

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

CARLOS AUGUSTO FIORIO ZANON

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO  
SANTO

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2013

CARLOS AUGUSTO FIORIO ZANON

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO  
SANTO

Monografia apresentada ao  
Departamento de Ciências  
Florestais e da Madeira da  
Universidade Federal do Espírito  
Santo, como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro  
Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2013

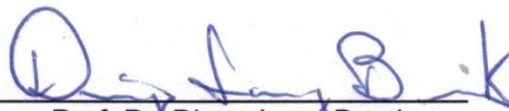
CARLOS AUGUSTO FIORIO ZANON

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB  
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO SUL DO ESTADO DO  
ESPÍRITO SANTO

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 22 de Agosto de 2013.

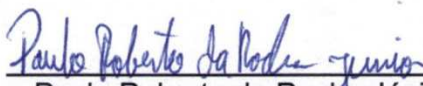
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Diego Lang Burak  
DPV/CCA – UFES  
Orientador



Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos  
DPV/CCA – UFES  
Examinador



Paulo Roberto da Rocha Júnior  
Engenheiro agrônomo, Doutorando em Produção Vegetal/Solos e Nutrição de Plantas/CCA – UFES  
Examinador

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis".

*José de Alencar*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, porque sem Ele não teria chegado até aqui.

À minha família, em especial aos meus pais, Paulo Sérgio e Mírian, pelo apoio financeiro e também psicológico nos momentos de desânimo.

Aos meus amigos, pelos momentos de diversão a mim proporcionados.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela formação acadêmica e pelo crescimento pessoal.

Ao professor Diego Lang Burak, por ter aceitado o convite de orientar-me na execução deste estudo e auxiliado na análise estatística dos dados.

Ao professor Renato Ribeiro Passos e ao doutorando Paulo Roberto da Rocha Júnior, por terem aceitado participar da banca examinadora.

Aos demais professores do Centro de Ciências Agrárias, pelos conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de Engenharia Florestal.

Ao pessoal do laboratório de solos, pelas instruções e apoio a mim concedidos na execução das análises.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Com a crescente demanda por áreas destinadas à expansão urbana e à outras formas de ocupação, observou-se redução considerável da extensão da Mata Atlântica, restando, atualmente, pequenos fragmentos florestais isolados. Esta fragmentação, acompanhada da substituição da cobertura florestal por outros tipos vegetacionais, acarreta em mudanças, quase sempre negativas, nos atributos físicos e químicos do solo devido, principalmente, à modificação no aporte de matéria orgânica, no manejo do solo e no ciclo hidrológico. Neste contexto, com o propósito de avaliar a influência da vegetação nos atributos edáficos, realizou-se análises física e química do solo sob diferentes coberturas vegetais (pastagem, café conilon, eucalipto e mata), em duas profundidades. Caracterizou-se os atributos químicos P, K, Ca, Mg, Al e pH e os físicos D<sub>s</sub>, D<sub>p</sub>, PT, RP, DMG e textura do solo. Para tanto, coletou-se amostras compostas deformadas (análise química e textural), as quais passaram pelo preparo de terra fina seca ao ar para posterior análise laboratorial. Para avaliação da estabilidade de agregados via úmida, foram utilizados àqueles que passaram pela peneira de 4 mm e ficaram retidos na de 2 mm. O cálculo da porosidade total foi realizado por meio da determinação das densidades do solo (Método do anel volumétrico) e de partículas (Método do balão volumétrico), ambos propostos pela Embrapa (1997). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise estatística e avaliados em delineamento em parcelas subdivididas. Os resultados obtidos comprovaram que o tipo vegetacional predominante do local interfere nos atributos do solo, verificando-se alterações em D<sub>s</sub>, PT, RP, DMG e textura (físicos) e em P, K, Ca, Mg, Al, pH, SB, V, T, t e m (químicos). Já o fator profundidade exerceu menor influência nos atributos edáficos se comparado à vegetação, influenciando D<sub>s</sub>, PT, RP, DMG e textura (físicos), além de K e T (químicos). A característica física D<sub>p</sub> não foi influenciada por nenhum dos fatores avaliados. Observaram-se correlações significativas entre os atributos físicos e químicos, indicando que o solo deve ser manejado a partir da análise conjunta desses atributos. Neste sentido, foi possível compreender melhor as mudanças no solo decorrentes da substituição da cobertura vegetal, contribuindo, desse modo, para a adoção de práticas conservacionistas em agrossistemas.

Palavras-chave: uso do solo, física do solo, fertilidade do solo, manejo e conservação do solo.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Atributos químicos do solo.....	4
2.2 Atributos físicos do solo.....	5
2.3 Cobertura vegetal e proteção do solo.....	10
3 METODOLOGIA.....	14
3.1 Descrição das áreas de estudo.....	14
3.1.1 Histórico de uso e ocupação das áreas de estudo.....	14
3.1.2 Localização e caracterização edafoclimática das áreas de estudo.....	15
3.2 Delineamento amostral.....	16
3.3 Coleta e preparo das amostras de solo.....	16
3.4 Análises físicas.....	17
3.4.1 Análise granulométrica.....	17
3.4.2 Estabilidade e distribuição do tamanho dos agregados.....	18
3.4.3 Umidade atual do solo.....	19
3.4.4 Resistência do solo à penetração.....	19



3.4.5 Densidade do solo.....	19
3.4.6 Densidade de partículas.....	20
3.4.7 Porosidade total.....	20
3.5 Análises químicas.....	20
3.6 Análises estatísticas.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.1 Atributos químicos.....	22
4.1.1 Classes de fertilidade dos atributos químicos.....	27
4.1.1.1 Pastagem.....	27
4.1.1.2 Café conilon.....	28
4.1.1.3 Eucalipto.....	29
4.1.1.4 Mata.....	30
4.2 Atributos físicos.....	30
4.3 Correlações de Pearson entre os atributos do solo.....	39
5 CONCLUSÕES.....	45
6 REFERÊNCIAS.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores críticos de RP em diferentes tipos de solo (adaptada).....	9
Tabela 2 - Declividade média do terreno nas diferentes coberturas vegetais.....	15
Tabela 3 - Valores médios de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas.....	23
Tabela 4 - Valores médios de pH, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC <sub>EFETIVA</sub> ), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas.....	26
Tabela 5 - Classificação da fertilidade dos atributos químicos do solo textura média sob café conilon, pastagem, eucalipto e mata, considerando-se os valores médios de cada cobertura vegetal.....	27
Tabela 6 - Valores médios das frações areia grossa, areia fina, silte e argila sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas.....	32
Tabela 7 - Classificação dos solos utilizando-se os triângulos textural (SBCS) e o proposto pela EMBRAPA, nas quatro coberturas vegetais, nas profundidades analisadas.....	33
Tabela 8 - Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG), em mm, sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas.....	35
Tabela 9 - Valores médios de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas.....	36
Tabela 10 - Valores médios de umidade gravimétrica do solo <sup>(1)</sup> e de resistência do solo à penetração nas diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas.....	37

Tabela 11 - Matriz dos coeficientes de correlação simples envolvendo os resultados das análises físicas e químicas do solo <sup>(1)</sup> , com valores negativos realçados.....	40
--	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem de satélite da localidade de Santa Fé de Baixo, Cachoeiro de Itapemirim, ES.....	16
--	----

## 1. INTRODUÇÃO

No Espírito Santo, estima-se que a Mata Atlântica, considerando-se suas diferentes formações e associações, ocupava, originalmente, quase 100 % do território estadual. Com a exploração seletiva de madeira e a abertura de áreas para outras formas de ocupação, sobretudo destinadas ao desenvolvimento de atividades agropecuárias e ao crescimento urbano, houve uma redução drástica da área florestal, restando, atualmente, cerca de 10 % da cobertura original (INPE; SOS MATA ATLÂNTICA, 2013). Os fragmentos florestais restantes, normalmente, localizam-se em áreas de difícil acesso, onde as práticas agrícolas e madeireiras tornam-se inviáveis (MORENO et al., 2003).

A substituição da cobertura florestal por outras formas de vegetação altera os atributos físicos e químicos do solo devido, principalmente, à modificação no aporte de matéria orgânica, no manejo do solo (adubações, aração, gradagem, entre outros) e no ciclo hidrológico. Nesse sentido, o padrão de distribuição e a anatomia das plantas interferem nas taxas de evaporação e de infiltração, além de determinar o grau de exposição do solo ao impacto direto das gotas de chuva. A vegetação atua também como um obstáculo ao escoamento superficial, reduzindo a velocidade da enxurrada, evitando-se, assim, a desestruturação do solo e o carreamento de partículas e de nutrientes, principalmente em regiões de maior declividade (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007).

No sul capixaba, as coberturas vegetais predominantes são as pastagens e as monoculturas, como o café e a cana-de-açúcar (IBGE, 2006). Nestes tipos vegetacionais, as perdas de solo e de nutrientes tendem a acentuarem-se, devido ao fato da maior exposição do terreno às ações da água, contribuindo para a ocorrência do processo de erosão. Em solos erodidos, a sustentabilidade na produtividade das culturas diminui, não atendendo a expectativa dos proprietários rurais, o que pode comprometer a permanência destes no meio rural (DILL, 2007).

Os solos das regiões tropicais, normalmente, apresentam baixa fertilidade natural devido, sobretudo, à ação do intemperismo e o material de origem. Porém, em áreas localizadas sob florestas, há uma tendência de ocorrer maior deposição de matéria orgânica no solo, contribuindo, desse modo, para melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, melhorando ainda a ciclagem de nutrientes. A partir do

momento que a vegetação nativa é removida de seu local de origem, verifica-se alteração, quase sempre negativa, nos atributos do solo (MACHADO, 2001).

Tratando-se de pastagens, essas mudanças estariam relacionadas, principalmente, ao pisoteio animal, o que poderia causar compactação do solo, diminuindo, assim, a infiltração de água no perfil e aumentando, conseqüentemente, o escoamento superficial (LUZ; HERLING, 2004). Em lavouras de café, a retirada dos resíduos vegetais nas entrelinhas e o aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica contribuem para o desequilíbrio solo-planta, afetando, com isso, diversos atributos físicos, como a densidade do solo, a porosidade e a aeração (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000). As perdas de solo em plantios de eucalipto, quando manejados adequadamente, tendem a aproximar-se dos valores verificados em mata nativa, indicando, em algumas situações, maior sustentabilidade desse sistema em relação aos demais citados anteriormente (PIRES et al., 2006).

Contudo, vale ressaltar que determinados atributos do solo e condições climáticas, independentemente da adoção ou não de práticas de manejo adequadas, já favorecem o surgimento do processo de erosão em determinadas regiões. Neste cenário, podemos citar, dentre outros, o elevado teor de areia e a baixa quantidade de matéria orgânica do solo e, do local, destacam-se a declividade acentuada e a ocorrência frequente de elevadas temperaturas e de altos índices pluviométricos. Todos estes fatores contribuem para a degradação e erosão do solo, necessitando-se, portanto, de práticas conservacionistas com o intuito de minimizar os efeitos negativos decorrentes de tais agravantes edafoclimáticos (FLAUZINO, 2012).

Diante deste contexto, a avaliação do impacto dos diferentes tipos de uso e coberturas vegetais pode auxiliar no direcionamento de técnicas relacionadas com o manejo e conservação do solo, visando, em um primeiro momento, a recuperação do ambiente degradado. Assim, as chances de se obter êxito na implantação e manutenção de um cultivo aumentam, além de possibilitar, a longo prazo, a melhoria das condições de vida do homem do campo. Em suma, a adoção de práticas que visam o manejo adequado de uma área, de acordo com suas potencialidades e suas restrições, passa, necessariamente, pela avaliação dos atributos do solo, os quais servirão de subsídio nas recomendações mais apropriadas para práticas conservacionistas no agrossistema analisado (SOARES; ESPÍNDOLA; CASTRO, 2005).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Avaliar a influência dos diferentes tipos de cobertura vegetal (pastagem, lavoura de café conilon, eucalipto e Mata Atlântica) sobre os atributos físicos e químicos do solo, em condições de relevo ondulado a forte ondulado.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar a fertilidade dos solos por meio da análise de nutrientes (Ca, Mg, K e P) e da acidez do solo (Al trocável e pH).
- Determinar a textura do solo por meio da análise granulométrica, a densidade do solo e a porosidade total, com coleta de amostras pelo anel volumétrico.
- Avaliar a agregação do solo, mediante o cálculo do Diâmetro Médio Geométrico (DMG), e a resistência do solo à penetração através do penetrômetro de impacto.
- Analisar a interação entre os atributos físicos e químicos do solo através da correlação de Pearson.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Atributos químicos do solo

O uso intensivo do solo, sem qualquer tipo de planejamento e controle, acarreta na diminuição da sua fertilidade, necessitando-se, portanto, de adubações cada vez mais elevadas, com o intuito de alcançar as mesmas produtividades nos cultivos. Nesse sentido, o conhecimento dos atributos químicos exerce um papel essencial nas recomendações de corretivos e fertilizantes, evitando a deficiência e a toxidez nutricionais (CQFS - RS/SC, 2004).

Dentre os diversos atributos químicos do solo, merecem evidência o pH, os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e alumínio (Al) trocáveis, de hidrogênio e de fósforo. Através desses e outros atributos é possível calcular a Soma de Bases Trocáveis (SB), a Capacidade de Troca Catiônica Potencial (CTC ou T), a Capacidade de Troca Catiônica Efetiva ( $CTC_{EFETIVA}$  ou t), a acidez potencial (H + Al), a Saturação por Alumínio (m) e a Saturação por Bases (V).

Apesar de muitas literaturas estabelecer o pH adequado entre 5,5 – 6,5, não existe um valor considerado ideal para o desenvolvimento de todas as culturas, sendo que este varia em função das necessidades nutricionais de cada espécie (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

A CTC de um solo representa a quantidade total de cátions retidos à superfície do complexo de trocas ( $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} + H^{+} + Al^{3+}$ ), representando, portanto, a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes. Quando uma porcentagem elevada de CTC é ocupada por cátions essenciais, como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^{+}$ , em condições de equilíbrio catiônico, pode-se concluir que o solo em questão apresenta condições propícias ao pleno desenvolvimento vegetal. Em contrapartida, quando um elevado percentual de CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos, como o  $H^{+}$  e o  $Al^{3+}$ , há uma tendência das culturas implantadas na área sofrerem com o efeito da acidez. De modo geral, solos arenosos apresentam baixa CTC, sendo que neste tipo de solo, as adubações e as calagens devem ser realizadas de forma parcelada, visando diminuir as perdas de nutrientes por lixiviação (RONQUIM, 2010).



A SB de um solo representa a soma dos teores de cátions básicos ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$ ) e  $\text{K}^+$ . V, por sua vez, expressa a relação entre SB e CTC, sendo considerado um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade. A partir dessa, os solos podem ser divididos em eutróficos ( $V \% \geq 50 \%$ ) e distróficos ( $V \% < 50 \%$ ). Um índice V% baixo significa que a maioria das cargas negativas dos colóides está sendo neutralizada por  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , sendo indicado, para grande parte das culturas, valores compreendidos entre 50 e 80 % (LOPES; GUILHERME, 2007).

Diante da importância que o conhecimento dos atributos químicos exercem no manejo adequado dos solos, diversos estudos vem sendo desenvolvidos a partir da análise dos mesmos, sobretudo, avaliando a possível interação existente entre os sistemas de manejo e a disponibilidade nutricional para as plantas.

Com este propósito, Effgen (2006) analisou os atributos do solo em função dos tratamentos culturais empregados em lavouras de café conilon no sul do Espírito Santo. Para tanto, foram considerados três diferentes tipos de manejo: o primeiro, que consistia na irrigação por gotejamento, na calagem a cada dois anos, na adubação química, em roçadas e no uso da palha de café; o segundo, com adubação química, roçadas e capinas; e o terceiro, constituído apenas por capinas e roçadas. Os teores de P e K do solo não sofreram influência do sítio de amostragem, sendo afetados somente pelos tratamentos culturais empregados nas lavouras cafeeiras. Já os teores de Ca e Mg no solo encontraram-se sempre abaixo do considerado adequado para o café conilon, indicando a necessidade da prática de calagem com base na análise de solo. O retorno da palha de café na lavoura sob o primeiro trato contribuiu para o aumento da CTC na camada superficial do solo.

Melloni et al. (2008) avaliaram a qualidade do solo sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais e seus impactos nos atributos químicos, entre outros. Para tanto, utilizou-se como tratamentos a mata nativa, o cultivo de araucária, o povoamento de eucalipto e a pastagem. Os resultados demonstraram que, a exceção do teor carbono da biomassa microbiana, os demais indicadores mostrou-se eficiente na discriminação dos diferentes ecossistemas, recomendando-se, portanto, seu uso em estudos de qualidade do solo. O teor de matéria orgânica apresentou diferença significativa entre os ecossistemas florestais e a pastagem.

## **2.2 Atributos físicos do solo**

Dentre os diversos atributos físicos do solo destacam-se, em importância para o manejo, a textura, a estrutura e a porosidade total. A textura é definida como a distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao tamanho, considerando-se, na avaliação, àquelas inferiores a 2 mm. A estrutura se define como o arranjo das partículas e do espaço poroso entre as mesmas. A porosidade total, por sua vez, refere-se ao volume de solo ocupado por gases e líquidos (REINERT; REICHERT, 2006).

Devido à importância que a textura exerce no manejo do solo, diversos estudos tem sido realizados objetivando a sua determinação. Conhecendo as proporções de areia, silte e argila, levando-se em consideração outros atributos edáficos, poderá indicar-se a adubação mais adequada, destacando-se a possível necessidade de parcelamento de acordo com a classe textural do solo considerado.

Neste contexto, Lima et al. (2009) avaliaram a textura de um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo de pastagem e vegetação nativa no sul do Espírito Santo concluíram que os maiores teores de argila e silte foram observados na formação nativa, o que pode ser explicado pela redução da movimentação destas pelo escoamento superficial.

Na mesma região, Godinho et al. (2009) analisaram a textura de um Argissolo Vermelho sob diferentes coberturas vegetais (eucalipto, mandioca e sorgo) e profundidades, com o intuito de verificar a influência destas no referido atributo físico. Os resultados demonstraram que não houve interação entre a cobertura vegetal e a profundidade na classe textural, evidenciando-se que estes fatores, neste estudo, atuaram de forma isolada. A cobertura vegetal influenciou significativamente os valores das frações granulométricas do solo. Com relação à profundidade, as frações granulométricas avaliadas não apresentaram diferença significativa entre as camadas estudadas, possivelmente explicada pelo revolvimento do solo.

Porém, a avaliação de apenas um atributo físico do solo não é recomendado quando o objetivo do estudo for elaborar propostas para o manejo de uma área, necessitando-se, neste caso, de uma análise mais completa, com a determinação de outras variáveis edáficas.

Em um estudo bastante amplo, no qual avaliaram-se áreas entre os estados da Bahia e São Paulo, Carvalho Junior et al. (2008) analisaram Argissolos da faixa

Atlântica brasileira, agrupados em três domínios geomorfológicos distintos: Planaltos Soerguidos, Planaltos Rebaixados e Tabuleiros Costeiros. Os resultados demonstraram que os Argissolos dos Planaltos Soerguidos são mais rasos e de maior fertilidade natural que os Argissolos dos Tabuleiros Costeiros. Já os Argissolos dos Planaltos Rebaixados, mostram-se menos intemperizados e com maior CTC, devido, sobretudo, estarem localizados em áreas submetidas a um clima mais seco e/ou sazonais em comparação com os outros domínios morfológicos analisados.

Outro atributo físico que merece destaque relacionado ao manejo e conservação do solo é a estrutura. Dois métodos são indicados para avaliar a estabilidade e distribuição do tamanho dos agregados, ambos baseados na separação dos mesmos, sendo um por via seca e outro por via úmida. O primeiro tende a reproduzir a desintegração dos agregados provocada pelo vento em solo seco e o segundo, refere-se à ação provocada pela chuva, através dos cálculos do diâmetro médio geométrico (DMG) e do Diâmetro Médio Ponderado (DMP) (RUIZ, 2004). Estes valores são de fundamental importância na estimativa da propensão do solo à erosão, avaliando-se, com isso, possíveis perdas de partículas minerais, água, matéria orgânica e nutrientes.

Para que um solo apresente boa estruturação, é necessário a presença de fatores que promovam a aproximação das partículas, como a pressão exercida pelas raízes e organismos, e a presença de um agente que promova a manutenção do agregado, como a matéria orgânica. Segundo Campos et al. (1995), em sistemas de manejo que apresentam contínuo aporte de resíduos orgânicos, a estabilidade de agregados tende a apresentar maior valor<sup>1</sup>, justificável pelo aumento das atividades microbianas.

Em virtude da importância que a estrutura exerce na qualidade do solo, diversos pesquisadores tem avaliado este atributo, buscando meios para evitar-se à erosão. Aratani (2008) avaliou diferentes atributos físicos, sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas em Latossolos Vermelhos textura argilosa, dentre os quais, a estabilidade de agregados. Os resultados mostraram que a ação antrópica proporcionou redução dos índices de agregação em todas as camadas avaliadas, comprovando a perda de estabilidade dos agregados devido ao uso agrícola, em relação à mata nativa. A maior agregação no sistema mata nativa é resultante do acúmulo de matéria orgânica ao longo dos anos.

Outro estudo que destaca a relação existente entre a estabilidade do solo e a matéria orgânica foi o realizado por Perusi e Carvalho (2007). O experimento foi realizado no estado de São Paulo, em Argissolos Vermelhos sob diferentes sistemas de manejo. Concluiu-se que, em áreas com maior aporte de material orgânico, o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) foi maior, sendo encontrados valores bastante parecidos entre a vegetação nativa e a pastagem. O valor elevado de DMP na pastagem pode ser atribuído ao sistema radicular das gramíneas, que induzem a agregação. Já o menor valor de DMP verificado na cultura anual pode ser relacionado com a menor estabilidade dos agregados, sobretudo devido, às operações agrícolas de preparo do solo para o plantio.

A utilização de maquinários inadequados, o manejo do solo quando o mesmo apresenta alta umidade e a não utilização de carregadores, entre outros, acarreta, quase sempre, em compactação do solo. Este processo pode ser definido como a redução do espaço poroso resultante de ações antrópicas, sendo avaliada por meio da densidade do solo ( $D_s$ ) e da resistência do solo à penetração (RP). Há um consenso no meio acadêmico que o melhor é evitar práticas que culminem nesta problemática, evitando-se, assim, a necessidade do uso de escarificadores e subsoladores, o que aumentaria os custos de produção das culturas (OLIVEIRA et al., 2013).

Neste contexto, em que grande parte dos solos brasileiros apresenta algum grau de compactação, Reinert et al. (2008) determinaram os limites críticos de  $D_s$  para o crescimento das raízes das plantas de cobertura em Argissolo Vermelho no Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos mostraram que o plantio direto neste tipo de solo elevou a densidade do solo para níveis limitantes ao crescimento radicular. Todas as culturas avaliadas apresentaram, em menor ou maior proporção, dificuldade no desenvolvimento das raízes. Estabeleceu-se os limites de densidade em  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$  para o crescimento normal das plantas de cobertura, entre  $1,75$  e  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$  há ocorrência de deformações na morfologia das raízes em grau médio e acima de  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , essas deformações aumentam, sendo necessária a mobilização do solo.

Em trabalho semelhante, Dedecek e Gava (2005) avaliaram a influência da compactação do solo na produtividade de rebrota de eucalipto, em uma área pertencente a uma empresa do setor florestal no estado de São Paulo. As linhas de eucaliptos foram separadas, segundo a intensidade de movimentação das máquinas

de colheita, em corte, galhada e tráfego. Os resultados obtidos demonstraram que a redução da produtividade do eucalipto chegou até dois terços, comparando-se linhas de tráfego intenso das máquinas e sem tráfego, em consequência da compactação do solo. No solo argiloso, a compactação foi máxima na camada de 10 a 20 cm e no solo arenoso, na camada de 20 a 30 cm. As melhores correlações com o volume de madeira da rebrota foram com Ds, em solo arenoso, e com RP, em solo argiloso, indicando que no primeiro ocorre a perda da estrutura e, no segundo, a formação de camadas compactadas.

Os níveis críticos de RP dependem, sobretudo, das características do solo e da planta. Para *Pinus radiata*, Sands et al. (1979) estabeleceram este limite em 3,0 MPa em solos arenosos. Contudo, os autores destacaram que as medições feitas através de penetrômetros podem estar superestimadas, tendo em vista a expansão radial e o menor diâmetro das raízes. De acordo com Vepraskas e Miner (1986), para a espécie tabaco, valores de resistência à penetração variando de 2,8 a 3,2 Mpa retardam o desenvolvimento das raízes, sendo que a partir de 4,0 Mpa, não ocorre desenvolvimento radicular. Gebauer et al. (2012) propuseram limites críticos para RP, levando-se em consideração as diferentes classes de solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores críticos de RP em diferentes classes texturais do solo (adaptada)

CLASSE TEXTURAL DE SOLO	RP (MPa)
Arenosa	>4,0
Média	3,7-4,0
Siltosa	3,5-3,7
Argilo-siltosa	3,2-3,5
Argilosa	<3,2

Fonte: GEBAUER et al. (2012).

Também vale destacar que práticas inadequadas afetam a porosidade total do solo (PT), que representa a totalidade dos espaços ocupados por vazios, sobretudo devido à destruição dos macroporos (maiores que 0,5 mm de diâmetro). Com isso, o volume da enxurrada tende a ser maior, aumentando o carreamento de partículas e de nutrientes, principalmente, em locais com declividade acentuada.

Com o objetivo de avaliar Ds, PT e RP, Tormena et al. (2002) conduziram um estudo em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo, os quais foram o plantio convencional (PC), o plantio mínimo (PM) e o plantio direto (PD). Os menores valores de RP foram encontrados no PC, possivelmente em decorrência do revolvimento parcial do solo pelo escarificador. A utilização do arado e de escarificadores, nos tratamentos PC e PM, proporcionaram os maiores valores de macroporosidade e PT comparado ao PD, sendo os mesmos atribuídos à persistência dos efeitos da mobilização do solo, principalmente, na camada superficial do solo. Em relação à microporosidade, houve aumento no PD comparado ao PC, o que se deve ao aumento de Ds no PD.

SILVA, REINERT, e REICHERT (2000) analisaram Ds, atributos químicos e sistema radicular do milho afetado pelo pastejo e manejo do solo, em um Argissolo Vermelho Amarelo de textura superficial franca. Os resultados demonstraram que, neste solo, o sistema de manejo apresentou maior influência na compactação do solo do que o pisoteio animal, sendo que esta compactação não limitou o desenvolvimento do milho. Para solo franco, a densidade de raízes de milho é maior na camada de 0 a 10 cm, apresentando correlação positiva com P disponível, Ca trocável, pH e PT, e negativa com Al trocável e Ds.

De modo geral, as condições físicas consideradas ideais ao desenvolvimento das plantas são proporcionadas quando o solo apresenta-se em seu estado natural, sob vegetação nativa. À medida que o mesmo vai sendo submetido ao uso intensivo, os atributos físicos sofrem alterações, limitando o crescimento vegetal (BERTOL et al., 2004).

### **2.3 Cobertura vegetal e proteção do solo**

A cobertura vegetal desempenha funções essenciais na proteção do solo, como o amortecimento do impacto das gotas de chuva, a manutenção da umidade e a estruturação do solo. Assim, em áreas descobertas, as perdas de partículas minerais, de matéria orgânica e de nutrientes tendem a ser maiores, visto que a vegetação atua como um impedimento físico ao escoamento superficial. Neste contexto, estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de subsidiar as decisões dos proprietários rurais no momento da escolha das melhores técnicas de manejo edáfico, limitando, com isso, os prejuízos causados pela erosão (OLIVEIRA, 2006).

Neste contexto, Effgen (2008) conduziu um estudo com o intuito de avaliar os atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo. No que se refere ao relevo, o autor sugere que a área seja dividida em posições topográficas, visto que este fator tem forte relação com os atributos avaliados. Em relação aos tipos de uso, concluiu-se que o solo sob cultivo de eucalipto apresenta maior quantidade de água disponível e maior estabilidade nos atributos físicos se comparado à pastagem, sugerindo a implantação deste povoamento em áreas com forrageiras que encontram-se em algum grau de degradação.

Martins et al. (2010) avaliaram o fator cobertura (fator C) e manejo do solo e suas relações com as perdas de solo e água nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. Foram considerados três tipos de coberturas vegetais: cultivo de eucalipto, Mata Atlântica e solo descoberto, em três solos diferentes, os quais foram Argissolo Amarelo textura média/argilosa, Plintossolo Háplico distrófico e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso. Os resultados demonstraram que as perdas de solo por erosão hídrica para o eucalipto situaram-se abaixo dos limites de tolerância admissíveis para os solos referentes a cada classe, sendo estes valores situando-se próximo aos encontrados na Mata Atlântica.

Em estudo semelhante, Cogo, Levien e Schwarz (2003) analisaram as perdas de solo e água por erosão hídrica e sua interação com métodos de preparo, declividade e níveis de fertilidade em Latossolo Vermelho distroférico textura muito argilosa. O solo utilizado no estudo apresentou índice de erodibilidade muito baixo e, conseqüentemente, alta resistência à erosão hídrica. A melhoria da fertilidade do solo pela calagem e adubação aumentou a produção de fitomassa aérea das culturas em todos os tratamentos estudados, com efeito pronunciado na redução das perdas de solo. Em áreas mais declivosas, a perda de solo foi maior no preparo convencional do que no preparo reduzido e na semeadura direta.

Ainda em relação à erosão hídrica e perdas de solo, Volk, Cogo e Streck (2004) avaliaram as condições físicas de superfície e subsuperfície resultantes do manejo, na ausência de cobertura vegetal em Argissolo Vermelho distrófico. Os resultados demonstraram que a incorporação de resíduos culturais ao solo por um período de 5,5 anos, recuperou satisfatoriamente a estrutura originalmente degradada, reduzindo os efeitos provocados pela erosão hídrica. As condições

físicas de superfície e subsuperfície do solo atuantes nas perdas de solo diferiram daquelas que governam as perdas de água.

Schaefer et al. (2002) avaliaram as perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho Amarelo em Minas Gerais sob chuva simulada. A intensidade da chuva foi de 60 mm L<sup>-1</sup> e foram feitas seis aplicações sucessivas, com intervalo de 12 horas entre as mesmas. As perdas de nutrientes seguiram a ordem Ca>Mg>K>P em todas as coletas, acompanhando a relação dos teores trocáveis do solo. Já as maiores perdas de solo foram verificadas nos tratamentos com menor porcentagem de cobertura vegetal, chegando a 11 ton.ha<sup>-1</sup>, sendo este valor igual a zero quando o solo estava totalmente coberto.

Com o intuito de relacionar o escoamento superficial e a desagregação do solo em entressulcos, Cassol et al. (2004) desenvolveram estudo no Rio Grande do Sul, em solo franco-argilo-arenoso, no qual diferentes quantidades de resíduos vegetais foram adicionados visando avaliar o objetivo proposto. Concluiu-se que a hidráulica do escoamento em entressulcos é afetada pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo, causando redução da velocidade e aumento da resistência e da altura da lâmina do escoamento. O impedimento físico ocasionado pelos resíduos ao escoamento reduziu as taxas de desagregação do solo e este efeito poderia ser ajustado por um modelo simples, utilizando-se a cobertura vegetal como único parâmetro.

Seguindo outra linha de pesquisa, Oliveira et al. (2005b) avaliaram as flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal em um Argissolo mais raso, de textura muito argilosa. Os resultados demonstraram que a cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciam diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo, sendo estas mais perceptíveis em áreas descobertas. As variações de umidade e temperatura foram menores nas camadas mais profundas do solo.

Diversos autores defendem que o solo referência, em relação à mínima alteração dos atributos do solo, é aquele que se mantém sob vegetação nativa. Diante disso, Bochner (2007) analisou os serviços ambientais gerados pela Mata Atlântica na qualidade do solo, comparando-os com àqueles advindos de áreas circunvizinhas sob pastagem e plantio de banana. Na floresta, os valores de DMP, de PT e da taxa de infiltração de água apresentaram-se mais elevados em comparação às demais coberturas analisadas. Além disso, a área florestal



apresentou, ainda, os menores valores de Ds e RP. Todos esses fatores integrados evidenciam que o solo sob vegetação nativa propicia uma maior drenagem de água no perfil do solo, minimizando o escoamento superficial e a erosão hídrica.

Bertol et al. (2007) analisaram os aspectos econômicos relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes manejos (PC - plantio convencional, PM - plantio mínimo e SD - semeadura direta). Concluiu-se que, sob plantio convencional, o solo apresentou, em geral, maiores perdas nutricionais, aumentando os custos de produção das culturas e o risco de contaminação de corpos d'água próximos das lavouras.

No meio acadêmico, há um consenso entre os pesquisadores que o solo deve ser manejado de acordo com suas limitações e potencialidades. No Brasil, a maioria dos solos apresenta algum estágio de degradação, necessitando-se, portanto, de intervenções por meio de práticas conservacionistas, diminuindo, assim, os prejuízos financeiros ocasionados pela adoção de técnicas equivocadas de manejo.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição das áreas de estudo

##### 3.1.1 Histórico de uso e ocupação das áreas de estudo

A área de pastagem era originalmente ocupada pela Mata Atlântica, a qual foi totalmente removida na década de 1970 para desenvolvimento da pecuária e comercialização da madeira extraída do local. O manejo do pasto consiste em roçadas periódicas e o pastejo é rotacionado. A cobertura vegetal é composta pela gramínea pernambuco (*Paspalum maritimum*), de baixo porte, além de algumas plantas espontâneas, em menor quantidade.

O local destinado ao cultivo do café Conilon (*Coffea canephora*) também era ocupado pela Mata Atlântica, que foi totalmente retirada na década de 1970. O manejo da lavoura consiste apenas de uma roçada anual, com posterior aplicação de herbicida, no período que antecede a colheita do grão, sem adubação. No restante do ano, as entrelinhas do cultivo é ocupada por plantas espontâneas, além de resíduos vegetais da cultura. O espaçamento entre as plantas é de 3,0 x 2,0 m, sendo a produtividade de, aproximadamente, 15 sacas beneficiadas/ha.

Já a área ocupada atualmente pelo povoamento de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) era, originalmente, Mata Atlântica, a qual passou pelo processo de desmatamento na década de 1970 para implantação de pastagem. No ano de 2000, implantou-se o povoamento de eucalipto no local. O plantio foi feito em espaçamento 3,0 x 2,5 m, não se efetuando as operações de aração e gradagem. Até os 5 anos de idade, o cultivo foi periodicamente roçado e capinado de acordo com o desenvolvimento das espécies espontâneas. Após esse período, gramíneas mais tolerantes às condições de sombreamento estabeleceram-se na área, a qual passou a ser novamente utilizada como pasto.

A área de Mata Atlântica também passou por modificações, com a retirada de grande parte das árvores de valor comercial nas décadas de 1970 e 1980, sendo, assim, considerada uma formação secundária. Desde então, a área está passando por um processo de regeneração natural, sem qualquer interferência humana. Atualmente, há presença de árvores de maiores dimensões e inúmeras outras de menor porte, além de grande quantidade de lianas. O fragmento é classificado como

Floresta Estacional Semidecidual, ou seja, a fitofisionomia é determinada por duas estações, uma seca e outra chuvosa, que condicionam a sazonalidade foliar (IBGE, 2012).

### 3.1.2 Localização e caracterização edafoclimática das áreas de estudo

As áreas de estudo localizam-se na Fazenda Santa Cecília, de propriedade da Família Zanon, e no sítio do Senhor Lourival Zoppé, em Santa Fé de Baixo, interior de Cachoeiro de Itapemirim, ES. A localização geográfica da fazenda está definida pelas coordenadas 20° 49' 27" S e 41° 13' 07" W, enquanto as do sítio são 20° 49' 49" S e 41° 12' 09" W, com altitudes variando de 80 a 400 m (figura 1). O perfil representativo da região, segundo IBGE (1985), é Argissolo Vermelho Escuro.

O relevo predominante das áreas situa-se no intervalo ondulado-fortemente ondulado, podendo ser considerado montanhoso em alguns pontos específicos (FUNDECC; UFES; UFLA; IJSN; IEMA; SEAMA; GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2010). O clima do local, segundo Köppen, é do tipo Aw, ou seja, tropical com inverno seco e estação chuvosa entre os meses de novembro e abril. A precipitação média anual é de, aproximadamente, 1200 mm, com temperatura média em torno de 24° C (INCAPER, 2012a; INCAPER, 2012b).

A declividade do terreno nos diferentes tipos vegetacionais foi calculada com auxílio do clinômetro, sendo analisados quatro locais diferentes por tratamento, obtendo-se a média aritmética simples dos valores encontrados (Tabela 2).

Tabela 2 - Declividade média do terreno nas diferentes coberturas vegetais

<b>COBERTURA VEGETAL</b>	<b>DECLIVIDADE (%)</b>
Pastagem	40 <sup>(1)</sup>
Café	49
Eucalipto	29
Mata Atlântica	51

<sup>(1)</sup> Médias obtidas a partir de 4 repetições.



Figura 1 - Imagem de satélite da localidade de Santa Fé de Baixo, Cachoeiro de Itapemirim, ES.

Fonte: Google Earth (2013).

### **3.2 Delineamento amostral**

Para realização do estudo, foram utilizados quatro coberturas vegetais (pastagem, café conilon, eucalipto e mata), em duas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm). Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram consideradas parcelas os próprios tratamentos, enquanto as subparcelas eram compostas pelas profundidades.

### **3.3 Coleta e preparo das amostras de solo**

As amostras de solo foram coletadas em junho de 2013 no terço médio do segmento da paisagem, a uma distância média de 10 m umas das outras, formando quatro amostras em grade regular. Assim, a área total amostrada por tratamento foi de, aproximadamente, 100 m<sup>2</sup>. Foram coletadas amostras compostas deformadas para a caracterização textural e química e amostras simples indeformadas para realização das demais avaliações físicas. Após a coleta do solo, as amostras deformadas passaram pelo processo de preparo de terra fina seca ao ar (TFSA),

para então serem utilizadas nas análises laboratoriais. As amostras destinadas à análise estrutural foram destorroadas, secas e peneiradas. Para a referida análise, utilizou-se agregados que passaram pela peneira de 4 mm e ficaram retidos na de 2 mm.

### **3.4 Análises físicas**

#### **3.4.1 Análise granulométrica**

A avaliação textural do solo foi realizada através do Método da análise granulométrica, onde foram quantificadas as partículas menores que 2 mm (RUIZ, 2004). Para tanto, pesou-se 10g de terra fina seca ao ar (TFSA) em balança analítica com aproximação de 0,001 g e adicionou-se 50 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> (dispersante químico) e 150 mL de água destilada, ficando a suspensão em repouso por 6 horas. Após este período, procedeu-se a agitação mecânica por 16 horas a 50 rpm no Agitador de Wagner, modelo TE-160-24, da marca Tecnal. Posteriormente, as amostras foram lavadas em um conjunto de duas peneiras, sendo uma com abertura de malha de 0,210 mm, onde ficaram retidas as partículas de areia grossa (AG), e outra de 0,053 mm, responsável pela retenção da areia fina (AF). As frações retidas em cada peneira foram realocadas em latas de alumínio, com massa pré-determinada com aproximação de 0,001 g. A suspensão que passou por este conjunto foi colocada em uma proveta de 500 mL, completando-se o volume desta com água destilada.

Após agitação com bastão por 20 segundos, foi introduzida a ponta da pipeta (10 cm) na proveta, coletando-se uma alíquota de 25 mL de silte + argila (S+ARG), que foi transferida para um bécker de 50 mL, previamente tarado com aproximação de 0,0001 g. Com auxílio de um termômetro, foi determinada a temperatura da suspensão, calculando-se o tempo de sedimentação do silte através da Lei de Stokes. Decorrido este período, introduziu-se a ponta da pipeta (5 cm) na proveta, coletando-se um volume de 25 mL de argila (ARG), que foi transferido para um bécker de 50 mL, de massa conhecida. Posteriormente, as frações do solo foram colocadas na estufa a 105° C por 48 horas. Após a retirada da estufa, os recipientes foram colocados no dessecador até atingir a temperatura ambiente, para então serem pesados, também com aproximação de 0,0001 g.

Para cálculo do fator  $f$ , foi pesada, em balança analítica com aproximação de 0,0001 g, uma amostra de massa de terra fina seca ao ar ( $M_{TFSA}$ ) de, aproximadamente, 20 g, em recipiente previamente tarado. Na sequência, as latas foram levadas à estufa a 105° C por 24 horas. Decorrido este período, as amostras foram transferidas para o dessecador, onde permaneceram até que atingissem a temperatura ambiente e realizou-se uma nova pesagem, também com aproximação de 0,0001 g, obtendo-se a massa de terra fina seca em estufa ( $M_{TFSE}$ ).

Os solos das coberturas foram classificados de acordo com o valor médio das frações obtidas em cada repetição, utilizando-se os triângulos textural (SBCS) e o proposto pela EMBRAPA.

### **3.4.2 Estabilidade e distribuição do tamanho dos agregados**

A avaliação estrutural do solo foi feita através do Método da separação de agregados por via úmida (RUIZ, 2004). As amostras foram pesadas em triplicata (25 g/amostra), em balança analítica com aproximação de 0,001 g, sendo uma destinada ao cálculo do fator  $f$  e as restantes empregadas na valoração do Diâmetro Médio Geométrico (DMG). Após a pesagem, a amostra para o cálculo de  $f$  foi levada a estufa a 105° C por 24 horas, enquanto as demais foram transferidas para vidros de relógio e umedecidas, permanecendo de repouso por duas horas. Decorrido este período, foi feita a realocação destas em jogos de peneira do aparelho de Yoder, da marca Marconi, regulado com movimento de oscilação vertical de 5 cm de amplitude e 26 oscilações/minuto, procedendo-se a análise durante 15 minutos.

Posteriormente, o conteúdo de cada uma das peneiras (2 mm, 1 mm, 0,5mm e 0,25 mm) foi transferido para latas de alumínio, previamente tarados com aproximação de 0,001 g, com o auxílio de jatos de água, as quais foram levadas à estufa a 105° C por 48 horas. Após a retirada da estufa, os recipientes foram colocados no dessecador até atingir a temperatura ambiente e passaram novamente pela pesagem, também com aproximação de 0,001 g. Com base na massa de agregados de cada classe, calcularam-se as respectivas proporções. A proporção de agregados inferiores a 0,25 mm foi obtida pela diferença entre a totalidade de agregados (100%) e o somatório das proporções das classes 4-2 mm, 2-1 mm, 1-0,5 mm e 0,5-0,25 mm.

Para determinação do fator  $f$ , foi pesada, em balança analítica com aproximação de 0,0001 g, uma amostra de massa de terra fina seca ao ar ( $M_{TFSA}$ )

de, aproximadamente, 25 g. Na sequência, os recipientes foram levados à estufa a 105° C por 24 horas. Decorrido este período, as amostras foram transferidas para o dessecador, onde permaneceram até que atingissem a temperatura ambiente e realizou-se uma nova pesagem, também com aproximação de 0,0001 g, obtendo-se a massa de terra fina seca em estufa ( $M_{TFSE}$ ).

### **3.4.3 Umidade atual do solo**

A umidade atual ( $U_{atual}$ ) foi determinada pela equação do Método termogravimétrico, sendo os valores de massa de solo úmido ( $M_{su}$ ), massa de solo seco ( $M_{ss}$ ) e massa do recipiente ( $M_r$ ) obtidos através do procedimento realizado para o cálculo da densidade do solo (Método do anel volumétrico) (EMBRAPA, 1997). Com isso, foi possível definir os teores de  $U_{atual}$  no momento da determinação da resistência do solo à penetração.

### **3.4.4 Resistência do solo à penetração**

A avaliação da compactação do solo foi feita pelo Método de resistência do solo à penetração, utilizando-se, para tanto, o penetrômetro de impacto (STOLF, 1991). Em cada repetição, foram analisados seis pontos diferentes, obtendo-se a média aritmética simples do número de impactos encontrado no local, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm.

### **3.4.5 Densidade do solo**

As amostras indeformadas empregadas na avaliação da densidade do solo ( $D_s$ ), coletadas com o auxílio do Amostrador de Uhland, foram imediatamente transferidas dos anéis volumétricos para as latas de alumínio, previamente taradas em balança analítica com aproximação de 0,001 g (massa do recipiente- $M_r$ ). Após este processo, as latas foram lacradas com fita isolante e levadas ao laboratório, onde foram pesadas (massa de solo úmido- $M_{su}$ ) e colocadas na estufa a 105° C por 48 horas. Após a retirada da estufa, os recipientes foram colocados no dessecador até atingir a temperatura ambiente. Posteriormente, as amostras foram pesadas novamente, obtendo-se a massa de solo seco ( $M_{ss}$ ). O volume total do solo ( $V_t$ ) foi determinado mediante o dimensionamento do anel, com auxílio do paquímetro (EMBRAPA, 1997).

### 3.4.6 Densidade de partículas

A densidade de partículas ( $D_p$ ) foi calculada através do método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Para isto, a amostra de solo seca, obtida na determinação da  $D_s$ , foi passada no gral de porcelana, para quebra dos agregados maiores, e na peneira de 2 mm. Posteriormente, foram pesadas, em balança analítica com aproximação de 0,001 g, 20g desta amostra ( $M_{TFSE}$ ) para a realização da referida análise. O volume de sólidos ( $V_s$ ) foi obtido pela diferença entre o volume aferido do balão ( $V_{AFERIDO}$ ) e o volume gasto de álcool etílico ( $V_{GASTO}$ ).

### 3.4.7 Porosidade total

Com os dados de  $D_s$  e  $D_p$ , foi determinada a porosidade total do solo (EMBRAPA, 1997). Este valor representa a totalidade do volume ocupado por vazios (água e ar), sem diferenciação quanto ao seu tamanho e geometria.

## 3.5 Análises químicas

Após extração com Mehlich-1, foram determinados o fósforo disponível (coloumetria), além do potássio ( $K^+$ ) e do sódio ( $Na^+$ ) trocáveis (fotometria de chama). Também foram estabelecidas as quantidades de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) trocáveis, extraídos com cloreto de potássio (KCl), na concentração  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , e calculados por espectrofotometria de absorção atômica. Outro procedimento realizado para avaliar os atributos químicos do solo foi a determinação do pH, através de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:água (1:2,5).

Além disso, determinou-se a acidez potencial (H + Al), mediante extração com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0, e determinado por titulação com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador (EMBRAPA, 1997).

As análises químicas citadas anteriormente foram realizadas de acordo com os métodos propostos pela Embrapa (1997). Através das referidas análises, calculou-se os valores de SB, CTC,  $CTC_{EFETIVA}$ , V e m.

## 3.6 Análises estatísticas

Os dados originais foram submetidos à análise de normalidade e à homocedasticidade de variância pelo teste de Lilliefors e Bartlet, respectivamente,



para posterior análise de variância (ANOVA). Os atributos resistência à penetração, pH e teor de P passaram por transformação logarítmica. Já as variáveis teor de alumínio e saturação por alumínio não tiveram normalidade mesmo após transformações, não sendo realizada a análise estatística dessas variáveis. As médias foram comparadas estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG, 2007). Procedeu-se também a Correlação de Pearson dos atributos edáficos avaliados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos químicos do solo

Os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) no solo estão representados na Tabela 3. A quantidade de potássio diferiu em profundidades, o que não ocorreu com os demais atributos químicos citados anteriormente, fato este também verificado por Effgen (2008).

Comparando-se os teores de P em diferentes coberturas vegetais, verifica-se que os maiores ocorreram na mata, em ambas profundidades, possivelmente relacionados com a maior ciclagem biogeoquímica neste ambiente (POGGIANI; SCHUMACHER, 2003).

Os menores teores de K foram encontradas no café e no eucalipto, o que poderia estar relacionado com o material de origem do solo, o qual pode disponibilizar esse nutriente quando micas e feldspatos são abundantes, principalmente, na fração silte. Ainda vale destacar que a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo contribuiu para o aumento de K no café, na mata e no eucalipto, acarretando o maior acúmulo deste nutriente na camada de 0 – 10 cm (SANTOS; TOMM, 2003).

Segundo Werle, Garcia e Rosolem (2008), as perdas de K, geralmente, são maiores em solos que apresentam textura arenosa a média se comparado aos argilosos, devendo-se destacar que o tipo de argila também influencia na maior ou menor retenção de K. Segundo Franchini et al. (2003), a preferência de perdas de K nestas áreas, em relação ao Ca e Mg, deve-se à menor força de adsorção nos sítios de troca do solo, decorrente da menor valência e maior associação com ânions inorgânicos.

Baseando-se nas altas concentrações de Ca, Mg e K observados por Kolm e Poggiani (2003) em serapilheira de *Eucalyptus grandis* e nos baixos valores dos mesmos verificados no povoamento deste estudo, pode-se inferir que, apesar do contínuo aporte de material orgânico, nem sempre verifica-se melhoria nos atributos químicos do solo. Esta não correlação entre os teores apurados no solo e àqueles encontrados na serapilheira pode ser atribuída a menor taxa de decomposição em períodos de clima mais ameno, época em que realizou-se a coleta das amostras de

solo deste estudo, o que contribuiu para a provável maior imobilização desses nutrientes (KOLM; POGGIANI, 2003).

Tabela 3 - Valores médios de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas

PROFUNDIDADE (cm)	COBERTURA VEGETAL			
	PASTAGEM	CAFÉ	EUCALIPTO	MATA
	P (mg dm <sup>-3</sup> )			
0 – 10	3,99 <sup>(1)</sup> Ba <sup>(2)</sup>	5,47 Ba	3,73 Ba	12,51 Aa
10 – 20	4,29 Ba	5,30 Ba	3,74 Ba	13,05 Aa
	K (mg dm <sup>-3</sup> )			
0 – 10	30,00 Ca	156,75 Aa	150,25 Aa	90,00 Ba
10 – 20	39,75 Ca	128,00 Ab	127,25 Ab	67,75 Bb
	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
0 – 10	1,55 Ba	1,96 Aa	0,91 Ca	2,05 Aa
10 – 20	1,43 Ba	2,08 Aa	0,83 Ca	1,88 Aa
	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
0 – 10	0,48 Ca	0,86 Ba	0,82 Ba	1,07 Aa
10 – 20	0,34 Ca	0,78 Ba	0,78 Ba	1,03 Aa
	Al <sup>(3)</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
0 – 10	0,00	0,00	0,08	0,00
10 – 20	0,00	0,00	0,10	0,00

<sup>(1)</sup> Médias obtidas a partir de 4 repetições.

<sup>(2)</sup> Dentro das linhas, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, enquanto dentro das colunas, médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

<sup>(3)</sup> Não foi realizado teste de médias para essa variável.

Em relação ao Mg, os menores teores foram encontradas na pastagem, assim como o verificado para K, o que pode estar relacionado à menor ciclagem e maior exportação pelo pastejo desse nutriente. Além disso, Melloni et al. (2008) destacam ainda que, na camada superficial do solo, a maior exposição do terreno às ações da chuva e do vento, poderiam contribuir para o empobrecimento nutricional dessas áreas. A falta de interação entre os teores de Ca e Mg no solo e a profundidade diverge dos resultados obtidos por Aratani (2008), no qual os teores destes nutrientes diminuiram nas camadas inferiores amostradas em relação à superfície do solo.

A única cobertura vegetal que apresentou teor de Al superior a zero foi o eucalipto, o que se deve ao valor inferior a 5,5 do pH deste solo. A partir deste pH, o Al precipita na forma de hidróxido, sendo, assim, precipitado. O menor teor de Ca no complexo de troca pode ter favorecido os maiores valores de Al verificados nesta cobertura (LAWRENCE et. al., 1995). Vezzani, Tedesco e Barros (2001) também atribuíram a presença de Al ao pH, sabendo-se que, em solos mais ácidos, o teor de Al tende a ser maior.

Os valores de pH em água, SB, CTC, CTC<sub>EFETIVA</sub>, V e m nas quatro coberturas vegetais avaliadas, nas duas profundidades, estão representados na Tabela 4. Considerando-se estes atributos, somente a CTC apresentou diferença estatística entre as profundidades de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm. Esta interação significativa entre CTC e a profundidade de amostragem também foi observada por Aratani (2008).

Os maiores valores de pH's foram verificados no solo sob mata e café, sendo os mesmos próximos a 7,0. Este comportamento pode estar relacionado com a maior concentração de Ca nos solos sob essas coberturas em comparação à pastagem e ao eucalipto. A liberação de Ca decorrente da decomposição de resíduos orgânicos e o material de origem poderiam ter contribuído para o aumento do teor deste cátion na CTC dos solos sob café e vegetação nativa.

Os menores valores de SB, e, conseqüentemente, os de saturação por bases (V), foram encontrados no solo sob eucalipto e na pastagem, o que pode ser atribuído, principalmente, ao menor teor de cálcio nestes solos. Os maiores valores de CTC foram verificados no eucalipto, devido a maior acidez potencial que este solo apresentou em relação aos demais. Melloni et al. (2008) observaram resultado semelhante em estudo realizado em Minas Gerais, no qual observou-se maior CTC

em solos sob eucalipto se comparado aos demais tratamentos avaliados em decorrência do maior teor de H + Al.

Devido ao fato dos solos sob pastagem, café e mata não apresentarem teores significativos de Al, os valores de SB, nestas coberturas, foram equivalentes ao de t. Como m é em função do teor de Al, o único solo que esse atributo químico diferiu de zero foi naquele sob eucalipto, o que possivelmente cooperou para redução de SB nesta cobertura. Porém, os valores de m encontrados provavelmente não limitaram o desenvolvimento do eucalipto, tendo em vista a alta tolerância desta cultura ao Al (SILVA, 2005).

Por meio da decomposição da matéria orgânica, ocorre liberação de ácidos orgânicos e inorgânicos, contribuindo, desse modo, para o aumento da acidez do solo. Esta acidez pode ser atribuída à dissociação dos grupamentos ácidos mais fortes, formando H<sup>+</sup> e ânion, exercendo, assim, papel secundário na diminuição do pH em solos tropicais (OLIVEIRA et al., 2005a). Porém, vale destacar que compostos orgânicos podem exercer papel fundamental na complexação de cátions responsáveis pela acidez, principalmente, o Al<sup>3+</sup>, o que pode ter ocorrido no solo sob mata. Segundo Bloom et al. (1979), a matéria orgânica tem maior afinidade por Al<sup>3+</sup> do que por H<sup>+</sup>, o que pode ter influenciado os baixos teores do mesmo verificados neste estudo.

Tabela 4 - Valores médios de pH, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica potencial (CTC), capacidade de troca catiônica efetiva ( $CTC_{EFETIVA}$ ), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas

PROFUNDIDADE (cm)	COBERTURA VEGETAL			
	PASTAGEM	CAFÉ	EUCALIPTO	MATA
pH em água				
0 – 10	5,7 <sup>(1)</sup> B <sup>(2)</sup>	6,8 A	5,1 C	6,9 A
10 – 20	5,8 B	6,8 A	5,0 C	6,8 A
SB ( $cmol_c dm^{-3}$ )				
0 – 10	2,14 B	3,27 A	2,15 B	3,38 A
10 – 20	1,91 B	3,24 A	1,98 B	3,12 A
CTC ( $cmol_c dm^{-3}$ )				
0 – 10	5,54 Ba	5,23 Ba	6,58 Aa	5,48 Ba
10 – 20	4,99 Cb	5,64 ABCa	6,81 ABa	5,03 BCa
$CTC_{EFETIVA}$ ( $cmol_c dm^{-3}$ )				
0 – 10	2,14 B	3,27 A	2,23 B	3,38 A
10 – 20	1,91 B	3,24 A	2,08 B	3,31 A
V (%)				
0 – 10	38,66 B	61,93 A	32,65 C	62,15 A
10 - 20	38,27 B	57,52 A	31,97 C	61,83 A
m (%)				
0 – 10	0,00	0,00	3,53	0,00
10 - 20	0,00	0,00	3,44	0,00

<sup>(1)</sup> Médias obtidas a partir de 4 repetições.

<sup>(2)</sup> Dentro das linhas, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, enquanto dentro das colunas, médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

#### 4.1.1 Classes de fertilidade dos atributos químicos

A classificação da fertilidade dos atributos químicos do solo avaliados na lavoura de café, na pastagem e no eucalipto está representada na Tabela 5. Para tanto, considerou-se a metodologia proposta por Prezotti e Fullin (2007).

Tabela 5 - Classificação da fertilidade dos atributos químicos do solo textura média sob café Conilon, pastagem, eucalipto e mata, considerando-se os valores médios de cada cobertura vegetal

ATRIBUTO QUÍMICO	COBERTURA VEGETAL			
	PASTAGEM	CAFÉ CONILON	EUCALIPTO	MATA
P	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
K	Baixo	Médio	Médio	Médio
Ca	Baixo	Médio	Baixo	Médio
Mg	Baixo	Médio	Médio	Alto
Al	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Acidez	Média	Fraca	Média	Fraca
SB	Médio	Médio	Médio	Médio
CTC	Médio	Médio	Médio	Médio
CTC <sub>EFETIVA</sub>	Baixo	Médio	Baixo	Médio
V	Baixo	Médio	Baixo	Médio
M	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

##### 4.1.1.1 Pastagem

Para forrageiras menos exigentes nutricionalmente, como o capim-de-pernambuco verificada na pastagem, recomenda-se valor de V em torno de 50% (PREZOTTI et al., 2007). Neste sentido, visando o aumento da oferta de forragem, deve-se realizar calagem na área, elevando-se o valor de V, que atualmente é de cerca de 38%. Ainda de acordo com os autores, considerando-se os teores de P e K verificados na pastagem (baixo e baixo, respectivamente), a recomendação de adubação seria por meio da adição de 40 kg/ha de N, 80 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

Contudo, visando diminuir a exposição do solo às ações da chuva e do vento, recomenda-se substituir a gramínea presente no local por outra de maior porte, refletindo em benefícios tanto na proteção do solo como no aumento da oferta de forragem ao longo do ano.

#### **4.1.1.2 Café Conilon**

Por meio da análise da Tabela 5, pode-se observar que a maioria dos atributos avaliados apresentou índices razoáveis e melhor sustentabilidade em comparação aos demais agrossistemas, visto que a área nunca foi adubada, além do fato de possuir declividade de 49%, o que facilita as perdas de nutrientes pela enxurrada.

Segundo Matiello (1998), a maioria das áreas destinadas à cafeicultura no Espírito Santo possuem solos ácidos, com baixos níveis de Ca, Mg e P. Neste sentido, o solo sob café Conilon do estudo pode ser considerado uma exceção quanto ao pH, visto que os valores deste atributo aproximaram-se de 7,0 (fraca acidez), com maiores valores de Ca e Mg e menores de Al na CTC deste solo. Baldotto et al. (2000), em estudo realizado no sul do Espírito Santo, verificaram que a baixa produtividade das lavouras foram influenciadas, principalmente, pela deficiência de Ca, Mg e K. Porém, Amorim et al. (1968) destacam que a faixa de pH ideal para o crescimento do cafeeiro está entre 4,0 e 6,0.

Segundo Prezotti et al. (2007), o valor ideal de V para a cultura do café deve ser em torno de 60%, valor este observado neste estudo, não se necessitando, portanto, de correção de acidez, sendo a calagem necessária apenas para fornecer Ca e Mg.

Effgen (2006), mesmo em cafezais adubados quimicamente, verificou teores de K no solo inferiores aos observados na lavoura deste estudo, sendo que o manejo desta consistia apenas por capinas e roçadas, o que se mostra bastante satisfatório. Já os valores de Mg e Ca encontrados no solo sob café Conilon pelo referido autor foram semelhantes aos deste estudo, considerando-se que ambas as áreas localizam-se no terço médio, com o manejo constituindo apenas por capinas e roçadas.

Valarini (2005) determinou os teores de macronutrientes removidos da lavoura para produção de uma tonelada de café arábica beneficiado no estado de São Paulo, os quais foram 24,0 kg (N), 1,3 kg (P), 20,0 kg (K), 2,3 kg (Ca), 2,0 kg



(Mg) e 1,6 kg (S), o que reforça a importância de constantes adubações para repor os nutrientes exportados pela colheita e daqueles lixiviados.

Para alcançar produtividade média variando entre 31 e 50 sacas/ha, considerando-se o teor de K já existente no solo, é necessário adicionar 150 kg/ha/ano de  $K_2O$  na área. Para a mesma produtividade, a adubação com P, considerando-se seu baixo teor no local de estudo e, portanto, limitante para a produção cafeeira, seria de 45 kg/ha/ano, enquanto esta quantidade para N seria de 320 kg/ha/ano (PREZOTTI et al., 2007).

Mesmo fazendo-se o manejo adequado do solo, vale destacar que altas produtividades em lavouras de café também estão condicionadas a outros fatores, como clima favorável e utilização de variedades melhoradas geneticamente. Tendo em vista a avançada idade do plantio (35 anos), recomenda-se sua renovação, utilizando-se, para tanto, variedades mais produtivas adaptadas ao local e espaçamento mais reduzido, visando à menor exposição do solo à erosão.

#### **4.1.1.3 Eucalipto**

O solo sob eucalipto apresentou maior acidez (pH~5,0) se comparado às demais coberturas analisadas. Nesta área, a adição de calcário tem a finalidade de aumentar os teores de Ca e Mg, tendo em vista os baixos níveis de  $Al^{3+}$  no solo. O valor de V ideal para o eucalipto varia entre 40 e 50% (BELLOTE, 2003), sendo que, atualmente, este índice está em torno de 32%.

De acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), para o estado de Minas Gerais, os limites críticos de manutenção dos principais nutrientes do solo em povoamentos de eucalipto, objetivando uma produção de  $30m^3/ha/ano$  são:  $5,30\text{ mg dm}^{-3}$  (P),  $60,00\text{ mg dm}^{-3}$  (K),  $0,60\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$  (Ca) e  $0,13\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$  (Mg).

A partir dos dados da análise química do solo, observa-se que o P ultrapassou o limite crítico para solos de textura média (ponderando-se os valores para solos arenosos e argilosos), enquanto os teores de K, Mg e Ca encontram-se acima do limite recomendado. Neste sentido, recomendar-se-ia, considerando-se o teor de argila entre 15 e 35% deste solo, adubação com NPK por meio da adição de 70 kg/ha de  $P_2O_5$  e 60 kg/ha de  $K_2O$ , devendo ser de forma parcelada para evitar perdas. Já os teores de N a serem adicionados dependem do teor de matéria orgânica, oscilando entre 20 e 60 kg/ha (SILVA, 2005).

#### 4.1.1.4 Mata

Analisando as Tabelas 3, 4 e 5, percebe-se que, embora os solos tropicais sejam, em sua maioria, de baixa fertilidade, quando os mesmos são mantidos sob vegetação nativa (floresta), há uma tendência de melhoria nos atributos químicos (P, Ca, Mg, pH, CTC<sub>EFETIVA</sub> e V) em virtude, sobretudo, da maior ciclagem biogeoquímica nestes ambientes.

#### 4.2 Atributos físicos do solo

As proporções de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S) e argila (ARG), nas respectivas coberturas vegetais e profundidades analisadas, estão representados na Tabela 6.

Todas as frações do solo diferiram em profundidade, em conformidade com os resultados obtidos por Effgen (2008). As maiores proporções de AG foram verificadas no solo sob mata e as menores, no solo sob eucalipto, nas duas profundidades avaliadas. A explicação para tal fato poderia estar relacionada às diferentes declividades verificadas entre os terrenos sob as duas coberturas citadas, influenciando, desse modo, o padrão de carreamento das partículas do solo.

Os teores de AF foram menores no solo sob mata e maiores nas demais coberturas. De 10 - 20 cm, houve variação significativa entre todas as coberturas analisadas. Estes dados confirmam a importância de estratificar as profundidades de coleta, visto que estudo realizado por Lima et al. (2009) em Argissolo no sul do Espírito Santo, onde foi feita apenas uma coleta na camada de 0 - 20 cm, não apontou diferença significativa de AF entre as coberturas vegetais consideradas.

A fração S apresentou as menores proporções entre as partículas primárias do solo, considerando-se os quatro tipos vegetacionais analisados, nas duas profundidades, possivelmente explicados pelo material de origem destes solos. Estes dados contradizem com os observados por Lima et al. (2009) para um Argissolo Vermelho Amarelo no sul do Espírito Santo, nos quais observou-se menor proporção de AF em relação às demais partículas do solo.

Na fração ARG, houve diferença significativa entre todas as coberturas vegetais na camada de 0 - 10 cm, indicando que as características da cobertura vegetal da área influenciaram o carreamento desta partícula pela chuva, principalmente em áreas declivosas (SCHICK et al., 2000). Assim como S, o

aumento da profundidade influenciou, significativamente, de forma positiva, somente os teores de ARG no solo sob pastagem. A explicação para tal fato possivelmente estaria relacionada ao menor carreamento destas partículas na camada de 10 - 20 cm, em função da maior proteção à erosão hídrica, que apresenta-se como um fenômeno de superfície (VOLK; COGO; STRECK, 2004). Effgen (2008) também encontrou interação significativa entre os teores destas frações, uso do solo e profundidade.

Comparando-se os solos sob mata e pastagem, percebe-se que os teores de AG foram maiores no primeiro e as quantidades de ARG, maiores no segundo. Estes dados contradizem com os obtidos por Lima et al. (2009), os quais demonstraram que, na área sob vegetação nativa, os valores das frações mais finas (silte e argila) foram superiores aos encontrados na pastagem. Segundo os mesmos autores, em relação à AG, os maiores valores foram verificados na área sob gramíneas comparados à mata, atribuindo-se a este fato a possível migração de ARG em locais com menor proteção vegetal.

Neste estudo, os maiores valores de AG no solo sob mata se comparada a pastagem poderiam estar relacionados ao material de origem.

Godinho et al. (2009) não verificaram interação significativa entre a distribuição das partículas primárias e a profundidade de amostragem, o que, neste caso, os autores atribuíram a possível homogeneização das camadas pelo revolvimento do solo.

Através dos valores apresentados na Tabela 6, os solos foram classificados utilizando-se, para tanto, os triângulos textural (SBCS) e àquele proposto pela EMBRAPA (Tabela 7).

A única diferença na classificação deste atributo físico entre as profundidades avaliadas, foi verificada na pastagem pelo triângulo textural, fato que poderia estar relacionado aos diferentes padrões de carreamento das partículas do solo em decorrência da erosão hídrica em áreas mais expostas (SCHAEFER et al., 2002). Enquanto na camada de 0 - 10 cm o solo foi classificado como franco-arenoso, na de 10 - 20 cm, o mesmo foi considerado como sendo de textura franco-argilo-arenosa.

Tabela 6 - Valores médios das frações areia grossa, areia fina, silte e argila sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas

PROFUNDIDADE (cm)	COBERTURA VEGETAL			
	PASTAGEM	CAFÉ	EUCALIPTO	MATA
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )				
0 – 10	602,27 <sup>(1)</sup> Ba <sup>(2)</sup>	508,19 Ca	439,35 Da	726,89 Aa
10 – 20	520,88 BCb	498,66 BCa	449,00 Ca	740,07 Aa
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )				
0 – 10	169,03 Aa	147,37 Aa	168,01 Ab	97,01 Ba
10 – 20	167,21 Ba	135,22 Ca	198,97 Aa	103,69 Da
Silte (g kg <sup>-1</sup> )				
0 – 10	40,96 Cb	98,27 Aa	91,07 Aa	64,93 Ba
10 – 20	78,54 Aba	91,44 Aba	86,04 Aba	61,60 Ba
Argila (g kg <sup>-1</sup> )				
0 – 10	187,74 Cb	246,17 Ba	301,58 Aa	111,17 Da
10 – 20	233,37 Aa	274,68 Aa	265,99 Aa	94,65 Ba

<sup>(1)</sup> Médias obtidas a partir de 4 repetições.

<sup>(2)</sup> Dentro das linhas, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, enquanto dentro das colunas, médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Tabela 7 - Classificação dos solos utilizando-se os triângulos textural (SBCS) e o proposto pela EMBRAPA, nas quatro coberturas vegetais, nas profundidades analisadas

PROFUNDIDADE (cm)	COBERTURA VEGETAL			
	PASTAGEM	CAFÉ	EUCALIPTO	MATA
	SBCS			
0 – 10	Franco-arenosa	Franco-argilo-arenosa	Franco-argilo-arenosa	Areia-franca
10 – 20	Franco-argilo-arenosa	Franco-argilo-arenosa	Franco-argilo-arenosa	Areia-franca
	EMBRAPA			
0 – 10	Média	Média	Média	Arenosa
10 – 20	Média	Média	Média	Arenosa

Os maiores valores de Diâmetro Médio Geométrico (DMG) ocorreram na mata (Tabela 8), em virtude, principalmente, da menor exposição do solo às ações da chuva e o maior aporte de matéria orgânica que, normalmente, é verificado nesta cobertura vegetal em relação aos agrossistemas (CAMPOS et al., 1995). Contudo vale destacar que não se descontou o teor de areia em cada classe de agregados analisadas neste estudo, o que pode ter superestimado os valores de DMG encontrados.

Já os menores DMG's foram verificados no solo sob café, paralelamente ao maior valor de  $D_s$  ( $1,3 \text{ kg dm}^{-3}$ ), o que pode ser atribuído à maior exposição do terreno nas entrelinhas do cultivo e a alta declividade da área (49%), e no solo sob eucalipto. Neste último, os baixos valores de DMG poderiam estar relacionados com a alta compactação do solo, o que dificulta a infiltração de água no perfil pela redução da macroporosidade, contribuindo, desse modo, para o aumento do escoamento superficial (Lanzanova et al., 2007).

Aratani (2008) observou que áreas sob diferentes agrossistemas apresentaram redução dos índices de agregação em relação à mata nativa, o que comprova a maior susceptibilidade destes aos processos erosivos, aumentando,

assim, os riscos de assoreamento e contaminação de cursos d'água próximos das lavouras.

Também vale ressaltar que a área sob pastagem apresentou valores de DMG intermediários entre os verificados na mata e os encontrados nas demais coberturas, nas duas profundidades, possivelmente explicados pela maior densidade do sistema radicular das gramíneas. De acordo com Castro Filho et al. (1998), as monocotiledôneas apresentam melhorias mais evidentes no grau de estruturação do solo, comparando-as às dicotiledôneas.

A abundância de raízes e sua distribuição fasciculada, sobretudo nas camadas mais superficiais, favorecem a agregação do solo, diminuindo, assim, as perdas de partículas minerais, matéria orgânica, água e nutrientes, principalmente em áreas declivosas (SILVEIRA, 2001). Nesta cobertura, o DMG apresentou diferença significativa entre as duas profundidades analisadas, sendo maior na camada de 10 - 20 cm, possivelmente relacionado ao menor efeito do pisoteio animal nesta profundidade, sobretudo a partir de 12 cm (CONTE et al., 2011a; CONTE et al., 2011b).

Apesar da contribuição que as gramíneas propiciam na estabilidade dos agregados do solo, a adoção de práticas de manejo inadequadas, como o superpastoreio, poderiam neutralizar os efeitos benéficos advindos dessa cultura, principalmente, em períodos com menor oferta de forragem. Tais equívocos poderiam destruir os macroporos, responsáveis pela aeração e infiltração de água no perfil do solo, influenciando, assim, o volume e a velocidade da enxurrada (GONÇALVES, 2007).

Os maiores valores de densidade do solo ( $D_s$ ) foram verificados na lavoura de café e no povoamento de eucalipto e, os menores, ocorreram na área sob mata (Tabela 9). A redução do espaço poroso no café pode estar relacionada ao menor aporte de matéria orgânica no solo e a menor densidade de raízes ativas desta cultura nas profundidades analisadas. No eucalipto, a maior  $D_s$  pode estar relacionada ao pisoteio animal excessivo pelo qual a área foi submetida anteriormente à implantação do povoamento florestal (GUIMARÃES; LOPES, 1986).

Os menores valores de  $D_s$  observadas na camada de 0 - 10 cm no eucalipto e na mata em comparação à profundidade de 10 - 20 cm podem estar relacionados ao maior aporte de matéria orgânica propiciado por essas coberturas na superfície do solo. Baixos valores de  $D_s$  para vegetação nativa em relação a agrossistemas

também foram observados por Jakelaitis et al (2008). Para Argissolos, o limite máximo de Ds é de cerca de  $1,20 \text{ kg dm}^{-3}$ , sendo que, acima desse valor, o desenvolvimento radicular das culturas é limitado (ARCHER; SMITH, 1972). Considerando-se apenas a mata, os baixos valores de Ds encontrados nas duas profundidades analisadas poderiam estar associados ainda à menor interferência antrópica neste ambiente se comparado aos agrossistemas (REINERT et al., 2008).

Tabela 8 - Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo, em mm, sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas

PROFUNDIDADE (cm)	TRATAMENTO			
	PASTAGEM	CAFÉ	EUCALIPTO	MATA
0 – 10	1,08 <sup>(1)</sup> Bb <sup>(2)</sup>	0,74 Ca	0,50 Ca	2,30 Aa
10 – 20	1,56 Ba	0,95 Ca	0,50 Da	2,33 Aa

(1) Médias obtidas a partir de 4 repetições.

(2) Dentro das linhas, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, enquanto dentro das colunas, médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

A densidade de partículas (Dp) não foi influenciada tanto pelos diferentes usos do solo quanto pela profundidade. Tal fato também foi observado por Menezes et al. (2000). Neste sentido, os menores valores de porosidade total (PT) ocorreram em solos com maiores Ds, ou seja, no eucalipto e no café. Neste último, em decorrência da maior exposição do terreno nas entrelinhas do cultivo, pode ter ocorrido a obstrução dos macroporos pela deposição de partículas menores pela ação da chuva, ocasionando o selamento da camada superficial do solo (SCHAEFER et al., 2002; CASTRO; COGO; VOLK, 2006).

Os valores médios de umidade gravimétrica do solo (U) e de resistência do solo à penetração (RP), nas quatro coberturas vegetais analisadas, nas duas profundidades, estão representados na Tabela 10.

Os menores valores de umidade foram observados na mata, o que pode ser atribuído ao maior teor de areia que o solo sob esta cobertura apresentou em relação às demais, refletindo diretamente na menor capacidade de retenção de

água. Além disso, outros fatores, como a maior interceptação da água da chuva pelo dossel e a maior evapotranspiração da vegetação em decorrência do maior índice de área foliar, limitaram o teor de água nos solos (ALMEIDA, SOARES, 2003).

Tabela 9 - Valores médios de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas

PROFUNDIDADE (cm)	COBERTURA VEGETAL			
	PASTAGEM	CAFÉ	EUCALIPTO	MATA
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )				
0 – 10	1.17 <sup>(1)</sup> Ba <sup>(2)</sup>	1.30 Aa	1.27 Ab	0.96 Cb
10 – 20	1.13 Ba	1.33 Aa	1.32 Aa	1.04 Ca
Densidade de partículas (kg dm <sup>-3</sup> )				
0 – 10	2,55 Aa	2,47 Aa	2,37 Aa	2,41 Aa
10-20	2,59 Aa	2,35 Aa	2,49 Aa	2,52 Aa
Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )				
0 – 10	0,54 Ba	0,47 Ca	0,47 Ca	0,60 Aa
10 – 20	0,57 Aa	0,43 Bb	0,47 Ba	0,59 Aa

<sup>(1)</sup> Médias obtidas a partir de 4 repetições.

<sup>(2)</sup> Dentro das linhas, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, enquanto dentro das colunas, médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

De acordo com Almeida e Soares (2003), os valores médios de interceptação de água pluvial em Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) ficaram em torno de 24%, sendo que em povoamentos de eucalipto, esta taxa caiu para 11% do total precipitado. Além disso, constatou-se que a evapotranspiração, em ambiente nativo, foi maior que àquela verificada na espécie exótica.

Arcova, Cicco e Rocha (2003), em estudo realizado em área de Mata Atlântica no estado de São Paulo, determinaram a interceptação da chuva pela vegetação neste ecossistema, estabelecendo-se o valor de 18,6 % do total



precipitado, em média, contribuindo, desta maneira, para redução dos índices de umidade edáfica.

Tabela 10 - Valores médios de umidade gravimétrica do solo<sup>(1)</sup> e de resistência do solo à penetração nas diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas

Profundidade (cm)	COBERTURA VEGETAL			
	Umidade gravimétrica do solo (%)			
	PASTAGEM	CAFÉ	EUCALIPTO	MATA
0 – 10	11,3 <sup>(2)</sup> Ab <sup>(3)</sup>	12,8 Aa	12,0 Aa	8,8 Ba
10 – 20	9,9 Bb	13,2 Aa	9,5 Bb	8,3 Ca
	Resistência do solo à penetração (MPa)			
0 – 10	2,47 BCb	1,66 BCa	5,21 Ab	1,01 Ca
10 – 20	3,59 BCa	1,82 Ca	7,95 ACa	1,18 Ca

<sup>(1)</sup> Umidade gravimétrica do solo no momento do teste de resistência à penetração.

<sup>(2)</sup> Médias obtidas a partir de 4 repetições.

<sup>(3)</sup> Dentro das linhas, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, enquanto dentro das colunas, médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Albuquerque, Sangoi e Ender (2001) também encontraram menores valores de umidade em solos sob mata nativa em comparação com o preparo convencional e o plantio direto, possivelmente explicados pela maior drenagem profunda do solo e, principalmente, pela maior evapotranspiração da vegetação desse ecossistema.

Estes diferentes teores de umidade em função da cobertura vegetal não foram verificados por Volk, Cogo e Streck (2004), o que, neste caso, pode estar relacionado à maior similaridade entre as culturas analisadas no estudo.

Analisando os dados de RP nos solos sob as diferentes coberturas vegetais, percebe-se que a umidade não influenciou, de maneira significativa, os valores deste atributo físico, visto que a menor RP foi verificada na mata, área na qual observou-se os menores índices de umidade do solo. A baixa RP na vegetação nativa pode estar relacionada ao alto teor de areia verificado no solo sob esta cobertura. Em relação à RP, os maiores valores foram observados no solo sob eucalipto, o que

pode comprometer o desenvolvimento da cultura, principalmente, na camada de 10 - 20 cm, conforme reportado por Gebauer et al. (2012). Os mesmos poderiam ser explicados pelo maior teor de argila que este solo apresentou em relação aos outros tratamentos. Neste sentido, a maior capacidade de armazenamento de água nos microporos e a maior porosidade natural que, normalmente, são verificados em solos mais argilosos, poderiam ter favorecido o processo de compactação em função de práticas inadequadas de manejo (SILVA, 2000).

Em função de o pastejo ser rotacionado na área sob pastagem e a maior proporção de areia deste solo, não se verificou o ocorrido no eucalipto, demonstrando que, através do uso racional do solo, pode-se reduzir o efeito da pressão exercida pela pata do animal (SUZUKI et al., 2007).

Também vale destacar que os valores de RP foram menores nos solos sob café e mata, sobretudo em função desses locais nunca terem sido utilizadas como pastagem. Estes dados confirmam que, uma das principais causas de compactação dos solos no Brasil é, sem dúvida, o pisoteio bovino, sendo seus efeitos potencializados quando elevadas quantidades de animais são realocadas em áreas impróprias ao tamanho do rebanho (TORRES et al., 2012).

### 4.3 Correlações de Pearson entre os atributos do solo

Com o intuito de verificar a relação entre os atributos do solo, foi realizada a matriz de correlação (Tabela 11), utilizando-se a correlação de Pearson. Nesta correlação, considerou-se os atributos areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S), argila (ARG), diâmetro médio geométrico (DMG), resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo ( $D_s$ ), densidade de partículas ( $D_p$ ), porosidade total (PT), potencial hidrogeniônico (pH), hidrogênio + alumínio (H + Al), fósforo (P), potássio (K), soma de bases (SB), saturação por bases (V), capacidade de troca catiônica potencial (CTC) e capacidade de troca catiônica efetiva ( $CTC_{EFETIVA}$ ).

Para coeficientes maiores que zero, as correlações foram classificadas como positivas e, para àqueles menores que zero, a interação foi considerada negativa. Os termos empregados na avaliação qualitativa dos valores obtidos foram propostos por Callegari-Jacques (2003).

Existem várias classificações qualitativas para o coeficiente de Pearson, sendo a proposta por Callegari-Jacques (2003) bastante aceita. Segundo esta classificação, o coeficiente de correlação pode ser avaliado como:  $0,00 < r < 0,30$ , fraca correlação linear;  $0,30 \leq r < 0,60$ , moderada correlação linear;  $0,60 \leq r < 0,90$ , correlação linear forte;  $0,90 \leq r < 1,00$ , correlação linear muito forte.

Tabela 11 - Matriz dos coeficientes de correlação simples envolvendo os resultados das caracterizações físicas e químicas do solo<sup>(1)</sup>

Atributos	AG	AF	S	ARG	DMG	RP	Ds	Dp	PT	pH	H + Al	P	K	SB	V	CTC	CTC <sub>EFTIVA</sub>
AG	1,00																
AF	-0,76**	1,00															
S	-0,63**	0,23	1,00														
ARG	-0,97**	0,63**	0,54**	1,00													
DMG	0,88**	-0,75**	-0,45*	-0,85**	1,00												
RP	-0,67**	0,78**	0,27	0,57**	-0,63**	1,00											
Ds	-0,74**	0,56**	0,40*	0,74**	-0,80**	0,45**	1,00										
Dp	0,07	0,26	-0,17	-0,16	0,17	0,00	0,06	1,00									
PT	0,69**	-0,40**	-0,42*	-0,73**	0,78**	-0,40**	-0,93**	0,43*	1,00								
pH	0,55**	-0,80**	-0,04	-0,46**	0,56**	-0,85**	-0,32	-0,14	0,24	1,00							
H + Al	-0,58**	0,76**	0,14	0,49**	-0,60**	0,81**	0,31	-0,04	-0,29	-0,93**	1,00						
P	0,63**	-0,54**	-0,17	-0,65**	0,63**	-0,47**	-0,46**	0,06	0,24*	0,47**	-0,48**	1,00					
K	-0,52**	0,09	0,63**	0,55**	-0,53**	0,27	0,57**	-0,44*	-0,67**	-0,01	0,07	-0,14	1,00				
SB	0,43*	-0,73**	0,11	-0,35*	0,37*	-0,69**	-0,27	-0,33	0,12	0,84**	-0,74**	0,50**	0,28	1,00			
V	0,54**	-0,81**	-0,02	-0,45*	0,51**	-0,79**	-0,29	-0,16	0,20	0,94**	-0,94**	0,52**	0,14	0,91**	1,00		
CTC	-0,44*	0,40*	0,32	0,38*	-0,52**	0,51**	0,19	-0,38*	-0,32	-0,54**	0,74**	-0,22	0,39*	-0,10	-0,49**	1,00	
CTC <sub>EFTIVA</sub>	0,41*	-0,72**	0,14	-0,34	0,35*	-0,66**	-0,26	-0,36*	0,10	0,81**	-0,71**	0,49**	0,32	0,99**	0,90**	-0,06	1,00

<sup>(1)</sup> Os atributos químicos cálcio, magnésio e sódio não foram demonstrados na matriz por correlacionarem-se significativamente com a soma de bases, sendo apenas esta última representada na tabela.

<sup>(2)</sup> \* Valores significativos a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). \*\* Valores significativos a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

Por meio da análise da tabela 11, verificaram-se correlações significativas entre alguns atributos do solo. Pode-se observar correlação negativa muito forte entre AG e ARG, visto que áreas que apresentam alta proporção de ARG tendem a possuir menores teores de AG. Em geral, materiais de origem do solo originados de basalto possuem mais ARG e os resultantes de material sedimentar, apresentam, normalmente, maior quantidade de AG (BOTELHO, 2005) e granitos e gnaisse, materiais de origem predominantes da região de estudo, pode contribuir com maior presença de quartzo na fração areia.

Solos mais argilosos apresentam menor infiltração da água das chuvas, que pode ser agravada quando ocorre entupimento dos poros em função da migração de argila no perfil do solo. Vale ressaltar ainda que a estrutura do solo também exerce influência nas taxas de infiltração e de escoamento superficial, em virtude dos diferentes arranjos das partículas.

Reichert, Veiga e Cabeda (1992) encontraram correlação negativa entre o teor de areia e o início do tempo de escoamento superficial, o que contribui para o retardamento e a diminuição das perdas de solo em função da intensidade e duração da chuva, contribuindo para menor erosão.

Guerra e Cunha (1995) afirmaram que a erosão em um solo tende a ser maior, principalmente, quando a proporção de silte (S) aumenta. Esta interação negativa entre S e DMG também foi verificada neste estudo, embora as correlações mais significativas deste último fossem com os teores de AF e ARG, demonstrando que, neste caso, S não teve a maior influência no aumento dos processos erosivos.

Ainda em relação ao DMG, observou-se forte correlação negativa com Ds (Tabela 11), indicando, com isto, que a diminuição do espaço poroso está intimamente relacionada com o aumento da propensão do solo aos processos erosivos, além de prejudicar o desenvolvimento das culturas (REINERT et al., 2008). Bergamin et al. (2010) observaram correlação inversa entre o crescimento radicular do milho e Ds.

A forte correlação negativa entre o DMG e ARG pode ser atribuída ao fato de que, os solos que apresentaram menor estabilidade de agregados (sob eucalipto e café), foram àqueles onde verificaram-se os maiores teores de ARG. Esta situação pode ser atribuída ao manejo inadequado das áreas, visto que solos mais argilosos, quando manejados fora da faixa de friabilidade, podem sofrer maior compactação se

comparado a solos mais arenosos, o que reflete diretamente no menor valor de DMG.

Por outro lado, observou-se forte correlação positiva entre DMG e AG (Tabela 11), o que ser explicado pela não realização do desconto da fração areia em cada classe de agregados. Neste sentido, o solo sob mata, o qual apresentou maior teor de AG, foi àquele em que verificou-se o maior DMG, sendo que o valor deste último, provavelmente, estava superestimado.

Houve correlação negativa entre PT e Ds (Tabela 11), sendo esta considerada muito forte, o que pode ser atribuído a proximidade dos valores de Dp encontrados nas diferentes coberturas, sendo, portanto, as diferenças em Ds responsáveis pelos diferentes valores de PT. Bochner (2007), considerando áreas agrícolas, florestais e de pastagem, verificou esta relação inversa entre Ds e PT, porém, moderada. Também vale destacar que, quando um solo apresenta condições propícias ao pleno crescimento das raízes, as perdas de partículas minerais, matéria orgânica e nutrientes tendem a ser menores, em decorrência da liberação de exsudatos orgânicos que auxiliam na agregação do solo (CASTRO FILHO et al., 1998).

As frações do solo, a exceção de AG, apresentaram correlação positiva com RP, sendo esta interação forte com AF e moderada com ARG (Tabela 11). Nesta última, as taxas de compactação decorrentes do pisoteio animal e o tráfego de máquinas, entre outras causas antrópicas, tendem a ser maiores à medida que o teor de ARG aumenta, quando o solo é manejado fora de sua faixa de friabilidade (Secco et al., 2004).

Os solos tropicais, em geral, apresentam deficiência de P, o que pode ser atribuído ao alto grau de intemperismo e a forte adsorção aniônica deste nutriente com o solo, principalmente, em locais com pH mais baixo. Todas as frações granulométricas, a exceção de AG (correlação positiva e forte), correlacionaram-se negativamente com este nutriente, sendo esta interação forte com a argila (ARG) (Tabela 11), indicando que em solos mais arenosos o P torna-se mais disponível. Schaefer et al. (2002) também encontraram correlações negativas entre ARG e P, sendo que esta variou de moderada a forte.

Segundo Cross e Schlesinger (1995), esta divergência entre o teor de P e as partículas primárias poderia ser explicada pelo grau de labilidade deste nutriente no solo. Em solos arenosos ou com maior teor de AG, o P tende a concentrar-se na

solução e/ou fracamente adsorvido (forma lábil). Já em relação a ARG, em decorrência da maior força de adsorção exercidas por estas partículas, o P encontra-se parcialmente na forma não-lábil.

K apresentou correlação positiva com as frações AF (fraca), ARG (moderada) e silte (S) (forte). Esta forte interação entre K e S poderia estar relacionada à composição mineralógica desta partícula. Os principais minerais primários constituintes desta fração são quartzo, feldspato, piroxênio e anfibólio e mica, sendo esta última representada pela muscovita e pela biotita, ambas consideradas fontes de K. Porém, vale ressaltar que a liberação deste nutriente através do intemperismo se dá de forma lenta, necessitando-se de complementação de K por meio de adubos (SANTOS, 2007). Quando presente na fração silte, a liberação de K pode ser suficiente para nutrição de plantas perenes. Isso pode ser constatado no presente trabalho, visto que o café não adubado apresenta nível de fertilidade médio para a referida cultura.

SB apresentou interação forte e positiva com o pH do solo (Tabela 11), o que pode ser atribuído a substituição do hidrogênio e do alumínio, responsáveis pela acidez do solo, por bases trocáveis, conferindo ao solo, um caráter mais básico. Esta correlação positiva entre SB e pH também foi observada por Melloni et al. (2008).

Ainda correlacionando-se com o pH do solo, têm-se a CTC (negativa e moderada) e V, de forma positiva e muito forte (Tabela 11). Portanto, pode-se inferir que, aumentando-se o pH, há uma queda nos valores de hidrogênio e de alumínio, com reflexo imediato na CTC. Assim, a correlação entre V e o pH do solo foi ainda maior que àquela verificada entre pH e SB, atingindo o valor de 0,94. Carvalho Júnior et al. (2008) também observaram este tipo de correlação entre a variação do pH e CTC (moderada e negativa), mas não encontraram significância entre a variação do pH e V.

A exceção dos teores de Al e K e da CTC, os demais atributos químicos avaliados do solo apresentaram correlação negativa com as frações ARG (fraca a forte) e AF (moderada a forte) (Tabela 11). Para AF, quando se avaliou sua interação com V, o coeficiente foi de -0,81 (forte), o que pode estar relacionado com a baixa capacidade de retenção destas partículas (REICHERT; REINERT, 2007).

Com relação a CTC, a exceção de AG (correlação negativa e moderada), as demais frações do solo correlacionaram-se de forma positiva e moderada com o

referido atributo químico (Tabela 11). Carvalho Júnior et al. (2008) obtiveram correlação positiva entre ARG e CTC, porém, fraca. A diferenciação entre as correlações observadas (CTC e AG; CTC e ARG) já era esperada, visto que solos argilosos tendem a apresentar maior CTC, em virtude do maior poder de retenção quando comparado a outros que possuem elevados teores de areia. Em solos arenosos, a maior parte da T está associada à matéria orgânica que, geralmente, também apresentam índices irrisórios (REICHERT; REINERT, 2007). Kiehl (1985) determinou as porcentagens de contribuição da matéria orgânica no índice T, sendo essas oscilando entre 50 a 60 % em solos arenosos e entre 30 a 40 % em solos argilosos.

A maior correlação significativa encontrada entre todas as avaliações efetuadas foi entre SB e a capacidade de troca catiônica efetiva (t) (Figura 9), sendo esta positiva e muito forte. Este valor pode ser atribuído à ausência de alumínio na maioria dos tratamentos avaliados e assim, nestes solos, SB foi equivalente a t. Para Carvalho Júnior et al. (2008), esta correlação foi considerada positiva e forte, possivelmente explicada pelos altos teores de  $Al^{3+}$  em Argissolos de tabuleiros costeiros.



## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através das análises física e química do solo sob diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades analisadas, permitem concluir que:

1 - Os atributos físicos do solo foram influenciados pelas diferentes coberturas vegetais e pelas profundidades de amostragem, a exceção de  $D_p$ , que não apresentou variação significativa com os dois fatores avaliados.

2 - Os atributos químicos foram influenciados somente pelas diferentes coberturas vegetais, não apresentando diferença significativa no fator profundidade, a exceção do teor de K e de T, os quais se verificou interação com os dois fatores considerados.

3 - A correlação significativa entre os atributos físicos e químicos indicam que o manejo adequado de uma área deve ser realizado avaliando-se o conjunto de atributos do solo para melhor direcionamento de práticas conservacionistas.

## 6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 717-723, 2001.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 711-721, 2000.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, 2003.

AMORIM, H.V. de; SCOTON, L.C.; HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XX. Efeito da variação de pH no desenvolvimento e composição química do cafeeiro (*Coffea arabica*, var. *Mundo Novo*) cultivado em solução nutritiva. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 25, 1968.

ARATANI, R.G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Agronomia, área Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

ARCHER, J.R.; SMITH, P.D. The relation between bulk density available water capacity, and air capacity of soils. **Journal of Soil Science**, London, n. 4, p. 475-480, 1972.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. de; ROCHA, P.A.B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por Floresta Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 257-262, 2003.

BALDOTTO, M. A.; BRAUN, L. V.; PARTELLI, F. L.; AMARAL, J. A. T.; CATEN, A.; AMARAL, J. F. T. Avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon (*Coffea*

canephora Pierre) pelo método DRIS em Alegre-ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26, 2000, Marília. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 2000. p.226-227.

BELLOTE, A.F.J. **Cultivo do eucalipto**: nutrição, adubação e calagem. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. Disponível em:<[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/05\\_05\\_recomendacao\\_de\\_calagem.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/05_05_recomendacao_de_calagem.htm)>. Acesso em 15 ago. 2013.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A. de; SOUZA, F.R. de. Compactação em um latossolo vermelho ditroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681-691, 2010.

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

BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.; AMARAL, A.J. Aspectos relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 133-142, 2007.

BOCHNER, J. K. **Serviços ambientais gerados pela floresta de Mata Atlântica na qualidade do solo**. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

BOTELHO, M.R. **Avaliação da cor e comportamento espectral de algumas classes de solos do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

BRAGANÇA, S.M.; SILVA, E.B.; MARTINS, A.G.; SANTOS, L.P.; LANI, J.A.; VOLPI, P.S. Resposta do cafeeiro à adubação de NPK em sistema de plantio adensado. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, p. 67-75, 2009.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255p.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARVALHO JUNIOR, W. de; SCHAEFER, C.E.G.R.; CHAGAS, C. da S.; FERNANDES FILHO, E. I. Análise multivariada de argissolos da faixa atlântica brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2081-2090, 2008.

CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 685-690, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527- 538, 1998.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 743-753, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. Núcleo Regional Sul, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: NRS-RS/SC – SBCS, 2004.

CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F.; LEVIEN, R.; WESP, C. de L. Evolução de atributos físicos de solo

em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1301-1309, 2011a.

CONTE, O.; WESP, C. de L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, C. de F.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 579-587, 2011b.

CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 64, p. 197-214, 1995.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 3, p. 383-390, 2005.

DILL, P.R.J. **Gestão ambiental em bacias hidrográficas**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

EFFGEN, E. M. **Avaliação de atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal, área de concentração em recursos florestais) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

EFFGEN, T.A.M. **Atributos do solo em função de tratamentos culturais em lavouras de café no sul do estado do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

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

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMAS, S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; De MUNER, L. H.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; MARQUES, E. M. G.; ZUCATELI, F. **Café conilon**: técnicas de produção com variedades melhoradas. Vitória: INCAPER, 2004. 60p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 515-524, 1999.

FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JÚNIOR, J.A. da. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)\*. **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, 2009.

FLAUZINO, B.K. **Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós- Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 2045-2058, 2003.

FUNDECC; UFES; UFLA; IJSN; IEMA; SEAMA; GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Espírito Santo**: Diagnóstico geo-biofísico e Carta temática de Vulnerabilidade Natural Convênio n.º 013/2008. Espírito Santo, 2010.

GEBAUER, R.; NERUDA, J.; ULRICH, R.; MARTINKOVÁ, M. **Soil Compaction – Impact of Harvesters' and Forwarders' Passages on Plant Growth**. Brno: Mendel University in Brno, Czech Republic, 2012.

GODINHO, T.O.; GRUGIKI, M.; VIEIRA, M. V. M.; SANTOS, C.L.; PASSOS, R.R.; RANGEL, O.J.P. Análise granulométrica de um argissolo vermelho sob três diferentes coberturas vegetais. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 13, 2009, São José dos Campos. **Trabalhos apresentados...** Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/0954\\_0531\\_02.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0954_0531_02.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2013.

GONÇALVES, E.N. **Comportamento ingestivo de bovinos e ovinos em pastagem natural da Depressão Central do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Zootecnia, área de Plantas Forrageiras) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 1, p. 1-57

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia - uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1995, p. 149-209.

GUIMARÃES, P. T. G.; LOPES, A. S. Solos para o cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: RENA, A. B. et al. (Ed). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e o Fósforo, 1986. p. 115-161.

INPE; SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2011 – 2012**: Relatório técnico. São Paulo, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2006. 196p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012. 275p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE/EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Mapa Exploratório dos Solos do Estado Espírito Santo**. RADAMBRASIL, 1985. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br.htm>>. Acesso em 15 jul. de 2010.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Caracterização climática dos municípios**. Disponível em: <[http://www.hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/caracterizacao/cach\\_itap\\_cara\\_c.php](http://www.hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/caracterizacao/cach_itap_cara_c.php)>. Acesso em: 21 mar. 2013a.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Sistemas de informações meteorológicas**. Disponível em: <[http://www.hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=temp\\_media2012](http://www.hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=temp_media2012)>. Acesso em: 21 mar. 2013b.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. da; SANTOS, J.B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 118-127, 2008.

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

KOLM, L; POGGIANI. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 79-93, 2003.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. da 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.



LAWRENCE, G.B.; DAVID, M.B.; SHORTLE, W.C. A new mechanism for calcium loss in forest floor soils. **Nature**, v. 378, p. 162-164, 1995.

LEMOS, R. C. de.; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3ª Ed., p. 83, Campinas-SP, 1996.

LIMA, J. S. de S.; SATTTLER, M. A.; PASSOS, R.R.; OLIVEIRA, P.C.; SOUZA, G. S. de. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n. 2, 2009a.

LIMA, J. S. de S.; SATTTLER, M. A.; XAVIER, A.C.; OLIVEIRA, R.B. de; PASSOS, R.R.; OLIVEIRA, P.C. Variabilidade espacial da textura de um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo de pastagem e vegetação nativa. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 9, p. 2634-2637, 2009b.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007.

LUZ, P.H.C. & HERLING, V.R. Impactos do pastejo sobre as propriedades físicas do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2, Viçosa, MG, 2004. **Anais...** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.209-250.

MACHADO, P.L.O. de. Manejo da matéria orgânica de solos tropicais: abrangência e limitações. In: CRASWELL, E.T.; LEFROY, R.D.B. **A função da matéria orgânica nos solos tropicais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2001. p. 3-4.

MARTINS, S.G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, p. 517-526, 2010.

MATIELLO, J. B. **Café Conilon. Como plantar, tratar, colher, preparar e vender.** Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFE/PNFC, 1998. 162p.

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

MENEZES, C.E.G.; ANJOS, L.H.C. dos; PEREIRA, M.G.; SOUZA, J.M.P.F. de; TOLEDO, L. de O. Influência da topografia e cobertura vegetal em propriedades edáficas no ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Agronomia**, v. 34, p. 70-77, 2000.

MORENO, M.R.; NASCIMENTO, M. T.; KURTZ, B.C. Estrutura e composição florística do estrato arbóreo em duas zonas altitudinais na mata atlântica de encosta da região do Imbé, RJ. **Acta Botânica Brasílica**, v. 17, n. 3, p. 371-386, 2003.

OLIVEIRA, A. M. **Valoração Econômica dos Danos Ambientais Causados pela Erosão do Solo Agrícola: um estudo de caso no município de Santo Antônio do Jardim/SP.** Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

OLIVEIRA, I.P. de; COSTA, K.A. de P.; SANTOS, K.J.G. dos; MOREIRA, F.P. Considerações sobre a acidez dos solos do Cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, São Luís de Montes Belos, v. 1, p. 01-12, 2005a.

OLIVEIRA, M.L.de; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M. da; SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, 2005b.

OLIVEIRA, P.R.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P. da C.; ROSSETI, K. de V.; FERRAUDO, A.S.; FRANCO, H.B.J.; PEREIRA, F. de S.; BÁRBARO JÚNIOR, L.S. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 604-612, 2013.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, 2008.

PERUSI, M.C.; CARVALHO, W.A. Avaliação da estabilidade de agregados de argissolos em diferentes sistemas de uso e manejo no município de Anhumas-SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, p. 94-111, 2007.

PIRES, L.S.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; BRITO, L. de F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 687-695, 2006.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações de Eucalyptus e Pinus**: implicações silviculturais. Tese (Livre - Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p.

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

REICHERT, J.M. Fundamentos da Ciência do Solo. In:\_\_\_\_\_. **Pedogênese**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. p. 90-115.

REICHERT, J.M. Fundamentos da Ciência do Solo. In: REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. **Propriedades químicas do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. p. 116-142.

REICHERT, J.M. Fundamentos da Ciência do Solo. In: SANTOS, D. R. dos.

**Composição do solo.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. p. 48-70.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. da; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 289-298, 1992.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo.** Santa Maria, 2006. Disponível em: <[http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/fundamentos\\_da\\_ciencia\\_do\\_solo/propriedades\\_fisicas\\_do\\_solo\\_i\\_semestre\\_2006.pdf](http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/fundamentos_da_ciencia_do_solo/propriedades_fisicas_do_solo_i_semestre_2006.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2013.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RONQUIM, C.C. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. In:\_\_\_\_\_. **Capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%).** Campinas: Embrapa monitoramento por satélite, 2010. p. 10-12.

RUIZ, H.A. **Métodos de análises físicas do solo.** Viçosa: Departamento de Solos - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SANDS, R.; GREACEN, E.L.; GERARD, C.J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests: I. A penetrometer study. **Australian Journal Soil Research**, v. 17, p. 101-113, 1979.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 3, p. 477-486, 2003.

SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKY, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em argissolo vermelho-amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 669-678, 2002.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A.A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.437-447, 2000.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 797-804, 2004.

SILVA, M.A.S. da; GRIEBELER, N.P.; BORGES, L.C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVA, P.H.M. da. **Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies nativas**. Piracicaba: IPEF, 2005. Disponível em:<<http://www.ipef.br/silvicultura/adubacao.asp>>. Acesso em 15 ago. 2013.

SILVA, R.C.; PEREIRA, J.M.; ARAÚJO, Q.R.; PIRES, A.J.V.; DEL REI, A. J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, 2007.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 191-199, 2000.

SILVEIRA, H. **Modificações na estrutura e no comportamento hidrofísico de latossolos provocados pelo uso e manejo no município de Cidade Gaúcha-Paraná.** Tese (Doutorado em Ciência e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

SISTEMA PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS E GENÉTICAS - SAEG, **Versão 9.1:** Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SOARES, J.L.N.; ESPÍNDOLA, C.R.; CASTRO, S. S. de. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 1005-1014, 2005.

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

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

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1159-1167, 2007.

TAIZ, E.; ZEIGER, L. **Fisiologia vegetal.** 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A.C. da C.; GONÇALVES, C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 795-801, 2002.

TORRES, J.L.R.; RODRIGUES JUNIOR, D.J.; SENE, G.A.; JAIME, D.G.;

VIEIRA, D.M. da S. Resistência à penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 232-239, 2012.

VALARINI, V. **Demanda de macronutrientes pelas folhas e frutos em cultivares de café arábica de porte baixo**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Programa de Pós-Graduação, Instituto Agrônomo, Campinas, 2005.

VEPRASKAS, M.J., MINER, G.S. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 50, p. 423-427, 1986.

VEZZANI, F.M.; TEDESCO, M.J.; BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 225-231, 2001.

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

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2297-2305, 2008.