



LAUANA LOPES DOS SANTOS

**CARBONO ORGÂNICO DO SOLO: EFEITO DA
POSIÇÃO NA PAISAGEM E DO
REFLORESTAMENTO EM SUCESSÃO AO
CAFEEIRO NO OESTE DE MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2012

LAUANA LOPES DOS SANTOS

**CARBONO ORGÂNICO DO SOLO: EFEITO DA POSIÇÃO NA
PAISAGEM E DO REFLORESTAMENTO EM SUCESSÃO AO CAFEIEIRO
NO OESTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Yuri Lopes Zinn

LAVRAS – MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Santos, Lauana Lopes dos.

Carbono orgânico do solo : efeito da posição na paisagem e
reflorestamento em sucessão ao cafeeiro no oeste de Minas Gerais /
Lauana Lopes dos Santos. – Lavras : UFLA, 2012.

116 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Yuri Lopes Zinn.

Bibliografia.

1. Matéria orgânica do solo. 2. Cedro australiano. 3. Uso da
terra. 4. Fertilidade do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD – 631.422

LAUANA LOPES DOS SANTOS

**CARBONO ORGÂNICO DO SOLO: EFEITO DA POSIÇÃO NA
PAISAGEM E DO REFLORESTAMENTO EM SUCESSÃO AO CAFEIEIRO
NO OESTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de julho de 2012.

Dr. Mozart Martins Ferreira UFLA

Dr. Francisco Dias Nogueira EPAMIG

Dr. Yuri Lopes Zinn

Orientador

LAVRAS – MG

2012

A Deus, que é meu refúgio e minha paz,
Ao meu irmão Josélio (*In memoriam*),
exemplo de amizade e dignidade,

OFEREÇO

Ao meu pai Zeila e minha mãe Zelina, pela confiança e incentivo.
Aos meus irmãos Gilson, Solange, Zilton, Zilma e Anaene, e meus
sobrinhos Bergson, Emanuelle, Luydianne e Ennily pelo amor e
apoio nas diversas etapas desta caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) - Projeto 01352-09, pela bolsa de apoio técnico de Alessandro V. Pedroso, e apoiou financeiro.

Aos proprietários da fazenda Bela Vista Florestal, em Campo Belo (MG), pela disponibilidade da área experimental e apoio oferecido por ocasião da coleta do solo.

Ao professor Yuri Lopes Zinn, pela orientação, paciência, incentivo, confiança e ensinamento.

Ao professor Antônio Eduardo Furtini Neto pelos conselhos, amizade e apoio na vida profissional e pessoal.

Ao professor Mozart Martins Ferreira e Dr. Francisco Dias Nogueira, pela participação na banca examinadora, sugestões e críticas.

Aos demais professores do departamento, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, pelo apoio na realização das análises.

Enfim, a todos que verdadeiramente torceram por mim e de forma direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste curso.

MUITO OBRIGADA!

“O mal de quase todos nós é que preferimos ser arruinados pelo elogio a ser salvos pela crítica.”

Norman Vincent

BIOGRAFIA

19 Abril, 1986
2010

Nasceu- Novo Cruzeiro-MG, Brasil
Bacharel em Agronomia, Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro
Mestre em ciência do solo,
Universidade Federal de Lavras

2012

PUBLICAÇÕES

1. SANTOS, L. L., LOSS, A., PEREIRA, M.G., FERREIRA, E.P., FERRAZ-JUNIOR, A.S.L. Carbono das frações húmicas de argissolo vermelho- amarelo sob sistemas de cultivo em aléias, São Luiz, MA. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.4, p.1298 - 1301, 2009.

2. FERREIRA, E.P., LOSS, A., SANTOS, L. L., PEREIRA, M.G., FERRAZ-JUNIOR, A.S.L. Carbono orgânico particulado e matéria orgânica leve em áreas sob cultivo em sistemas de aléias, São Luis/MA. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.4, p.2450 - 2454, 2009.

3. LOSS, A., PEREIRA, M.G., FERREIRA, E.P., SANTOS, L. L., BEUTLER.S.J., FERRAZ-JUNIOR, A.S.L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, p.867 - 874, 2009.

ÁREAS DE ESTUDO

Campo principal: Ciência do Solo

RESUMO

A busca pela diversificação do uso da terra e seu manejo mais sustentável, bem como o aumento da demanda de madeira, vem impulsionando os produtores à substituição dos cultivos agrícolas por culturas alternativas que minimizem eventuais efeitos negativos do uso intensivo da terra e supram a demanda por madeira. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência que a posição na paisagem e o plantio de cedro australiano em sucessão ao cafeeiro exercem sobre os teores e estoques de carbono orgânico do solo (COS) e nas propriedades físicas e químicas do solo. Foram selecionadas áreas de um Argissolo Vermelho-Amarelo em duas posições, terço superior e terço inferior da paisagem em Campo Belo, no Oeste de Minas Gerais. Foram amostrados plantios de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) de 6 anos, mata secundária com 20 anos, e cafezais (*Coffea arabica* L.), em áreas adjacentes, e para cada uma das posições na paisagem. O delineamento amostral foi inteiramente casualizado num total de seis tratamentos e três repetições. Foram realizadas análises físicas, químicas, mineralógicas, micromorfológicas, teor de COS e carbono orgânico particulado (COP). Em relação à fertilidade, a área sob mata apresentou alta acidez e baixa fertilidade, com exceção dos níveis de K, reflexo da falta de adubação por longo tempo. A posição na paisagem influenciou todos os nutrientes na profundidade 0-5 cm, havendo tendência a maiores valores no terço inferior. Com relação às propriedades físicas do solo, a estabilidade de agregados na área sob cedro de terço inferior foi menor, e aumentou na mata secundária, recuperando a estrutura do solo alterada pelos cafezais. No entanto, a Ds não foi influenciada pelo uso da terra e posição na paisagem, assim como o teor de COS. A posição na paisagem e o maior aporte de resíduos orgânicos favoreceram o maior estoque de COS (106 Mg ha^{-1} em 0-40 cm) na área sob mata de terço inferior do que sob cafezal e plantio de cedro, o que não ocorreu no terço superior. Os valores de COS total associados à areia (% COP) foram relativamente baixos, mas mostraram-se mais eficientes que o COS como indicador de mudanças físicas e químicas no solo devido ao uso da terra. Em geral, conclui-se que tanto os cafezais quanto os plantios de cedro australiano são usos da terra que conservam o COS em níveis similares aos de matas secundárias, exceto em posições mais baixas da paisagem, onde estas acumulam mais COS.

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo, uso da terra, cedro australiano.

ABSTRACT

Increasing demand for wood, as well as the search for more diverse and sustainable land use systems, has motivated farmers towards replacing traditional, intensive crops for alternative wood crops with lower environmental impacts. This work aimed to assess the effect of replacing coffee (*Coffea arabica* L.) stands for Australian red cedar (*Toona ciliata* M. Roemer) or secondary forest on soil organic carbon (SOC) and other soil properties, in two positions in the landscape. Thus, nearby areas under these three land uses were selected on both the shoulder and footslope of an Ultisol in Campo Belo, western Minas Gerais. The experimental design was completely randomized, with six treatments in triplicate. Soil analyses included physical, chemical, mineralogical and micromorphological properties, aside with SOC contents, stocks and particulate organic carbon (POC). Areas under secondary forest, which grew up over abandoned cropland, showed higher acidity and lower nutrient levels, due to a >20 yr period without fertilizations. Footslope soils showed generally high nutrient levels at the 0-5 cm depth than soils on the shoulder. Aggregate stability in water was lower under cedar stands on footslope, and increased under secondary forest, improving aggregation affected by earlier coffee plantations. However, soil bulk density was not affected by land use and topography, as well as SOC concentrations. The secondary forest on the footslope showed higher SOC stocks (106 Mg ha⁻¹, 0-40 cm depth) than coffee or cedar stands, most likely due to higher organic inputs and soil moisture. POC values were relatively low, but more efficient than bulk SOC contents to show management-induced changes. In conclusion, coffee and cedar stands can be considered land use systems that preserve SOC levels similar to those in secondary forests, except for lower positions in the landscape, where secondary forests can sequester more SOC.

Keywords. Soil organic matter, land use systems, Australian red cedar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Vista parcial da fazenda Bela Vista Florestal, Campo Belo-MG.....	35
Figura 2	Esquema do modelo da paisagem da área de amostragem em Campo Belo-MG.....	36
Figura 3	Vista parcial do cafezal, Campo Belo-MG.....	37
Figura 4	Vista parcial do cedro terço superior (A) e cedro terço inferior (B), em Campo Belo-MG.....	39
Figura 5	Vista parcial (A) e vista interna (B) da mata secundária, em Campo Belo-MG.....	39
Figura 6	Difratograma de raios -x da fração argila de Argissolo Vermelho Amarelo sob cedro australiano (Cok α /Fe). Ct: caulinita, Gb: gibsitita, Qz: quartzo, Gt: goethita. d: espaçamento em Å.....	54
Figura 7	Difratograma de raios -x da fração areia de Argissolo Vermelho Amarelo sob cedro australiano (Cok α /Fe). Qz: quartzo, d: espaçamento em Å.....	55
Figura 8	Seção delgada do solo sob cafezal. No terço inferior (100X), destaca-se a presença de poros (p), quartzo (Qz). Luz polarizada parcialmente cruzada (largura da imagem 0,9 mm). No terço superior (40X), destaca-se a presença de macroporos (p), quartzo (Qz), feldspato (fd). Luz polarizada parcialmente cruzada (largura da imagem 2,3 mm).....	56
Figura 9	Diâmetro médio geométrico (DMG) do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal. Médias seguidas de letras por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05). (*) efeito significativo pelo teste t (P<0,05), devido à posição em um mesmo tratamento. Barras representam o erro padrão da média.....	79

- Figura 10 Diâmetro médio ponderado (DMP) Do solo sob influencia da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal. Médias seguidas de letras por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$) devido à posição em um mesmo tratamento. Barras representam o erro padrão da média 80
- Figura 11 Imagens digitalizadas das seções semi-delgadas de solo (profundidade 0-5 cm). Cada imagem possui 2,6 cm de largura 85
- Figura 12 Seções delgadas (40X) do solo sob cafezal e cedro, mostrando microestrutura adensada em blocos subangulares, e alguns agregados granulares (cafezal terço inferior). No cedro de terço superior além da microestrutura adensada em blocos subangulares, apresenta alguma macroporosidade de empilhamento (pe) e muitos poros planares (pp) (fissuras) de vários tamanhos entre blocos. Luz polarizada parcialmente cruzada (largura 2,3 mm). Qz- quartzo, g- grânulos..... 86
- Figura 13 Seção delgada (40x) do solo sob mata de terço superior, destacando: microestrutura em blocos subangulares, com grande macroporosidade de empilhamento (pe), fragmento decomposto de raiz, com excrementos (e) no interior oco. Luz polarizada parcialmente cruzada (largura 2,3 mm). Qz-quartzo, p-macroporos, r-raiz, pp-poros planares= f – fissuras 87
- Figura 14 Densidade do solo (D_s) do solo sob influência da posição na paisagem do e reflorestamento em sucessão ao cafezal. Barras representam o erro padrão da média 88
- Figura 15 Teores de COS do solo sob influência da topografia e reflorestamento em sucessão ao cafezal. Barras representam o erro padrão da média 90

Figura 16 Relações lineares entre a) teor COS (g kg ⁻¹) e DMG (mm), e b) teor COS (g kg ⁻¹) e DMP (mm) do solo.....	94
Figura 17 Relações lineares entre a % de agregados maiores que 2 mm e o teor COS (g kg ⁻¹) do solo	95
Figura 18 Fotos em lupa com aumento de 20x da fração areia (2-0,05 mm) do carbono orgânico particulado (COP) na profundidade de 0-5 cm, solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal.....	96
Figura 19 Seções delgadas do solo sob mata, na mata de terço superior (largura da imagem 0,9 mm), destacam-se a presença do córtex da raiz em decomposição com excrementos (e) esferóides no interior, e restos da epiderme radicular. Na mata de terço inferior (largura da imagem 2,3 mm), destaca-se a presença de fragmento de carvão (C) com estrutura celular preservada ocluso em agregado. Luz polarizada parcialmente cruzada. Qz- quartzo, ep – epiderme da raiz, pe - poros de empilhamento, f – fissuras.....	97
Figura 20 Teor de COP (COS na fração areia) e a percentagem do COP no COS total do solo sob influência da topografia e do reflorestamento em sucessão ao cafezal na profundidade 0-5 cm. Médias seguidas de letras não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05). (*) efeito significativo pelo teste t (P<0,05) devido à posição em um mesmo tratamento. Barras representam o erro padrão da média	98
Figura 21 Teor do COS na fração areia e a percentagem do COS total na fração areia do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal na profundidade 10-20 cm. Médias seguidas de letras não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05). (*) efeito significativo pelo teste t	

(P<0,05) devido à posição em um mesmo tratamento. Barras representam o erro padrão da média 99

Figura 22 Relações lineares entre a) % COP e DMG (mm) e b) % COP e DMP (mm) do solo 101

Figura 23 Relações lineares entre % COP e a % de agregados > 2 mm do solo 102

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1	Valores médios da análise textural e densidade do solo (Ds) do Argissolo Vermelho-Amarelo sob mata secundária.....	50
Tabela 2	Atributos químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo	51
Tabela 3	Indicadores de fertilidade do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal.....	60
Tabela 4	Classes de interpretação de fertilidade do solo, segundo a CFSEMG (1999).....	62
Tabela 5	Indicadores da acidez do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal.....	64
Tabela 6	Classes de interpretação da acidez do solo, segundo a CFSEMG (1999).....	67
Tabela 7	Disponibilidade de micronutrientes do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal..	69
Tabela 8	Classes de interpretação da disponibilidade de micronutrientes, segundo a CFSEMG (1999).....	72
Tabela 9	Valores médios da análise textural do solo sob influência da topografia e reflorestamento em sucessão ao cafezal.....	75
Tabela 10	Estabilidade média de agregados em água (% de agregados) do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal.....	77
Tabela 11	Densidade do solo (Ds) e volume total de poros (VTP) do solo sob influência da topografia e do reflorestamento em sucessão ao cafezal	82
Tabela 12	Teores de carbono orgânico do solo (COS) do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal	89

Tabela 13 Estoques de carbono ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal	91
Tabela 14 Parâmetros de relação linear entre agregação e teor de COS do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal.....	93
Tabela 15 Parâmetros de relação linear entre agregação e % COP do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal.....	102

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	O COS e o uso da terra	20
2.2	O relevo e as propriedades do solo	23
2.3	A cafeicultura e o solo	26
2.4	O reflorestamento e o solo	29
2.5	O cedro australiano	31
3	JUSTIFICATIVA	34
4	OBJETIVOS	34
5	HIPÓTESES	34
6	MATERIAL E MÉTODOS	35
6.1	Localização	35
6.2	Descrição das áreas amostrais	36
6.2.1	Café de terço superior	36
6.2.2	Café de terço inferior	37
6.2.3	Cedro de terço superior	38
6.2.4	Cedro de terço inferior	38
6.2.5	Mata de terço superior e terço inferior	39
6.3	Amostragem e processamento de amostras	40
6.4	Análises laboratoriais	40
6.4.1	Fertilidade do solo	40
6.4.2	Propriedades Físicas	43
6.4.3	Carbono orgânico do solo (COS) e cálculo do estoques no solo	46
6.4.4	Carbono da matéria orgânica particulada	47
6.4.5	Micromorfologia do solo	47
6.4.6	Difratometria de Raios-X	48
6.4.6.1	Argila orientada	48
6.5	Delineamento Experimental	49
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
7.1	Caracterização do solo	50
7.2	Efeito dos sistemas de manejo na fertilidade do solo	57
7.3	Efeito dos sistemas de manejo nas propriedades físicas do solo	74
7.4	Efeito dos sistemas de manejo no carbono orgânico do solo	89
8	CONCLUSÕES	103
	REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO

Após a remoção da vegetação natural para implantação de cultivos agrícolas, é comum iniciar-se um processo de degradação do solo, com diminuição do teor de carbono orgânico do solo (COS), da disponibilidade de nutrientes e do grau de agregação, afetando negativamente características físicas, químicas e biológicas do solo. Esta degradação pode ser ainda maior em áreas de relevo ondulado, nas quais se acentuam os processos erosivos, com a formação de áreas com variados estádios de degradação, pela ocorrência de erosão laminar, em sulcos e voçorocas. Para minimizar esses problemas, é necessário adotar práticas conservacionistas como o aumento da cobertura vegetal, manutenção dos restos culturais na área, e menor revolvimento do solo, dentre outros.

A implantação de florestas de crescimento rápido é uma alternativa viável para este fim, pois além de ser uma prática conservacionista do solo, supre a demanda por madeira de uso múltiplo, e assim contribui para a redução da pressão pela derrubada das matas nativas remanescentes. Estes plantios florestais têm grande potencial de sequestrar carbono na biomassa, madeira e provavelmente, no solo, o que pode diminuir parcialmente a taxa de aumento do CO₂ atmosférico. O Brasil possui uma área de aproximadamente 7 milhões de ha de florestas plantadas, principalmente com espécies de *Eucalyptus ssp.* e *Pinus ssp.*, mas também de outras espécies comerciais. Porém, com o aumento da demanda por madeira, a produção destas florestas plantadas pode tornar-se insuficiente, pressionando as florestas naturais e os preços do mercado.

Assim, alguns produtores têm substituído parte das áreas de cafezais por plantios de *Eucalyptus* e outras espécies (MURAKAMI, 2007). Projeções realizadas pelo MAPA/AGE (2012) indicam que a área plantada com cafezais deverá sofrer ligeira redução nos próximos anos, de modo que em 11 anos

atingirá cerca 1,9 milhão de hectares, com queda na ordem de 0,87% ao ano. Em Minas Gerais, espécies florestais ocupam uma área de cerca de 1,5 milhão de hectares, contra 1,1 milhão de hectares de cafezais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2010). A expansão do plantio de eucalipto neste Estado está relacionada à diversificação do uso da terra, e à utilização de áreas degradadas de pastagens, como uma forma de agregar valor às propriedades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2010). Assim, além de buscar alternativas que diminuam o custo de produção em áreas marginais ou declivosas, tal expansão visa garantir uma exploração mais sustentável dos recursos naturais. Motta, Silva e Diniz (2012) ainda afirmam que florestas plantadas recuperam o solo degradado por pastagens e cafezais. As plantações florestais são os sistemas de produção que mais se assemelham às florestas nativas, principalmente devido ao seu característico longo período de rotação (> 6 anos), que poupam o solo da contínua exposição e favorecem a ciclagem de nutrientes.

O plantio de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) é uma alternativa inovadora e economicamente viável para aumentar a oferta de madeira nobre no Brasil, conferindo investimento rentável e relativamente rápido ao produtor, conciliando o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. Porém, as alterações no solo causadas pelo reflorestamento com espécies de crescimento rápido em solos tropicais são em geral estudadas para *Eucalyptus* e *Pinus ssp.*, frequentemente com conclusões opostas sobre seus efeitos nas propriedades físicas e químicas do solo, e pouco ou nada se sabe sobre efeitos de plantios de outras espécies. Este estudo tem como objetivo, elucidar a influência que o plantio de cedro australiano em sucessão ao cafeeiro, exerce sobre os teores e estoques de COS, bem como nas propriedades físicas e químicas de solos em duas posições na paisagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O COS e o uso da terra

O carbono é encontrado no solo na forma mineral e orgânica, sendo o COS o principal componente da matéria orgânica do solo. Desta forma, o COS tem relação direta com propriedades do solo como agregação, aeração e retenção de água, além de sua importância como fonte de energia para os organismos do solo e de nutrientes para as plantas, para a capacidade de troca de cátions, tamponamento do pH, e complexação de elementos tóxicos e micronutrientes (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A formação e retenção do COS são basicamente determinadas por fatores ambientais externos ao solo, como clima, topografia, quantidade e qualidade dos resíduos das plantas, e por fatores internos, que são os ligados diretamente ao solo, como o tipo e grau de agregação, textura e composição mineralógica (RESCK et al., 2008). Nas regiões tropicais úmidas, onde os solos apresentam avançado intemperismo, com predomínio da caulinita e óxidos de Fe e Al na fração argila, a interação desses minerais com o COS humificado resulta em sua maior estabilidade química e resistência à decomposição pelos microrganismos. Por outro lado, a proteção física do COS ocorre devido à oclusão de resíduos pouco decompostos no interior dos agregados, onde é menor a difusão de ar, e o ataque pela biota, conferindo maior estabilidade do COS total (RESCK et al., 2008). Zinn et al. (2007a, 2007b) estudando o controle edáfico na retenção do COS no cerrado brasileiro, concluíram que o efeito textural e mineralógico são mais importantes que efeito estrutural na retenção de COS dos solos tropicais. Estes autores, após determinar a concentração de COS em cada uma das frações texturais (silte, argila e areia) em três solos com diferentes texturas, concluíram que o total de COS na fração areia não varia com

a textura do solo, enquanto o reservatório de COS associado à argila é diretamente proporcional ao teor de argila do solo. Embora a influência da textura na formação e dinâmica da COS seja mais conhecida que a da mineralogia, a argila efetivamente estabiliza compostos coloidais ou húmicos da MOS por adsorção (ZINN et al., 2007a; RESCK et al., 2008).

O COS é um componente-chave de qualquer ecossistema terrestre, sendo sensível a mudanças físicas ou químicas devidas ao manejo do solo, e tem ao mesmo tempo importante efeito nos processos que ocorrem dentro do sistema. O COS cujo tamanho de partícula corresponde à fração areia (2000-53 µm), comumente denominado carbono orgânico particulado (COP), é constituído principalmente de restos vegetais e da macrofauna, incluindo hifas, esporos, exoqueletos, pelotas fecais, fragmentos de raízes e sementes, e é considerado a fração mais lábil do COS (GOLCHIN; BALDOCK; OADES, 1997). Por falta de proteção física e química, o COP está mais prontamente disponível aos organismos decompositores e apresenta menor tempo de ciclagem, servindo como fonte de energia e nutrientes para biomassa microbiana (SÁ et al., 2001). Por isso, o COP é mais sujeito às mudanças do que o COS total, podendo ser utilizado como indicador da qualidade do solo para avaliar consequências do preparo do solo em suas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (BAYER et al., 2004; BRONICK; LAL, 2005).

Os níveis de COS variam em função das taxas de adição de resíduos vegetais e/ou microbianos, e da taxa de perda, decorrentes da lixiviação, erosão e da oxidação pelos organismos do solo. Em solos sem ação antrópica, o teor e o estoque do COS dependem fortemente da temperatura e precipitação média anual (BAYER; MIELNICZUK, 1997). Quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, as taxas de adição e decomposição do COS são modificadas. Desta forma, a ciclagem do COS deixa o equilíbrio determinado pelos fatores de formação do solo, e o manejo nos sistemas agrícolas passa a ser

muitas vezes o principal controle da retenção de COS (STEVENSON, 1994; LAL; BRUCE, 1999). Nos ecossistemas agrícolas, o solo sofre alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, que ao interagir com o clima, tipo de cultura e manejo, estabelecem uma nova condição de equilíbrio do COS (SILVA et al., 2009).

Com o desmatamento, e especialmente com o uso intensivo da terra que envolva o revolvimento anual do solo, o COS pode sofrer perda gradativa de cerca de 25 a 60% nos primeiros 5 cm, e de 15 a 30% na camada 5-15 cm de profundidade (LAL, 1996). Isso ocorre devido ao aumento da taxa de decomposição instigada pela maior aeração e contato físico dos resíduos orgânicos com microrganismos decompositores (RESCK et al., 2000), bem como pela erosão. Com o cultivo de solos tropicais, as perdas de COS variam de 15 a 40% dentro de 2-3 anos (INGRAM; FERNANDES, 2001). Bayer et al. (2003), ao comparar estoques de COS em cultivo convencional (duas arações e gradagens por ano) com uma área de Floresta Atlântica, encontraram perda aproximada de 50 % no estoque de carbono no cultivo convencional, com uma taxa média anual de perda de carbono (0-20 cm) em torno de 2,2 Mg C ha⁻¹. Perdas significativas (9-30 Mg ha⁻¹) foram verificadas por Don, Schumacher e Freibauer (2011) em uma meta-análise global sobre substituição de florestas nativas em solos tropicais por diferentes sistemas de uso. Segundo Zinn, Lal e Resck (2005), essas perdas ocorrem devido ao rompimento dos macroagregados, expondo o COS protegido fisicamente aos processos microbianos, contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera. No Brasil, o desmatamento e a agricultura tem contribuído com cerca de 75% das emissões nacionais de CO₂, 91% de CH₄ e 94% de N₂O para a atmosfera (CERRI; CERRI, 2007).

Pes et al. (2011) estudando de perdas de COS em Latossolo sob dois sistemas de cultivo no Rio Grande do Sul, observaram que 65% do COS na

forma de resíduos culturais, ou seja, o COP, não ocorreria protegido dentro de agregados, e seria perdido facilmente como CO₂ com o cultivo do solo. Esses autores concluíram ainda que no sistema convencional a emissão de CO₂ pelo solo foi 72% maior do que no sistema plantio direto. A ausência do revolvimento do solo permite certa proteção física ao COS lábil e sua permanência por mais tempo no solo.

Outra forma de perda de COS é a quebra dos agregados pelo impacto direto das gotas de chuvas sobre o solo, e consequente erosão da camada superficial mais rica em COS. Esse processo contribui com grandes perdas de COS, que é um dos primeiros constituintes removidos pela erosão, tendo em vista sua baixa densidade (SCHICK et al., 2000). Estas perdas comprometem a ciclagem e retenção de nutrientes, a dinâmica da água, atividade biológica e a agregação do solo, provocando desequilíbrios no sistema e intensificando o processo de degradação ambiental (RANGEL et al., 2008). A adoção de sistemas agrícolas conservacionistas que diminuam a intensidade de preparo do solo pode garantir melhorias nas propriedades do solo, e aumentar o estoque de COS, especialmente em regiões de clima tropical, onde a taxa de decomposição orgânica é maior devido às altas temperaturas, como observado por Rangel e Silva (2007).

2.2 O relevo e as propriedades do solo

O relevo, ou mais propriamente a combinação de declive, aspecto, pedoforma e a posição na paisagem, é o único fator de formação do solo capaz de modificar os demais (material de origem, organismos, clima e tempo), segundo Jenny (1941). O relevo tem sido considerado também, dentre outros fatores, como o mais importante na fertilidade do solo, pois tem influência direta nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (RODRIGUES et al.,

2007). Em destaque está o controle que exerce sobre o regime de umidade e temperatura dos solos, devido à variação na altitude e exposição ao sol, na intensidade de remoção e redistribuição dos sedimentos e solutos, e no nível do lençol freático (SILVA et al., 2001; GALVÃO; SALCEDO; SANTOS, 2005). Desta forma, o relevo afeta várias propriedades edáficas, como a acidez do solo, o transporte e quantidade de nutrientes, e mesmo a textura do solo, que se refletem diretamente no tipo e bioma da vegetação. Normalmente, a fertilidade do solo aumenta do topo para baixada, devido ao transporte nesse mesmo sentido de água, solutos, e solo superficial rico em COS e nutrientes (CLARK; CLARK, 2000; BOTREL et al., 2002). Segundo Resende et al. (1997), a erosão laminar dos solos aumenta das pedoformas côncavas para as lineares e convexas. Por outro lado, pedoformas côncavas concentram o fluxo de água e assim são suscetíveis à erosão em sulcos ou voçorocas. Em áreas de desmatamento ou degradadas, este efeito é mais acentuado. Neste caso, as perdas de solo e nutrientes, antes concentradas na parte convexa, ou mais íngreme, passam a ocorrer em áreas onde eram pequenas, e mesmo em locais de deposição ao longo dos declives. (GREGORICH et al., 1998; SANCHEZ et al., 2009; SANTOS; SALCEDO, 2010).

O relevo é considerado um agente integrador, pois expressa a distribuição e interação de vários atributos do solo ao longo da paisagem e possui alta correlação com a produtividade das culturas (MARQUES JR., 2009). Ainda, o relevo determina o tipo de manejo e a conservação das áreas a serem trabalhadas, as quais exigirão cuidados especiais quanto ao uso (SÁVIO, 2011). Uma pequena variação do relevo pode influenciar a taxa de decomposição do material orgânico e a ciclagem de nutrientes (LUIZÃO; LUIZÃO; PROCTOR, 2007; TOLEDO, 2009), devido à variação de temperatura e umidade do solo ao longo da paisagem. Nas baixadas, a proximidade com o lençol freático e a diminuição do nível de oxigênio reduz a ação dos microrganismos e

consequentemente a taxa de decomposição do material orgânico. No topo, ou em ambientes com boa drenagem e aeração, a taxa de decomposição é mais acelerada.

A intensidade da erosão em encostas depende da combinação entre a textura do solo, topografia, teores de COS e óxidos de Fe e Al, estabilidade de agregados, cobertura vegetal, práticas agrícolas, e energia potencial das chuvas (MARTINS FILHO; PEREIRA; MARQUES JÚNIOR, 2001; TOY; FOSTER; RENARD, 2002). Em áreas de monocultura de café, com declividade de 6% e 10%, e precipitação de 1.300 mm anuais, ocorre respectivamente uma remoção de 28 a 34 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ por erosão laminar. Em cafezais adultos, esse número é reduzido para 2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (MAACK, 1968). Solos arenosos e/ou com teores de MOS inferiores a 20 g kg⁻¹ possuem baixa estabilidade de agregados, o que pode favorecer a erosão em condições de alto declive e camadas impermeáveis. Assim, durante uma chuva, o escoamento superficial pode ocasionar grande perda de solo devido à baixa coesão entre as partículas (GUERRA; CUNHA, 1995; TOY; FOSTER; RENARD, 2002).

Mendes, Mahler e Andrade (2011), estudando a erosão superficial em Argissolo Amarelo sob agricultura e floresta secundária em área de relevo montanhoso, observaram que as maiores perdas acumuladas de solo foram registradas nas áreas sob cultivo de olerícolas (30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), seguido pelos cultivo de banana e sob pousio florestal (10 Mg ha⁻¹). Esses autores chegaram à conclusão que as culturas perenes são as mais indicadas para áreas em declive, uma vez que foi observado que a produção de olerícolas nesta região acarreta por ano cerca de 30 Mg ha⁻¹ de perdas de solo e 260 m³ ha⁻¹ de escoamento superficial. Na região do Sul de Minas Gerais, o relevo predominante é ondulado, de modo que a agricultura emprega principalmente pastagens e culturas perenes como o cafeeiro. Prochnow et al. (2005), estudando perdas de solo na cultura do cafeeiro, verificaram que a esta foi eficiente no controle das

perdas de terra, diminuindo-as em 78 % nos primeiros cinco anos e em 99 % do quinto ano em diante, independentemente dos espaçamentos estudados. Andrello, Appoloni e Guimarães (2003), utilizando céσιο-137 para avaliar taxas de erosão em cultura de café, também não encontram perdas de solo, confirmando ser uma cultura eficiente no controle da erosão no Paraná.

Geralmente, a erosão hídrica acarreta danos consideráveis às lavouras cultivadas, uma vez que remove continuamente delgadas camadas superficiais do solo, ocasionando perda de nutrientes, COS e organismos do solo, que se concentram em superfície. Esse tipo de erosão pode levar à degradação do solo com decréscimo na produtividade das lavouras, aumento no custo de produção e contaminação das águas com os poluentes provenientes das áreas cultivadas (ANDRELLO; APPOLONI; GUIMARÃES, 2003). Carvalho et al. (2007), estudando a erosão hídrica em Latossolo com 12% de declividade sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro (mudas de 6 meses) no Sul de Minas Gerais, observaram perdas de 0,11 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e de 67 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de solo no cafezal sob cultivo convencional roçado e para o solo descoberto respectivamente. Para Silva et al. (2005) a tolerância admissível estabelecida para a classe dos Latossolos é de 12,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, portanto, o valor encontrado para o solo sob cafezal está abaixo do admissível.

Assim, o estudo das formas do relevo pode contribuir para entender os processos que atuam na paisagem e que influenciam a variabilidade dos principais atributos dos solos, inclusive a retenção de COS.

2.3 A cafeicultura e o solo

O cafeeiro é uma planta pertencente à família das Rubiáceas e ao gênero *Coffea*, sendo as espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre as mais importantes economicamente. É uma planta perene de clima tropical, originária

das regiões montanhosas da Etiópia Central, e devido à sua origem adapta-se bem à sombra e altitudes entre 1.000 e 2.500 m. O cafeeiro possui porte arbustivo ou arbóreo, caule lenhoso (ramo vertical ou ortotrópico) e ramos laterais ou plagiotrópicos (produtivos). O cafeeiro chegou ao Brasil em 1727, primeiramente em Belém, trazido da Guiana Francesa, logo se espalhou por todo o país, começando pelo Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e Paraná. Em 1845, o País já era considerado o principal produtor e segundo maior consumidor mundial de café, posição que ocupa até hoje (MATIELLO et al., 2002; ALVES; LIVRAMENTO, 2003). Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rondônia e Rio de Janeiro compreendem 98% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2012). Atualmente, o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas difundidas no Brasil, com indiscutível importância econômica e social, porquanto demanda grande quantidade de mão-de-obra ao longo da sua cadeia produtiva. Para um bom desenvolvimento produtivo e vegetativo, seu plantio é recomendado para altitudes superiores a 800 m, com temperatura média anual na faixa de 19 °C a 22 °C, precipitação mínima de 1.200 mm/ano, e em áreas com déficit hídrico anual de 100 a 150 mm, deve haver irrigação ocasional (CORTEZ, 1997; SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008). O café arábica representa 73,9% (32,2 milhões de sacas) da produção do País, e tem como maior produtor o Estado de Minas Gerais, com 67,9% (21,9 milhões de sacas, especialmente na região Sul do Estado). Destacam-se ainda os Estados de São Paulo, com 13% da produção nacional, Espírito Santo (7%), e Paraná (7%), enquanto outros estados respondem por 8% (Anuário Brasileiro do Café, 2008; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2012). Respondendo por 58,4% da produção mundial, o Brasil permanece na liderança absoluta das exportações mundiais de café arábica (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - OIC, 2012).

O cafeeiro, por ser uma espécie perene, pode favorecer a conservação do COS, em função de fatores como menor necessidade de revolvimento da camada arável, e constante entrada de biomassa vegetal através de podas, quedas de folhas, galhos, ramos e frutos, o que pode proporcionar maior cobertura do solo e menor erosão (BICALHO; BORGES, 2009). No entanto, mesmo uma lavoura cafeeira bem manejada pode causar impactos negativos no solo, como compactação excessiva devido ao uso intenso de máquinas agrícolas, perda de nutrientes e COS via erosão, e contaminação de águas devido ao uso indevido de pesticidas, dentre outros (CUNHA, 1995; ALVARENGA; SOUZA, 1995).

Oliveira et al. (2008), ao estudar o COS de Latossolos em dois tipos de cultivo de café no Espírito Santo, observaram que no cultivo mecanizado (aração e gradagem) houve uma redução de 10 g kg^{-1} no teor do COS, enquanto no cultivo não-mecanizado houve um incremento de $19,8 \text{ g kg}^{-1}$ no teor do COS até 18 cm de profundidade, comparado com a mata nativa. Esta redução pode ser explicada pelo maior revolvimento do solo, fragmentando os agregados que protegem o COS. Benites et al. (2010) estudando um Latossolo na camada de 0-115 cm sob cafeeiro no Rio de Janeiro, observaram que os teores de COS foram menores ($21,7 \text{ g kg}^{-1}$) do que na Mata Atlântica de referência ($44,7 \text{ g kg}^{-1}$). Nunes et al. (2009) estudando o impacto do monocultivo de café no solo da zona da mata mineira, observaram que em geral os teores de COS na camada de 0-10 cm decresceram na seguinte ordem: mata secundária (40 anos) > mata secundária (30 anos) > cafezal (22 anos) \geq cafezal (16 anos). Isto sugere que os cafezais não-mecanizados podem incrementar o teor de COS com o tempo de cultivo e manejo adequado, pois possuem porte e comportamento de cultura florestal, tais como boa cobertura do solo e baixa perturbação antrópica do solo.

Em Sumatra, Indonésia, Van Noordwijk et al. (2002) acreditam que a conversão para o cafeeiro sombreado, aumentaria durante 20 anos, os estoques de COS em $0,5 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Isto sugere o potencial do cafeeiro na conservação

do solo (GREWAL; SINGH; SINGH, 1994; YOUNG, 1997), embora ainda persistam em muitos lugares, grandes áreas erodidas deixadas por cafezais tradicionalmente plantados “morro acima” (MATIELLO; CARVALHO, 1982; LIMA; MOURA; LISBOA, 2003).

2.4 O reflorestamento e o solo

Historicamente, o reflorestamento para fins comerciais iniciou-se nos contornos de Nuremberg, Alemanha, em 1368, onde foram feitos os primeiros plantios artificiais de *Abies ssp.* Na América do Norte, este processo foi adotado por volta de 1750, e a partir do século XIX, foi a vez da França implantar o sistema de reflorestamentos (SOUZA, 2005). No Brasil, os primeiros registros de reflorestamentos são de 1909, e logo em seguida foi feito o primeiro plantio de eucalipto no Horto Florestal da Companhia Paulista de Estrada de Ferro, em Rio Claro, SP (GALETI, 1973). A partir da década de 1960, e em especial no período de 1967 a 1987, a política dos incentivos fiscais para o reflorestamento adotada pelo Governo Federal, foram reflorestados no Brasil cerca de 6 milhões de hectares, valor pouco inferior à área atual. Quase 100% das áreas reflorestadas foram plantadas com espécies exóticas tais como *Eucalyptus ssp.* e coníferas, que quando comparadas às espécies nativas, apresentavam maior crescimento e lucratividade em solos de baixa fertilidade natural (SOUZA, 2005). Atualmente, as florestas plantadas no Brasil ocupam cerca de 7 milhões de hectares, dos quais 23% em Minas Gerais, e contribuem com cerca de 3,7% das exportações do País. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2011). O Brasil é o terceiro país em termo de área plantada nos trópicos, sendo largamente superado pela Índia que possui 32,6 milhões, e a Indonésia com 9,9 milhões de hectares (ABRAF, 2012).

As florestas plantadas têm alta eficiência em sequestrar CO₂, sendo capazes de estocar grandes quantidades de C na biomassa da parte aérea (CERRI et al., 1996; PAUL et al., 2002). Elas têm um papel-chave como drenos de C, podendo contribuir para a redução do aumento de CO₂ causado pela emissão antropogênica contínua para a atmosfera, que está associada com mudanças no clima. Além disso, as florestas plantadas ajudam a diminuir o déficit de madeira para fins industriais, reduzindo assim a pressão de desmate sobre as matas nativas, e também podem recuperar áreas degradadas (HEATH et al., 2005). Contudo, a substituição de mata nativa para o cultivo de florestas plantadas tem apresentado resultados muito variáveis em relação ao COS, sendo que em alguns casos não ocorrem mudanças significativas, mas em outros, tem sido verificados decréscimos nos estoques de COS.

A substituição da vegetação nativa por florestas comerciais pode levar a um decréscimo dos teores e estoques de COS, que varia amplamente com fatores como tipo de solo, clima, qualidade e quantidade de resíduo depositado etc. Guo e Gifford (2002), em trabalho de meta-análise mundial, concluíram que a implantação de coníferas leva a uma redução de 15% no estoque de COS, enquanto que o plantio de *Eucalyptus ssp.* não acarreta em geral mudanças no COS.

Para Dieckow et al. (2005), os estoques de COS estão diretamente relacionados com a quantidade de resíduos produzidos pelo sistema de uso da terra. Garay et al. (2003) em estudo no Espírito Santo verificou que, no plantio de *Acacia mangium*, 7,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria orgânica foram incorporadas ao solo por meio da decomposição, enquanto sob *Eucalyptus*, foram apenas 2,2 t ha⁻¹ ano⁻¹. Bashkin e Binkley (1998) afirmam que o cultivo de *Eucalyptus saligna* por 10-13 anos no Havaí foi capaz de estocar 11,5 t ha⁻¹ de COS na camada de 0-10 cm. Paixão et al. (2006) observaram em um povoamento de *Eucalyptus ssp.* incremento médio de C da ordem de 12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo a

parte aérea responsável por 67 % desse estoque, as raízes por mais 21 % e os 12 % restantes relacionados ao COS. A substituição de pastagens degradadas por plantios comerciais de longo prazo de eucalipto (30 anos) em Latossolos resultou em incremento médio de 12,5 Mg ha⁻¹ de COS, à profundidade de 0-20 cm (LIMA et al., 2008). Gatto (2005), encontrou estoques variando entre 95 e 184 Mg ha⁻¹ até 1 m de profundidade, em áreas com reflorestamento com eucalipto em cinco áreas do centro-leste de Minas Gerais.

O tempo decorrido no reflorestamento é também crítico no balanço de COS. O primeiro ciclo de cultivo de *Eucalyptus ssp.* e *Pinus ssp.* no cerrado causou redução nos teores superficiais de COS, com maiores perdas em solos arenosos (ZINN; RESCK; SILVA, 2002). No entanto, Zinn, Lal e Resck (2011) não observaram mudanças nos teores e estoques de COS até 1 m de profundidade entre *Eucalyptus* (segundo ciclo) e o Cerrado nativo. Devido a toda essa variabilidade, Fialho e Zinn (2012), ao comparar estoques de COS sob *Eucalyptus ssp.* com solos sob vegetação nativa, em trabalho de meta-análise nacional, não observaram mudança média significativa, apesar dos resultados terem variado entre perdas de 25 Mg ha⁻¹ e ganhos de 42 Mg ha⁻¹. Tal variabilidade na dinâmica do COS é devida às diferentes condições experimentais, como clima, tipo e preparo do solo, idade do plantio, etc, e é crítica para o efeito ambiental dos reflorestamentos, cuja área atinge aproximadamente 50 milhões de ha nas regiões tropicais do mundo, com uma taxa de novos plantios de cerca de 3 milhões de ha por ano (STAPE; BINKLEY; RYAN, 2004).

2.5 O cedro australiano

O cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) é uma angiosperma de hábito arbóreo pertencente à família Meliaceae, originária da região entre a

Índia, Malásia e norte da Austrália. Possui grande similaridade com os cedros do gênero *Cedrella* sp. nativos da Mata Atlântica e o mogno (*Swietenia macrophylla* King) da Floresta Amazônica. Possui ainda a mesma qualidade da madeira, como boa trabalhabilidade, moderada resistência a cupins, durabilidade mediana, sendo largamente utilizada na indústria de contraplacados, compensados e móveis (DORDEL et al., 2010; LORENZI et al., 2003; PINHEIRO; LANI; COUTO, 2003). No Brasil, a espécie encontrou ótimas condições para seu desenvolvimento vegetativo e para a produção de madeira, sendo cultivada ao sul da Bahia e em toda a região Sudeste, destacando-se os estados do Espírito Santo e Minas Gerais, com plantios em escala comerciais bastante desenvolvidos (ZIECH, 2008). Esta espécie é promissora para plantações comerciais no Brasil também por sua resistência ao ataque da broca da gema apical (*Hypsipyla grandella*), que inviabiliza o plantio do cedro e do mogno brasileiro, e ainda pela falta de ocorrência da sua principal praga (*Hypsipyla robusta*) na América, que afeta seu plantio na Austrália (CASTRO-GAMBOA, 2000; OIANO, 2000; CUNNINGHAM et al., 2005; SOUZA et al., 2009).

O cedro australiano é uma árvore de grande porte, decídua e de rápido crescimento quando comparado às espécies nativas exploradas para serraria, e pode alcançar cerca de 50 m de altura e 2 m de diâmetro. O crescimento desta espécie em Campo Belo, no sul de Minas Gerais, tem sido excepcional, com plantas que alcançam 1,20 m aos 4 meses após o plantio. Em Venda Nova do Imigrante (ES), foram observadas plantas com 6 m de altura com idade de 2,6 anos e plantios com altura média de 10 metros de altura, aos 6 anos de idade. Para alcançar produtividade máxima, a espécie necessita de bom abastecimento de água, com precipitação anual entre 800 e 1800 mm e, embora resista por 2 a 6 meses de seca, não tolera solos encharcados (O CEDRO..., 2012).

Por ser uma planta tropical, a temperatura média anual ótima para o desenvolvimento é 20 a 26°C, embora seja tolerante a baixas temperaturas (exceto geadas de longa duração). Em sua região de origem, a espécie desenvolve-se preferencialmente em solos aluviais e ao pé de encostas, com boa drenagem, profundos e eutróficos. Acredita-se que a espécie não suporte solos argilosos compactados e nem solos arenosos pobres, apresentando certa preferência por solos calcários, onde seu sistema radicular secundário é superficial, necessitando de bom abastecimento de água nos horizontes superficiais (PINHEIRO; LANI; COUTO, 2006). Possui abundante regeneração natural, mesmo onde foi introduzida como uma espécie exótica. É uma espécie considerada pantropical, ou seja, pode ser cultivada em todos os trópicos, é apta a suportar leve sombreamento na fase juvenil, e tem um processo natural de desrama, que é a queda rápida de galhos mortos, que favorece a ciclagem de nutrientes (PINHEIRO; LANI; COUTO, 2006; SOUZA et al., 2009) e diminui a ocorrência de nós na madeira. O tronco é retilíneo, e às vezes bifurcado, com sapopemas baixas, assimétricas e pouco desenvolvido. A madeira de excelente qualidade alcança alto preço e lucratividade, superando a teca (*Tectona grandis*), guanandi (*Calophyllum brasiliensis*) e eucalipto em rotação de 6 a 12 anos. Além do uso múltiplo da madeira, as flores são usadas como corantes, as folhas como forragem para o gado bovino na Índia e os frutos em artesanato. A casca é adstringente e estimulante, recomendada no tratamento de disenterias; a sua decocção serve para lavar feridas e úlceras e também para combater a febre. Existem estudos que comprovam que a espécie possui substâncias eficazes como antibacteriana antifúngica e com atividade antitumoral. A essência é utilizada na indústria de cosméticos e perfumaria, e utilizada no paisagismo (SOUZA; BARROSO; CARNEIRO, 2010).

A obtenção de espécies de madeira de maior valor econômico é feita normalmente de maneira extrativista, e mesmo a extração realizada de forma

planejada pode não atender a demanda a longo prazo. Essa questão faz aumentar a responsabilidade na busca do manejo adequado do cedro australiano, dentre outras espécies. Porém, mesmo com a expansão do plantio de cedro australiano no Brasil, ainda não existem informações consistentes que possam facilitar o seu manejo, seja em plantios mistos, homogêneos ou em sistemas agroflorestais, e também sobre seu efeito nas propriedades do solo, como o COS.

3 JUSTIFICATIVA

A busca por alternativas sustentáveis de uso da terra e o aumento da área reflorestada com espécies exóticas alternativas, como o cedro australiano, torna necessário estudar o efeito dessa espécie na qualidade do solo, inclusive sobre os teores de COS, garantindo um manejo mais adequado destes ecossistemas.

4 OBJETIVOS

- a) Avaliar e comparar as características do solo sob cafezal e sua substituição por plantios de cedro australiano nas propriedades físicas e químicas do solo;
- b) Avaliar a influência da topografia e do plantio de cedro australiano em sucessão ao cafeeiro nos atributos do solo e no COS, também em comparação com uma mata secundária.

5 HIPÓTESES

- a) A sucessão do cafezal por florestas secundárias e/ou plantio de cedro australiano promove sequestro de COS em curto a médio prazo, e afeta positivamente outras propriedades do solo;

b) Estes efeitos variam com a posição da paisagem.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Localização

A amostragem para este trabalho foi realizada na Fazenda Bela Vista Florestal, no município de Campo Belo, no Oeste de Minas Gerais, a $20^{\circ}53'50''$ S, $45^{\circ}16'38''$ W (Figura 1). A área está localizada na bacia hidrográfica do Rio Grande, e o clima da região é classificado como tropical úmido segundo Köppen, com temperatura média anual de $22,3^{\circ}\text{C}$, e precipitação média de 1250 mm/ano. O solo predominante é o Argissolo Vermelho-Amarelo, desenvolvido de rochas gnáissicas do Arqueano.



Figura 1 Vista parcial da fazenda Bela Vista Florestal, Campo Belo-MG

A região está inserida na transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado, a uma altitude média de 968 m (Figura 2) e com relevo suave ondulado (declividade 15%) a montanhoso (até 55%). A vegetação original da região está praticamente esgotada, tendo sido transformada em pastagens e cafezais.

Existem hoje apenas alguns pequenos fragmentos florestais na forma de capões e divisas de propriedades.



Figura 2 Esquema do modelo da paisagem da área de amostragem em Campo Belo-MG

6.2 Descrição das áreas amostrais

Para o estudo, foram selecionadas três coberturas vegetais: plantios de cedro australiano, cafezal e mata secundária, sempre localizada nas posições de terço superior (921 m de altitude) e terço inferior (895 m de altitude) da paisagem suave ondulada.

6.2.1 Café de terço superior

Área logo abaixo do topo de uma encosta, com declive de 9° a uma altitude de 921 m. A utilização da área até 1998 foi com milho, com calagem e adubação com NPK 8-28-16. A partir deste período, a área foi ocupada por café (*Coffea arabica*) e sob trânsito anual de máquinas relativamente intenso (quatro roçadas e adubações, cinco pulverizações e uma aplicação de herbicida, todas com implementos adaptados a trator). A fertilização anual é de 250 kg N/ha (nitrato nos últimos 10 anos, provavelmente uréia anteriormente), 280

kg/ha K_2O , e micronutrientes por pulverização foliar. A cultura tem 13 anos de implantação e a serrapilheira forma uma camada espessa de folhas embaixo dos cafeeiros, mas não nas entrelinhas (Figura 3).

6.2.2 Café de terço inferior

Esta unidade amostral (Figura 3), localizada a uma altitude de 895 m, era ocupada por cafezal até em 1986, e tem 25 anos de implantação. A adubação e manejo são semelhantes ao descrito no item anterior.



Figura 3 Vista parcial do cafezal, Campo Belo-MG

6.2.3 Cedro de terço superior

A área está localizada em uma encosta com declive de 6°, a uma altitude de 921 m. Até 2004, a área foi ocupada por cana-de-açúcar, capim, milho e café com o mesmo manejo das áreas descritas anteriormente. No final de 2004, foi implantado o cedro australiano, com 120 g de fosfato solúvel por metro linear de sulco feito com sulcador (40 cm de profundidade), e 150 g de NPK 6-30-6/muda (1250 plantas ha⁻¹). Durante a condução do talhão, foram aplicados 200 g/planta/ano de 20-0-20 (1° e 2° ano), 350 g/planta/ano de 20-0-20 (3° e 5° ano), 30 g de FTE BR12 + 200 g de super simples (5° ano) e 30 g de FTE BR (6° ano). O manejo anual inclui ainda quatro roçadas mecanizadas e uma aplicação de herbicida pós-emergente e desbaste de forma sistemática aos quatro anos de implantação. O espaçamento é de 3 x 2 metros, e o sub-bosque é basicamente composto de gramíneas, que estavam sendo roçadas na época da amostragem. A idade do talhão à época da amostragem era 7 anos, com diâmetro à altura do peito (DAP) médio de 13,9 cm e altura de 7,1 m. A serapilheira forma uma camada espessa e com um baixo grau aparente de decomposição, observando-se galhos oriundos das podas de condução (Figura 4A).

6.2.4 Cedro de terço inferior

Localizado a uma altitude de 895 m, a área em questão é similar em manejo e adubação à descrita anteriormente, porém ainda não houve desbaste e assim, o plantio é mais adensado e ainda sem trânsito de máquinas. Os talhões de cedro foram implantados na mesma época, porém, este povoamento apresenta DAP médio com 17,0 cm e altura 10,3 m. A serapilheira também forma uma camada espessa e com um baixo grau aparente de decomposição (Figura 4B).



Figura 4 Vista parcial do cedro terço superior (A) e cedro terço inferior (B), em Campo Belo-MG

6.2.5 Mata de terço superior e terço inferior

Foram selecionadas duas áreas de florestas secundárias, que são o mais próximo possível do ecossistema original da região, com aproximadamente 20 anos de regeneração, com fisionomia arbórea, cobertura fechada formando um dossel relativamente uniforme, podendo apresentar árvores emergentes com sub-bosque já diferenciado em um ou mais estratos, e serrapilheira abundante (Figuras 5A, 5B).

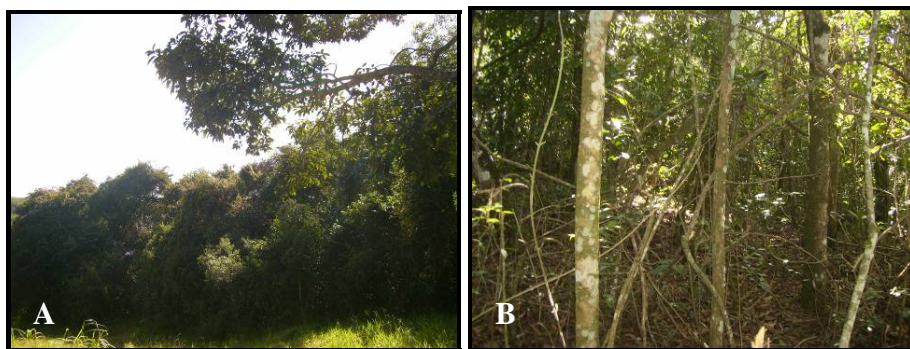


Figura 5 Vista parcial (A) e vista interna (B) da mata secundária, em Campo Belo-MG

6.3 Amostragem e processamento de amostras

Em cada tratamento (área), foram abertas três trincheiras nas entrelinhas, ou ao acaso na mata, até 40 cm de profundidade, de onde foram colhidas amostras de solos nos intervalos de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Amostras indeformadas foram coletadas com anel de Kopecky para a determinação da densidade do solo (Ds). Caixas plásticas de Kubiena foram inseridas com auxílio de faca na profundidade de 0-5 cm, para obter amostras indeformadas para micromorfologia. Ainda, foram colhidas amostras deformadas com uso de pá para análises de textura, distribuição de tamanho de agregados, fertilidade, carbono orgânico total, e carbono orgânico particulado.

As amostras deformadas foram secas ao ar e passadas pelas peneiras de 8,00 e 4,75 mm para análise de estabilidade de agregados, e em malha de 2,00 mm para obtenção da TFSA (terra fina seca ao ar) utilizada nas análises de químicas e físicas.

6.4 Análises laboratoriais

Foram realizadas as seguintes análises físicas e químicas:

6.4.1 Fertilidade do solo

As análises de fertilidade foram determinadas de acordo com a metodologia compilada pela EMBRAPA (1997), descritas brevemente a seguir.

a) pH em água

O pH foi determinado em água pelo método potenciométrico. Colocou-

se 10 cm³ de TFSA em copo plástico e adicionou-se 25 ml de água destilada, agitando-se a mistura com bastão e deixando em repouso por uma hora. Em seguida, agitou-se novamente e efetuou-se a leitura direta no aparelho.

b) Cálcio e magnésio trocáveis

Foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ na proporção solo-solução 1:10, após agitação por 5 minutos em agitador circular horizontal a 200 rpm, seguido por repouso por ± 16 h. Em seguida, retirou-se uma alíquota de 0,5 mL em tubo de ensaio, adicionando-se 10 mL da solução de SrCl₂ contendo 1.680 mg/L de Sr. Agitou-se o tubo de ensaio e foi feita a leitura em espectrofotômetro de absorção atômica, devidamente calibrado nos comprimentos de onda de 422,67 nm (Ca) e 285,21 nm (Mg).

c) Potássio disponível

Foi extraído com solução de Mehlich I (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) na proporção solo-solução 1:10, e determinado por fotometria de chama.

d) Alumínio trocável (Al⁺³)

Foi extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ na proporção solo-solução 1:10 e determinado pela titulação da acidez com NaOH 0,025 mol L⁻¹, usando 3 gotas do indicador azul-de-bromotimol 1g L⁻¹.

e) H^+ + Al^{+3}

A acidez potencial foi extraída com acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ tamponado a pH 7,0, após agitação por 10 minutos e repouso por ± 16 horas. Em seguida foi titulado com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$, usando 3 gotas de fenolftaleína a 10 g L^{-1} como indicador.

f) Fósforo disponível

Foi extraído com solução de Mehlich I ($HCl 0,05 \text{ mol L}^{-1} + H_2SO_4 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), que extrai o fósforo mais lábil por dissolução seletiva devido ao abaixamento de pH e a presença do SO_4^{2-} na proporção solo-solução 1:10. O fósforo foi determinado pela leitura de densidade ótica no fotocolorímetro, usando filtro vermelho e comprimento de onda de 725 nm.

g) Valores S, T e V

O valor S foi calculado pela soma dos teores de cálcio, magnésio e potássio e trocáveis. O valor T foi calculado por meio da equação: $T (\text{cmol c kg}^{-1}) = \text{valor S} + (H + Al)$. O valor V foi calculado por meio da equação: $V (\%) = 100 (\text{valor S}/\text{valor T})$.

h) Micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn)

Foram extraídos com solução de Mehlich I ($HCl 0,05 \text{ mol L}^{-1} + H_2SO_4 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) na proporção solo-solução 1:10, e determinados por espectrofotômetro de absorção atômica, nos seguintes comprimentos de onda 248,33 nm (Fe), 324,75 nm (Cu), 213,86 nm (Zn) e 279,48 nm (Mn).

i) Boro (B)

Foi extraído com cloreto de bário $1,25\text{g L}^{-1}$ na proporção solo-solução 1:2 em presença de $0,5\text{ cm}^3$ de carvão ativo e sob aquecimento em microondas por 4 minutos a 700 w. A determinação foi por espectrofotometria no comprimento de onda 420 nm.

6.4.2 Propriedades Físicas

Foram realizadas as análises de densidade do solo, textura e estabilidade de agregados em água, conforme descritas a seguir:

a) Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme EMBRAPA (1997). A amostragem para determinação da Ds foi feita pela introdução no solo de um anel de Kopecky com volume conhecido de $76,6\text{ cm}^3$. A Ds foi calculada pela seguinte equação: $Ds = \text{densidade do solo (g cm}^3) = Ms / Vs$; onde Ms (massa do solo) em g determinado após 24 h em estufa a 105°C , e Vs (volume total do solo) em cm^3 .

b) Textura

A determinação da textura foi feita pelo método do hidrômetro de Bouyoucos modificado, segundo Carvalho et al. (1988). Foram pesados 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA), colocados em garrafa de 250 ml, adicionando-se em seguida 25 ml de NaOH 1 mol L^{-1} para dispersão, e água destilada o suficiente para atingir 2/3 da altura da garrafa, e colocando-se sob agitação lenta

durante 16 horas a 30 rpm no agitador rotatório vertical. A suspensão foi passada pela peneira de malha de 53 μm , com auxílio de jato de água, para coleta da fração areia. Com auxílio de uma piseta, a areia retida foi colocada em béquer previamente tarado e identificado que, após sedimentação e drenagem do excesso de água, foi levada para estufa a 105° C por 24 horas. Em seguida, o material foi pesado e feito o cálculo da percentagem de areia total.

O material em suspensão que passou pela peneira foi transferido à proveta de 1.000 ml, sendo completado com água destilada. Em seguida, foi promovida homogeneização da suspensão por 20 segundos, deixando-se as provetas em repouso. Após decorrido o devido tempo de sedimentação (3h), coletou-se por sifonamento 5 cm da suspensão, que foi transferido a uma proveta de 250 ml. Em seguida, foi feita a leitura com o auxílio do hidrômetro (°F) da suspensão contendo a fração argila, e foi medida a temperatura (°C) para futura correção das leituras. Às suspensões que formaram espuma depois de agitadas, foram adicionadas algumas gotas de álcool antes da introdução do hidrômetro.

Como o hidrômetro é calibrado para temperatura de 68 °F (20 °C), as leituras foram corrigidas em função da temperatura em °C. Assim, para cada grau acima ou abaixo de 68 °F, foi adicionado ou subtraído 0,2 respectivamente, à leitura do hidrômetro. Com a leitura corrigida, foi feito o cálculo da percentagem da fração argila pela seguinte fórmula abaixo:

$$\% \text{ Argila na TFSE} = \frac{100 \times \text{Leitura corrigida}}{\text{TFSE (g)}} \quad (1)$$

Com o resultado da fração areia total e da fração argila, a percentagem da fração silte foi calculada por diferença. Todos os resultados obtidos foram corrigidos de TFSA para TFSE (terra fina seca na estufa) por um fator multiplicação em função da umidade higroscópica.

c) Estabilidade de agregados em água

Determinada pelo método de avaliação dos agregados estáveis em água, conforme proposição de Yoder (1936), que utiliza o aparelho de oscilação vertical. Após a secagem ao ar de torrões de solo, estes foram destorroados até passarem na peneira de 8 mm, sendo coletado o material retido na de 4,75 mm. Pesou-se 25 g desse material, que foi colocado em placas de petri seguido por umedecimento lento (24 horas) da amostra em uma bandeja contendo areia molhada coberta com papel filtro. Posteriormente, as amostras foram transferidas com auxílio de uma piseta para a peneira superior de um jogo de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm, e submetidas à agitação vertical em água no aparelho de Yoder, durante 15 minutos, com 25 oscilações por minuto.

Após o tempo determinado, o material retido em cada peneira foi transferido por meio de jato d'água para bequer de 100 ml previamente pesado e identificado, e levado à estufa por 48 horas a 105-110 °C até massa constante. O material seco em estufa foi pesado em cada classe de tamanho, expresso como percentagem da amostra inicial. A partir dos dados de massa de agregados foram calculados o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), segundo as equações abaixo:

$$\text{DMG} = 10^x$$

$$x = \frac{\sum (n_i \log d_i)}{\sum n_i} \quad (2)$$

$$\text{DMP} = \frac{\sum_{i=1}^n (n_i d_i)}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

onde, n_i = % dos agregados retidos em uma determinada peneira (forma decimal) e d_i = diâmetro médio das classes de agregados (mm).

6.4.3 Carbono orgânico do solo (COS) e cálculo do estoques no solo

O COS foi determinado pelo método de combustão seca automatizado, utilizando o aparelho Organic Carbon Analyser, modelo Vario[®] TOC Cube (marca Elementar). Em resumo, cada amostra foi macerada em almofariz e peneirada (malha de 100 mesh), sendo utilizada uma alíquota de 10 a 13 mg, acondicionada e selada em cápsulas de estanho e incineradas à temperatura aproximada de 950 °C, por 5 minutos, em um tubo de quartzo de combustão, sob fluxo de 0,3 L min⁻¹ de gás O₂ com 99,9998% de pureza. Após a combustão, todo o COS foi convertido em CO₂, medido por um sensor infravermelho relacionando-o automaticamente com a quantidade de C existente na amostra por estequiometria. Na confecção de curva padrão do carbono para o analisador automático, foram utilizadas amostras puras de PHP (*Potassium hydrogen phthalate*, 47,05% de C) e de sacarose (42,1% de C).

Calcularam-se os estoques de C orgânico do solo em função das densidades do solo, dos teores do elemento no solo e espessura de cada camada amostrada, utilizando-se a seguinte equação:

$$Est = \sum_1^n \text{volume} \times Ds \times (\text{COS}_{\text{concentração}}) / 100 \quad (3)$$

onde, EstC representa o estoque de carbono (Mg ha⁻¹); n é o número de camadas ou profundidade do solo usadas, Σ_{in} = volume total de solo na camada (m³ ha⁻¹), Ds = densidade do solo (Mg/m³) e COSconcentração = Carbono orgânico do solo (%).

6.4.4 Carbono da matéria orgânica particulada

O fracionamento da matéria orgânica do solo foi efetuado em conjunto com a separação física da análise textural (ZINN et al., 2007a). A fração areia isolada por tamisamento na análise textural contém a fração particulada (grosseira) do COS. O material retido na peneira de 53 μm , após secagem a 105 °C, foi moído em almofariz e passado por peneira de 100 mesh. Foram utilizados 10 mg para determinar o carbono pelo método de combustão seca automatizado, utilizando o aparelho Organic Carbon Analyser, modelo Vario TOC Cube (marca Elementar), conforme descrito para o COS. O carbono associado à argila e silte foi calculado pela diferença entre os teores de COS total e os COP.

6.4.5 Micromorfologia do solo

Foram coletadas amostras indeformadas de solo na profundidade de 0-5 cm com auxílio de faca e espátula em caixas plásticas de Kubiena. Após secagem em temperatura ambiente por vários meses e por 24 horas em estufa a 120 °C, foi colocada resina epóxi (mistura de 10 partes da resina epóxi EQ 2003/8,5 partes do endurecedor SQ 3182, ®SILAEX LTDA). Em seguida, em um dessecador conectado a uma bomba pneumática, formando um sistema fechado, foi mantido vácuo de aproximadamente 560 mm Hg, para remoção de bolhas de ar. Após essa etapa, as amostras foram colocadas em estufa a 120° C durante 8 horas, para endurecimento e cura, e depois foram cortadas por uma serra diamantada e polidas por lixas, fixadas em discos rotativos. Iniciou-se o lixamento com a lixa de granulometria 320, seguida pela lixa 600 (marca 3M) com água; os blocos de resina foram então colados com resina Hillquist Thin Epoxy (mistura de 7 partes da resina A /3 partes da resina B) em lâminas de

vidro, cortadas a 100 μm de espessura em uma máquina laminadora, e depois lixadas em papel corundo 800 até espessura de 30 μm .

6.4.6 Difratometria de Raios-X

As análises de difratometria de raios-x interpretadas segundo Resende et al. (2005).

6.4.6.1 Argila orientada

As frações argila e silte, isoladas da fração areia por tamisamento na análise de textura, foram separadas pipetando-se a fração argila após decorrido o devido tempo de sedimentação, segundo a Lei de Stokes. Após sucessivas pipetagens, foram adicionados 3 ml de solução de MgCl_2 concentrado à argila em suspensão, visando promover sua floculação. Em seguida, a suspensão foi centrifugada a 3000 rpm durante 15 minutos, descartando-se o sobrenadante, e a argila resultante foi acondicionada em recipiente com tampa. Sobre uma lâmina de vidro foi depositado 1 ml da argila até que esta constituísse um filme orientado opaco após secagem em temperatura ambiente.

Após a secagem, foi realizada análise de difração de raios-X em aparelho difratômetro Phillips PW 1830/1840 (Lelyweg, Holanda), tendo cobalto ($\text{Co-K}\alpha$) como fonte de radiação e filtro de ferro, em intervalos de $0,01^\circ$, na amplitude de $5-40^\circ 2\theta$. O difratômetro foi operado a 25 mA e 35 kV para todas as análises realizadas. Os gráficos relativos aos espectros foram confeccionados em planilha eletrônica, as distâncias interplanares (d) foram calculadas segundo a Lei de Bragg (Equação A), a qual estabelece a relação entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que a originaram (característicos para cada fase cristalina):

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad (4)$$

onde, n: número inteiro, λ : comprimento de onda dos raios-X incidentes (0,1789 nm), d: distância interplanar, θ : ângulo de difração.

6.4.6.2 Difractometria da fração areia

A fração areia, obtida por tamisação na análise de textura, foi macerada em almofariz e peneirada (malha de 100 mesh), e colocada em porta-amostra do tipo “janela”. Foi realizada a análise de difração de raio-X em difratômetro conforme descrito para a argila, porém na amplitude 5-70° 2 θ .

6.5 Delineamento Experimental

O delineamento experimental é inteiramente casualizado (DIC) sendo considerados seis tratamentos (café terço superior, café terço inferior, cedro terço superior e cedro terço inferior, mata terço superior e mata de baixada). Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Hartley ($P < 0,05$) a fim de verificar a homogeneidade de variância dentre os tratamentos e, em seguida, submetidos à análise de variância ($P < 0,05$). Em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey-Kramer e teste t ($P < 0,05$), valendo-se do programa estatístico JMP 5,1. A análise de variância e testes de médias foram realizados por profundidade.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Caracterização do solo

As características físicas e químicas são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo.

Tabela 1 Valores médios da análise textural e densidade do solo (Ds) do Argissolo Vermelho-Amarelo sob mata secundária

Posição na paisagem	Argila	Areia total		Silte	Ds
		Areia grossa	Areia fina		
		%			g cm ⁻³
		0-5 cm			
Terço superior	59	15	16	9	1,06
Terço inferior	42	31	20	8	1,07
		5-10 cm			
Terço superior	60	14	15	11	1,03
Terço inferior	47	26	23	5	1,02
		10-20 cm			
Terço superior	60	14	15	12	1,03
Terço inferior	54	23	25	8	0,99
		20-40 cm			
Terço superior	55	19	17	9	1,13
Terço inferior	63	19	12	6	0,96

O solo apresenta Ds variando de 0,96 a 1,13 g cm⁻³ nas profundidades amostradas. No terço superior, não foi verificado aumento no teor de argila em profundidade, de modo que o solo foi classificado Argissolo devido à forte cerosidade, estrutura em blocos e consistência dura. Já no terço inferior, o incremento de argila é nítido (Tabela 1).

De acordo com a Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), o solo apresenta acidez ativa (pH) inadequada até a profundidade 10 cm, e adequada nas demais profundidades. A acidez potencial

(H + Al) e a saturação de Al (% m) apresentam valores altos e médios respectivamente, em superfície. Os valores de P são muito baixos em todas as profundidades avaliadas. Os valores de Ca, Mg, K, t e T variam de muito baixo a médios e aumentam do terço superior ao inferior, que pode ser devido ao transporte de íons em solução por fluxo subsuperficial (Tabela 2).

Tabela 2 Atributos químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo

pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	t	T	V	m
	... mg·dm ⁻³ ...				..... cmol _c ·dm ⁻³ %	
..... 0-5 cm										
-----Terço superior da paisagem-----										
5,2	1,0	83,9	0,3	0,4	6,7	0,7	1,6	6,5	9,3	49,7
-----Terço inferior da paisagem-----										
6,1	1,4	120,6	3,1	2,3	3,8	0,1	5,9	8,9	59,0	2,7
..... 5-10 cm										
-----Terço superior da paisagem-----										
5,1	1,1	75,8	0,2	0,2	5,8	0,6	1,2	6,5	8,7	47,8
-----Terço inferior da paisagem-----										
5,7	1,4	130,0	2,1	1,8	4,4	0,2	4,5	8,8	46,1	8,6
..... 10-20 cm										
-----Terço superior da paisagem-----										
5,4	1,1	48,5	1,3	0,5	3,9	0,2	2,2	5,9	23,4	25,6
-----Terço inferior da paisagem-----										
5,5	1,3	124,8	1,6	1,4	5,0	0,3	3,6	8,2	38,8	12,0
..... 20-40 cm										
-----Terço superior da paisagem-----										
5,7	1,0	32,0	2,0	0,8	3,7	0,2	3,0	6,7	40,2	7,1
-----Terço inferior da paisagem-----										
5,7	5,7	73,7	1,1	0,9	4,5	0,2	2,4	6,7	32,9	7,2

A mineralogia da fração argila, identificada por difratometria de raios-x, apresenta pequena variação entre profundidades e topografia. A caulinita foi o mineral predominante nas duas profundidades, seguido da gibbsite, goethita e traços de quartzo (Figura 6). Antonello et al. (2002) afirmam que a caulinita, em termos quantitativos, é o principal componente da fração argila da maioria dos

solos tropicais e subtropicais, sendo um indicativo do predomínio dos processos de monossilatização durante o intemperismo do material de origem. Segundo estes autores, neste processo, há uma dessilicatização e lixiviação não muito intensa, com alta concentração de íons H^+ e baixa concentração de bases, havendo, portanto, decomposição dos alumino-silicatos do material de origem com remoção do Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ da zona do intemperismo. A presença de quartzo na fração argila indica intensa liberação de sílica, o que pode evidenciar processo de rejuvenescimento do solo por erosão.

Castro et al. (2010) afirmam que a presença marcante de caulinita, goethita e gibbsita na fração argila indica solos mais intemperizados, lixiviados e, geralmente, com baixos teores de nutrientes. A gibbsita constitui a segunda maior concentração no solo estudado, inferida pela baixa intensidade do pico. A ocorrência da gibbsita também pode ter sido favorecida devido à formação da caulinita com baixo grau de cristalização (pico largo) ou de menor tamanho (RESENDE et al., 2005). O conjunto de minerais encontrados na fração argila das duas profundidades não difere qualitativamente em consequência da posição na paisagem. Em contradição, Mota, Oliveira e Gebhardt (2002) verificaram que a caulinita nos Argissolos aumenta da base para o topo do perfil, sendo sua gênese favorecida pelas condições de maior fluxo lixiviante e intemperismo nos horizontes mais superficiais. No presente trabalho, é possível que isto não tenha sido detectado, devido a camada amostrada ser relativamente pouco profunda (0-40cm). Em horizontes B de Latossolos, a mineralogia caulínica normalmente implica em desenvolvimento de uma estrutura do tipo bloco, resultando em alta D_s , em razão do ajuste face-a-face das placas dos minerais da fração argila (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999a), o que pode ser visto na Figura 8.

Na fração areia, a difração de raios-x demonstrou que o quartzo é o mineral dominante (Figura 7). Resultado contrastante foi encontrado por Mota, Oliveira e Gebhardt, (2002), em estudo sobre um Argissolo sobre mesmo tipo

material de origem em uma topossequência de 3-8% de declividade no Ceará, de clima mais seco. Estes autores observaram maior quantidade de biotita em profundidade (> 43 cm), e predominância do quartzo nos horizontes superficiais (12-43 cm), local de maior intemperismo. A posição na paisagem não interferiu na mineralogia da areia, embora Luz, Santos e Mermut (1992) afirmem que a posição no relevo influencia a drenagem e processos superficiais de transporte e deposição, e conseqüentemente a mineralogia dos solos.

O predomínio do quartzo na fração areia é também observado na seção delgada sob cafezais nas duas posições da paisagem (Figura 8). A forma irregular e sub-angular dos grãos de areia sugere pouco transporte, e origem autóctone do solo a partir do gnaiss subjacente. Embora no difratograma não seja detectada a presença de feldspato, foi possível verificar a presença, embora rara, deste mineral nas seções delgadas (Figura 8), da área sob cafezal de terço superior. O grão de K-feldspato se encontra em processo de intemperização, entre vários grãos de quartzo entre e dentro dos agregados em blocos subangulares. Como os feldspatos são facilmente intemperizáveis, isto pode ter alguma relação com os teores de K apresentados na Tabela 3.

Em geral, os resultados permitem concluir que o Argissolo estudado é autóctone, bem desenvolvido e intemperizado devido às condições de clima, relevo e vegetação, apresentando baixa reserva potencial mineral de nutrientes para as plantas, especialmente no terço superior.

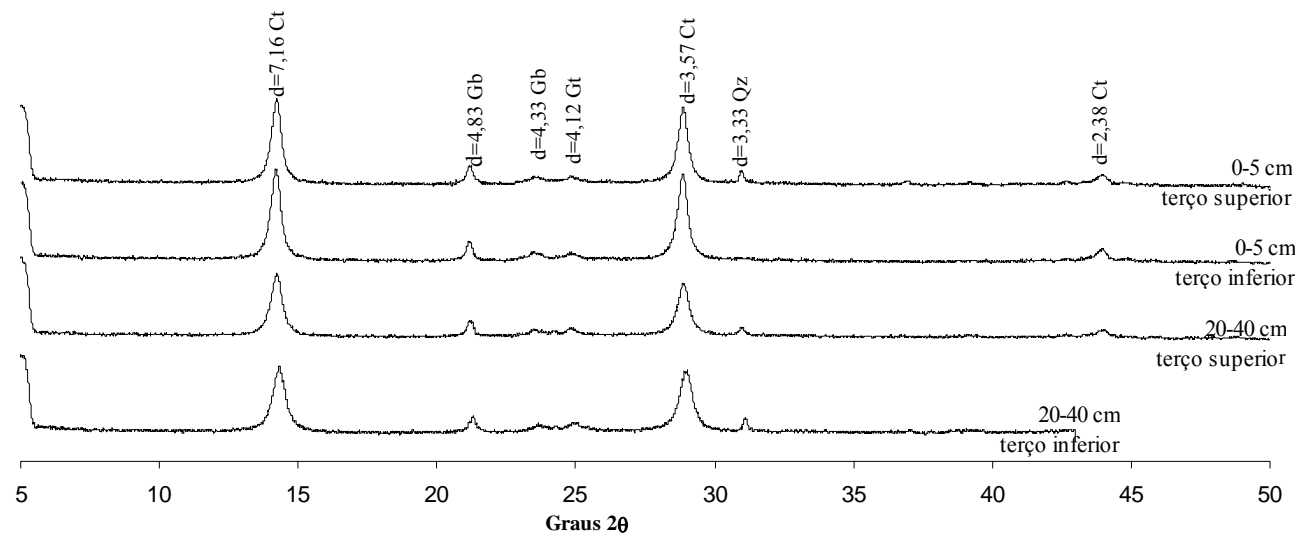


Figura 6 Difratoograma de raios -x da fração argila de Argissolo Vermelho Amarelo sob cedro australiano (Coka/Fe)
Ct: caulinita, Gb: gibsita, Qz: quartzo, Gt: goethita. d: espaçamento em Å

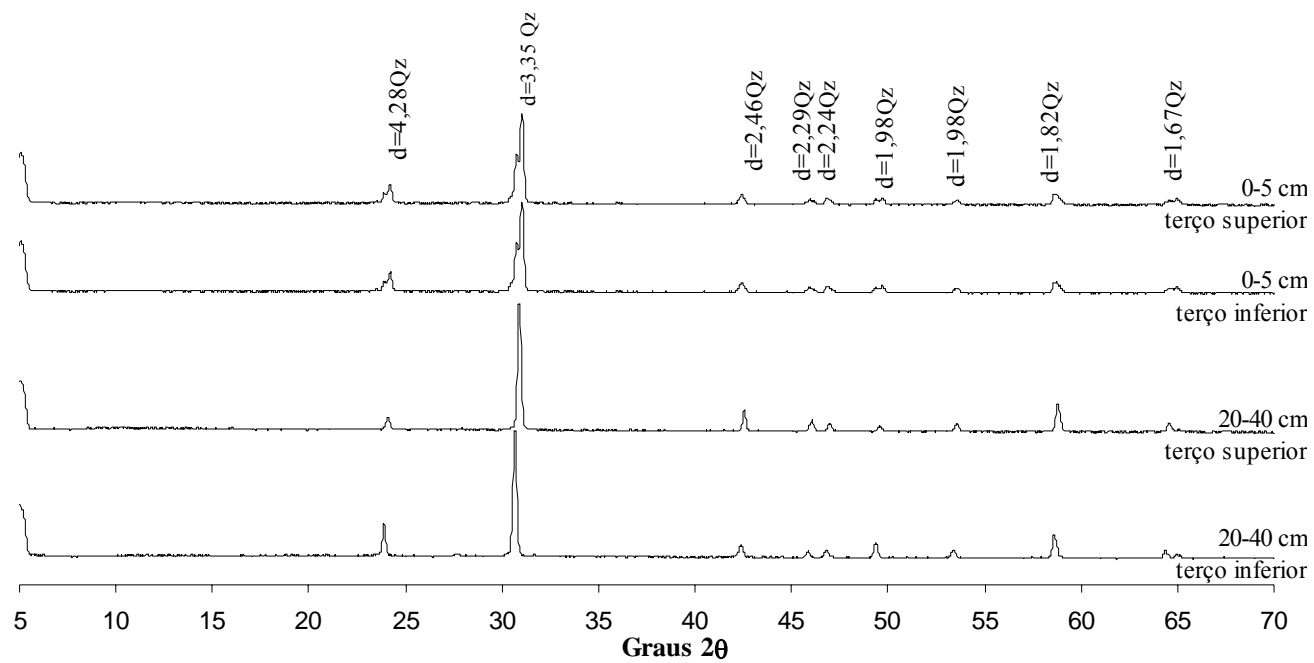
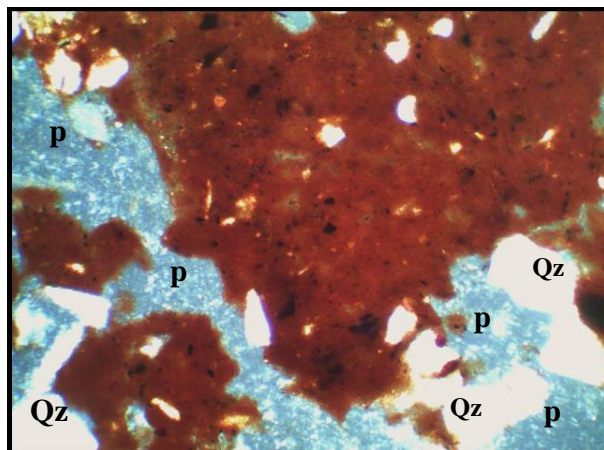
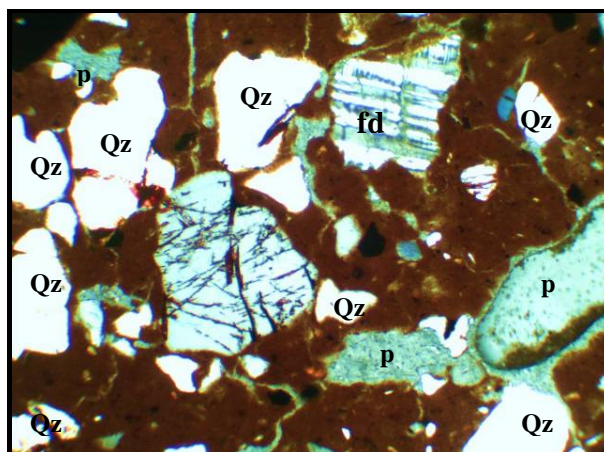


Figura 7 Difratoograma de raios -x da fração areia de Argissolo Vermelho- Amarelo sob cedro australiano (Coka/Fe)
Qz: quartzo, d: espaçamento em Å



Cafezal terço inferior



Cafezal terço superior

Figura 8 Seção delgada do solo sob cafezal. No terço inferior (100X), destaca-se a presença de poros (p), quartzo (Qz). Luz polarizada parcialmente cruzada (largura da imagem 0,9 mm). No terço superior (40X), destaca-se a presença de macroporos (p), quartzo (Qz), feldspato (fd). Luz polarizada parcialmente cruzada (largura da imagem 2,3 mm)

7.2 Efeito dos sistemas de manejo na fertilidade do solo

Os resultados das análises químicas do solo em função do uso e posição na paisagem encontram-se nas Tabelas 3, 5 e 7, e suas respectivas classificações segundo CFSEMG (1999) nas Tabelas 4, 6 e 8.

Os teores de P foram altamente variáveis, com tendência a serem maiores na área de cedro de terço superior (Tabela 3). O teor de P em todos os usos da terra é classificado como baixo e muito baixo, ou seja, inadequado para o cultivo do café e cedro, exceto para o cedro de terço superior, em que foi classificado como médio (Tabela 4). A baixa disponibilidade de P nestas áreas está relacionada com a acidez do solo (Tabela 5) e a presença de óxidos de Fe e Al na fração argila (Figura 6).

Esses resultados estão em conformidade com os encontrados por Muller (2004) em áreas de cafezais sob Latossolos com declividade de 20 a 45 % na Zona da Mata mineira. Os teores de K tiveram comportamento inverso ao do P com relação ao cedro de terço superior, apresentando os menores valores, classificados como baixos (Tabela 3). Observa-se ainda redução em profundidade. A mata de terço inferior apresentou os maiores teores de K nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. Observa-se que os teores de K aumentaram do terço superior para o terço inferior nas profundidades 5-10 e 10-20 cm, indicando influência do relevo, sugerindo transporte de K^+ por fluxo massal (Tabela 3).

Os teores de Ca^{2+} foram considerados médios a muito bons para todos os usos dos solos, exceto para a mata de terço superior que apresentou baixos teores nas camadas até 10 cm, reflexo da falta de calagem por 20 anos. O Mg^{2+} segue a tendência do Ca^{2+} , exceto para cedro e café do terço inferior que apresentam baixos teores na maioria das profundidades avaliadas. Em geral, a soma de bases (SB) varia de média a boa. O alto teor de Ca^{2+} é indicativo de

prevalecer no solo uma faixa de pH ideal e baixa concentração ou ausência de Al. A CTC efetiva (t) fornece uma idéia das possibilidades de perdas de cátions por lixiviação, e em geral seus valores foram classificados como médios a bons (Tabela 4).

Essas classes de interpretação sugerem que a baixa retenção de cátions pela argila de baixa atividade (Figura 6) no solo está sendo compensada pelos altos níveis de H⁺ ligado ao COS (Tabelas 5, 12), o que ainda permite, no entanto, apresentar perdas de K⁺ para o terço inferior. A CTC potencial, também conhecida como CTC a pH 7,0 (T), reflete a capacidade do solo em reter cátions a pH 7,0. Foi verificada diferença estatística apenas na profundidade 0-5 cm, com maiores valores na mata de terço inferior (Tabela 3), porém não houve diferença na classificação, e todos os usos da terra e posições no relevo foram considerados médios (Tabela 4). O valor T será tanto maior quanto mais baixo for o pH natural do solo e quanto maior for o teor de COS do solo, uma vez que os colóides orgânicos são os principais responsáveis pela retenção dos cátions H⁺.

Para os solos em avançado grau de intemperismo da região do Cerrado, onde há predominância de argilas de baixa atividade (óxidos de Fe e Al e caulinita), Zech et al. (1997) verificaram que a maior parte da CTC é oriunda das cargas negativas geradas pela matéria orgânica. Os valores de V% refletem a porcentagem da CTC a pH 7,0 que estão ocupadas pelas bases existentes no solo, e servem como parâmetro para separar solos eutróficos (V% > 50) dos distróficos. Os menores valores foram observados na área de mata de terço médio superior, e foram classificados como baixos a muito baixos em todas as profundidades avaliadas, e para demais áreas variaram entre médio e alto. Os baixos valores de V% nas áreas de mata podem ser devidos ao longo tempo sem calagem, uma vez que elevar a saturação por bases corresponde a elevar o pH,

substituindo o Al^{+3} por Ca^{+2} e gerar mais sítios de troca catiônica dependente de pH.

Com relação à acidez do solo, observa-se que os valores de pH seguem a mesma tendência dos resultados de V%: menores valores de pH são da área sob mata de terço superior e café de terço inferior, os maiores são sob áreas de cedro de terço superior (Tabela 5). A acidificação do solo sob mata na profundidade de 0-5 cm pode ser devida ao efeito da topografia, favorecendo perdas de bases para o terço inferior (Tabela 3), ou devida ao crescimento florestal sem adubação. A planta pode alterar o pH do solo através das raízes, pois estas liberam íons H^+ e OH^- em função do balanço entre a absorção de cátions e ânions (FURTINI NETO et al., 2001).

Tabela 3 Indicadores de fertilidade do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Uso da terra	P	K	Ca	Mg	SB	T	t	V
..... 0-5 cm								
----- Terço superior da paisagem -----								
-								
Mata	1,0 b	83,9 bc*	0,3 c*	0,4 b*	0,9 a*	6,5 ab*	1,6 c*	9,3 d*
Cedro	13,3*	18,1 e*	3,2 b*	1,0 b*	4,2 ab*	6,0 b*	4,2 ab	70,0 a*
Cafezal	4,8 b	105,6 ab*	3,7 a*	0,9 b*	4,8 ab *	7,5 ab	4,9 ab*	64,9 a*
----- Terço inferior da paisagem -----								
Mata	1,4 b	120,6 a*	3,1 ab*	2,3 a*	5,8 a*	8,9 a*	5,9 a*	59,0ab*
Cedro	2,8 b*	64,4 cd*	1,7 abc*	0,6 b*	2,5 bc*	6,9 ab*	3,2 abc	41,5bc*
Cafezal	3,5 b	43,3 de*	1,6 bc*	0,3 b*	2,0 bc*	6,2 ab	2,2 bc	31,7 c*
..... 5-10 cm								
----- Terço superior da paisagem -----								
Mata	1,1 a	75,8 ab	0,2 b	0,2 b	0,7 a	6,5 a	1,2 a	8,7 c*
Cedro	12,4 a	27,0 b	4,1 a	1,0 ab*	5,1 a	6,6 a	5,1 a	77,1 a*
Cafezal	13,2 a	37,7 b	3,0 ab	0,7 ab*	3,8 a	6,7 a	3,8 a	56,6 ab*
----- Terço inferior da paisagem -----								
Mata	1,4 a	130,0 a	2,1 ab	1,8 a	4,2 a	8,8 a	4,5 a	46,1 ab*
Cedro	7,6 a	99,9 ab	2,6 ab	0,2 b*	3,3 a	7,1 a	3,5 a	43,7 ab*
Cafezal	6,2 a	37,1 b	1,4 ab	0,2 b*	1,8 a	7,1 a	2,1 a	22,4 bc*

Tabela 3, conclusão

Uso da terra	P	K	Ca	Mg	SB	T	t	V
..... 10-20 cm								
----- Terço superior da paisagem -----								
Mata	1,1 a	48,5 ab*	1,3 a	0,5 b	1,9 a	5,9 a	2,2 a	23,4 b
Cedro	10,3 a	17,0 b*	3,8 a*	0,7 ab	4,5 a*	6,0 a	4,5 a*	76,0 a*
Cafezal	8,4 a	84,0 ab	4,3 a	0,7 ab	5,2 a	7,6 a	5,3 a	63,4 ab
----- Terço inferior da paisagem -----								
Mata	1,3 a	124,8 ab*	1,6 a	1,4 a	3,3 a	8,2 a	3,6 a	38,8 ab
Cedro	2,1 a	172,4 a*	2,3 a*	0,6 ab	3,3 a*	5,5 a	3,4 a*	49,9 ab*
Cafezal	3,9 a	65,6 ab	1,7 a	0,4 b	2,3 a	7,0 a	2,5 a	31,2 b
..... 20-40 cm								
----- Terço superior da paisagem -----								
Mata	1,0 b*	32,0 b	2,0 abc	0,8 a	2,8 ab	6,7 a	3,0 ab	40,2 bc
Cedro	15,3 a	20,3 b	3,2 ab	0,9 a*	4,1 ab	6,1 a	4,1 ab	65,0 a*
Cafezal	2,5 b	121,1 a	3,6 a*	0,8 a*	4,7 a*	6,1 a	4,7 a*	76,5 a*
----- Terço inferior da paisagem -----								
Mata	5,7 b*	73,7 b	1,1 c	0,9 a	2,2 ab	6,7 a	2,4 ab	32,9 c
Cedro	x	34,3 b	2,4 abc	0,5 a*	3,1 ab	6,5 a	3,1 ab	47,3 b*
Cafezal	2,6 b	74,4 b	1,3 bc*	0,4 a*	1,9 b*	5,4 a	2,0 b*	35,1 bc*

Médias seguidas de letras na coluna por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$) devido à posição em um mesmo uso da terra

Tabela 4 Classes de interpretação de fertilidade do solo, segundo a CFSEMG (1999)

Uso da terra	P	K	Ca	Mg	SB	t	T	V
	..... mg dm ⁻³ .....		..... cmol _c dm ⁻³					%
	..... 0-5 cm							
----- Terço superior da paisagem -----								
Mata	M. baixo	Bom	M.baixo	Baixo	M. alto	Baixo	Médio	M. baixo
Cedro	Médio	Baixo	Bom	Bom	Bom	Médio	Médio	Alta
Cafezal	Baixo	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Médio	Alta
----- Terço inferior da paisagem -----								
Mata	M. baixo	M. bom	Bom	M. bom	Bom	Bom	Bom	Médio
Cedro	M. baixo	Bom	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
Cafezal	M. baixo	Médio	Médio	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Baixo
..... 5-10 cm								
----- Terço superior da paisagem -----								
Mata	M. baixo	Bom	M. b-o	M. baixo	Baixo	Baixo	Médio	M. baixo
Cedro	Médio	Baixo	M. bom	Bom	Baixo	Bom	Médio	Alta
Cafezal	Médio	Baixo	Bom	Médio	Bom	Médio	Médio	Médio
----- Terço inferior da paisagem -----								
Mata	M. baixo	M. bom	Médio	M.bom	Médio	Bom	Médio	Médio
Cedro	Baixo	Bom	Bom	M. baixo	Médio	Médio	Médio	Médio
Cafezal	Baixo	Baixo	Médio	M. baixo	Baixo	Baixo	Médio	Baixo

Tabela 4, conclusão

Uso da terra	P	K	Ca	Mg	SB	t	T	V
	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			%
	10-20cm							
----- Terço superior da paisagem -----								
Mata	M. baixo	Médio	Médio	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Baixo
Cedro	Médio	Baixo	Bom	Médio	Bom	Bom	Médio	Alto
Cafezal	Médio	Bom	M. bom	Médio	Bom	Bom	Médio	Alto
----- Terço inferior da paisagem -----								
Mata	M. baixo	M. bom	Médio	Bom	Médio	Médio	Médio	Médio
Cedro	M. baixo	M. bom	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
Cafezal	M. baixo	Médio	Médio	Baixo	Médio	Médio	Médio	Baixo
----- 20-40 cm -----								
----- Terço superior da paisagem -----								
Mata	M. baixo	Baixo	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
Cedro	Médio	Baixo	Bom	Médio	Bom	Médio	Médio	Alto
Cafezal	M. baixo	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Médio	Alto
----- Terço inferior da paisagem -----								
Mata	Baixo	M. bom	Baixo	Médio	Médio	Médio	Médio	Baixo
Cedro	M. alto	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Médio	Médio	Médio
Cafezal	M. baixo	M. bom	Médio	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Baixo

Tabela 5 Indicadores da acidez do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Uso da terra	pH	Al	H + Al	m
		..... cmolc dm ⁻³		%
		..... 0-5 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	5,2 c*	0,7 a*	6,7 a	49,7 a*
Cedro	6,8 a*	0,0 b	1,8 b*	0,0 b
Cafezal	5,9 b*	0,0 b*	2,5 b*	0,0 b*
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	6,1 ab*	0,1 b*	3,8 b	2,7 b*
Cedro	5,7 bc*	0,2 b	4,0 b*	8,7 b
Cafezal	5,1 c*	0,2 b*	4,2 ab*	10,5 b*
		..... 5-10 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	5,1 cd*	0,6 a	5,8 a	47,8 a*
Cedro	6,9 a*	0,0 b	1,6 b*	0,0 b
Cafezal	6,0 b*	0,0 b*	2,9 ab	0,8 b*
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	5,7 bc*	0,2 ab	4,4 ab	8,6 b*
Cedro	5,6 bc*	0,2 ab	3,8 ab*	9,8 b
Cafezal	4,9d*	0,3 ab*	5,3 a	17,2 b*

Tabela 5, conclusão

Uso da terra	pH	Al	H + Al	m
		..... cmolc dm ⁻³		%
		..... 10-20 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	5,4 c	0,2 a	3,9 ab	25,6 a
Cedro	7,1 a	0,0 a	1,5 c	0,0 a*
Cafezal	6,3 ab*	0,1 a	2,3 bc*	2,3 a
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	5,5 bc	0,3 a	5,0 a	12,0 a
Cedro	6,2 bc	0,2 a	2,8 bc	3,9 a*
Cafezal	5,1 d*	0,3 a	4,7 a*	13,5 a
		..... 20-40 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	5,7 c	0,2 a	3,7 ab	7,1 a
Cedro	6,4 b*	0,0 c	2,2 c*	0,0 c*
Cafezal	6,9 a*	0,0 c	1,4 d*	0,0 c*
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	5,7 c	0,2 a	4,5 a	7,2 a
Cedro	5,7 c*	0,1 b	3,3 b*	3,4 bc*
Cafezal	5,4 d*	0,1 b	3,5 b*	5,8 ab*

Médias seguidas de letras na coluna por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05). (*) efeito significativo pelo teste t (P<0,05), devido à posição em um mesmo uso do solo

Pelo critério da CFSEMG (1999, Tabela 6) o pH do solo foi classificado em adequado e inadequado (baixo ou alto valores), e as áreas com baixo pH apresentam baixa fertilidade ($V < 50\%$). No entanto, esta classificação é dificultada, na cafeicultura, pela aplicação localizada de fertilizantes nitrogenados na projeção da copa, que resulta em acidificação localizada. A arruação, que consiste em puxar os resíduos para o meio da rua, antes da colheita, concentra solo com resíduos de fertilizantes ou solo mais fértil na rua, o que também pode alterar a avaliação a fertilidade do solo.

Os teores de Al trocável apresentam os maiores valores nas áreas de mata de terço superior, porém todos foram classificados como muito baixo, em acordo com pH do solo entre 5,0 e 6,0 como efeito das calagens no passado. Sabe-se que com pH em torno de 6,0 só existe acidez ativa e não-trocável, e não mais a trocável, pois todo Al já foi precipitado na forma de $Al(OH)_3$ devido à calagem. No entanto, o parâmetro que melhor expressa o potencial fitotóxico do Al é o valor m, que expressa a fração da CTC efetiva ocupada por Al trocável. No presente trabalho, os valores foram considerados muito baixos (Tabela 6). O cafeeiro, assim como a maioria das espécies cultivadas, tolera saturação de Al de no máximo de 60%, pois acima deste valor há um grande aumento na atividade do Al em solução e o crescimento das raízes é praticamente paralisado (CFSEMG, 1999). Nas áreas de mata, foi notado o reflexo do efeito da calagem da época que a área era ocupada por cafezais, de forma que os valores de Al foram baixos. Os maiores valores de acidez potencial ($H+Al$) foram observados nas áreas de mata de terço inferior e superior, o que pode ser explicado pelos altos teores de H^+ no solo, devido aos maiores estoques de COS (Tabela 13), e em geral variam de baixo a médio.

Tabela 6 Classes de interpretação da acidez do solo, segundo a CFSEMG (1999)

Uso da terra	pH	Al	H + Al	m
		..... cmolc dm-3		%
		..... 0-5 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	Baixo	Médio	Alta	Médio
Cedro	Adequado	M. Baixo	Baixo	M. Baixo
Cafezal	Adequado	M. Baixo	Baixo	M. Baixo
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	Alto	M. Baixo	Médio	M. Baixo
Cedro	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo
Cafezal	Baixo	M. Baixo	Médio	M. Baixo
		..... 5-10cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	Baixo	Baixo	Alta	Médio
Cedro	Alto	M. Baixo	Baixo	M. Baixo
Cafezal	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo
Cedro	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo
Cafezal	Baixo	Baixo	Alta	Baixo

Tabela 6, conclusão

Uso da terra	pH	Al	H + Al	m
		..... cmol _c dm ⁻³		%
		..... 10-20 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	Adequado	M. Baixo	Médio	Baixo
Cedro	Muito Alto	M. Baixo	Baixo	M. Baixo
Cafezal	Alto	Baixo	Baixo	M. Baixo
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo
Cedro	Alto	M. Baixo	Baixo	M. Baixo
Cafezal	Baixo	Baixo	Médio	M. Baixo
		..... 20-40 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo
Cedro	Alto	M. Baixo	Baixo	M. Baixo
Cafezal	Alto	M. Baixo	Baixo	M. Baixo
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo
Cedro	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo
Cafezal	Adequado	M. Baixo	Médio	M. Baixo

Tabela 7 Disponibilidade de micronutrientes do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Uso da terra	Zn	Fe	Mn	Cu	B
..... mg dm ⁻³					
..... 0-5 cm					
----- Terço superior da paisagem -----					
Mata	1,5 a	67,9 a*	47,1 b*	7,0 a*	0,2 a
Cedro	5,0 a*	47,7 ab	11,0 b	1,3 c*	0,3 a
Cafezal	4,7 a	37,4 b	10,6 b	2,2 c*	0,4 a
----- Terço inferior da paisagem -----					
Mata	2,6 a	42,0 b*	86,7 a *	2,5 b*	0,4 a
Cedro	1,1 a*	53,7 ab	15,9 b	4,3 b*	0,2 a
Cafezal	1,8 a	37,9 b	16,8 b	4,3 b*	0,3 a
..... 5-10 cm					
----- Terço superior da paisagem -----					
Mata	0,9 a	46,0 ab	36,9 a*	6,8 a*	0,1 a
Cedro	2,8 a	45,3 ab	13,9 b	1,2 c*	0,3 a
Cafezal	4,6 a	39,4 ab	10,7 b	2,8 bc	0,3 a
----- Terço inferior da paisagem -----					
Mata	2,1 a	61,5 a	78,8 a*	3,1 bc*	0,4 a
Cedro	2,3 a	31,5 ab	18,3 b	4,2 ab*	0,2 a
Cafezal	3,2 a	27,3 b	20,8 ab	5,0 ab	0,3 a

Tabela 7, conclusão

Uso da terra	Zn	Fe	Mn	Cu	B
..... mg dm ⁻³					
..... 10-20 cm					
----- Terço superior da paisagem -----					
Mata	0,5 a	24,3 b*	35,3 ab*	4,8 ab	0,3 a
Cedro	2,7 a	52,9 a	9,4 b	1,5 b*	0,3 a*
Cafezal	3,3 a	30,4 ab	8,0 b	2,3 ab*	0,4 a
----- Terço inferior da paisagem -----					
Mata	1,9 a	50,5 a*	99,3 a*	3,4 ab	0,3 a
Cedro	0,6 a	45,8 ab	10,5 b	3,8 ab*	0,2 a*
Cafezal	2,5 a	38,4 ab	14,4 b	5,2 a*	0,3 a
..... 20-40 cm					
----- Terço superior da paisagem -----					
Mata	0,6 b	41,2 ab	45,8 b*	3,9 a	0,2 a
Cedro	6,5 a	56,5 a*	11,8 b	1,6 b*	0,3 a
Cafezal	1,0 b	19,5 c*	3,8 b	1,4 b*	0,5 a
----- Terço inferior da paisagem -----					
Mata	1,2 b	37,8 ab	99,7 a*	4,4 a	0,3 a
Cedro	3,7 ab	21,9 bc*	26,6 b	4,4 a*	0,2 a
Cafezal	1,1 b	33,8 bc*	10,7 b	4,2 a*	0,5 a

Médias seguidas de letras na coluna por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05). (*) efeito significativo pelo teste t (P<0,05) devido à posição em um mesmo uso da terra

Com relação à disponibilidade de micronutrientes, não se observa tendência clara nos teores de Zn nos diferentes usos da terra na maioria das profundidades avaliadas (Tabela 7). Porém, em geral nas áreas de cafezais e cedro de terço superior houve maiores teores, classificados como alta disponibilidade, e na mata os menores, classificados como baixa a boa disponibilidade (Tabela 8). A disponibilidade de Fe, Mn e Cu, foi semelhante, variando de boa a alta (Tabela 8). O B não apresentou variação entre os usos da terra e profundidades, e foi considerado como de baixa disponibilidade. Os baixos teores de B podem ser evidência de perdas por lixiviação, por razão de ser o único nutriente que ocorre na solução na forma neutra. Os baixos teores deste nutriente têm sido a causa de perdas expressivas de produtividade em extensas áreas de eucalipto no Brasil, principalmente na região do Cerrado (MATTIELLO et al., 2009).

Com relação à topografia, observa-se que na profundidade de 0-5 cm todos os atributos químicos diferiram significativamente entre as posições avaliadas, exceto o B, evidenciando que o relevo possui forte influência sobre a distribuição dos nutrientes ao longo da paisagem. Esse resultado está em conformidade com os encontrados em Argissolo com declividade de 10% sob eucalipto por Balieiro et al. (2008). Os maiores valores de Mn e Zn sob mata de terço inferior estão de acordo com os maiores valores de pH nesta posição e maior estoque de COS (Tabela 5, 13), uma vez que a disponibilidade de Mn^{+2} e Zn^{+2} aumenta 100 vezes com a diminuição de uma unidade de pH, bem como o fato destes micronutrientes catiônicos estarem em sua maioria complexados por radicais orgânicos (FURTINI NETO et al., 2001).

Tabela 8 Classes de interpretação da disponibilidade de micronutrientes, segundo a CFSEMG (1999)

Uso da terra	Zn	Mn	Fe	Cu	B
..... mg dm ⁻³					
..... 0-5 cm					
----- Terço superior da paisagem -----					
Mata	Bom	Alto	Alto	Alto	Baixo
Cedro	Alto	Bom	Alto	Bom	Baixo
Cafezal	Alto	Bom	Bom	Alto	Baixo
----- Terço inferior da paisagem -----					
Mata	Alto	Alto	Bom	Alto	Baixo
Cedro	Médio	Alto	Alto	Alto	Baixo
Cafezal	Bom	Alto	Bom	Alto	Baixo
..... 5-10 cm					
----- Terço superior da paisagem -----					
Mata	Baixo	Alto	Alto	Alto	M. Baixo
Cedro	Alto	Alto	Alto	Médio	Baixo
Cafezal	Alto	Bom	Bom	Alto	Baixo
----- Terço inferior da paisagem -----					
Mata	Bom	Alto	Alto	Alto	Baixo
Cedro	Alto	Alto	Bom	Alto	Baixo
Cafezal	Alto	Alto	Médio	Alto	Baixo

Tabela 8, conclusão

Uso da terra	Zn	Mn	Fe	Cu	B
	..... mg dm ⁻³				
	..... 10-20 cm				
----- Terço superior da paisagem -----					
Mata	Baixo	Alto	Médio	Alto	Baixo
Cedro	Alto	Bom	Alto	Bom	Baixo
Cafezal	Alto	Médio	Médio	Alto	Baixo
----- Terço inferior da paisagem -----					
Mata	Bom	Alto	Alto	Alto	Baixo
Cedro	Baixo	Bom	Alto	Alto	Baixo
Cafezal	Bom	Alto	Bom	Alto	Baixo
	..... 20-40 cm				
----- Terço superior da paisagem -----					
Mata	Baixo	Alto	Bom	Alto	Baixo
Cedro	Alto	Bom	Alto	Bom	Baixo
Cafezal	Médio	Baixo	Médio	Bom	Médio
----- Terço inferior da paisagem -----					
Mata	Médio	Alto	Bom	Alto	Baixo
Cedro	Alto	Alto	Médio	Alto	Baixo
Cafezal	Médio	Bom	Bom	Alto	Médio

7.3 Efeito dos sistemas de manejo nas propriedades físicas do solo

Os resultados da análise textural do solo (Tabela 9) mostraram que os teores de argila e areia diferiram entre os usos da terra e posição na paisagem. O solo encontra-se na classe textural argila e argilo-arenoso, sugerindo intemperismo de grau homogêneo em todas as áreas. Em todas as profundidades, a área de terço superior sob cedro apresenta menor teor da fração argila, provavelmente devido a processos erosivos (GALVÃO; SALCEDO; SANTOS, 2005) causados pela influência da topografia e pela menor cobertura vegetal da superfície do solo quando comparado com a mata secundária.

Os resultados da estabilidade média de agregados em água são apresentados na Tabela 10 e nas figuras 9 e 10. Em todas as áreas estudadas, as maiores porcentagens de agregados estão acima de 2 mm. Nessa classe de agregados, o cedro de terço inferior apresentou os menores valores em todas as profundidades avaliadas, evidenciando baixa estabilidade da estrutura do solo.

Para as classes abaixo de 2 mm, observa-se que o cedro de terço inferior apresenta os maiores valores nas classes de 0,25- 0,105 a 1-2 mm, exceto a profundidade 20-40 cm, onde o cedro de terço superior apresentou os maiores valores, evidenciando o efeito do preparo do solo que diminuiu a estabilidade dos agregados. Na classe <0,105 mm, só foi observado diferença significativa entre os usos na camada 20-40 cm, em que a mata de terço inferior apresentou os menores valores.

Tabela 9 Valores médios da análise textural do solo sob influência da topografia e reflorestamento em sucessão ao cafezal

Uso da terra	Argila	Areia total		Silte
		Areia grossa	Areia fina	
..... %				
..... 0-5 cm				
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	60 a*	15	16 a	9:00 AM
Cedro	38 c*	38 a*	17 a	7:00 AM
Cafezal	46 bc	31 ab*	15 a*	8:00 AM
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	42 bc*	30 ab	20 a	8:00 AM
Cedro	48 b*	23 b*	21 a	8:00 AM
Cafezal	46 bc	23 bc*	23 a*	8:00 AM
..... 5-10 cm				
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	60 a*	14 c*	15 a	11:00 AM
Cedro	40 b	36 a*	15 a*	9:00 AM
Cafezal	43 b	31 ab	16 a*	10:00 AM
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	47 b*	26 abc*	23 a	6:00 AM
Cedro	48 ab	20 bc*	23 a*	9:00 AM
Cafezal	47 b	22 bc	21 a*	10:00 AM

Tabela 9, conclusão

Uso da terra	Argila	Areia total		Silte
		Areia grossa	Areia fina	
		%		
		10-20 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	60 a	14 d*	14 ab	12:00 AM
Cedro	41 c*	36 a*	15 ab*	8:00 AM
Cafezal	51 abc	30 ab*	13 b*	8 a*
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	54 ab	23 bc*	15 ab	8:00 AM
Cedro	49 bc*	20 cd*	23 a*	8:00 AM
Cafezal	46 bc	23 bc*	22 ab*	9 a*
		20-40 cm		
----- Terço superior da paisagem -----				
Mata	55 b*	19 c	17 bc	9:00 AM
Cedro	37 d*	37 a*	17 bc*	9:00 AM
Cafezal	50 bc	28 b*	15 cd	7:00 AM
----- Terço inferior da paisagem -----				
Mata	63 a*	19 c	12 d	6:00 AM
Cedro	47 c*	20 c*	24 a*	9:00 AM
Cafezal	47 c	22 bc*	21 ab	10:00 AM

Médias seguidas de letras na coluna por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$), devido à posição em um mesmo uso da terra

Tabela 10 Estabilidade média de agregados em água (% de agregados) do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Uso da terra	Classe de agregados (mm)					
	> 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,105	< 0,105
..... 0-5 cm						
----- Terço superior da paisagem -----						
Mata	93,5 a	2,9 b	1,5 b	0,9b	0,8 b	0,4 a
Cedro	81,5 a*	4,3 ab	6,4 ab	4,8 ab	2,5 ab	0,5 a
Cafezal	90,6 a	2,1 b	2,0 b	1,2 b	0,6 b	3,4 a
----- Terço inferior da paisagem -----						
Mata	85,0 a	6,5 ab	4,0 ab	2,5 ab	1,6 b	0,4 a
Cedro	47,9 b*	15,8 a	13,8 a	8,9 a	5,5 a	8,2 a
Cafezal	94,2 a	1,9b	1,8 b	1,2 b	0,8 b	0,2 a
..... 5-10 cm						
----- Terço superior da paisagem -----						
Mata	90,3 a	3,9 b	2,3 ab	1,3 b	0,9 b	1,3 a
Cedro	75,1 a*	5,9 b*	8,5 ab	5,6 b	3,2 b	1,6 a
Cafezal	93,7 a	2,1 b	2,0 ab	1,3 b	0,6 b	0,3 a
----- Terço inferior da paisagem -----						
Mata	84,2 a	3,7 b	7,5 ab	2,3 b	1,7 b	0,6 a
Cedro	47,3 b*	15,1**	15,0 a	12,8 a	8,2 a	1,6 a
Cafezal	97,2 a	1,0 b	0,6 b	0,7 b	0,5 b	0,1 a

Tabela 10, conclusão

Uso da terra	Classe de agregados (mm)					
	> 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,105	< 0,105
..... 10-20 cm						
----- Terço superior da paisagem -----						
Mata	79,3 abc	5,0 ab	3,7 ab	3,3 ab	2,9 b	5,8 a
Cedro	59,6 bc	12,0 a	14,0 a	9,2 ab	4,5 ab	0,8 a
Cafezal	81,8 abc	5,5 ab	6,0 ab	4,0 ab	1,8 b	0,9 a
----- Terço inferior da paisagem -----						
Mata	87,7 ab	5,1 ab	3,3 ab	1,8 b	1,1 b	1,1 a
Cedro	50,4 c	11,7 a	14,6 a	12,3 a	9,2 a	1,9 a
Cafezal	97,0 a	0,7 b	0,5 b	1,1 b	0,5 b	0,1 a
..... 20-40 cm						
----- Terço superior da paisagem -----						
Mata	90,3 a	2,4 c	1,4 c*	0,9 b	2,3 a	2,7 ab
Cedro	37,5 b	13,6 ab	22,8 a	16,5 a	8,2 a	1,4 ab
Cafezal	42,5 b*	15,6 a*	19,8 ab*	13,9 a*	7,0 a*	1,2 ab
----- Terço inferior da paisagem -----						
Mata	81,8 ab	6,1 bc	4,9 bc*	2,0 b	1,1 a	4,2 a
Cedro	40,8 b	18,2 a	18,0 ab	12,4 ab	8,3 a	2,3 ab
Cafezal	97,2 a*	0,7 c*	0,8 c*	0,7 b*	0,5 a*	0,1 b

Médias seguidas de letras na coluna por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$), devido à posição em um mesmo uso da terra

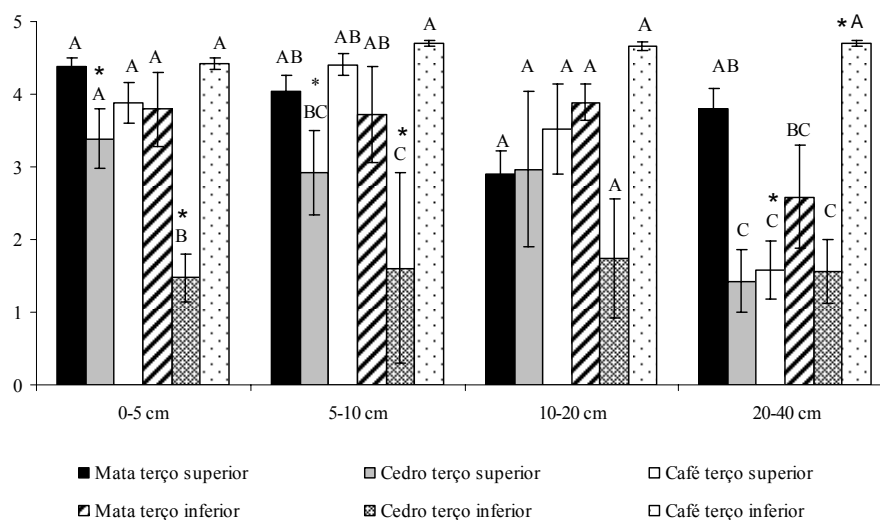


Figura 9 Diâmetro médio geométrico (DMG) do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal.

Médias seguidas de letras por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$), devido à posição em um mesmo tratamento. Barras representam o erro padrão da média

Para facilitar a comparação da estabilidade dos agregados entre os usos da terra e da posição na paisagem, utilizou-se ainda o diâmetro médio geométrico (DMG) (Figura 9) e o diâmetro médio ponderado (DMP) (Figura 10), como indicadores da estabilidade estrutural do solo.

Os valores de DMG e DMP foram afetados pelo uso da terra, exceto na profundidade 10-20 cm, onde não houve diferença estatística entre usos nem entre posições. Em todas as outras profundidades, o cedro do terço inferior apresentou menores valores médios de DMP e DMG. O cafezal de terço inferior apresentou os maiores valores, sem variação com a profundidade. Os valores de DMG e DMP variaram entre 1,4 mm na área sob cedro a 4,9 mm respectivamente na área sob cafezal.

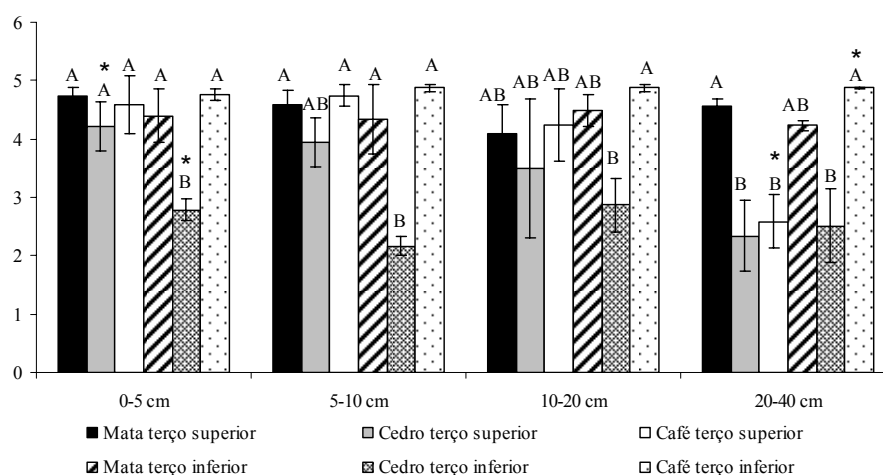


Figura 10 Diâmetro médio ponderado (DMP) Do solo sob influencia da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal.

Médias seguidas de letras por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$) devido à posição em um mesmo tratamento. Barras representam o erro padrão da média

A formação e estabilização dos agregados decorrem de variações do conteúdo de água no solo, que promovem ciclos de umedecimento e secagem, além da ação de raízes vegetais, e hifas de fungos, precedidos pela atração eletrostática das partículas do solo (floculação) e a ação de agentes cimentantes, como as argilas silicatadas, os óxidos de ferro e alumínio e o COS (SILVA; MIELNICZUK, 1997). Zinn, Lal e Resck (2011) observaram que a agregação estável em água após conversão de cerrado nativo para plantio de eucalipto apresenta recuperação bem mais lenta do que os teores de COS. Resultado contrastante foi encontrado por Kato et al. (2010), que reportaram plantios de espécies florestais com maior agregação no solo do que o Cerrado nativo. Em todo caso, os dados do presente trabalho sugerem estabilidade em água similar para os agregados do solo sob todos os usos da terra, com exceção do cedro de terço inferior.

Os valores médios de densidade do solo (Ds) e volume total de poros (VTP) são apresentados na Tabela 11. Os valores de Ds variaram entre 0,96 sob mata, a 1,49 g cm⁻³ sob cedro. Os altos valores de Ds sob café e cedro são compatíveis com a média para Argissolos do Sul de Minas Gerais sob vegetação nativa reportado por Araujo et al. (2011). Porém, não houve diferença significativa para a Ds entre os usos da terra e topografia, exceto na profundidade de 10-20 cm, onde as matas foram menores do que os demais usos. A não-significância deve-se à alta variabilidade dos dados. A similaridade da Ds entre cafezais e mata secundária também foi verificada por Cogo et al. (2011) em Latossolo gibbsítico no Sul de Minas Gerais. Resultados diferentes aos obtidos neste estudo foram encontrados em em Argissolo amarelo sob mata secundária e café no Espírito Santo, onde foram identificadas maiores densidades do solo para aqueles cultivados com café (SÁ; PEREIRA; FONTANA, 2003).

As áreas sob café e cedro do terço superior apresentaram menor volume total de poros (VTP), refletindo a maior Ds. Em todas as profundidades, as áreas sob mata tenderam a maior porosidade. Este resultado está de acordo com as imagens digitalizadas das seções semi-delgadas do solo na profundidade 0-5 cm (Figura 11), onde observa-se redução na macroporosidade nas áreas de cedro e cafezais e diferenças na geometria do espaço poroso, devido ao manejo mecanizado das culturas.

Tabela 11 Densidade do solo (Ds) e volume total de poros (VTP) do solo sob influência da topografia e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Uso da Terra	Ds	VTP
	g.cm ⁻³	%
..... 0-5 cm		
----- Terço superior da paisagem -----		
Mata	1,06 a	59,8 a
Cedro	1,49 a	43,8 c*
Cafezal	1,48 a	44,1 c*
----- Terço inferior da paisagem -----		
Mata	1,07 a	59,6 a
Cedro	1,31 a	50,4 b*
Cafezal	1,30 a	50,9 b*
..... 5-10 cm		
----- Terço superior da paisagem -----		
Mata	1,03 a	61,3 a
Cedro	1,29 a	51,4 ab
Cafezal	1,38 a	47,9 b
----- Terço inferior da paisagem -----		
Mata	1,02 a	61,5 a
Cedro	1,33 a	49,7 ab
Cafezal	1,32 a	50,3 ab

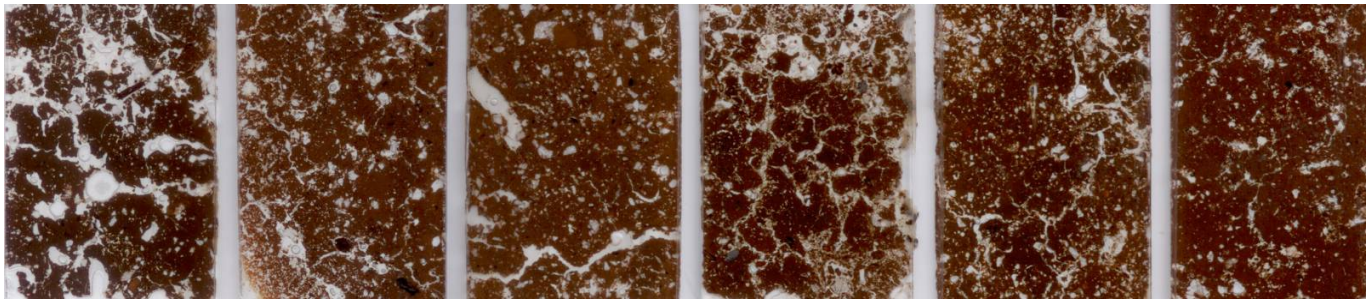
Tabela 11, conclusão

Uso da Terra	Ds	VTP
	g.cm ⁻³	%
..... 10-20 cm		
----- Terço superior da paisagem -----		
Mata	1,03 b	61,1 a
Cedro	1,41 a	46,7 b
Cafezal	1,41 a	46,8 b
----- Terço inferior da paisagem -----		
Mata	0,99 b	62,8 a
Cedro	1,41 a	46,9 b
Cafezal	1,36 a	48,8 b
..... 20-40 cm		
----- Terço superior da paisagem -----		
Mata	1,13 a	57,3 ab
Cedro	1,46 a	44,8 bc
Cafezal	1,42 a	46,3 bc
----- Terço inferior da paisagem -----		
Mata	0,96 a	63,9 a
Cedro	1,43 a	46,0 bc
Cafezal	1,46 a	44,7 c

Médias seguidas de letras na coluna por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$). devido à posição em um mesmo uso da terra

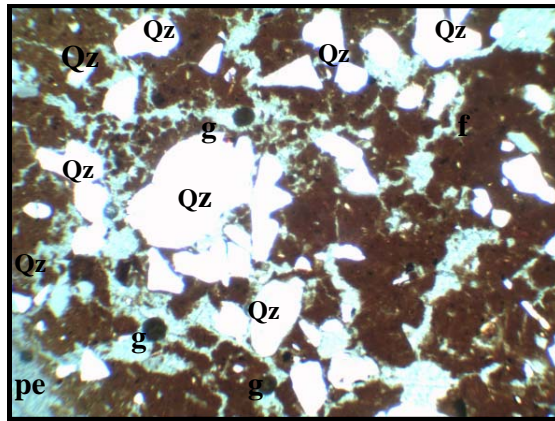
A pouca expressão de óxidos de Al e Fe (gibbsita, goethita e hematita) e COS, nesta ordem, podem favorecer a acomodação ordenada dos domínios de caulinita em estruturas em blocos. Por outro lado, o maior teor daqueles óxidos acarreta um maior grau de desorganização e menor coesão entre agregados e como consequência, menor Ds e maior macroporosidade do solo, com estrutura do tipo granular (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999a; RESENDE et al., 2005). Os tipos de poros dos solos estudados são similares aos observados por Lima Neto et al. (2010) em Argissolos de tabuleiros costeiros de Alagoas.

Na Figura 11, é possível observar maior macroporosidade nas áreas de mata, principalmente no terço inferior da paisagem e uma delimitação clara de agregados em blocos subangulares, separados por poros planares (fissuras). As lâminas do solo sob cedro e café apresentam, nesta ordem, tendência à aglomeração dos blocos em grandes massas com poucas fissuras. De fato, a observação das mesmas lâminas, porém em microscopia (Figura 12), permite verificar microestrutura muito adensada em blocos subangulares, apesar da presença de alguns agregados granulares (possível atividade de fauna) entre blocos sob cafezal. A Figura 13, também em microscopia, confirma a grande macroporosidade sob mata e a presença de pelotas fecais advindas de decomposição de raízes pela mesofauna, mais intensa em horizontes superficiais, o que evidencia maior atividade biológica na área de mata.

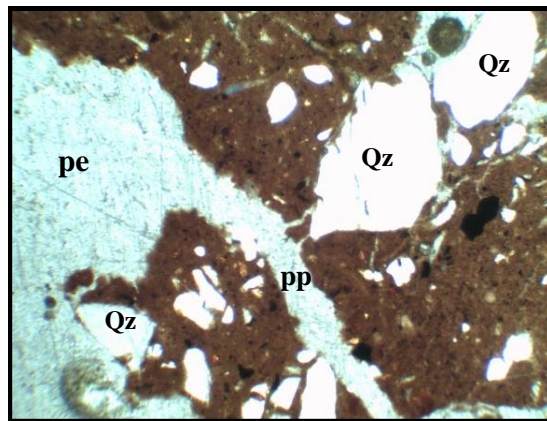


Mata terço inferior Cedro terço inferior Cafezal terço superior Mata terço superior Cedro terço superior Cafezal terço inferior

Figura 11 Imagens digitalizadas das seções semi-delgadas de solo (profundidade 0-5 cm). Cada imagem possui 2,6 cm de largura



Cafezal terço inferior



Cedro terço superior

Figura 12 Seções delgadas (40X) do solo sob cafezal e cedro, mostrando microestrutura adensada em blocos subangulares, e alguns agregados granulares (cafezal terço inferior). No cedro de terço superior além da microestrutura adensada em blocos subangulares, apresenta alguma macroporosidade de empilhamento (pe) e muitos poros planares (pp) (fissuras) de vários tamanhos entre blocos. Luz polarizada parcialmente cruzada (largura 2,3 mm). Qz- quartzo, g- grânulos

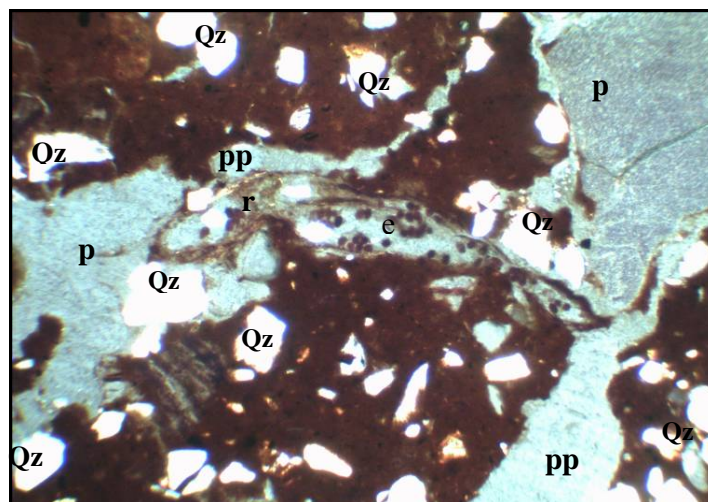


Figura 13 Seção delgada (40x) do solo sob mata de terço superior, destacando: microestrutura em blocos subangulares, com grande macroporosidade de empilhamento (pe), fragmento decomposto de raiz, com excrementos (e) no interior oco. Luz polarizada parcialmente cruzada (largura 2,3 mm). Qz-quartzo, p- macroporos, r-raiz, pp-poros planares= f – fissuras

Na Figura 14, observa-se o comportamento da D_s em função da profundidade e uso da terra. Verifica-se que as áreas sob mata apresentam os menores valores médios de D_s , mas devido à alta variabilidade dos dados, só na profundidade 10-20 cm foi observada significância. Na área sob mata de terço inferior, a D_s diminuiu em profundidade, o que evidencia uma maior bioturbação (Figura 13) nesta área devida à maior umidade, e consequentemente redução da D_s . A D_s sob cedro e o cafezal de terço inferior aumenta com a profundidade, enquanto no terço superior parece mais sujeita à compactação superficial, de modo que a D_s diminui em profundidade. Segundo Costa et al. (2003), a D_s tende a aumentar com a profundidade, o que se deve a fatores como: menor teor de COS, menor agregação e macroporosidade, menor

penetração de raízes, compactação pelo peso das camadas sobrejacentes, e diminuição da porosidade total devido à eluviação de argila, dentre outros fatores.

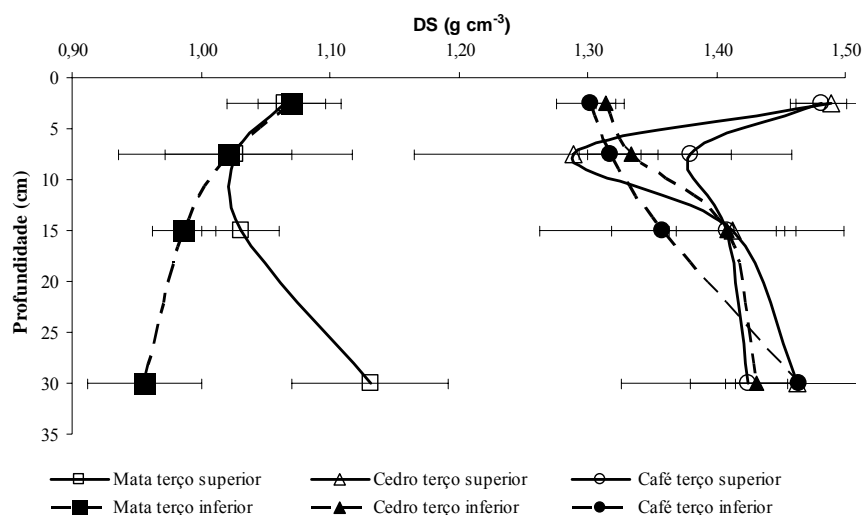


Figura 14 Densidade do solo (Ds) do solo sob influência da posição na paisagem do e reflorestamento em sucessão ao cafezal. Barras representam o erro padrão da média

Estes dados evidenciam que a mata secundária, após 20 anos, está melhorando a estrutura do solo, revertendo a compactação devida ao uso de maquinário agrícola, pela intensa cobertura vegetal, aporte contínuo de resíduos, e atividade radicular que servem como fonte de energia para a atividade biológica e bioturbação. Isto ainda não ocorreu sob plantio de cedro, que recebe o manejo com maquinário similar ao usado no cafezal, o que pode estar retardando a reestruturação do solo como na mata nativa, embora talvez essa situação mude com o passar do tempo.

7.4 Efeito dos sistemas de manejo no carbono orgânico do solo

Os teores médios de COS são apresentados na Tabela 12. A localização da área em altimetria superior a 800 m pode reduzir a temperatura média anual e ter contribuído para menor decomposição da matéria orgânica e teores relativamente altos de COS, geralmente $>20 \text{ g.kg}^{-1}$ (BRONICK; LAL, 2005), em relação a outras áreas de MG.

Tabela 12 Teores de carbono orgânico do solo (COS) do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Posição na paisagem	Uso da terra	Teor de COS			
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
		.....g kg ⁻¹			
Terço superior	Cafezal	30,0 a	26,5 a	29,1 a	21,1 ab
	Cedro	25,5 a	24,3 a	23,1 a	23,3 ab
	Mata	30,3 a	26,4 a	26,4 a	27,5 ab
Terço inferior	Cafezal	23,8 a	25,0 a	24,0 a	18,3 b
	Cedro	21,9 a	27,0 a	21,0 a	21,4 ab
	Mata	43,0 a	38,8 a	35,9 a	29,8 a

Médias seguidas de letras na coluna por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$)

Os teores de COS não foram significativamente influenciados pela topografia. Este resultado está de acordo com o encontrado por Santos et al. (2009) na Paraíba, que também não encontraram diferenças no teores de COS entre as posições de meia-encosta e pedimento. No entanto, Liu et al. (2003), em estudos realizados no Mississippi, mostraram aumento do COS nas áreas de deposição, enquanto nos pontos mais altos com maior erosão houve decréscimo. A introdução do cedro e a regeneração da mata não alteraram significativamente o nível de equilíbrio do COS adquirido pelo cafezal ao longo dos anos, exceto na profundidade 20-40 cm, onde a mata do terço inferior apresentou maiores valores de COS ($29,8 \text{ g kg}^{-1}$) do que o cafezal no terço superior ($18,1 \text{ g kg}^{-1}$). A

falta de significância nas demais camadas pode ser explicada pela alta variabilidade dos teores de COS, mas pode ser interpretada também como uma similaridade dos três sistemas de uso da terra em relação à retenção de COS.

Nas áreas de plantio de cedro, apesar de pouco tempo de implantação da cultura (6 anos), os níveis de COS não diminuíram, o que tem sido observado nos primeiros anos de plantios de eucalipto (ZINN; RESCK; SILVA, 2002). Bochner et al. (2008) afirmam que o conteúdo de COS tende a aumentar com a idade do reflorestamento ou com o tipo de cobertura florestal, o que sugere acompanhamento desta área em idade futura.

Em geral, verifica-se o decréscimo do COS em profundidade (Figura 15), exceto pelo cedro de terço superior, que manteve a homogeneidade ao longo do perfil amostrado.

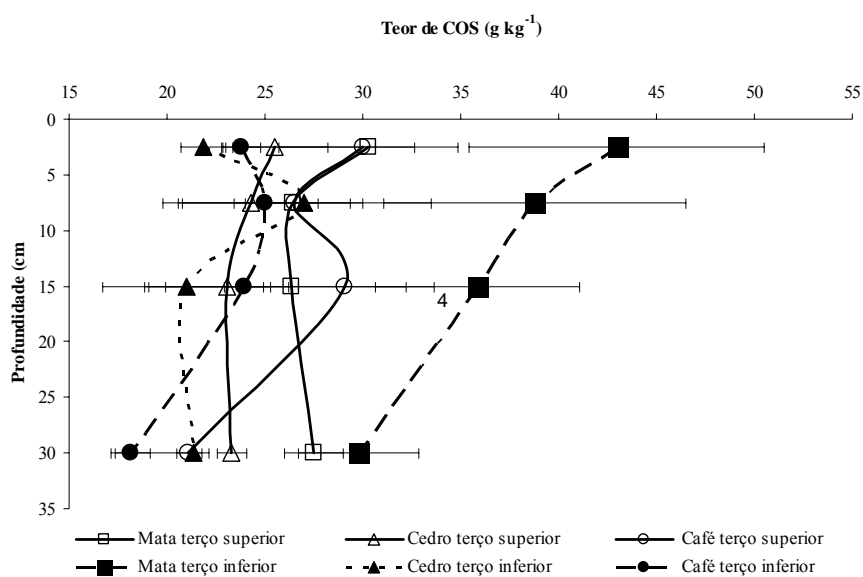


Figura 15 Teores de COS do solo sob influência da topografia e reflorestamento em sucessão ao cafezal. Barras representam o erro padrão da média

Destacam-se os altos teores de COS na mata de terço inferior em todas as profundidades, provavelmente devido a uma maior umidade e crescimento vegetativo.

Tabela 13 Estoques de carbono ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Posição na paisagem	Uso da terra	Estoque de COS				
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	0-40 cm
		..... $\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$				
Terço superior	Cafezal	15,7 ab	13,0 a	30,2 a	23,4 ab	82,7 ab
	Cedro	13,5 ab	13,3 a	24,0 a	26,3 ab	77,0 b *
	Mata	15,9 ab	13,3 a	27,6 a	31,3 a	87,8 ab
Terço inferior	Cafezal	12,6 b	12,5 a	23,5 a	17,5 b	66,0 b
	Cedro	11,7 b	12,3 a	20,5 a	20,5 ab	64,9 b *
	Mata	22,8 a	19,5 a	35,2 a	28,7 ab	106,9 a

Médias seguidas de letras na coluna por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$) devido à posição em um mesmo uso da terra

O estoque de COS calculado por massa equivalente foi afetado de modo significativo pelo uso da terra nas profundidades 0-5, 20-40 e 0-40 cm, e pela topografia na profundidade de 0-40 cm (Tabela 13). Na profundidade de 0-5 cm, a mata de terço inferior apresentou maiores estoques de COS ($22,8 \text{ t ha}^{-1}$), do que aqueles sob cedro ($11,7 \text{ t ha}^{-1}$) e do cafezal ($12,6 \text{ t ha}^{-1}$), na mesma posição. Observa-se que sob reflorestamento com cedro não houve aumento ou decréscimo nos estoques do COS, em relação aos cafezais. Este resultado pode refletir o pouco tempo de implantação da cultura, já que Rangel e Silva (2007) observaram que o reflorestamento de 25 anos com eucalipto e pinus em sucessão a cafezais apresentaram estoques de COS próximos ou acima dos valores encontrados sob mata nativa em Lavras- MG.

Na profundidade amostrada de 0-40 cm, o maior estoque de COS ocorreu na área de mata de terço inferior ($106,9 \text{ t ha}^{-1}$), estatisticamente superior

a quase todos os outros tratamentos. O estoque de COS da mata superou os plantios de cedro e café no terço inferior, talvez pela maior umidade, que proporciona maior biomassa à mata, o que não ocorre no terço superior. Os locais mais baixos da paisagem são normalmente responsáveis por maior acúmulo de COS (RESCK et al., 2008). Ainda na profundidade de 0-40 cm, não foi observada diferença significativa entre cafezal, cedro e mata de terço superior. Com relação às posições na paisagem em cada uso, só houve efeito significativo nos estoques na área de cedro para camada de 0-40 cm, onde o cedro de terço superior estocou mais COS que o do terço inferior.

A distribuição do COS nesta área evidencia a importância do relevo na dinâmica do COS. Porém, observa-se que os teores de argila nas diferentes posições (Tabela 9), não estão influenciando os maiores estoques de COS, ou seja, favorecendo uma estabilização adicional à decomposição do COS. A textura predominantemente arenosa favorece a perda e lixiviação do da COS devido à pouca ou nenhuma sorção que essa fração exerce sobre o COS. Em geral, os estoques de COS para 0-40 cm são altos em relação a áreas do Cerrado de altitudes mais baixas (600 m) como os encontrados por Zinn, Lal e Resck (2011) que variaram de 34 a 59 Mg ha⁻¹ em solo arenoso sob eucalipto e argiloso sob cerrado nativo respectivamente, mas comparáveis a valores reportados para o Sul de Minas Gerais por Rangel e Silva (2007), Cogo et al. (2011) e Fialho (2012).

Silva e Mielniczuk (1997) afirmam que altos estoques de COS têm grande importância na estabilidade de agregados, mas no presente trabalho o teor de COS (Tabela 14, Figura 17) foi pouco correlacionado à percentagem de agregados > 2 mm, assim como os valores de DMG e DMP em qualquer profundidade (Tabela 14 e Figura 16). Assim, a elevação nos teores de COS na mata do terço inferior não acompanhada por aumento na estabilidade de agregados. Zinn et al. (2007b) estudando o controle edáfico na retenção do COS

do cerrado brasileiro, também concluíram que o aumento do tamanho médio dos agregados não resultou em aumentos dos estoques de COS particulado. Resultado contrário foi reportado por Bochner et al. (2008), estudando agregação do solo em matas secundárias e florestas plantadas no Rio de Janeiro.

Tabela 14 Parâmetros de relação linear entre agregação e teor de COS do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Profundidade	DMG (mm) x teor de COS (g.kg ⁻¹)		
	a	b	R ²
0-5 cm	13,92	4,26	0,23
5-10 cm	18,03	2,80	0,11
10-20 cm	21,00	1,69	0,08
20-40 cm	21,97	0,59	0,03
	DMP (mm) x teor de COS (g.kg ⁻¹)		
	a	b	R ²
0-5 cm	5,82	4,36	0,18
5-10 cm	16,08	2,90	0,11
10-20 cm	13,07	3,36	0,08
20-40 cm	18,88	1,32	0,09
	% Agregado > 2 mm x teor COS (g.kg ⁻¹)		
	a	b	R ²
0-5 cm	9,35	0,24	0,18
5-10 cm	13,31	0,18	0,12
10-20 cm	15,6	0,14	0,08
20-40 cm	19,86	0,06	0,09

Todas as relações foram não-significativas ($p < 0,05$)

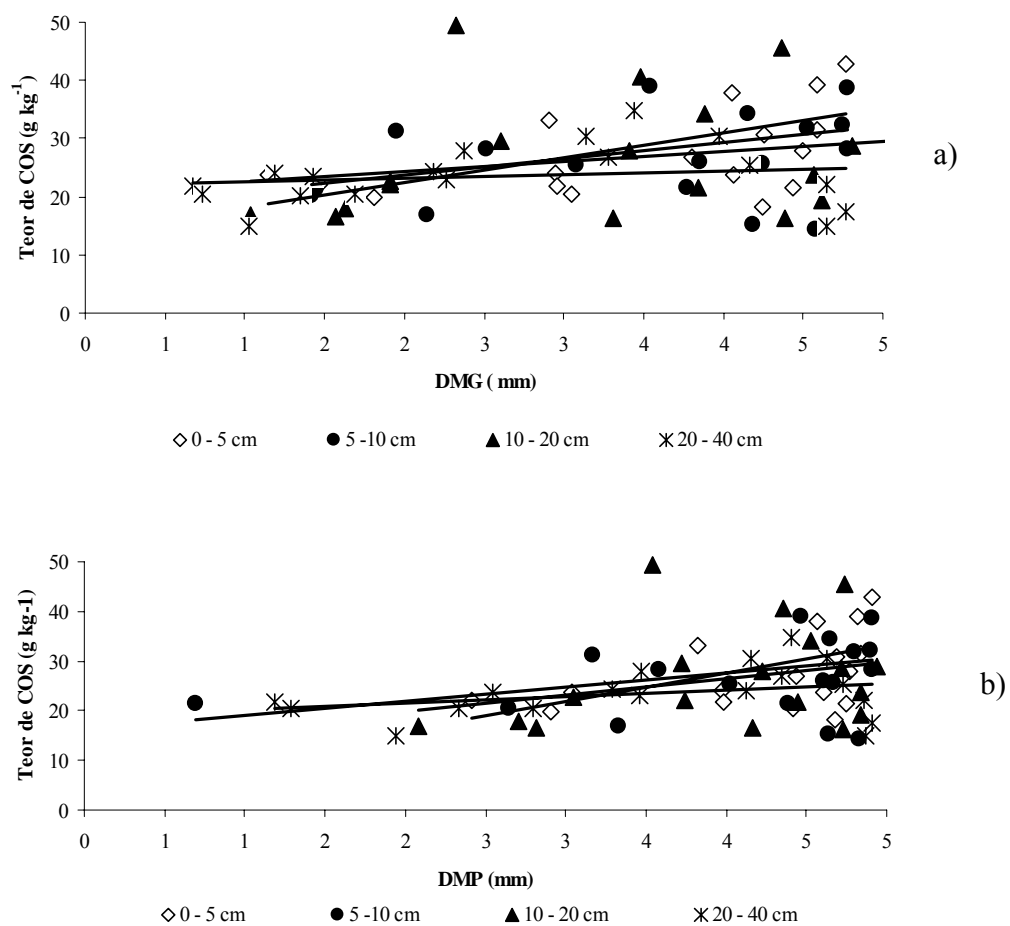


Figura 16 Relações lineares entre a) teor COS (g kg⁻¹) e DMG (mm), e b) teor COS (g kg⁻¹) e DMP (mm) do solo

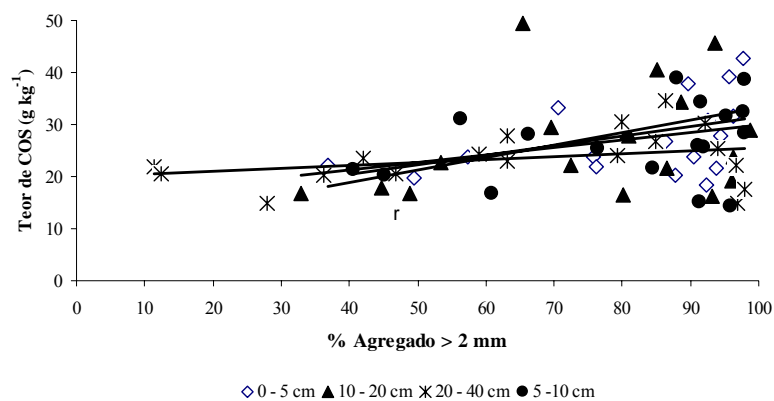


Figura 17 Relações lineares entre a % de agregados maiores que 2 mm e o teor COS (g kg⁻¹) do solo

O COP (COS associado à areia) corresponde também, a grosso modo, à fração leve obtida pelo fracionamento densimétrico. Na profundidade 0-5 cm nos diferentes usos da terra o COP é composto por material orgânico como raízes, folhas, cascas, sementes, pelotas fecais e fragmentos de carvão com baixo e/ou alto grau de decomposição (Figura 18).

Nas áreas de mata, é possível observar cores mais escuras e maior presença de pelotas fecais, que indicam maior atividade biológica e humificação do material. Nos solos sob mata, as seções delgadas em microscopia (Figura 13 e 19) mostram a decomposição de raízes e excrementos, além de fragmentos de carvão, conforme observado sob lupa.

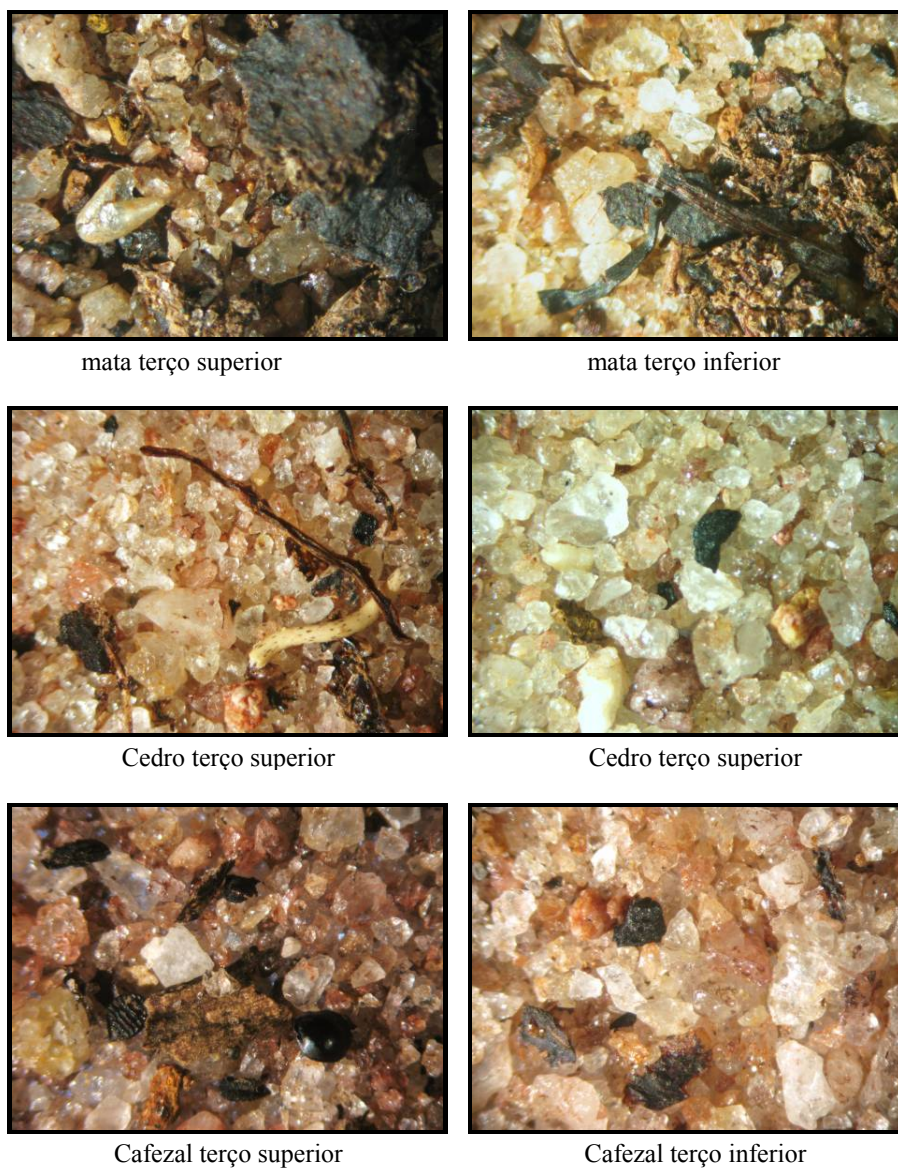


Figura 18 Fotos em lupa com aumento de 20x da fração areia (2-0,05 mm) do carbono orgânico particulado (COP) na profundidade de 0-5 cm, solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

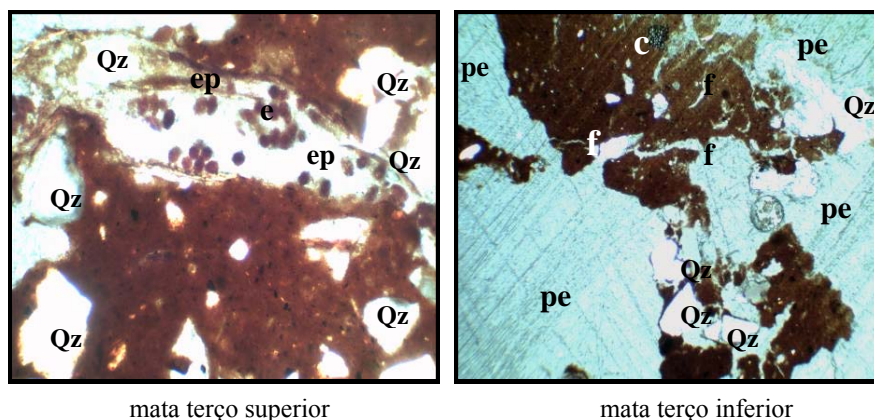


Figura 19 Seções delgadas do solo sob mata, na mata de terço superior (largura da imagem 0,9 mm), destacam-se a presença do córtex da raiz em decomposição com excrementos (e) esféricos no interior, e restos da epiderme radicular. Na mata de terço inferior (largura da imagem 2,3 mm), destaca-se a presença de fragmento de carvão (C) com estrutura celular preservada ocluso em agregado. Luz polarizada parcialmente cruzada. Qz- quartzo, ep – epiderme da raiz, pe - poros de empilhamento, f – fissuras

Os teores e percentagens de COP estão apresentados nas Figuras 20 e 21. Na profundidade 0-5 cm (Figura 20), a área sob mata de terço inferior apresentou maiores teores médios de COP do que sob cedro de terço inferior, refletindo a maior presença dos resíduos vegetais pouco decompostos em superfície.

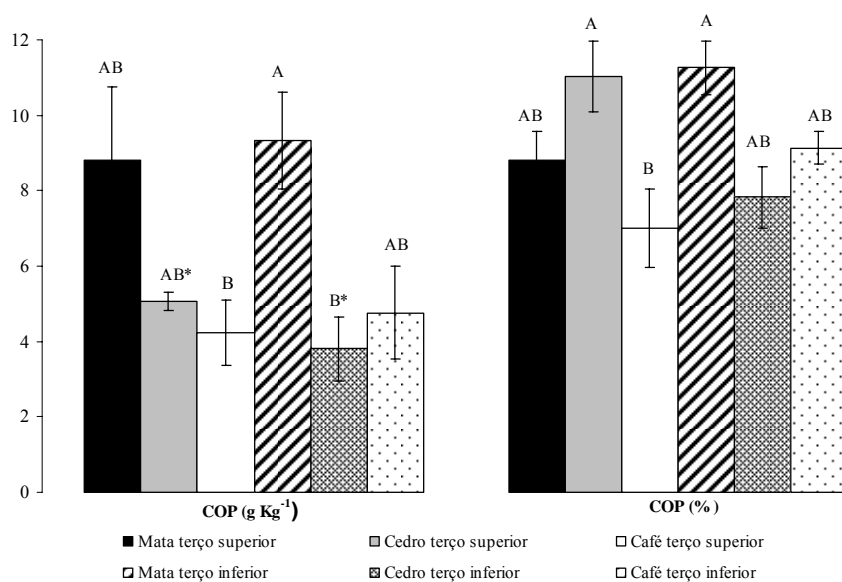


Figura 20 Teor de COP (COS na fração areia) e a percentagem do COP no COS total do solo sob influência da topografia e do reflorestamento em sucessão ao cafezal na profundidade 0-5 cm

Médias seguidas de letras não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$) devido à posição em um mesmo tratamento. Barras representam o erro padrão da média

A percentagem de COP variou de 7,0 a 11,3% do COS total, valores acima dos observados na mesma profundidade por Rangel e Silva (2007) em Latossolo, e por Fialho (2012) em Argissolo no Sul de Minas Gerais. No entanto Santos et al. (2009) encontraram valores de COP variando 43,8% e 51,3% em Argissolo Vermelho sob campo nativo e eucalipto respectivamente, no Rio Grande do Sul. Segundo estes autores, os valores variam com o tipo de solo, cobertura vegetal, temperatura e umidade. Valores semelhantes (40 a 56%) foram reportados por Zinn, Lal e Resck (2011) em Cerrado nativo e plantio de eucalipto, respectivamente, sob solos arenosos em João Pinheiro, MG. Em geral, os teores de COP tendem a ser mais elevados para solos sob vegetação nativa,

sobretudo florestas. Os baixos valores de COP encontrado no presente trabalho podem estar associados a uma rápida e eficiente degradação dos resíduos orgânicos frescos. Roscoe e Machado (2002) afirmam que em geral, as pastagens cultivadas tendem a manter as quantidades de COP, enquanto áreas com culturas anuais sofrem reduções acentuadas em comparação a áreas nativas.

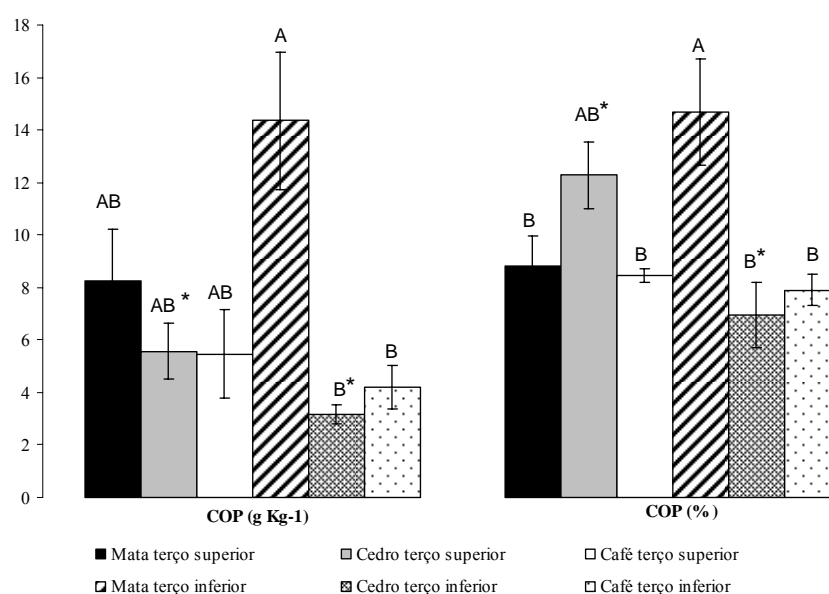


Figura 21 Teor do COS na fração areia e a percentagem do COS total na fração areia do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal na profundidade 10-20 cm. Médias seguidas de letras não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). (*) efeito significativo pelo teste t ($P < 0,05$) devido à posição em um mesmo tratamento. Barras representam o erro padrão da média

Na profundidade de 10-20 cm (Figura 21), a mata do terço inferior apresentou maior teor e partição do COP (14,7%) do que os outros usos na mesma posição, provavelmente pela maior umidade nesta posição da paisagem. O COP, principalmente nas camadas superficiais nos solos sob mata, é importante, pois, embora seu estoque seja menor do que as frações mais estáveis do COS, constitui um compartimento com rápida ciclagem, favorecendo a atividade da biota do solo (LIMA et al., 2008) e liberando nutrientes minerais pela decomposição. Em solos de clima temperado, o COP pode armazenar entre 10 a 25% do COS total. Nos trópicos, esses valores tendem a ser menores, embora variem entre 2 a 25% (ROSCOE; MACHADO, 2002).

Neste trabalho, a concentração do COP foi mais eficaz do que o COS total para avaliar as modificações decorrentes do uso da terra a curto prazo, em especial nos primeiros centímetros do solo. O mesmo foi constatado por Nicoloso (2005), que concorda com a utilização do COP como indicador quantitativo e qualificativo de consequências dos diferentes usos da terra, devido à sua relativa labilidade. Assim, pode-se afirmar que a maior % de COP na área sob mata no terço inferior a 10-20 cm, indica uma maior produção de biomassa radicular em relação ao cafezal e o plantio de cedro.

Embora Silva e Mielniczuk (1997) afirmem que as formas lábeis de C têm grande importância na formação e estabilização de agregados, no presente trabalho não foi observada correlação do COP com a % de agregados > 2 mm (Tabela 15 e Figura 23) e os valores de DMP e DMG (Tabela 15 e Figura 22). Assim, conclui-se que a textura e mineralogia controlam o processo de agregação do solo neste Argissolo, no qual o COS e COP têm provavelmente pouca participação como cimentantes.

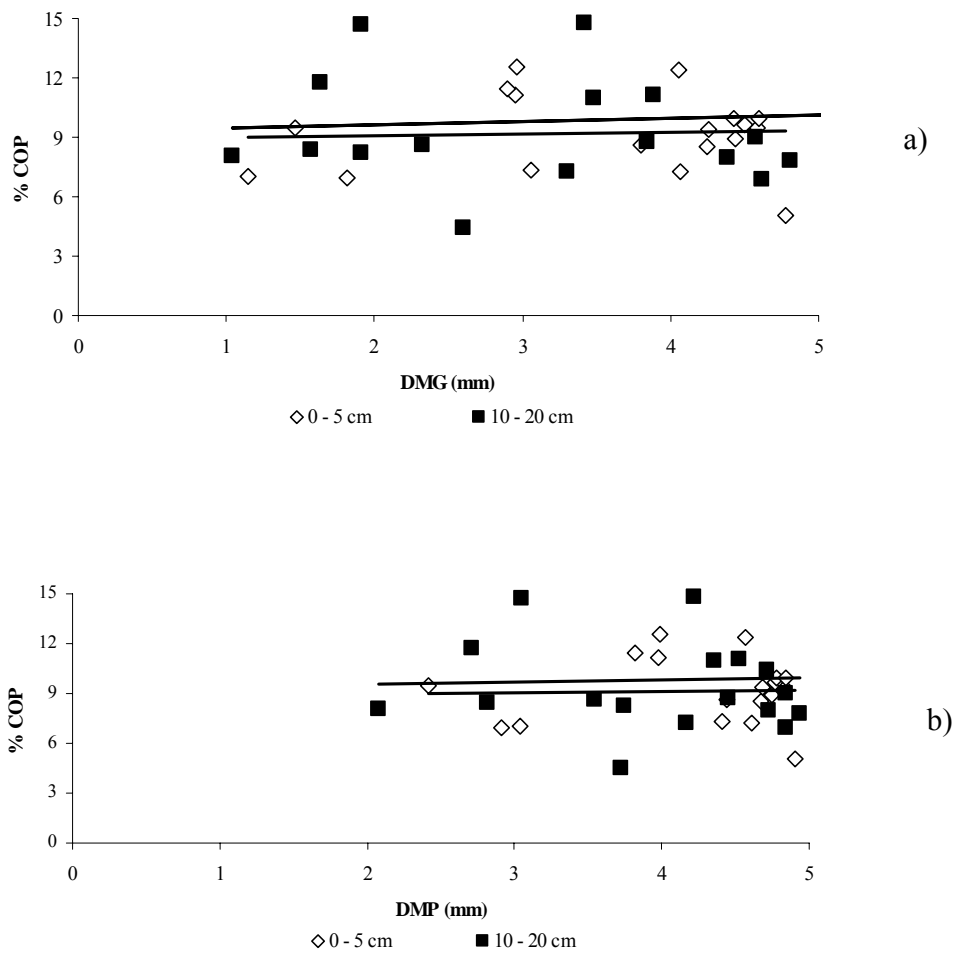


Figura 22 Relações lineares entre a) % COP e DMG (mm) e b) % COP e DMP (mm) do solo

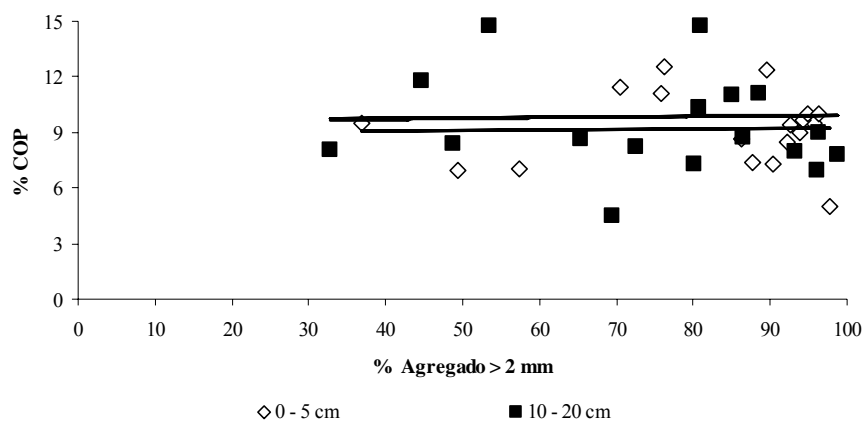


Figura 23 Relações lineares entre % COP e a % de agregados > 2 mm do solo

Tabela 15 Parâmetros de relação linear entre agregação e % COP do solo sob influência da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafezal

Profundidade	DMG (mm) x %COP		
	a	b	R ²
0-5 cm	8,87	0,09	0,00
10-20 cm	9,33	0,16	0,00
	DMP (mm) x %COP		
	a	b	R ²
0-5 cm	8,8	0,09	0,00
10-20 cm	9,27	0,14	0,00
	% Agregado > 2 mm x %COP		
	a	b	R ²
0-5 cm	9,05	0,00	0,00
10-20 cm	9,60	0,00	0,00

Todas as relações foram não-significativas ($p < 0,05$)

8 CONCLUSÕES

A sucessão do cafezal por florestas secundárias promove sequestro de COS na posição de terço inferior, e ainda recupera a estrutura do solo compactado pelo uso de maquinário na ocasião do manejo do cafezal. O plantio de cedro mostrou estoques de COS similares aos dos cafezais, e mostrou ser um sistema mais lento para recuperação da estrutura do solo.

Em geral, a posição na paisagem afetou mais as áreas sob cedro, devido ao pouco tempo de implantação da cultura. A fertilidade do solo foi afetada pela posição na paisagem em todos os usos da terra na profundidade de 0-5 cm, sendo em geral maior no terço inferior.

Tanto o cafezal quanto o plantio de cedro australiano podem ser considerados usos sustentáveis da terra, pois conservam o COS em níveis similares aos da mata secundária.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, M. I. N.; SOUZA, J. A. **Atributos do solo e o impacto ambiental**. 1995. 140p. (Especialização - Tutoria à distância em Solos e Meio Ambiente) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1995.

ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. **Morfologia e fisiologia do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 46p.

ANDRELLO, A. C.; APPOLONI, C. R.; GUIMARÃES, M. F. Uso do césio-137 para avaliar taxas de erosão em cultura de soja, café e pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 223-229, abr. 2003.

ANTONELLO, L. L. et al. **Mineralogia e química de algumas unidades de solos do Estado do Rio de Janeiro**. Embrapa solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 15. Rio de Janeiro, 2002. 21p.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO CAFÉ. Gazeta Santa Cruz, 2008. 128p.

ARAÚJO, M. A. et al. Densidade do solo sob vegetação nativa em Minas Gerais: efeito de profundidade e ordem de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2011, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia: SBCS, 2011. 1 CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF**: Ano base: 2010. Brasília, 2011. 130p.

_____. **Informativo da ABRAF**: Ano base 2010. Brasília, 2010. 1p.

_____. **Principais indicadores do setor de florestas plantadas Anuário Estatístico da ABRAF**. Brasília, 2012. 17p.

BALIEIRO, F. C. et al. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequencia em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 153-162, fev. 2008.

BASHKIN, M. A.; BINKLEY, D. Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. **Ecology**, Madison, v. 79, n. 3, p. 828-833, abr. 1998.

BAYER, C. et al. Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para a cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n. 3, p. 469-475, jun. 2003.

_____. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, jul. 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 105-112, mar. 1997.

_____. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BENITES, V. M. et al. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 685-690, ago. 2010.

BICALHO, I. M.; BORGES, E. N. Alteração na agregação e carbono orgânico total em solo cultivado com café sob diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009. 1 CD-ROM.

BOCHNER, J. K. et al. Matéria orgânica e agregação de um Planossolo sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 46-53, mar. 2008.

BOTREL, R. T. et al. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbórea de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 195-213, jun. 2002.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 3-22, jan. 2005.

CARVALHO, M. A. et al. Eficiência de dispersantes na análise granulométrica de materiais de solos com horizonte B textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 415-421, abr. 1988.

CARVALHO, R. et al. Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1679-1687, dez. 2007.

CASTRO, P. P. et al. Química e mineralogia de solos cultivados com eucalipto (*Eucalyptus sp.*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 645-657, dez. 2010.

CASTRO-GAMBOA, I. **Estudo fitoquímico da raiz de *Toona ciliata* e do cavalo do enxerto de *Toona ciliata/Cedrela odorata*: uma contribuição à quimiosistemática e à ecologia na interação *Hypsipyla-Meliaceae***. 2000. 212p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 46-44, jul. 2007.

CERRI, C.C. et al. **Carbon dynamics in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura: USP, Piracicaba, 1996. p. 65-72.

CLARK, D. B.; CLARK, D. A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 137, n. 18, p. 185-198, fev. 2000.

COGO, F. D. et al. Estoques de carbono orgânico do solo em diferentes sistemas de cafeeiros no Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS. Poços de Caldas, MG. 2011. **Anais...** Poços de Caldas: CBPC, 2011. 1 CD-ROM.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação** Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 322 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Café - Safra 2011, segunda estimativa, maio/ 2011**. Brasília: CONAB, 2011. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11-05-10-09-04-16-boletim_cafe_portugues - maio – 2011 2º lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11-05-10-09-04-16-boletim_cafe_portugues_-_maio_-_2011_2o_lev.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2012.

CORTEZ, J. G. Aptidão climática para a qualidade da bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 27-31, mar. 1997.

COSTA, A. M. et al. Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos da cerrado. In: II Simpósio Regional de Geografia, 2003. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2003. 1 CD-ROM.

CUNHA, G. M. **Estudo comparativo de condições químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, de encosta, sob duas coberturas: café e mata natural.** 1995. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

CUNNINGHAM, S. A. et al. Patterns of host use by the shoot-borer *Hypsipyla robusta* (Pyralidae: Lepidoptera) comparing five Meliaceae tree species in Asia and Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 205, n. 1, p. 351-357, fev. 2005.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n.1, p. 319-328, abr. 2005. Disponível em: <http://www.belavistaflorestal.com.br/cedro_australiano.php>. Acesso em: 28 jun. 2012.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks- a meta-analysis. **Global Change Biology**, Canberra, v. 17, n. 4, p. 1658-1670, ago. 2011.

DORDEL, J. et al. Trade-offs among establishment success, stem morphology and productivity of underplanted *Toona ciliata*: Effects of nurse-species and thinning density. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n.9, p. 1846-1855, mai. 2010.

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

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 507-514, fev. 1999.

FIALHO, R. C. **Carbono, física e química de solos sob reflorestamento em clima tropical de altitude.** 2012. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FIALHO, R. C.; ZINN, Y. L. Changes in soil organic carbon under Eucalyptus plantations in Brazil: A comparative analysis. **Land Degradation e Development**, Chichester, (no prelo). 2012.

FURTINI NETO, A. E. et al. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a distância - **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 261p.

GALETI, P. A. **Conservação do solo; reflorestamento; clima**. 2ª ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 403p.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 955-962, nov. 2005.

GARAY, I. et al. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 705-712, jan. 2003.

GATTO, A. **Estoques de C no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do Estado de Minas Gerais**. 2005. 73p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

GOLCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. A model linking organic matter decomposition, chemistry, and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton, CRC Press, 1997. p. 245-266.

GREGORICH, E. G. et al. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 47, n. 3, p. 291-302, mai. 1998.

GREWAL S. S, SINGH M. L, SINGH S. A comparison of two agroforestry systems for soil water and nutrient conservation on degraded land. **Soil technology**, Amsterdam, v. 7, n. 2, p. 145–153, mai. 1994.

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

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, Canberra, v. 8, n. 4, p. 345-360, jul. 2002.

HEATH, J. et al. Rising atmospheric CO₂ reduces sequestration of root derived soil carbon. **Science**, New York, v. 309, n. 5741, p. 1711-1713, ago. 2005.

INGRAM, J. S. I; FERNANDES E. C. M. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 111-117, ago. 2001.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw Hill, 1941. 281p.

KATO, E. et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 732-738, out. 2010.

LAL, R. Plant use and soil management effects on soil organic matter dynamics on alfisols in Western Nigéria. In: LAL,R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. Soil processes and the carbon cycle. **Advances in Soil Science**, 1996. p. 109-126.

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

LIMA NETO, J. A. et al. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 473-486, abr. 2010.

LIMA, A. M. N. et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1053-1063, jun. 2008.

LIMA, P. C.; MOURA, W. M.; LISBOA, J. M. M. Avanços tecnológicos para a produção orgânica de café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção Integrada de café**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2003. p. 319-366.

LIU, S. G. et al. Modeling carbon dynamics in vegetation and soil under the impact of soil erosion and deposition. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 2, n. 17, p. 1074, jun. 2003.

LORENZI, H. et al. **Árvores Exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 385p.

LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J.; PROCTOR, J. Fine root growth and nutrient release in decomposing leaf litter in three contrasting vegetation types in Central Amazonia. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 192, n. 1, p. 225-236, mai. 2007.

LUZ, L. R. Q. P.; SANTOS, M. C. D.; MERMUT, A. R. Pedogênese em uma toposseqüência do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 5, p. 95-102, ago. 1992.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba, M. Roesner, 1968. 350 p.

MARQUES JR, J. **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. 2009. 113 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, V.P.; MARQUES JÚNIOR, J. Efeitos da densidade do solo na erosão de um Latossolo Vermelho devido ao tráfego. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 23-31, jan. 2001.

MATIELLO, J. B.; CARVALHO, F. Pesquisa cafeeira – Contribuição marcante para o desenvolvimento da cafeicultura. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato: Instituto Internacional de Potassa, 1982. p. 1-8.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Fundação PROCAFÉ, 2002. 387p.

MATTIELLO, E. M. et al. Phloem mobility of boron in two eucalypt clones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1695-1704, dez. 2009.

MENDES, C. A. R.; MAHLER, C. F.; ANDRADE, A. G. Erosão superficial em Argissolo Amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1387-1396, dez. 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - Assessoria de Gestão Estratégica- MAPA/AGE. **Brasil projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/PROJ_ECOES%20DO%20AGRONEGOCIO%202010-11%20a%202020-21%20-%202_0.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2012.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; GEBHARDT, H. Mineralogia de um argissolo vermelho-Amarelo eutrófico e de um Planossolo háplico eutrófico solódico numa topossequência de gnaisses no sertão central do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 607-618, set. 2002.

MOTTA, D.; SILVA, W. F.; DINIZ, E. N. **Rentabilidade na plantação do eucalipto**. VII Simpósio de Excelência em Gestão tecnologia. 2012. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos10/371_rentabilidade%20na%20plantacao%20de%20eucalipto.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2012.

MULLER, J. S. **Sistemas agroflorestais com café (*Coffea arabica* L.) e cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell.) Bahadur) na Zona da Mata de Minas Gerais: Estudo de caso**. 2004. 61p. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MURAKAMI, C. H. G. **Rentabilidade do Eucalipto**. Boletim Florestal, Informativo Florestal do Norte Pioneiro Edição 6, Ano 1 Dezembro – 2007. 6 p.

NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto**. 2005. 150p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

NUNES, L. A. P. L. et al. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da mata mineira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2467-2474, dez. 2009.

O CEDRO AUSTRALIANO, 2012.

OLIANO, J. N. **Estudo Fitoquímico da *Toona ciliata*: Uma contribuição à quimiosistemática do gênero e a ecologia da interação *Hypsipyla-Meliaceae***. 2000. 287p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

OLIVEIRA, J. T. et al. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. spe, p. 2821-2829, dez. 2008.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - **OIC 2012**. Disponível em: <<http://www.agrocim.com.br/noticia/Brasil-representa-584-da-exportacao-mundial-darabica.html>>. Acesso em: 16 jan. 2012.

PAIXÃO, F. A. et al. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 411-420, jun. 2006.

PAUL, K. I. et al. Change in soil carbon following afforestation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 168, n. 1, p. 241-257, set. 2002.

PES, L. Z. et al. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical Oxisol under contrasting tillage systems. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, n.1, p. 163-171, dez. 2011.

PINHEIRO, A. L.; LANI, L. L.; COUTO, L. **Cedro- Australiano: cultivo e utilização (*Toona ciliata* M. Roem. Var. *australis* (F. Muell) Bahadur**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 42p.

_____. **Cultura do cedro australiano para produção de madeira serrada**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 42p.

PROCHNOW, D. et al. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 91-98, fev. 2005.

RANGEL, O. J. P. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 429-437, abr. 2008.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, dez. 2007.

RESCK, D. V. S. et al. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool na dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.;

- STEWART, B. A. (Ed). **Global climate change and Tropical Ecosystems**. Canberra: CRC/Lewis Press, Boca Raton, 2000. p. 169-196.
- RESCK, D. V. S. et al. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 359-406.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2 ed. Viçosa: NEPUT, 1997. 367p.
- _____. **Mineralogia de solos brasileiros: Interpretações e aplicações**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 192p.
- RODRIGUES, L. A. et al. Efeito de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 25-35, fev. 2007.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 88p.
- SÁ, J. C. M. et al. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, jan. 2001.
- SÁ, R. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Características físicas e químicas de solos de tabuleiros em Sooretama (ES). **Floresta e ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 95-99, dez. 2003.
- SANCHEZ, R. B. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1095-1103, mai. 2009.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Campinas: O Lutador, 2008. 476p.
- SANTOS, A. C. et al. Influência do uso e da posição do perfil no relevo na fertilidade de solos em áreas de encosta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 31-37, mar. 2009.

SANTOS, C. A.; SALCEDO, I. H. Relevo e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal na bacia hidrográfica da represa Vaca Brava, Areia, PB. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-285, out. 2010.

SAS Institute. JMP, **Statistics and Graphics Guide**. Version 5.1, SAS Inc., Cary, NC, 2003. 593 p.

SÁVIO, B. C. B. **Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em área degradada do município de Gilbués, PI**. 2011. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

SCHICK, L. et al. 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, n. 4, p. 437-447, out. 2000.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005.

SILVA, A. N. S. et al. Alterações no carbono de um Latossolo sob mata nativa e pastagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CBCS, 2009. 1 CD-ROM.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilidade de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 113-117, mar. 1997.

SILVA, M. B. et al. Estudos de topossequência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 965-976, abr. 2001.

SOUZA, I. M. Z. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo em áreas reflorestadas comparadas ao campo e mata nativa no planalto dos campos gerais, SC**. 2005. 61p. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, 2005.

SOUZA, J. C. A. V. et al. Propagação vegetativa de cedro-australiano (*Toona ciliata* M.Roemer) por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 205-213, abr. 2009.

SOUZA, J. C. A. V.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. **Cedro Australiano (*Toona ciliata*)**. Niterói: Programa Rio Rural, (Manual Técnico ; 21), 2010. 12 p.

STAPE, J. L., BINKLEY, D., RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1, p. 17-31, jan. 2004.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.

TOLEDO, J. J. **Influência do solo e topografia sobre a mortalidade de árvores e decomposição de madeira em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. 2009. 84 p. Tese (Doutorado em Ecologia)- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, 2009.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control**. New York, Willey, 2002. 338p.

VAN NOORDWIJK M. et al. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampug, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. **Science in China (Series C)**, Beijing, v. 45, n. 1, p. 75–86, out. 2002.

YODER, R. E. A direct method of soil aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agriculture**, Madison, v. 28, n. 5, p. 337-351, mai. 1936.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2 Ed. CAB International, Wallingford, 1997. 320p.

ZECH, W. et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 117-161, abr. 1997.

ZIECH, R. Q. S. **Caracterizações tecnológicas da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) produzida no sul do estado de Minas Gerais**. 2008. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. da. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 166, n. 1, p. 285-294, jul. 2002.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, ago. 2005.

ZINN, Y. L. et al. Eucalypt plantation effects on organic carbon and aggregation on the three different-textured soil in Brazil. **Soil Research**, Collingwood, v. 49, n. 7, p. 614-624, nov. 2011.

_____. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: Soil structure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 4, p. 1215–1224, ago. 2007a.

_____. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: Texture and mineralogy. **Soil Science of Society America Journal**, Madison, v. 71, n. 4, p. 1204–1214, ago. 2007b.