIRA, P. A.; BLOISE, R. M.;

SALER, R.C. **Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro**. Itaguaí: Editora da Universidade Rural, 1988.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. & COEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F & STEWART, B.A., (Eds.) **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

GALZERANO, L. Eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. REDVET. **Revista Electrónica de Veterinaria**, Málaga, v.9, n.3, p.1-6, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1521-1530, 2008.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre as plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.705-712, 2003.

GARCIA-BARRIUS, L.; ONG, C. K. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 221-236, 2004.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.991-1017, 2007.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10, 2009.

KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. The enigma of tropical homegardens. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 135-152, 2004.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAUJO FILHO, J. A. Impactos de Sistemas Agroflorestais e Convencional sobre a qualidade

do solo no semi-árido Cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n. 5, p.837-848, 2006.

MARINATO, F. A. **Atributos físicos e químicos como indicadores de qualidade do solo, em tabuleiros costeiros, no norte do Espírito Santo**. 2012. 68p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus.

MELO, V. F. et al. Caracterização física, química e mineralógica de solos da Colônia Agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.1039-1050, 2006.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.3, p.375-383, 2001.

MIRANDA, E. J. **Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo no Estado do Mato Grosso**. 2007. 86p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quairoz”, Piracicaba.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia aplicada**. 3. ed., Piracicaba: FEALQ, 2008, 592p.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.575-585, 2010.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. da.; SANTOS, B. C. M. dos. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.249-258, 2008.

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

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104p.

RAMOS, S. F.; CHABARIBERY, D.; MONTEIRO, A. V. V. M.; SILVA, J. R. Sistemas agroflorestais: estratégia para a preservação ambiental e geração de renda aos

agricultores familiares. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 6, p. 37-48, 2009.

SILVA, L. G.; MENDES, I. de C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T. de; KATO, EIYTI. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.613-620, 2009.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distróficos de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.133-139, 2003.

4. CONCLUSÕES GERAIS

- A mata nativa destacou-se devido à pouca interferência antrópica sofrida, possuindo médias dos atributos físico e químicos mais favoráveis ao bom desenvolvimento de plantas perenes, com ênfase no maior teor de matéria orgânica do solo;
- As atividades antrópicas como a calagem, aração, gradagem, subsolagem e fertilização, assim como os diferentes usos das áreas e históricos provocaram mudanças nas propriedades do solo, fazendo com que todas as áreas não apresentassem similaridade com a mata nativa, exceto àquela com cultivo de café conilon na análise química dos solos;
- É necessária a utilização de técnicas que façam aumentar os teores de MOS, como por exemplo a adubação verde e/ou a incorporação de composto orgânico no solo, permitindo melhorar os atributos físicos e químicos do solo das áreas cultivadas;
- Existe a necessidade da realização de novas pesquisas acerca de temas relacionados aos manejos dos sistemas agroflorestais a fim de fornecer maiores informações sobre como manter e/ou melhorar os atributos físicos e químicos em relação ao solo original.

5. REFERÊNCIAS

ALAVALAPATI, J. R. R.; SHRESTHA, R. K.; STAINBACK, G. A.; MATTA, J. R. Agroforestry development: an environmental economic perspective. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 299-310, 2004.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.617-625, 2007.

ANDRADE, A. G. de; FREITAS, P. L. de; LANDERS, J. Aspectos gerais do manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010, p.25-40.

ANDRIEU, E.; LADET, S.; HEINTZ, W.; DECONCHAT, M. History and spatial complexity of deforestation and logging in small private forests, **Landscape and Urban Planning**, v.103, pp. 109-117, 2011.

ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, Paraná, v.5, n.1, 2012.

BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C. de; MARQUES, R. W. C. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v.10, n.2, p.249-266, 2006.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de

vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.935-944, 2003.

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

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A., (Eds.) **Sustainable management of soil organic**. Wallingford: CAB international, p.9-22, 2001.

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

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1663-1674, 2006.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. dos S; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. de. Atributos físicos do solo sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p.358-365, 2010.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N. **Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo**. Vitória, ES: Incaper, 2015. 152 p.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.323-332, 2008.

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, 1994, p.3-21.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1996, p.25-37. (Special Publication, 49).

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Soil Ecology**, v.15, p.3-11, 2000.

DUMANSKI, J. Soil conservation in a changing world. In: **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010, p.53-78.

EHIAGBONARE, J. E. Effect of taungya on regeneration of endemic forest tree species in Nigeria: Edo State Nigeria as a case study. **African Journal of Biotechnology**, v.5, n.18, p.1608-1611, 2006.

FAO. 1976. A framework for land evaluation. **FAO Soils Bulletin**, n.32. Rome, Italy.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, p.1583-1590, 2008.

FIDALSKI, J.; TORMENTA, C. A.; SILVA, A. P. da. Qualidade física do solo em pomar de laranjeira no noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na estrelinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.423-433, 2007.

GARCIA-BARRIUS, L.; ONG, C. K. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 221-236, 2004.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Embrapa: Meio Ambiente. Jaguariúna, 2006. 8p.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v.66, p.95-106, 2002.

GUGINO, B. K.; IDOWU, O. J.; SCHINDELBECK, R. R.; van ES, H. M.; WOLFE, D. W.; MOEBIUS-CLUNE, B. N.; THIES, J. E.; ABAWI, G. S. **Cornell Soil Health Assessment Training Manual**, Edition 2.0, Cornell University, Geneva, NY, 2009.

GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; BLAINSKI, E.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1512-1521, 2013.

INGARAMO, O.E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. La Coruña, Universidade da Coruña, 2003. 298p. (Tese de Doutorado).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal: lavoura permanente, área plantada. Rio de Janeiro: anual, 1990-2010.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1493-1500, 2000.

IZAC, A. M. N.; SANCHEZ, P. A. Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the example of agroforestry research. **Agricultural Systems**, v. 69, p. 5-25, 2001.

JIANG, L.; DENG, X.; SETO, K. Multi-level modeling of urban expansion and cultivated land conversion for urban hotspot counties in China, **Landscape and Urban Planning**, v.108, p. 131-139, 2012.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10, 2009.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KAY, B. D.; RASIAH, V.; PERFECT, E. Structural aspects of soil resiliency. In: GREENLAND, D.J.; SZABOLCS, I., (Eds.) **Soil resilience and sustainable land use**. London: CAB International, 1994, p.449-468.

KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. The enigma of tropical homegardens. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 135-152, 2004.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1131-1140, 2007.

LAL, R.; BRUCE, J. P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science and Pollution Research**, v.2, p.177-185, 1999.

LI, Y.; ZHU, X.; SUN, X.; WANG, F. Landscape effects of environmental impact on bayarea wetlands under rapid urban expansion and development policy: A case study of Lianyungang, China, **Landscape and Urban Planning**, v.94, p. 218-227, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C. dos; SILVA, E. M. R. da. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em Sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.68-75, 2009.

MACEDO, J. R. de; CAPECHE, C. L.; MELO, A. da. S. **Recomendação de manejo e conservação de solo e água**. Manual Técnico, n.20, Niterói: Programa Rio Rural, 2009, 45 p..

MACHADO, P. L. O. de A.; MADARI, B. E.; BALBINO, L. C. Manejo e conservação do solo e água no contexto das mudanças ambientais – Panorama Brasil. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010, p.41-52.

MACDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. **Agroforestry: classification and management**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 382p.

MAGDOFF, F.; van ES, H. **Building soils for better crops: sustainable soil management**. 3 ed. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) program, with funding from the National Institute of Food and Agriculture, U.S. Department of Agriculture. 2009. 294p.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAUJO FILHO, J. A. Impactos de Sistemas Agroflorestais e Convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido Cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.5, p.837-848, 2006.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1177-1182, 2000.

MARINATO, F. A. **Atributos físicos e químicos como indicadores de qualidade do solo, em tabuleiros costeiros, no norte do Espírito Santo**. 2012. 68p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus.

MARQUES, J. D. de O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. **Acta Amazonica**, Manaus, v.34, n.2, p.145-154, 2004.

MAY, P.H.; TROVATTO, C.M.M.; DEITENBACH, A.; FLORIANI, G. dos S; DUBOIS, J.C.L.; VIVAN, J.L. **Manual agroflorestal para a Mata Atlântica**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2008. 197p..

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystem and human well-being: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005. 137 p.

MELLO, N. A. **Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo**. 2006. 248 f. Tese (Doutorado em Ciência

de Solo) – Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

MENESES, B. M. Análise das alterações do uso e ocupação do solo no Vale do Varosa (Portugal) mediante imagens Landsat-TM e sua influência na conservação do solo, **GeoFocus**, Bellaterra, v.13, n.1, p. 270-290, 2013.

MORAES, A. de; CARVALHO, P. C. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; DEISS, L. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.45, n.5, p.1024-1031, 2014.

NICOLELI, M.; MOLLER, H.D. Análise da competitividade dos custos do café orgânico sombreado irrigado. **Custos e Agronegócio**, Recife, v.2, p.29-44, 2006.

OMUTO, C.T. Assessment of soil physical degradation in Estern Kenya by use of a sequential soil testing protocol. **Agriculture, Ecosystems & Environment.**, v.128, p.199-211, 2008.

PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P.; ESPERANCINI, M. S. T. Desempenho produtivo e econômico do consórcio de cafeeiro arábica e noqueira-macadâmia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.1, p.12-23, 2015.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. da; SANTOS, B. C. M. dos. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb Distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.249-258, 2008.

PRAGANA, R. S.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, JULIANA ALVES da. Qualidade física de latossolos amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1591-1600, 2012.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. **Guia de interpretação de análise do solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 6ª edição. São Paulo: Nobel, 1984. 541p.

PULLEMAN, M.M.; BOUMA, J.; van ESSEN, E.A.; MEIJLES, E.W. Soil organic matter content as a function of different land use history. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.689-693, 2000.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1609-1623, 2007.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.911-923, 2003.

SALES, L.E. de O.; CARNEIRO, M.A.C.; SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G.C. de; FERREIRA, M.M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, p.667-674, 2010.

SANCHEZ, P. A. Science in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 30, p. 5-55, 1995.

SANTOS, A. J. dos; LEAL, A. C.; GRAÇA, L. R.; CARMO, A. P. C. do. Viabilidade econômica do sistema agroflorestal Grevílea x Café na região norte do Paraná. **CERNE**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 89-100, 2000.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.407-414, 2005.

SILVA, L. G. da; MENDES, I. de C.; REIS JUNIOR F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T. de; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.313-620, 2009.

SILVA, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1277-1283, 2011.

SILVA, V. A.; Lima, L. A.; ANDRADE, F. T.; FERREIRA, E. A.; SOUZA JÚNIOR, E. A. de; COLARES, M. F. B.; MOREIRA, L. L. Q. Sistemas intercalares com abacaxizeiro como alternativa de renda durante a formação de cafezais irrigados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, p.1471-1479, 2012.

SNAKIN, V. V.; KRECHETOV, P. P.; KUZOVNIKOVA, T. A.; ALYABINA, I. O.; GUROV, A. F.; STEPICHEV, A. V. The system of assessment of soil degradation. **Soil Technology**, v.8, n.4, p.331-343, 1996.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.133-139, 2003.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.129-136, 2009.

SHUKLA, M.K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**. v.87, p.194-204, 2006.

VALNTINI, L. S. de P.; CAMARGO, M. B. P. de; ROLIM, G. de S.; SOUZA, P. S.; GALLO, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.1005-1010, 2010.

VARELLA, L. B. Sustentabilidade e prospectiva do sistema taungya em comparação com a roça tradicional na Zona Bragantina do Estado do Pará. **Movendo Ideias**, Belém, v.8, n.14, p.73-85, 2003.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.743-755, 2009.

VIEIRA, A. R. R.; FEISTAUER, D.; SILVA, V. P. Adaptação de espécies arbóreas nativas em um sistema agrossilvicultural, submetidas a extremos climáticos de geadas na região de Florianópolis. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.5, p.627-634, 2003.

VIEIRA, M. L. & KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1271-1280, 2007.

WADT, P.G.S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 29 p..

WANG, H.; HE, Q.; LIU, X.; ZHUANG, Y.; HONG, S. Global urbanization research from 1991 to 2009: A systematic research review, **Landscape and Urban Planning**, v.104, p. 299-309, 2012.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. 4.ed. Wallingford, CAB International, 1994. 276 p.

6. ANEXOS

ANEXO 1. Coordenadas geográficas das parcelas demarcadas no experimento

Área	Parcela	Coordenadas geográficas (UTM)	
		E	N
Cc	1	399794	7895787
	2	399627	7895571

	3	399907	7895872
	4	399892	7895888
	5	399934	7895921
SCo	1	399995	7895977
	2	399999	7896027
	3	400048	7896016
	4	400122	7896098
	5	400089	7896076
S	1	400203	7896158
	2	400247	7896304
	3	400290	7896259
	4	400269	7896288
	5	400290	7896311
SPCa	1	400390	7896339
	2	400386	7896386
	3	400425	7896430
	4	400411	7896358
	5	400362	7896374
SCc	1	401654	7896953
	2	401672	7896938
	3	401691	7896854
	4	401442	7897028
	5	401409	7897002
MN	1	399916	7895846
	2	400147	7896060
	3	400579	7896417
	4	400962	7896895
	5	401237	7896818



ANEXO 2. Área com plantio de café conilon homogêneo.



ANEXO 3. Área com plantio seringueira e café conilon.



ANEXO 4. Área de consórcio entre seringueira e coco.



ANEXO 5. Área de consórcio entre seringueira, pimento-do-reino e cacau.



ANEXO 6. Área de plantio homogêneo de seringueira.



ANEXO 7. Área de mata nativa.