

**ESTOQUES E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM
DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO**

PAULO ROBSON MANSOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
NOVEMBRO – 2012**

**ESTOQUES E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM
DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO**

PAULO ROBSON MANSOR

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Henrique Duarte Vieira

Campos dos Goytacazes – RJ

NOVEMBRO - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 078/2012

Mansor, Paulo Robson

Estoques e frações da matéria orgânica em diferentes sistemas de uso do solo / Paulo Robson Mansor. – 2012.

91 f.

Orientador: Henrique Duarte Vieira.

Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.

Bibliografia: f. 82 – 91.

1. Manejo do solo 2. Agroecossistemas 3. Carbono orgânico 4. Matéria orgânica 5. Fertilidade do solo I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD–
631.422

ESTOQUES E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO

PAULO ROBSON MANSOR

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal

Aprovada em 05 de novembro de 2012

Comissão Examinadora:

Prof Fábio Luiz Partelli (Dr. Produção Vegetal) – UFES

Prof Geraldo de Amaral Gravina (Dr. Produção Vegetal) – UENF

Prof Otacílio José Passos Rangel (Dr. Solos e Nutrição de Plantas) – IFES
(Co-orientador)

Prof. Henrique Duarte Vieira (Dr. em Produção Vegetal) – UENF
(Orientador)

À minha mãe Nilza da Silva Mansor

À os meus irmãos Marcos Antônio Mansor e Vera Lucia Mansor

À minha esposa Miriam Cedro Mansor

Aos meus filhos Tiago Cedro Mansor, Nicholas Tawan Mansor e Ruan Cedro Mansor

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por abrir esta porta no meu caminho e permitir à realização deste doutorado com saúde.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pela política de formação profissional a nível de pós-graduação

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes – Campus de Alegre) pela oportunidade e suporte para a realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estágio obrigatório, período 01.03.2010 a 30.11.2010, referente ao Projeto Nº AUX-PE-DINTER-2460/2008.

Ao meu orientador, Prof. Henrique Duarte Vieira e ao meu co-orientador, Prof. Otacílio José Passos Rangel, pela disposição e auxílio na execução desta pesquisa.

À minha esposa, Miriam de Almeida Cedro, e aos meus filhos, Tiago Cedro Mansor, Nicholas Tawan Mansor e Ruan Cedro Mansor, pelo apoio e compreensão das ausências durante este período.

Aos professores que não mediram esforços para o sonho do Dinter tornar-se realidade, especialmente os coordenadores professora Aparecida de Fátima Madella de Oliveira e professor Ricardo Ferreira Garcia.

Aos membros da banca, Prof. Fábio Luiz Partelli e Prof. Geraldo de Amaral Gravina, pelas críticas e sugestões para a melhoria da qualidade deste trabalho.

Aos meus colegas de doutoramento, na pessoa de Carlos José Coelho ou “Casé” (*In memoriam*), pela amizade, ajuda, esforço e carinho demonstrado durante a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	vii
GENERAL ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3. TRABALHOS.....	14
3.1 FRACTIONATION PHYSICAL ORGANIC MATTER IN DIFFERENT SYSTEMS AND USE.....	14
ABSTRACT.....	14
INTRODUCTION.....	16
MATERIAL AND METHODS.....	18
RESULTS AND DISCUSSIONS.....	20
CONCLUSION.....	27
REFERENCES.....	28
3.1 FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO.....	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	33

INTRODUÇÃO.....	34
MATERIAL E MÉTODOS.....	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
3.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DE LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO.....	53
Resumo.....	53
Abstract.....	54
Introdução.....	55
Material e métodos.....	58
Resultados e discussão.....	63
Conclusões.....	75
Referências bibliográficas.....	76
RESUMO E CONCLUSÕES.....	80
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

RESUMO GERAL

MANSOR, Paulo Robson. Estoques e frações da matéria orgânica em diferentes sistemas de uso do solo. 2012. 91 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos Dos Goytacazes, RJ.

O preparo intensivo do solo acelera a decomposição da matéria orgânica, aumenta a liberação de carbono para a atmosfera e contribui para o aquecimento global do planeta. Os estudos da quantidade e qualidade da MOS em solos de clima tropical torna-se relevante, à medida que se constata o depauperamento do mesmo ao longo dos anos de cultivo, entretanto encontra-se poucos estudos realizados no Brasil com esta finalidade, principalmente no que diz respeito aos aspectos ligados à avaliação da influência de diferentes sistemas de manejo e uso da terra sobre os estoques e composição da matéria orgânica. O fracionamento físico densimétrico do solo é um procedimento utilizado para relacionar a MOS com a agregação e estabilidade de agregados ou para a quantificação de compartimentos da MOS visando estudos sobre a dinâmica da mesma. Várias são as causas que favorecem a maior ou a menor variabilidade dos nutrientes nos solos, as que destacam são: tipo e a intensidade de adubação, as características dos nutrientes, o uso de resíduos orgânicos e o sistema de manejo solo-planta-atmosfera, podendo esta variação

ser horizontal e vertical. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes sistemas de uso sobre os teores, estoques e frações do carbono orgânico e atributos químicos de Latossolo Vermelho Amarelo localizado na região Sul do Estado do Espírito Santo. Os sistemas de uso do solo avaliados foram: mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). O C-FL mostrou-se mais sensível ao manejo adotado nos diferentes sistemas de uso do solo, em relação ao C-FP e ao CO do solo. O sistema mata nativa, embora não apresenta maiores graus de fertilidade é um sistema equilibrado quanto a capacidade de troca catiônica (CTC), e conseqüentemente um maior poder tampão. A ocorrência de mudança de uso da terra promove alterações nos atributos químicos, nos sistemas CA e CP, a adição de calcário e adubos químicos, corrige e diminui a acidez em potencial, teores de alumínio, e aumenta a fertilidade do solo. A saturação por base (V%) é mais elevada em sistemas de uso do solo cujo manejo recebe a adição de calcário.

GENERAL ABSTRACT

Mansor, Paulo Robson. Inventories and organic matter fractions in different land use systems. 2012. 91 p. Thesis (Ph.D. in Plant Production) – Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes RJ.

The intensive soil tillage accelerates the decomposition of organic matter, increases the release of carbon into the atmosphere and contributes to global warming. Studies on the quantity and quality of SOM in soils of tropical climate becomes relevant, as it notes the depletion of the same over the years of cultivation, however is few studies in Brazil for this purpose, especially in concerning aspects related to the evaluation of the influence of different management systems and land use on stocks and composition of organic matter. The physical fractionation densimetric soil is a procedure used to relate the MOS aggregation and stability of aggregates or for the quantification of compartments MOS order dynamics studies thereof. There are several causes that favor higher or lower variability of nutrients in the soil, which they emphasize are: type and intensity of fertilization, the characteristics of nutrients, the use of organic waste management system and soil-plant-atmosphere, which may be horizontal and vertical variation. This study aimed to evaluate the effects of different land use

systems on the contents, stocks and fractions of organic carbon and chemical attributes of Yellow Oxisol located in the southern state of Espírito Santo. The land use systems evaluated were: native forest (NF), annual crops (CA), perennial (CP) and grassland (PT). The C-FL was more sensitive to the management adopted in the different systems of land use in relation to C-FP and CO soil. The system bushland, although not present higher degrees of fertility is a balanced system as the cation exchange capacity (CEC), and consequently a higher buffering capacity. The occurrence of a change of land use causes changes in the chemical, CA and CP systems, the addition of lime and fertilizers, corrects and reduces the potential acidity, aluminum levels, and increases soil fertility. The base saturation (V%) is higher in systems which use ground handling receives the addition of lime.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A introdução de sistemas agrícolas em áreas de vegetação nativa resulta num rápido decréscimo do conteúdo de carbono orgânico (CO) do solo em virtude da combinação de fatores climáticos, tais como elevada temperatura e umidade, associados às práticas de manejo agrícola. Nestes sistemas, a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) pode ser influenciada pelo manejo, preparo do solo, fertilizantes minerais, e materiais orgânicos que podem ser adicionados ao solo com emprego de plantas de cobertura.

O solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono em um ecossistema. Entretanto, o carbono é um componente dinâmico e sensível ao manejo realizado no solo. Seu conteúdo encontra-se estável sob condições de vegetação natural, porém com a quebra do equilíbrio pelo cultivo do solo em preparo convencional, geralmente ocorre redução no seu teor, resultado das novas taxas de adição e de perda desse elemento no solo.

O solo é um dos maiores compartimentos terrestres de carbono e uma das principais fontes de emissão de CO₂, CH₄ e outro gases para a atmosfera, podendo funcionar como um depósito e sumidouro de carbono atmosférico dependendo do tipo de manejo adotado. Há uma maior preservação da MOS sob vegetação natural, sendo que nas regiões tropicais, através do desmatamento e

o intenso cultivo, leva-se à perda do solo através da erosão, e conseqüentemente a matéria orgânica, podendo tal perda chegar a 50% do estoque original de matéria orgânica em menos de dez anos de cultivo (Shang & Tiessen, 1997). Nos sistemas de manejo mais conservacionistas existe um potencial de aumento dos estoques de MOS, diminuindo o fluxo de gases-estufa para a atmosfera (Shang & Tiessen, 1997; Silva & Machado, 2000).

A MOS é o produto da acumulação de resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos e parcialmente ressintetizados, que em estado ativo de decomposição, estão submetidos ao ataque contínuo de microrganismos. Em consequência, grande parte tem caráter transitório e são continuamente renovados pela adição de resíduos vegetais e animais (Vargas & Hungria, 1997).

Nos solos brasileiros altamente intemperizados, de fertilidade baixa e acidez acentuada, a matéria orgânica atua melhorando a fertilidade do solo, por ser a principal matriz de cargas do solo, além de atuar como reservatório de nutrientes. Entretanto, sabe-se, que em solos tropicais sua decomposição é cinco vezes mais rápida do que em regiões temperadas, tornado-se fundamental a adoção de práticas de manejo que visem a manutenção ou o aumento dos teores de MOS (Silva, 2000).

A ausência de revolvimento do solo e a adoção de esquemas de rotação de culturas que agregam espécies que retornam mais carbono ao solo, implicam em menor redução no estoque de MOS sob cultivo, em relação ao plantio com aração e gradagem do solo (Bayer, 2000).

A redução nos estoques de MOS é acompanhado, geralmente, do incremento relativo de compostos de maior aromaticidade. Tal fato é verificado em sistemas com o uso de arados e grades, com o desmatamento e, ou, cultivo intensivo, diminuindo a presença de frações da Matéria orgânica de maior biodisponibilidade, comprometendo a sustentabilidade dos ecossistemas, reduzindo a ciclagem de nutrientes e a capacidade de trocas catiônicas, elevando a presença de compostos orgânicos ricos em grupamentos aromáticos e carboxílicos. Alguns estudos têm mostrado que as perdas acentuadas de carbono com o desmatamento e cultivo dos solos são acompanhadas pelo consumo de frações orgânicas de maior biodisponibilidade, o que implica em aumento do já elevado grau de aromaticidade da MOS (D'andréa et al., 2002; Freixo et al., 2002).

O fracionamento físico no estudo da MOS, segundo Freixo et al., (2002), tem sido uma técnica promissora que permite a separação de diferentes compartimentos orgânicos, cada qual respondendo às formas e práticas de manejo, técnica esta utilizada com frequência em regiões temperadas para avaliar o grau de correspondência das frações orgânicas separadas por esse protocolo com os teores de C em compartimentos mais estáveis (C associado a areia, silte e argila) e em formas lábeis da MOS (C na fração leve), servindo de ferramenta para identificar práticas de manejo mais conservacionistas. Estudos desta natureza são fundamentais para solos de clima tropical, onde as alterações nos compartimentos da matéria orgânica ocorrem com maior intensidade em relação àqueles verificadas em regiões de clima temperado e frio.

Os estudos da quantidade e qualidade da MOS em solos de clima tropical torna-se relevante, à medida que se constata o depauperamento do mesmo ao longo dos anos de cultivo, entretanto encontra-se poucos estudos realizados no Brasil com esta finalidade, principalmente no que diz respeito aos aspectos ligados à avaliação da influência de diferentes sistemas de manejo e uso da terra sobre os estoques e composição da matéria orgânica. Dessa forma, torna-se premente o incentivo a pesquisa nesta direção para identificar as práticas de manejo conservacionista que venham dar sustentabilidade aos agroecossistemas a partir da identificação dos diferentes compartimentos da matéria orgânica, nos diferentes sistemas de cultivos.

Este estudo teve com objetivo avaliar os efeitos de diferentes usos e manejo do solo sobre os seguintes atributos: estoques e teores de carbono e nitrogênio; carbono associado às frações leve e pesada da MOS (por meio da técnica de fracionamento físico) e; atributos de fertilidade do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A MOS pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, com proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros. Essas macromoléculas constituem, aproximadamente, 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais. O segundo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, constituindo 85 a 90% da reserva total do carbono orgânico (Konova, 1984; Santos et al., 2008). Celulose, lignina, proteínas, lipídios e outras substâncias são convertidas pela degradação microbiana ou por ressíntese em um grupo amorfo de substância de coloração castanho-escuro, genericamente conhecida como material húmico do solo (Felbeck, 1971; Konova, 1984; Stevenson, 1994; Guerra et al., 2008).

A substituição de ecossistemas naturais por cultivos agrícolas geralmente resulta em alterações na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo. A magnitude dessas mudanças varia de acordo com as propriedades originais do solo, o clima, a cultura implantada e o manejo adotado. A MOS é considerada por muitos autores como indicador-chave da qualidade do solo, pois atua como fonte de nutrientes, aumenta a retenção de cátions, atua na complexação de metais, é

fonte de C e energia aos microrganismos do solo, além de auxiliar na infiltração e retenção de água, funcionando como componente fundamental na manutenção da sustentabilidade dos solos (Mielniczuk, 2008; Vezzani & Mielniczuk, 2009).

O solo é um dos maiores compartimentos terrestres de carbono e uma das principais fontes de emissão de CO₂, CH₄ e outros gases para a atmosfera, podendo funcionar como um depósito e sumidouro de carbono atmosférico dependendo do tipo de manejo adotado.

A MOS é o produto da acumulação de resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos e parcialmente ressintetizados, que em estado ativo de decomposição, estão submetidos ao ataque contínuo de microrganismos. Em consequência, grande parte dos componentes da matéria orgânica tem caráter transitório e são continuamente renovados pela adição de resíduos vegetais e animais ao solo (Vargas, 1997).

Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com as demais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, portanto o manejo sustentável da MOS é fundamental à manutenção da capacidade produtiva do solo em longo prazo (Ciotta et al., 2003).

2.1 Estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo

O 'pool' de carbono orgânico no solo (1.500 Pg) representa o equilíbrio entre o carbono adicionado ao solo pela vegetação e o perdido para a atmosfera via atividade de microrganismos decompositores. Os solos do mundo constituem um dos cinco principais 'pools' globais de carbono, sendo o reservatório de carbono no solo (2.500 Pg) 3,3 vezes maior que o atmosférico (760 Pg) e 4 vezes o 'pool' de carbono na biomassa terrestre (620 Pg), (Silva & Machado, 2000).

Historicamente, as perdas de carbono dos compartimentos solo e biomassa terrestre tem se situado na faixa de 50 a 100 Pg e de 100 a 150 Pg, respectivamente. A magnitude e a taxa de diminuição de C do solo são aumentadas pela degradação e declínio da qualidade do solo (Silva & Machado, 2000).

O cultivo intensivo do solo e o seu preparo em condições inadequadas alteram suas características físicas e o teor da matéria orgânica em graus variáveis quanto a sua natureza. Dependendo da intensidade destas modificações

podem produzir condições limitantes ao desenvolvimento dos vegetais em detrimento da produtividade, além da ocorrência de grandes perdas do solo por erosão hídrica (Souza & Alves, 2003).

A ausência de revolvimento do solo e a adoção de esquemas de rotação de culturas que agregam espécies que retornam mais carbono ao solo, implicam em menor redução no estoque de MOS de solos sob cultivo, em relação ao plantio com revolvimento do solo (aração e gradagem) (Bayer et al., 2000).

Os estoques de MOS em qualquer agroecossistema são obtidos pela interação dos fatores que determinam a sua formação e aqueles que promovem a sua decomposição. O declínio no estoque da matéria orgânica é devido a conversão de florestas nativas em sistemas de produção. Segundo Leite et al. (2003), essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da MOS e oxidação de carbono orgânico no solo e a menor quantidade de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente a florestas nativas.

A redução nos estoques de MOS é acompanhado, geralmente, do incremento relativo de compostos de maior aromaticidade. Tal fato é verificado em sistemas com o uso de arados e grades, com o desmatamento e, ou, cultivo intensivo, diminuindo a presença de frações de matéria orgânica de maior biodisponibilidade, comprometendo a sustentabilidade dos ecossistemas, reduzindo a ciclagem de nutrientes e a capacidade de trocas catiônicas, elevando a presença de compostos orgânicos ricos em grupamentos aromáticos e carboxílicos. Alguns estudos têm mostrado que as perdas acentuadas de carbono com o desmatamento e cultivo dos solos são acompanhadas pelo consumo de frações orgânicas de maior biodisponibilidade, o que implica em aumento do já elevado grau de aromaticidade da matéria orgânica do solo (D'andréa et al., 2002; Freixo et al., 2002).

Perdas acentuadas de carbono do solo resultam em baixos estoques de MO e isto tem sérias consequências para a qualidade do solo e, por conseguinte, a sustentabilidade dos ecossistemas, assim qualquer prática de manejo do solo que acarrete perdas de carbono (energia), redução na biodiversidade e a alteração em processo responsável pela ciclagem de nutrientes, comprometem o equilíbrio dos ecossistemas, podendo provocar a degradação. Isso ocorre em

função da MOS interferir e condicionar diferentes atributos químicos e físicos, e servir de substrato e energia para a pedobiota (Siqueira et al., 2008).

Conceição & Spagnollo (2005), investigaram o potencial da matéria orgânica, em diferentes sistemas de manejo (plantio convencional, reduzido e direto) utilizando para tal dois experimentos de longa duração instalados em Argissolos no sul do Brasil, onde foram analisados os teores de carbono orgânico total (CO) e nitrogênio total (NT), na camada de 0,00-0,05 m e 0,05-0,20 m, potencial de mineralização do CO e NT do solo e C da biomassa microbiana. Os autores concluíram que a QS foi alterada em ambas as áreas experimentais pelos sistemas de manejo adotados. O CO e NT, avaliados na camada de 0-0,05m mostraram-se eficientes em discriminar o impacto de sistemas de manejo sobre a QS.

Em estudo sobre a avaliação dos efeitos de sistemas de produção de milho sob adubação orgânica e mineral, sobre os estoques totais de carbono orgânico (CO) e nitrogênio (NT) e de compartimentos de carbono orgânico em um Argissolo Vermelho-Amarelo, Leite et al. (2003) observaram que os estoques de CO e NT diminuíram após a retirada da Floresta Atlântica e o cultivo do solo. Os autores também concluíram que a adubação orgânica aumentou os estoques de CO e NT em relação aos sistemas de produção com adubação mineral ou mesmo sem adubação, o que coloca a adubação orgânica como uma estratégia de manejo importante à conservação da qualidade do solo.

Os mesmos autores ainda concluíram que os estoques de carbono da fração leve e o carbono lábil foram reduzidos mais intensamente do que o carbono orgânico total, especialmente nos sistemas de produção sem adubação orgânica, razão por que podem ser considerados indicadores mais sensíveis das mudanças no estado da MOS. Os sistemas de produção com a presença da adubação orgânica não apresentaram potencial para sequestro e emitiram as maiores quantidades de C-CO₂ para a atmosfera. Souza et al. (2009), pesquisaram o estoque de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) em um Latossolo Vermelho distrófico no Sul do país, em frações físicas da MO, em um sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidade de pastejo. Os tratamentos consistiram em diferentes alturas de manejo da pastagem (aveia-preta + azevém): 10, 20 e 40 cm, com bovinos jovens, e sem pastejo, seguido do cultivo de soja. Os autores concluíram que a

intensidade de pastejo moderadas (20 e 40 cm de altura de pasto) promoveram o aumento nos estoques de CO, CO particulado, NT e N orgânico na matéria orgânica particulada no solo, semelhante ao plantio direto sem pastejo. Na alta intensidade de pastejo (10 cm), houve redução no estoque desses elementos, com degradação na qualidade da matéria orgânica.

Rangel et al. (2007) avaliaram os efeitos de diferentes espaçamentos de plantio do cafeeiro sobre os estoques de CO e NT e sobre os teores e distribuição de C em frações da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférico típico em experimento de 11 anos de duração. Neste estudo os estoques de CO e NT não foram influenciados pelo espaçamento entre plantas e entre linhas, nem pela área de planta (copa) e pela população de cafeeiro.

Coutinho et al. (2010) avaliaram o impacto da substituição de pastagens por reflorestamento com eucalipto e mata secundária sobre a dinâmica da MOS. Para quantificar o estoque de CO e NT do solo e a abundância isotópica de C na MOS, foram coletadas amostras até 1 m de profundidade. Não foram observadas diferenças significativas nos estoques de CO e NT nas áreas de mata e eucalipto, em relação a pastagem. No entanto, a mata apresentou maior influência sobre a composição da MOS.

No Sul da Bahia foram estudados a quantificação e estoques de CO e suas frações como indicadores da qualidade do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em solo submetido a três sistemas de uso (mata Atlântica, cacau e pastagem), onde concluiu-se que o CO não diferiu entre os diferentes uso do solo, sendo os maiores estoques de C encontrados na camada mais superficial do solo (Barreto et al., 2008).

2.2 Fracionamento da matéria orgânica do solo

Os compartimentos da MOS também podem ser representados com base na escala de idade e estabilidade dos seus componentes, por meio do estudo do tempo de reciclagem e agentes controladores do reservatório, tendo a seguinte representação: reservatório não protegido (biomassa microbiana), tempo de reciclagem de mais ou menos 2,5 anos em regiões temperadas e 0,25 anos nos trópicos, os agentes controladores, depende da disponibilidade de substrato; fração lábil, tempo de reciclagem de mais ou menos de 20 anos em regiões

temperadas e 5 anos nos trópicos, os agentes controladores são representados pela adição de resíduos e clima; reservatório protegido; (fração estruturalmente protegida), o tempo de reciclagem depende da perturbação física, os agentes controladores são os sistemas de preparo e quebra de agregados, textura; fração coloidalmente protegida, com tempo de reciclagem de mais ou menos de 1000 anos, tendo como agente controlador a mineralogia e a textura do solo (Duxbury et al. 1989).

A MOS não é um componente simples e homogêneo, na realidade trata-se de um heterogêneo conjunto de materiais orgânicos diferindo em composição, grau de disponibilidade para microbiota e função no ambiente (Carter, 2001). Os estudos da MOS tentam justamente reduzir esta heterogeneidade, procurando separar as frações quanto a natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes umas das outras (Christensen, 2000; Roscoe & Machado, 2002).

Os sistemas conservacionistas de manejo propiciam aumento de conteúdo de MOS com o tempo. Estratégias como a adoção de sistemas de cultura com alta adição de resíduos vegetais ao solo e com a inclusão de espécies leguminosas, associadas a semeadura direta e/ou cultivo mínimo do solo, em adição as demais práticas conservacionistas de manejo, especialmente aquelas destinadas ao controle de erosão, são indispensáveis para a manutenção do conteúdo de matéria orgânica do solo e para a sustentabilidade dos agroecossistemas (Pillon et. al, 2005).

O fracionamento da MOS, considerando os três compartimentos distintos (areia, silte e argila), permite precisar o efeito de diferentes sistemas de uso e manejo em solos de características edafambientais semelhantes (Freitas et. al., 2000).

A fração leve (FL) é constituída por materiais orgânicos derivados principalmente de restos vegetais, mas contendo quantidades razoáveis de resíduos microbianos e da microfauna, inclusive hifas fúngicas, esporos, esqueletos, peletes fecais, fragmentos de raízes e sementes (Golchin et al., 1997; Roscoe & Machado, 2002). Devido a sua relativa facilidade de decomposição a FL está muito ligada, em termos de dinâmica, ao suprimento de resíduos orgânicos ao sistema, e por esta razão, a sua quantidade no solo e composição

apresentam maior variabilidade espacial e sazonal que as demais frações avaliadas em estudos de fracionamento físico (Christensen, 2000).

Segundo Christensen (2000) e Roscoe & Machado (2002), a fração pesada (FP) é constituída de materiais orgânicos em avançado estágio de decomposição, não identificáveis visualmente e, fortemente ligados à fração mineral do solo.

2.3 Atributos químicos e manejo do solo

Nos solos brasileiros altamente intemperizados, de fertilidade baixa e acidez acentuada, a matéria orgânica atua melhorando a fertilidade do solo, por ser a principal matriz de cargas do solo, além de atuar como reservatório de nutrientes. Entretanto, sabe-se que em solos tropicais sua decomposição é cinco vezes mais rápida do que em regiões temperadas, tornando-se fundamental a adoção de práticas de manejo que visem a manutenção ou o aumento dos teores de MOS (Silva, 2000).

Segundo Rosenzweig & Hilled (2000), o preparo intensivo do solo acelera a decomposição da matéria orgânica, aumenta a liberação de carbono para a atmosfera e contribui para o aquecimento global do planeta. Entre os sistemas de preparo do solo, o plantio direto é o mais conservacionista, pois, ao contrário dos sistemas que envolvem a aração, gradagem e escarificação do solo, esse sistema visa perturbar ao mínimo a estrutura do solo e preserva ao máximo os resíduos culturais, de modo que pelo menos 30% da superfície do solo seja coberta por palha (Silva & Machado, 2000).

Em um Latossolo vermelho com 23 anos de cultivo com aração e gradagens houve a diminuição de 50-60% nos estoques originais de CO e NT do solo. Com a inclusão de leguminosas intercalares ao milho, e a adoção do sistema de preparo de solo reduzido por 5 anos, houve uma recuperação parcial do estoque de MOS, com taxas de acúmulo de 0,39 a 22,3 t ha⁻¹ ano⁻¹ de CO e 0,15 a 0,23 t ha⁻¹ ano⁻¹ de NT. Além das implicações ambientais positivas do sequestro de carbono no solo, o aumento da MOS resultou num incremento na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, o que representa uma melhoria importante para solos altamente intemperizados (Bayer et al., 2003).

Silva et al. (2007) estudaram as mudanças nas características químicas e estruturais em diferentes sistemas de uso na região pastoril de Itapetinga, Bahia, por meio de amostragem realizadas numa sequência floresta-capoeira-pasto. Os autores observaram diferenças nas propriedades químicas e na MOS nos sistemas estudados. As mudanças na cobertura vegetal original (floresta-pastagem), foram acompanhadas por uma diminuição nos teores de P, K, Ca, Mg, Al, H, soma de bases, saturação por bases e CTC, indicando que, de maneira geral, estas propriedades foram alteradas pela introdução e uso de pastagens.

Silveira & Cunha (2002), com o objetivo de estudar os efeitos dos sistemas de preparo do solo (arado de aiveca, grade aradora e plantio direto) sobre a variabilidade de atributos físico-químicos em um Latossolo Vermelho Perférico, textura argilosa, nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,20 m, cultivado com milho no verão e feijão no inverno, durante cinco anos consecutivos, concluíram que os teores médios de Cu, Zn, Fe, Mn, B, matéria orgânica e argila variam conforme o sistema de preparo e profundidade do solo; na camada de 0,00-0,05 m, os teores de Cu, Mn, B, MO e argila foram maiores no sistema plantio direto do que nos tratamentos com arado de aiveca e com grade aradora.

Segundo Leite et al. (2003) em sistemas agrícolas, a dinâmica da MOS pode ser influenciada não só pelo manejo por meio da seleção de culturas e de formas de preparo solo, mas também pela adição de fertilizantes químicos e matérias orgânicos, que influem positivamente nos processos biológicos de decomposição e mineralização da MOS.

Entre as características químicas do solo afetadas pela matéria orgânica, destacam-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais, na sua maioria altamente intemperizados e ácidos (Bayer & Mielniczuk, 2008).

Em relação a capacidade de troca catiônica (CTC), a fração húmica da MOS apresenta em torno de 400-800 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, sendo bem superiores, portanto, as estimativas realizadas para a MOS como um todo, o que se deve à maior concentração de radicais carboxílicos nessa fração (Sposito, 1989; Bayer & Mielniczuk, 2008). Os mesmos autores descreveram que em solos tropicais e subtropicais, a CTC da matéria orgânica pode representar um grande percentual

da CTC total do solo. Nestes solos a manutenção ou o aumento dos teores de MOS é fundamental na retenção dos nutrientes e na diminuição da sua lixiviação.

Ainda de acordo com Siqueira et al. (2008), em solos sob vegetação natural em equilíbrio, os processos de ganhos e perdas de C ao longo do tempo se equivalem, enquanto que em áreas com ausência de vegetação e/ou degradadas, as quantidades de C emitidas para o ar superam o C armazenado no solo e na vegetação, causando um decréscimo nos teores de C no solo ao longo do tempo. Solos degradados geralmente apresentam severas limitações nutricionais como de N e P.

No estudo de Macedo et al. (2008), o uso combinado de espécies de leguminosas com bactérias fixadoras de N e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) propiciou taxas de sequestro de C e N de 1,73 e 0,13 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, em um período de treze anos de recuperação de áreas degradadas. Nesse mesmo estudo, os teores de C na FL-livre e oclusa da MOS, nas áreas de mata nativa e recuperadas, foram superiores aos observados para as áreas desmatadas, o que implica em maior biodisponibilidade da MOS, dado que o C-fração leve é considerada uma das frações mais lábeis de C no solo.

A conversão de florestas para áreas de pastagens causa um grande lançamento de CO₂ para a atmosfera, com valores na faixa de 10 a 15 kg m⁻² de carbono, a conversão de floresta em pastagem ainda é mais crítica quando se contabiliza as perdas da biodiversidade e armazenamento de água no solo (Cerri et al., 2008). Considerando que a ciclagem eficiente dos nutrientes é um fator chave na manutenção da fertilidade do solo e da sustentabilidade das pastagens, torna-se importante monitorar as alterações dos atributos do solo decorrentes das estratégias de reabilitação adotadas. As práticas de reabilitação de pastagens, tais como o revolvimento do solo (aração, gradagem) e aplicação de fertilizantes promovem modificações em atributos físico-químicos do solo, como temperatura, umidade, aeração, pH, teor de nutrientes e elementos tóxicos (Carvalho et al.1990; Cerri et al., 2008).

O N disponível do solo pode ser proveniente de diversas fontes, incluindo fertilizantes, restos culturais e resíduos orgânicos, mas, de modo geral, parte substancial do N disponível para a planta provém da mineralização da MOS. Acredita-se que 2 a 5% do reservatório de N orgânico total do solo mineralize por ano (Moreira & Siqueira, 2002).

Alguns sistemas de recomendação de adubação nitrogenada no Brasil utilizam o teor de MOS como auxiliar na definição da dose de N, de forma que o solo com maiores teores tenham redução na dose de N a ser aplicada via fertilizante (Amado et al., 2002; Souza & Lobato, 2002; SBCS, 2004).

Mais de 90% de N total do solo encontra-se no compartimento orgânico, o que torna inevitável a associação de sua disponibilidade com o teor de MOS. Além disso, a determinação da MOS faz parte da rotina dos laboratórios especializados em análise do solo, facilitando seu uso como auxiliar na predição da disponibilidade de N e recomendação da dose de fertilizante (Cantarela et al., 2008).

Várias são as causas que favorecem a maior ou a menor variabilidade dos nutrientes nos solos, as que destacam são: tipo e a intensidade de adubação, as características dos nutrientes, o uso de resíduos orgânicos e o sistema de manejo solo-planta-atmosfera, podendo esta variação ser horizontal e vertical no solo (Silva, 2009).

O teor de MOS pode ser um indicador intermediário de qualidade do solo (QS), segundo Islan & Weil (2000) citado por Conceição & Spagnollo (2005), sendo este fator de extrema importância para integrar a outros índices na determinação da QS. Segundo Melniczuk (1999) a MOS tem potencial para ser apresentada como atributo chave da QS, pois, além de satisfazer o requisito básico de ser sensível as modificações ocasionadas pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e suscetibilidade a erosão.

3. TRABALHOS

3.1 FRACTIONATION PHYSICAL ORGANIC MATTER IN DIFFERENT SYSTEMS AND USE

FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO

ABSTRACT

The different systems of cultivation adopted in farming areas, after the removal of the native vegetation, cause alterations in the chemical, physical and biological properties of the soil, which depending on the type of culture and adopted culture practices, establish a new condition of equilibrium in the soil system. In tropical and subtropical soils, the organic matter exhibits a narrow relation with the other physical, chemical and biological properties of the soil, therefore the sustainable handling of the soil organic matter is fundamental for the maintenance of the soil productive capacity in a long run. This study had the objective to evaluate the alterations in the soil organic matter (SOM) in the

physical attributes of the soil under different systems of use and handling, having as a reference the native vegetation, in a Red-yellow Latosol, in the southern region of the state of Espírito Santo, Federal Institute of Education in Espírito Santo (IFES), whose treatment consisted in four systems to use the soil: native forest (NF), annual culture (AC), perennial culture (PC) and pasture (PT), in a 0-10 cm depth, accomplishing the physical fractioning of the organic matter of the soil (OMS), analyzing the amount of organic carbon (OC), carbon in the light fraction (C-LF) and heavy (C-HF), determining the storage of carbon in the light and heavy fraction. The environment of the native forest obtained the higher amounts and storage of carbon, either in the light or heavy fraction, showing a stable system in the reserve of carbon in the soil. The light fractions of the soil organic matter are more sensitive to the handling of the systems of use in relation to the heavy fraction and to the total organic carbon.

Index terms: soil tillage, agroecosystems, organic carbon.

RESUMO

Os diferentes sistemas de cultivo adotados nas áreas agrícolas, após a retirada da vegetação nativa, promovem alterações nas propriedades do solo, que dependendo do tipo da cultura e práticas culturais adotadas, estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema do solo. Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, portanto o manejo sustentável da matéria orgânica do solo (MOS) é fundamental à manutenção da capacidade produtiva do solo em longo prazo. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes sistemas de uso sobre os conteúdos, estoques e frações do carbono orgânico de Latossolo Vermelho Amarelo localizado na região Sul do Estado do Espírito Santo. Os sistemas de uso do solo avaliados foram: mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e

pastagem (PT). Em amostras de solo da profundidade de 0-10 cm foram analisados os conteúdos de carbono orgânico (CO) e realizado o fracionamento físico da MOS, analisando os conteúdos de carbono orgânico na fração leve (C-FL) e pesada (C-FP). Calculou-se os estoques de C-FL, C-FP e a relação C-FL/CO. O sistema MN obteve os maiores conteúdos de CO e C-FL, e estoques de na fração leve, demonstrando ser um sistema mais estabilizado. O C-FL mostrou-se mais sensível ao manejo adotado nos diferentes sistemas de uso do solo, em relação ao C-FP e ao CO do solo.

Termos para indexação: manejo do solo, agroecossistemas, carbono orgânico.

INTRODUCTION

The different systems of cultivation adopted in farming areas, after the removal of the native vegetation, cause alterations in the chemical, physical and biological properties of the soil, which depending on the type of culture and adopted culture practices, establish a new condition of equilibrium in the soil system. In Brazil, historically, many handling practices were imported from countries with temperate climate, where the movement of the superficial layer of the soil is a practice that is many times fundamental for the success of the farming activity. Such practices, however, cause the increase of oxygen entry in the soil, favoring the decomposition processes of the soil organic matter (SOM). In Brazilian soils which are highly weathered, with low fertility and accentuated acidity, the organic matter improves the soil fertility because it is the main matrix of soil loads and besides it acts as nutrient reservoir. On the other hand, it is known that in tropical soils the decomposition of the organic matter is five times higher than in temperate regions, which then makes fundamental handling practices which aim at maintaining or increasing the SOM contents (Silva & Machado, 2000).

The study diverse compartments of the organic matter, as well as its relations with farm-handling, contributes to the development of strategies for the sustainable use of soils,

with the aim at reducing the impact of farming activities on the environment (Pinheiro et al., 2004; Rangel et al., 2007). The physical fractioning of the SOM has showed promising in the distinction of carbon compartments of the soil subject to the influence of varied systems of handling and in the identification of the mechanisms which provide physical protection to the organic matter (Collins et al., 1997), besides characterizing the relations between organic matter and the soil aggregation (Feller et al., 1997; Freixo et al., 2002).

The physical fractioning separates SOM in two main compartments, having as a basis the specific densities of the organic fractions: i) light fraction (LF), with density lower than $1,7 \text{ g cm}^{-1}$, which consists in an transitory compartment between vegetal residues and the stabilized and humusized organic matter, showing a C/N relation higher than the soil and representing, most of the times, the lower fraction of the dead compartment of the SOM, which encompasses, normally, from to 18% of the C total and from 1 to 12% of the total N of the soil and, ii) heavy fraction (HF), composed of organic mater fixed to the colloids or aggregated to the soil, which can contain more than 90% of C from the soil (Janzen et al., 1992; Barrios et al., 1996, Rangel et al., 2007).

The LF has shown to be a precocious indicator of the changes in the SOM caused by different uses and handling systems. Several solutions are used in its separation, but little is known about their effects in the quantity and quality of the extracted fraction, as well as little is known about the possible interferences that the separation solution can cause in the posterior qualification of the OC (Demolinari et al., 2008). The HF is constituted of organic matter in advanced decomposition phase, not visually identifiable, strongly connected to the mineral fraction of the soil, constituting the primary mineral-organic complexes, showing organic composts of high recalcitrance (Christensen, 2000; Roscoe & Machado, 2002). The HF corresponds to the SOM in high decomposition stage, being more stable and with a longer residency time in soil than the LF (Chistensen, 2001; Souza et al., 2006).

This study had as an objective to evaluate the effects of different systems of use on contents, stocks and fractions of organic carbon of Yellow Red Latosol localized in the south region of the state of Espírito Santo.

MATERIAL AND METHODS

This study was conducted using samples of Red-Yellow Latosol, localized on the campus of Alegre Federal Institute of Education, Science and Technology of Espírito Santo (IFES) (20° 45' 51" S; 41° 27' 24" W e 131,4 m de altitude), in Alegre -ES.

In the evaluation of different use systems of the soil four adjacent areas were selected, distributed in a homogenous band of the soil. The evaluated use systems of the soil were: native forest (NF), annual culture (AC), perennial culture (PC) and pasture (PT). The choice of these systems of soil use was done based on the use history and in the characteristics of the adopted handling systems. The history of the evaluated systems are shown in Table 1.

The soil samples were collected in September in 2012, it was selected in each system four portions with individual dimensions of 15x20 m (300 m²). The samples were collected in a profundity of 0-10 cm, having in mind that in every use system and portion 15 simple samples were taken, and after homogenized they gave origin to a compost sample, thus having 4 compost samples per use system, each one constituting a repetition. For the evaluation of the density of the soil it was collected a undeformed sample for each portion in the proposed profundity (0-10 cm), with the help of a volumetrical ring of 89,53 cm³, getting the density of the soil of each system by the average of four repetitions. In all the use systems, before the picking of the soil samples, the vegetal residues present in the surface of the soil were removed.

Table 1. History of the use systems installed in Red-Yellow Latosol in the county of Alegre-ES

Use system	History
Native forest (NF)	Remnant of native forest localized approximately 500 m from the other use systems, with the soil class. The state of equilibrium of the soil was used.
Annual culture (AC)	Previously cultivated area with greenery during 11 years, where in 1994 it was implanted the forage sorghum culture (<i>Sorghum bicolor</i>) for animal feeding. Farming is implanted every year in system of conventional plantation and conducted according to culture traits indicated by the culture. The area remains in fallow in the intercrop period.
Perennial culture (PC)	Previously cultivated area with orange during 23 years, where in 2006 conilon coffee farming was implanted (<i>Coffea canephora</i>). The farming is conducted according to the cultural traits indicated to the culture, including prunings (once a year) where the leftovers of the culture stay deposited between the lines of the plantation.
Pasture (PT)	Pasture formed initially with Pernambuco grass, native species of the region. In 1994, after 64 years, <i>Brachiara decumbens</i> was planted, being the pasture conducted under continuous grazing of cattle in semi-intensive regime and without handling of the fertility of the soil.

The compost samples (repetitions) were packed in plastic bags and conducted to the lab. For the analysis of organic carbon contents (OC) the samples were dried in the air, loosened, grinded in mortar and pestle and screened in straw sieve of 0,210 mm. The samples for the physical fractioning were dried in the air, loosened and screened in sieves of 2mm, fort the getting of thin dried soil of the air (TDSA).

The OC was determined by the method described in Yeomans & Bremner (1988). The light and heavy fractions of the organic matter of the soil were obtained following the recommendations described in Anderson & Ingran (1989). The OC content in the light fraction (C-LF) was determined according to the methodology described in Yeomans & Bremner (1988). The OC content in the heavy fraction (C-HF) was obtained by the difference: $C-HF = OC - C-LF$. Basing in the data of the contents of C-LF and OC the

proportion C-LF/OC was calculated, by the following formula: $(C-LF/OC) \times 100$. The storage of C-LF and C-HF, in the different use systems of the soil, were calculated by the following formula: storage of C-LF or C-HF ($t\ ha^{-1}$) = content of C-LF or C-HF ($g\ kg^{-1}$) x $D_s \times E/10$, in which D_s = soil density ($kg\ dm^{-3}$) (average of four repetitions) and; E = thickness of the layer of the soil (cm).

The data of the contents of OC, C-LF and C-HF, of the relation C-LF/OC and of the storages of C-LF and C-HF were undergone to the analysis of variance for the verification of the effects of the use systems of the soil. The comparisons of the averages were done by the Tukey test of 5%, using the computational app SAEG.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The of organic carbon (OC) was altered significantly by the use systems of the soil (Table 2), being the highest contents observed in the NF system and the lowest in AC and PC, with the contents of OC varying from 14,42 a 8,10 $g\ kg^{-1}$ in the systems NF and PC, respectively. According to Stevenson (1994), the diminishing of the organic matter content of the cultivated soils is due to the reduction of the quantity of added residues to the soil and to the increase of microbial activity and, following that, the rate of decomposition of the organic matter, due to better conditions of airing, of increase in soil temperature and of the more frequent alternation of the cycles of moistening and drying of the soil. The increase in the carbon quantities lost by erosion and leaching explains, in the same manner, the decrease of the organic matter in cultivated areas (Fernandes et al., 1997), as can be seen in Table 2 by the contents of OC obtained in the systems with annual and perennial culture.

Table 2. Organic carbon contents (OC), light fraction carbon (C-LF), organic carbon percentage in the light fraction in relation to the organic carbon (C-LF/CO) and organic carbon in the heavy fraction (C-HF), in the profundity of 0 to 10 cm of a Red-Yellow Latosol under different use systems in the county of Alegre-ES.

Use systems	OC	C-LF	C-LF/OC	C-HF
	----- g kg ⁻¹ -----	-----	%	g kg ⁻¹
NF	14,42 a	3,50 a	24,10 a	10,92 ab
AC	10,57 bc	0,37 b	3,70 b	10,20 b
PC	8,10 c	0,50 b	6,55 b	7,60 c
PT	13,02 b	0,37 b	2,95 b	12,65 a
Average	11,5	1,2	9,3	10,3
VC (%)	9,6	50,3	46,6	10,8

Averages followed by the same letter in the column do not differ statistically by the Tukey test to the level of 5% of probability. NF= Native forest, AC= annual culture, PC= Perennial culture and PT= pasture.

Passos et al. (2007), in a study conducted in Latosol under two types of vegetal cover [natural vegetation of the Cerrado (Brazilian savannah) and corn cultivation for 30 years] concluded that the type of vegetal cover and handling of the soil influenced the OC contents of the soil. According to Leal et al. (2010) the highest contents of OC in systems without revolving of the soil can be explained by the factors associated to the mechanisms of protection of the organic soil: recalcitrance, physical protection and molecular chemical interaction.

In comparison to the NF area, all the other systems of handling resulted in reduction of the OC contents, indicating the increase in the oxidation rate of the OC of the soils when these were undergone to cultivation. According to Longo & Espíndola (2000), such reductions in the OC contents in cultivated soils are explained by the fact that the organic matter concentrate itself in the more superficial layers of the soil, thus, for this reason, they are more susceptible to microclimatic alterations caused by the adopted use systems and handling. In relation to the NF system, the reductions of the contents in the OC were, respectively, of 26,7, 43,8 e 9,7%, for the plantation systems de AC, PC, PT.

These results are in accord to the ones obtained by Tiessen et al. (1994) and Mielniczuk et al. (2003). According to the authors, in cultivated areas of the tropics, the elevated rates of losses of SOM result in reduction of 50% in the original content of the SOM in relation to the same soil under natural vegetation, in less than 10 years of cultivation, mainly in the systems with low contribution of vegetal residues. The obtained results in the present work indicate that the higher contribution of cultural residues in the PT systems (mainly coming from the radicular system) and AC (crop residues invasive species that install themselves in the area in the fallow period) can cause, along the time, in bigger storage of OC of the soil, overcoming the contents found in the PC system, where there is less deposition of vegetal residues.

Among the systems with cultivation, the absence or the less revolving of the soil in the area with pasture resulted in an increase of 60,7 and 23,3%, respectively, in the OC content of the soil in this system in relation to the PC and AC systems. The more elevated value of OC in AC, similar to the PT system, can be explained by the handling history of this land, with the preparation of the soil and the incorporation of residues, correctives and fertilizer. Doran (1980) reported that the revolving of the soil, as it occurs in some PC systems (weedings) and periodically in the AC system, contributes to cause perturbations of stress in the microbial populations and, once the carbon additions in these systems are lower, there is a higher consume of OC of the soil by microorganisms, what implicates in reduction of the SOM.

The increase of the OC contents seen in the PT system can be associated to the presence of graminea under pasture, which due to the function of high deposition of the organic matter, of the elevated allocation of photosynthates to the radicular system, of the elevated contents of lignin in the roots and of the higher coefficient of humification of the carbon added to the soil (Boddey et al., 2001; Pillon et al., 2001), can have brought about the increase of OC contents in the soil.

Considering the run time of the implantation of the systems PC (5 years), the non-revolving of the soil and the contribution of the residues from the cultural practices of the farming, it would be expected that this system of soil use showed more OC contents. The observed reduction in the OC contents in the AC system are indicative that: i) the contribution and or the conversion of the residues in SOM have not been efficient in what concerns the verified are in the forest area (NF); ii) that there is a higher favouring of the decomposition processes of the organic matter in these systems (Silva et al., 2004); iii) or there is the necessity of a higher period of time for the OC contents in this system approximates those observed in the forest soil. Another factor to be considered is the quality of the residues added to the soil in the systems of evaluated use. Silva et al. (2004) report that plants or younger fabrics are richer in proteins, minerals and the soluble fraction in water, whereas as the fabrics come from older plants, there is an increase in more difficult composts proportions of decomposition such as cellulose, hemicellulose, lignin and polyphenols.

Table 2 show the OC contents in the light fraction (C-LF), the relation C-LF/CO and the OC content of the heavy fraction (C-HF) of the SOM in the different use systems of the soil.

Among the systems of the use of the soil, the NF showed the highest contents of C-LF, being this one an indicative that, in this system it occurs a higher physical protection of the light fraction of the SOM. The C-LF contents suffered a great reduction in the cultivated areas. In relation to the NF system, that showed $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ of C-LF, the decrease on the contents of this fraction in the systems AC, PC, and PT was of 85,71, 89,43 and 89,43%, respectively. These results are in accord with Freixo et al. (2002) and Rangel et al., (2007), that observed an average reduction in the C-LF contents of 85 and 89%, respectively, in Latosol under different use systems, in relation to the same soil under native scrubland (study reference).

In non-anthropized systems, as NF, the source of organic substances is associated, mainly, to the natural deposition of residues in plants, that reach the soil in the form of leaves, branches e other organic fragments, as well as organic substances derived from root decomposition (Pohlman & Mccoll, 1988). Rovira & Vallejo (2002) report that the resistance to acid hydrolysis is higher for the recalcitrant organic polymer (lignins, suberins, resins and wax). Therefore, the highest contents of C-LF found in the soil of the system NF can also be associated to the quality of the added residues to the soil, that, probably, show higher proportions of carbon that is more resistant from the chemical point of view.

The carbon present in the heavy fraction (C-HF) corresponded, in average, to 90,7% of the OC of the soil (Figure 1), increasing the proportion in the following order: NF > PC > AC > PT with values above 93% in the AC, PC and PT systems. The more labile fraction of SOM (C-LF) represented a small percentage of OC of the soil (Table 3). In the evaluated systems, the C-LF represented from 2,95 (PT) to 24,1% (NF) of the OC of the soil. In the forest area, the percentage of C-LF was 3,7 to 8,2 times higher than the one obtained in the PC and PT systems.

The small contribution of the C-LF to the OC of the soil (C-LF/OC), mainly in the cultivated systems, it is probably associated to the reduction of residue contribution and to the increase on the decomposition rate of this fraction in less structured soils, more oxygenated, with elevated temperatures, good availability of water, liming and fertilization (Christensen, 2000). Another explanation for the small participation of the C-LF in the OC of the soil resides in the fact that the only mechanism of protection of this fraction is the recalcitrance of its constituent materials, what makes the C-LF more available to the microbiota than the heavy fraction of the SOM (Roscoe & Machado, 2002). To the clay soils of temperate regions, Parfitt et al. (1997) reported a percentage of the C-LF varying from 16 to 39% of the OC of the soil. However, for the clay Latosols of tropical regions

under different systems of handling (forest, scrubland and pasture) Golchin et al. (1995) and Freixo et al. (2002) observed the relation C-LF/OC varying from 1 to 4% of the OC of the soil. Rangel et al. (2007), in a study about the densimetric physical fractioning of the SOM in Latosol under different systems of handling (forest, eucalyptus, pinus, pasture and corn), verified the relation C-LF/OC varying from 2,3 to 12%, these similar values to the ones in Table 2, with the exception of the NF system.

The C-HF contents varied from 7,60 to 12,65 g kg⁻¹, with the contents in the NF system not differing in relation to the PT system, similar result to the one checked by Potes et al. (2010).

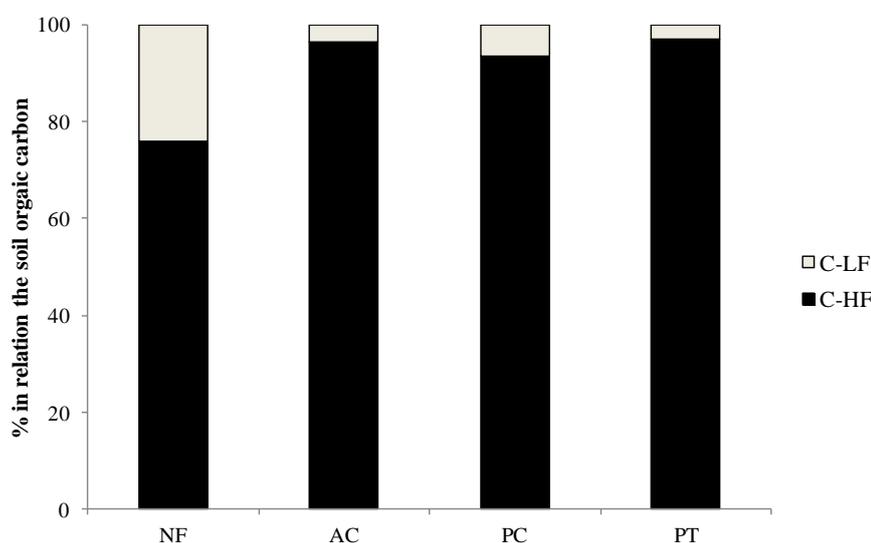


Figure 1. Proportion of carbon contents in the light fraction (C-LF) and carbon in the heavy fraction (C-HF) in relation to the organic carbon (OC) of the soil. NF = Native forest, AC = annual culture, PC = perennial culture and PT = pasture.

In Table 3 the storage of carbon in the light and heavy fractions of the SOM are shown. The storage of C-LF varied from 0,44 a 3,85 t ha⁻¹, with the higher value observed in the NF system.

The storage of C-HF was little influenced by the handling systems of the soil, very likely due to the short period of cultivation and the constant revolving of the soil in the AC system, once in this fraction the following groups of protection mechanisms of the SOM

act: molecular recalcitrance, physical protection and; molecular recalcitrance, physical protection and chemical interaction, making the carbon cycling time present in these fractions be longer in relation to the carbon of the light fraction, where only the recalcitrance molecular mechanism act. (Leal et al., 2010).

The bigger storage of C-LF observed in the NF system is, probably, associated to the bigger contribution of vegetal material in relation to the other handling systems. According to Six et al. (2002) the C-LF is strongly influenced by the quantity of the dry mass added to the soil, being the storage of C-LF directly proportional to its addition.

Table 3. Soil density (Ds), storage of organic carbon light fraction and storage of organic carbon heavy fraction in the profundity of 0-10 cm of a Red-Yellow Latosol under different use systems in the county of Alegre-ES

Use systems	Ds	Storage C-LF	Storage C-HF
	kg dm ⁻³	----- t ha ⁻¹ -----	-----
NF	1,09	3,85a	11,95ab
AC	1,19	0,44b	12,17ab
PC	1,27	0,68b	10,18b
PT	1,29	0,44b	15,21a
Average	-	1,3	12,4
VC (%)	-	53,7	14,3

Averages followed by the same letter in the column do not differ statistically by the Tukey test to the level of 5% in probability. NF = Native forest, AC = annual culture, PC = perennial culture and PT = pasture.

In Figure 2 the increase and percentage reductions in the contents and storage of carbon in samples collected in different uses systems of the soil are shown. The values obtained in the soil of native forest were used as reference. It was verified that the highest oscillations among the analyzed carbon fractions occurred in the C-HF contents. In the PT system, it was observed an average increase in the C-HF contents, in relation to the forest soil, from 15,8%. This behavior differed from that one seen for the C-LF, that showed reduction in the contents in all evaluated systems. For the attributes OC, C-LF, C-LF/OC

and STC-LF there was a reduction in relation to the reference system (NF), indicating the susceptibility of the oxidation of the organic matter in environments with low entry of vegetal residues and less conservationist handling. Considering the different use systems of the soil, the bigger reductions in the carbon contents were noted to the C-LF, what makes this attribute quite useful as an indicator of changes occurred in the organic matter of the soil in different agroecosystems.

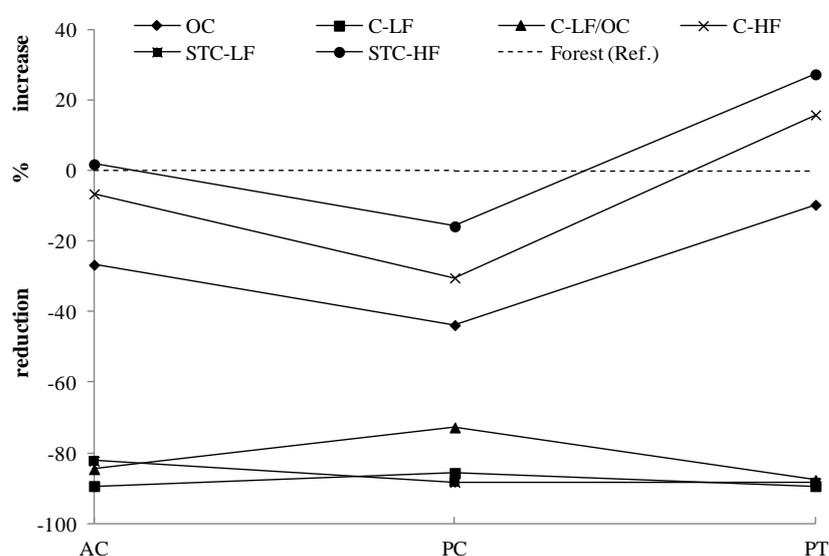


Figure 2. Percentage increase and reduction of the carbon fractions in Red-Yellow Latosol in the systems of annual culture (AC), perennial culture (PC) and pasture (PT) in relation to the native forest (NF-reference). OC = organic carbon of the soil; C-LF = carbon in light fraction; C-LF/OC = relation between C-LF and OC; C-HF = carbon in heavy fraction; STC-LF = storage of carbon in light fraction and; STC-HP = storage of carbon in heavy fraction.

CONCLUSION

1. The removal of native forest (NF) and the adoption of different use systems caused alterations, some significant, in the contents and storage of the fractions of the evaluated organic matter.

2. In relation to the reference system (NF), there was a reduction in the contents of OC, C-LF, of the relation C-LF/OC and in the storage of C-LF in all evaluated use systems.
3. The soil in the area of annual culture (AC) was the one that showed the highest average reductions in the evaluated attributes, in comparison to the NF system, with highlight to the reduction of 89,4% on the content of C-LF. The use systems of the soil showed the following decreasing order of preservation of the SOM: NF > PT > PC > AC.
4. The carbon in the light fraction (C-LF) was the most sensitive attribute and the one that reflected the main characteristics in the changes in the OC of the soil, due to the adoption of different use systems of the soil.

REFERENCES

- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.** CAB International, 1989. 171p.
- BARRIOS, E.; BURESH, R.J.; SPRENT, J.I. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v 28, p.185-193. 1996.
- BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C.; URGUIGA, S. **Potencial para acumulação e sequestro de carbono em pastagem de *Brachiaria*.** In: LIMA, M.A., CABRAL, O.M.R & MIGUEZ, J.D.G. Mudanças climáticas globais e agropecuária brasileira. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2001.p.213-239.
- CHRISTENSEN, B.T. **Organic matter in soil** – structure, function and turnover. Dias Report No. 30 Plant Production, Tjele, 2000. 95p.
- COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V. (Ed.). **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America.** Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 51-72.

- DEMOLINARI, M.S.M.; SILVA, I.R.; LIMA A.M.N.; VERGUTZ, L.; MENDONÇA, E.S. Efeito na solução de separação densimétrica na quantidade e qualidade da matéria orgânica leve e na quantificação do carbono orgânico da fração pesada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 32, p.871-879. 2008.
- DORAN, J.N. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.765-771. 1980.
- FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.69-116. 1997.
- FREIXO, A.A.; CANELLAS, L.P.; MACHADO, P.L.O.A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p.445-453. 2002.
- FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, Amsterdam, v 79, p.49-67. 1997.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by ¹³C NMR spectrometry and solid-state ¹³C NMR spectroscopy in density fractions of an Oxiol under forest and pasture. **Australian Journal Soil Research**, Victoria, v 33, p. 59-76. 1995.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEY-SMITH, L., Light-fraction organic matter in soils from long term crop rotations. **Soil Science of American Journal**, Madson, v.56, p. 1799-1806, 1992,
- LEAL, O.A.; CASTILHOS, R.M.V.; PILLON, C. N.; PENNING, L.H.; PAULETTO, E.A.; FERNADES, F.F. **Frações densimétricas da matéria orgânica de um solo construído após mineração de carvão e recentemente vegetado**, XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas, 31 de julho-05 agosto, Minas Gerais. 2010.
- LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 24, p.723-729. 2000.

- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBERBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N., MARQUES, J.J., GULHERME, L.R.G., LIMA, J.M., LOPEZ, A. S. & ALVAREZ, V. V.H. Tópicos em ciência do solo, **Sociedade Brasileira em Ciência do solo**, Viçosa, v 3, p.209-248. 2003.
- PARFITT, R.L., THENG, J.S., WHITTON, J.S. & SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v 75, p. 1-12. 1997.
- PASSOS, R.R.; RIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v 31, p.1109-1118. 2007.
- PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; MARTINS NETO, L. **Sequestro de carbono por sistemas de manejo do solo e seus reflexos sobre o efeito estufa**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., Viçosa, 2001. Anais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. P.20-22.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, I.H.C.; MACHADO, P. L.O.A. fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v 28, p.731-737. 2004.
- POHLMAN, A.A.; MCCOLL, J.G. Soluble organics from forest litter and their role in metal dissolution. **Society Soil Science American Journal**, Madison, v 52, p.265-271. 1988.
- POTES, M.L.; DICK, M.P.; DALMOLIM, R.S.D.; KNICKER, H.; ROSA, A.S. Matéria orgânica em Neossolo de altitude influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v 34, p.23-32. 2010.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 31, p.1341-1353. 2007.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

- ROVIRA, P.; VALLEJO, V.R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: An acid hydrolysis approach. **Geoderma**, Dordrecht, v 101, p.109-141. 2002.
- SILVA, C.A.; MACHADO, P.L.O. **Sequestro e emissão de carbono em sistemas agrícolas: estratégias para o aumento de matéria orgânica em solos tropicais**: Embrapa Solos, 2000. 23p.
- SILVA, I.R. da; NOVAIS, R.F. de; SILVA, E.F. de. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, v 29, p.10-20. 2004.
- SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter. In: Implications for C-saturation of soils. **Plant and soil**, Dordrecht, v 241, p.155-176. 2002.
- SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, July/Sept. 2006.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: John Wiley & Sons. 1994. 496p.
- TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter stability in soil fertility and agricultural potential. **Nature**, London, v 371, p. 783-785. 1994.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v 13, p.1467-1476. 1998.

3.1 FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO

FRACTIONATION PHYSICAL ORGANIC MATTER IN DIFFERENT SYSTEMS AND USE

(preparado de acordo com a Revista Ciência e Agrotecnologia)

RESUMO

Os diferentes sistemas de cultivo adotados nas áreas agrícolas, após a retirada da vegetação nativa, promovem alterações nas propriedades do solo, que dependendo do tipo da cultura e práticas culturais adotadas, estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema do solo. Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, portanto o manejo sustentável da matéria orgânica do solo (MOS) é fundamental à manutenção da capacidade produtiva do solo em longo prazo. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes sistemas de uso sobre os teores, estoques e frações do carbono orgânico de Latossolo Vermelho Amarelo localizado na região Sul do Estado do Espírito Santo. Os sistemas de uso do solo avaliados foram: mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). Em amostras de solo da profundidade de 0-10 cm

foram analisados os teores de carbono orgânico (CO) e realizado o fracionamento físico da MOS, analisando os teores de carbono orgânico na fração leve (C-FL) e pesada (C-FP). Calculou-se os estoques de C-FL, C-FP e a relação C-FL/CO. O sistema MN obteve os maiores teores e estoques de carbono, tanto na fração leve como na pesada, demonstrando ser um sistema mais estabilizado. O C-FL mostrou-se mais sensível ao manejo adotado nos diferentes sistemas de uso do solo, em relação ao C-FP e ao CO do solo.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Manejo do solo, agroecossistemas, carbono orgânico.

ABSTRACT

The different systems of cultivation adopted in farming areas, after the removal of the native vegetation, cause alterations in the chemical, physical and biological properties of the soil, which depending on the type of culture and adopted culture practices, establish a new condition of equilibrium in the soil system. In tropical and subtropical soils, the organic matter exhibits a narrow relation with the other physical, chemical and biological properties of the soil, therefore the sustainable handling of the soil organic matter is fundamental for the maintenance of the soil productive capacity in a long run. This study had the objective to evaluate the alterations in the organic matter (OM) in the physical attributes of the soil under different systems of use and handling, having as a reference the native vegetation, in a Latossolos Vermelho-amarelo (Red-yellow Latosol), in the southern region of the state of Espírito Santo, Federal Institute of Education in Espírito Santo (Ifes), whose treatment consisted in four systems to use the soil: native forest (NF), perennial culture (PC), grazing (G) and annual culture (AC), in a 0-10cm depth, accomplishing the physical fractioning of the organic matter of the soil (OMS), analyzing the amount of total organic Carbon (TOC), carbon in the light fraction (CLF) and heavy (CHF), determining the storage of carbon in the light and heavy fraction. The environment of the native forest

obtained the higher amounts and storage of Carbon, either in the light or heavy fraction, showing a stable system in the reserve of Carbon in the soil. The light fractions of the soil organic matter are more sensitive to the handling of the systems of use in relation to the heavy fraction and to the total organic carbon.

INDEX TERMS: Carbon storages, system of use, organic Fractions.

INTRODUÇÃO

Os diferentes sistemas de cultivo adotados nas áreas agrícolas, após a retirada da vegetação nativa, promovem alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, que dependendo do tipo da cultura e práticas culturais adotadas, estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo. No Brasil, historicamente, muitas práticas de manejo foram importadas de países de clima temperado, onde a movimentação da camada superficial do solo é uma prática muitas vezes fundamental para o sucesso da atividade agrícola. Tais práticas, no entanto, promovem o aumento da entrada de oxigênio no solo, favorecendo os processos de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS). Nos solos brasileiros altamente intemperizados, de fertilidade baixa e acidez acentuada, a matéria orgânica atua melhorando a fertilidade do solo, por ser a principal matriz de cargas do solo, além de atuar como reservatório de nutrientes. Entretanto, sabe-se, que em solos tropicais sua decomposição é cinco vezes mais rápida do que em regiões temperadas, tornando-se fundamental a adoção de práticas de manejo que visem a manutenção ou o aumento dos teores de MOS (Silva, 2000).

Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, portanto o manejo sustentável da MOS é fundamental à manutenção da capacidade produtiva do solo em longo prazo (Ciotta et al., 2003).

A MOS embora se apresente na maioria dos solos em pequena quantidade (menos que 5%), atua como fonte de energia para microrganismos, melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Sua dinâmica, por sua vez, é afetada por fatores ambientais como temperatura, umidade, pH, potencial de oxirredução do solo e fatores biológicos como quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos e atividade microbiana, sendo a MO a principal responsável pela estrutura (agregação do solo), bom funcionamento e sustentabilidade dos ecossistemas, sendo muito estudada em clima temperados, porém, pouco pesquisado em clima tropical (Santos et al., 2008).

O estudo dos diversos compartimentos da matéria orgânica, bem como as suas relações com o manejo, contribui para o desenvolvimento de estratégias para a utilização sustentável dos solos, com vistas a reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente (Pinheiro et al., 2004; Rangel et al., 2007). O fracionamento físico da MOS tem se mostrado promissor na distinção de compartimentos de carbono do solo sujeitos à influência dos variados sistemas de manejo e na identificação de mecanismos que conferem proteção física à matéria orgânica (Collins et al., 1997), além de caracterizar as relações entre a matéria orgânica e a agregação do solo (Feller et al., 1997; Freixo et al., 2002).

O fracionamento físico separa a MOS em dois compartimentos principais, baseando-se nas densidades específicas das frações orgânicas: i) fração leve (FL), com densidade menor que $1,7 \text{ g cm}^{-3}$, que consiste de um compartimento transitório entre os resíduos vegetais e a matéria orgânica estabilizada e humificada, apresentando uma relação C/N maior que a do solo e representando, na maioria das vezes, a menor fração do compartimento morto da MOS, que engloba, comumente, de 2 a 18% do C total e de 1 a 12% do N total do solo e; ii) fração pesada (FP), composta de materiais orgânicos adsorvidos aos colóides ou retidos nos agregados do solo, podendo conter mais de 90% do C do solo (Janzen et al., 1992; Barrios et al., 1996, Rangel et al., 2007).

A FL tem se mostrado um indicador precoce das mudanças na MOS acarretadas por diferentes usos e sistemas de manejo. Várias soluções são empregadas na sua separação, mas pouco se sabe sobre o efeito delas na quantidade e qualidade da fração extraída, tão pouco se conhecem as possíveis interferências de que a solução de separação pode ocasionar na posterior quantificação do CO (Demolinari et al., 2008). A FP é constituída de materiais orgânicos em avançado estágio de decomposição, não identificáveis visualmente, fortemente ligados a fração mineral do solo, constituindo os complexos organo-minerais primários, apresentando compostos orgânicos de elevada recalcitrância (Christensen, 2000; Roscoe & Machado, 2002). A FP corresponde a MOS em estágio avançado de decomposição, sendo mais estável e com maior tempo de residência no solo do que a FL (Christensen, 2000; Souza et al., 2006).

Em regiões de clima temperado o fracionamento físico da MOS tem sido usado com maior frequência nos estudos que avaliam os compartimentos e a biodisponibilidade da matéria orgânica, sendo desse modo premente o uso dessa ferramenta nas condições de solos brasileiros, já que a matéria orgânica desempenha aqui papel mais importante do que o exercido em solos de regiões mais frias.

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes sistemas de uso sobre os teores, estoques e frações do carbono orgânico de Latossolo Vermelho Amarelo localizado na região Sul do Estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

Características do solo e dos sistemas de uso em estudo

O estudo foi realizado utilizando-se amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, localizado no Campus de Alegre do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) (20° 45' 51" S; 41° 27' 24" W e 131,4 m de altitude), em Alegre -ES. O clima da região foi classificado

como CWa, no sistema Köppen, com inverno seco, sendo a temperatura e precipitação média anuais de 23° e 1200 mm, respectivamente.

Na avaliação dos diferentes sistemas de uso do solo foram selecionadas quatro áreas adjacentes, distribuídas numa faixa homogênea de solo. Os sistemas de uso do solo avaliados foram: mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). A escolha desses sistemas de uso do solo foi feita com base no histórico de uso e nas características dos sistemas de manejo adotados. O histórico dos sistemas avaliados são apresentadas na Tabela 1. As características químicas e texturais do solo nos quatro sistemas, efetuada com base em amostras coletadas na profundidade de 0-10 cm, são apresentadas na Tabela 2. A metodologia utilizada para avaliação dos atributos químicos e análise granulométrica está descrita em Embrapa (1997).

Amostragem do solo e preparo das amostras

As amostras de solo foram coletadas em setembro de 2010, selecionando-se em cada sistema quatro parcelas com dimensões individuais de 15x20m (300m²). As amostras foram coletadas na profundidade de 0-10 cm, sendo que em cada sistema de uso e parcela foram retiradas 15 amostras simples, que após homogeneizadas deram origem a amostra composta, tendo-se assim 4 amostras compostas por sistema de uso, cada uma constituindo uma repetição. Para a avaliação da densidade do solo foi coletada uma amostra indeformada para cada parcela na profundidade proposta (0-10 cm), com o auxílio de um anel volumétrico de 89,53 cm³, obtendo-se a densidade do solo de cada sistema pela média das 4 repetições. Em todos os sistemas de uso, antes da coleta das amostras de solo, foram removidos os resíduos vegetais presentes na superfície do solo.

Tabela 1. Históricos dos sistemas de uso instalados em Latossolo Vermelho-Amarelo no município de Alegre-ES

Sistemas	Histórico
Mata nativa (MN)	Remanescente de mata nativa localizada a aproximadamente 500 m dos demais sistemas de uso, com a mesma classe de solo. Foi utilizada como referência do estado de equilíbrio do solo.
Cultura anual (CA)	Área anteriormente cultivada com hortaliças durante 11 anos, onde no ano de 1994 implantou-se o cultivo de sorgo forrageiro (<i>Sorghum bicolor</i>) para arração animal. A lavoura é implantada todos os anos em sistema de plantio convencional e conduzida de acordo com os tratos culturais indicados para a cultura. A área permanece em pousio no período de entressafra.
Cultura perene (CP)	Área anteriormente cultivada com laranja durante 23 anos, onde no ano de 2006 implantou-se a lavoura de café conilon (<i>Coffea canephora</i>). A lavoura é conduzida de acordo com os tratos culturais indicados para a cultura, inclusive com podas (1 vez ao ano) onde os restos da cultura ficam depositados nas entrelinhas de plantio.
Pastagem (PT)	Pastagem formada inicialmente com capim pernambuco, espécie nativa da região. Em 1994, após 64 anos, foi plantado <i>Brachiara decumbens</i> , sendo a pastagem conduzida sob pastejo contínuo de bovinos em regime semi-intensivo e sem manejo da fertilidade do solo.

Tabela 2. Caracterização química e textural de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso (valores médios de quatro repetições)

Sistemas de uso	pH	Atributos químicos					Granulometria		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	P	K ⁺	Areia	Silte	Argila
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----		----- g kg ⁻¹ -----		
MN	4,6	0,3	0,5	0,8	2,2	49,5	372	57	571
CA	6,0	2,6	1,1	0,0	32,7	144,0	475	35	490
CP	6,1	2,3	0,9	0,0	23,2	96,0	567	47	386
PT	5,1	0,5	0,9	0,3	1,6	42,5	382	67	551

MN = Mata nativa, CA = cultura anual, CP = cultura perene e PT = pastagem

As amostras compostas (repetições) foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para o laboratório. Para a análise dos teores de carbono orgânico (CO) as amostras foram secas ao ar, destorroadas, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,210 mm. As amostras para a realização do fracionamento físico foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Análises químicas

Carbono orgânico do solo

O CO foi determinado pelo método descrito em Yeomans & Bremner (1988), após a digestão de 0,3 g de solo, 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ e 10 mL de H_2SO_4 p.a., por 30 minutos a 170°C em bloco digestor de 40 provas. Após o resfriamento a temperatura ambiente, os extratos foram transferidos quantitativamente para frascos erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada suficiente para obter um volume final de aproximadamente 75 mL. Em seguida, a cada erlenmeyer, foram adicionados 5 mL de H_3PO_4 p.a., procedendo-se a titulação com solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,4 mol L⁻¹ (sal de Mohr), utilizando como indicador a solução ácida de difenilamina 1%. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento.

Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

As frações leve e pesada da matéria orgânica do solo foram obtidas seguindo-se as recomendações descritas em Anderson & Ingran (1989). No procedimento analítico foi pesado 50 g da TFSA e acondicionada em becker de 250 mL. A cada becker foi adicionado 100 mL de solução de NaOH 0,1 mol, ficando o extrato em repouso por uma noite. Decorrido esse período, agitou-se o extrato com bastão de vidro passando todo material por uma peneira de 0,25 mm, eliminando toda argila. O material retido na peneira (fração leve+areia) foi transferido quantitativamente para um becker, completando o volume com

água e passando todo material flotado em peneira de 0,25mm, tendo o cuidado de separar a fração leve da areia. Esse procedimento foi repetido com o objetivo de ressuspender a fração leve restante, passando vagarosamente o material flotado na peneira de 0,25 mm de forma a separar totalmente o material flotado. A fração leve retida na peneira foi transferida para latas de alumínio (previamente taradas) e levadas a estufa à 65° C até atingir peso constante (± 72 h). O teor de CO na fração leve (C-FL) foi determinado de acordo com a metodologia descrita em Yeomans & Bremner (1988). O teor de CO na fração pesada (C-FP) foi obtido pela diferença: $C-FP = CO - C-FL$. Com base nos dados dos teores de C-FL e CO foi calculada a proporção C-FL/CO, pela seguinte fórmula: $(C-FL/CO) \times 100$.

Os estoques de C-FL e C-FP, nos diferentes sistemas de uso do solo, foram calculados pela seguinte fórmula: estoque de C-FL ou C-FP ($t\ ha^{-1}$) = teor de C-FL ou C-FP ($g\ kg^{-1}$) $\times ds \times E/10$, em que DS = densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$) (média de quatro repetições) e; E = espessura da camada de solo (cm).

Análise estatística

Os dados dos teores de CO, C-FL e C-FP, da relação C-FL/CO e dos estoques de C-FL e C-FP foram submetidos à análise de variância para a verificação dos efeitos dos sistemas de uso do solo. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5%, utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (Júnior & Melo, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teor de carbono orgânico do solo

O teor de carbono orgânico (CO) foi alterado de modo significativo pelos sistemas de uso do solo (Tabela 3), sendo os maiores teores observados no sistema MN e os menores em CA e CP, com os teores de CO variando de 14,42 a 8,10 $g\ kg^{-1}$ nos sistemas MN e CP, respectivamente. Segundo Stevenson (1994), a diminuição do teor de matéria

orgânica em solos cultivados se deve à redução da quantidade de resíduos adicionados ao solo e ao aumento da atividade microbiana e, por conseguinte, da taxa de decomposição dos resíduos orgânicos, em função das melhores condições de aeração, de acréscimo na temperatura do solo e da alternância mais frequente de ciclos de umedecimento e secagem do solo. O acréscimo nas quantidades de C perdidas por erosão e lixiviação explica, do mesmo modo, o decréscimo da matéria orgânica em áreas cultivadas (Fernandes et al., 1997), como pode ser observado na Tabela 3 pelos teores de CO obtidos nos sistemas com cultura anual e perene.

Resultado semelhante ao do presente trabalho foi obtido por Rangel (2006) ao avaliar os teores de CO em diferentes sistemas de uso e manejo do solo no Sul de Minas Gerais. Passos et al., (2007), em estudo conduzido num Latossolo sob dois tipos de cobertura vegetal (vegetação natural de Cerrado e cultivo de milho por 30 anos) concluíram que o tipo de cobertura vegetal e o manejo do solo influenciaram os teores de CO do solo. De acordo com Leal et al. (2010) os maiores teores de CO em sistemas sem revolvimento do solo podem ser explicados pelos fatores associados aos mecanismos de proteção da matéria orgânica do solo: recalcitrância, proteção física e interação química molecular.

Tabela 3. Teores de carbono orgânico (CO), carbono na fração leve (C-FL), percentual do carbono orgânico na fração leve em relação ao carbono orgânico (C-FL/COT) e carbono orgânico na fração pesada (C-FP), na profundidade de 0 a 10 cm de um Latossolo Vermelho- Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso no município de Alegre-ES

Sistemas de uso	CO	C-FL	C-FL/CO	C-FP
	----- g kg ⁻¹ -----	-----	%	g kg ⁻¹
MN	14,42 a	3,50 a	24,10 a	10,92 ab
CA	10,57 bc	0,37 b	3,70 b	10,20 b
CP	8,10 c	0,50 b	6,55 b	7,60 c
PT	13,02 ab	0,37 b	2,95 b	12,65 a
Média	11,5	1,2	9,3	10,3
CV (%)	9,6	50,3	46,6	10,8

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. MN = Mata nativa, CA = cultura anual, CP = cultura perene e PT = pastagem.

Em comparação à área de MN, todos os demais sistemas de manejo resultaram em redução nos teores de CO, indicando o acréscimo na taxa de oxidação do CO dos solos quando estes são submetidos ao cultivo. De acordo com Longo & Espíndola (2000), essas reduções nos teores de CO em solos cultivados são explicadas pelo fato de a matéria orgânica se concentrar nas camadas mais superficiais do solo, estando, por este motivo, mais suscetível a alterações microclimáticas causadas pelos sistemas de uso e manejo adotados. Em relação ao sistema MN, as reduções nos teores de CO foram, respectivamente, de 26,7, 43,8 e 9,7%, para os sistemas com plantio de CA, CP, PT. Esse resultados estão de acordo com os obtidos por Tiesses et al (1994) e Mielniczuk (2003). Segundo aos autores, em áreas cultivadas dos trópicos, as elevadas taxas de perdas de MOS resultam em redução de cerca de 50% no conteúdo original da MOS em relação ao mesmo solo sob vegetação natural, em menos de 10 anos de cultivo, principalmente nos sistemas com baixo aporte de resíduos vegetais. Os resultados obtidos no presente trabalho indicam que o maior aporte de resíduos culturais nos sistemas PT (principalmente advindo do sistema radicular) e CA (restos culturais de espécies invasoras que se instalam na área no período do pousio) pode acarretar, ao longo do tempo, em maior armazenamento de CO no solo, superando os teores encontrados nos sistema CP, onde há menor deposição de resíduos vegetais.

Entre os sistemas com cultivo, a ausência ou o menor revolvimento do solo na área com pastagem resultou em um acréscimo de 60,7 e 23,3%, respectivamente, no teor de CO do solo nesse sistema em relação aos sistemas CP e CA. O valor mais elevado de CO em CA, semelhante ao sistema PT, pode ser explicado pelo histórico de manejo dessa área, com preparo do solo e incorporação dos resíduos, corretivos e adubos. Doran (1980) relatou que o revolvimento do solo, como ocorre em algumas situações no sistema CP (capinas) e periodicamente no sistema CA, contribui para provocar perturbações promotoras de estresse na população microbiana e, uma vez que as adições de carbono

nesses sistemas são menores, há um maior consumo de CO do solo pelos microrganismos, o que implica em redução da MOS.

Os aumentos nos teores de CO notados no sistema PT podem estar associado à presença de gramíneas sob pastejo, as quais, em função de uma alta deposição de matéria orgânica no solo, da elevada alocação de fotossintatos para o sistema radicular, dos elevados teores de lignina nas raízes e do maior coeficiente de humificação do carbono adicionado ao solo (Boddey et al., 2001; Pillon et al., 2001), podem ter acarretado o aumento nos teores de CO do solo.

Considerando o tempo decorrido da implantação do sistema CP (5 anos), o não revolvimento do solo e o aporte de resíduos oriundos das práticas culturais na lavoura, seria esperado que esse sistema de uso do solo apresentasse maior teor de CO. A redução observada nos teores de CO nos sistema CA são um indicativo de que: i) o aporte e ou a conversão dos resíduos em MOS não têm sido tão eficientes quanto a verificada na área de mata (MN); ii) que há um maior favorecimento dos processos de decomposição da matéria orgânica nesses sistemas (Silva et al., 2004); iii) ou existe a necessidade de um maior período de tempo para que os teores de CO nesse sistema se aproxime daqueles observados no solo de mata. Outro fator a ser considerado é a qualidade dos resíduos adicionados ao solo nos sistemas de uso avaliados. Silva et al. (2004) relatam que plantas ou tecidos mais jovens são mais ricos em proteínas, minerais e fração solúvel em água, enquanto que, à medida que os tecidos provêm de plantas mais velhas, aumentam as proporções de compostos de decomposição mais difícil, como a celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis.

Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS)

Na Tabela 3 são apresentados os teores de CO na fração leve (C-FL), a relação C-FL/CO e o teor de CO na fração pesada (C-FP) da MOS nos diferentes sistemas de uso do solo.

Dentre os sistemas de uso do solo, a MN apresentou os maiores teores de C-FL, sendo este um indicio de que, nesse sistema ocorre uma maior protecao fisica da fracao leve da MOS. Os teores de C-FL sofreram uma grande reducao nas areas cultivadas. Em relacao ao sistema MN, que apresentou $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ de C-FL, a diminuicao nos teores desta fracao nos sistemas CA, CP e PT foi de 85,71, 89,43 e 89,43%, respectivamente. Esses resultados estao de acordo com Freixo et al. (2002) e Rangel et al., (2007), que observaram uma reducao media nos teores de C-FL de 85 e 89%, respectivamente, em Latossolo sob diferentes sistemas de uso, em relacao ao mesmo solo sob cerrado nativo (referencia do estudo).

Em sistemas nao antropizados, como MN, a fonte de substancias organicas esta associada, principalmente, a deposicao natural de residuos de plantas, que alcançam o solo na forma de folhas, galhos e outros fragmentos organicos, bem como substancias organicas derivadas da decomposicao das raizes (Pohlman & Mccoll, 1988). Rovira & Vallejo (2002) relatam que a resistencia a hidrolise acida e maior para os polimeros organicos recalcitrantes (ligninas, suberinas, resinas e ceras). Assim, os maiores teores de C-FL encontrados no solo do sistema MN pode tambem estar associado a qualidade dos residuos adicionados ao solo, que, provavelmente, apresentam maiores proporcoes de carbono mais resistente do ponto de vista quimico.

O carbono presente na fracao pesada (C-FP) correspondeu, em media, a 90,7% do CO do solo (Figura 1), seguindo a seguinte proporcao: $PT > CA > CP > MN$, com valores acima de 93% nos sistemas CA, CP e PT. A fracao mais labil da MOS (C-FL) representou uma pequena percentagem do CO do solo (Tabela 3). Nos sistemas avaliados, o C-FL representou de 2,95 (PT) a 24,10% (MN) do CO do solo. Na area de mata, a percentagem de C-FL foi 3,7 e 8,2 vezes maior que aquela obtida nos sistemas CP e PT.

A pequena contribuicao do C-FL para o CO do solo (C-FL/CO), principalmente nos sistemas cultivados, provavelmente esta associada a reducao no aporte de residuo e ao

aumento na taxa de decomposição desta fração em solos menos estruturados, mais oxigenados, com temperaturas elevadas, boa disponibilidade de água, calagem e adubação (Christensen, 2000). Outra explicação para a pequena participação do C-FL no CO do solo reside no fato de que o único mecanismo de proteção dessa fração é a recalcitrância dos seus materiais constituintes, o que torna o C-FL mais disponível para a microbiota que a fração pesada da MOS (Roscoe & Machado, 2002). Para solos argilosos de regiões temperadas, Parfitt et al. (1997) relataram uma percentagem de C-FL variando de 16 a 39% do CO do solo. Entretanto, para Latossolos argilosos de regiões tropicais sob diferentes sistemas de manejo (floresta, cerrado e pastagem), Golchin et al. (1995) e Freixo et al. (2002) observaram relação C-FL/CO variando de 1 a 4% do CO do solo. Rangel et al. (2007), em estudo sobre o fracionamento físico densimétrico da MOS em Latossolo sob diferentes sistemas de manejo (mata, eucalipto, pinus, pastagem e milho), verificaram relação C-FL/CO variando de 2,3 a 12%, valores esses semelhantes aos da Tabela 3, com exceção ao sistema MN.

Os teores de C-FP variaram de 7,60 a 12,65 g kg⁻¹, com os teores no sistema MN não diferindo em relação ao sistema PT, resultado semelhante ao constatado por Potes et al., 2010.

Em resumo, os principais efeitos do cultivo em diferentes sistemas de manejo do solo se relacionam à redução nos teores absolutos de CO associados à fração leve e a um enriquecimento relativo desse elemento na fração pesada. Maior representatividade do C-FP em relação ao C-FL também foi verificada por outros autores (Souza et al., 2006; Leal et al. 2010).

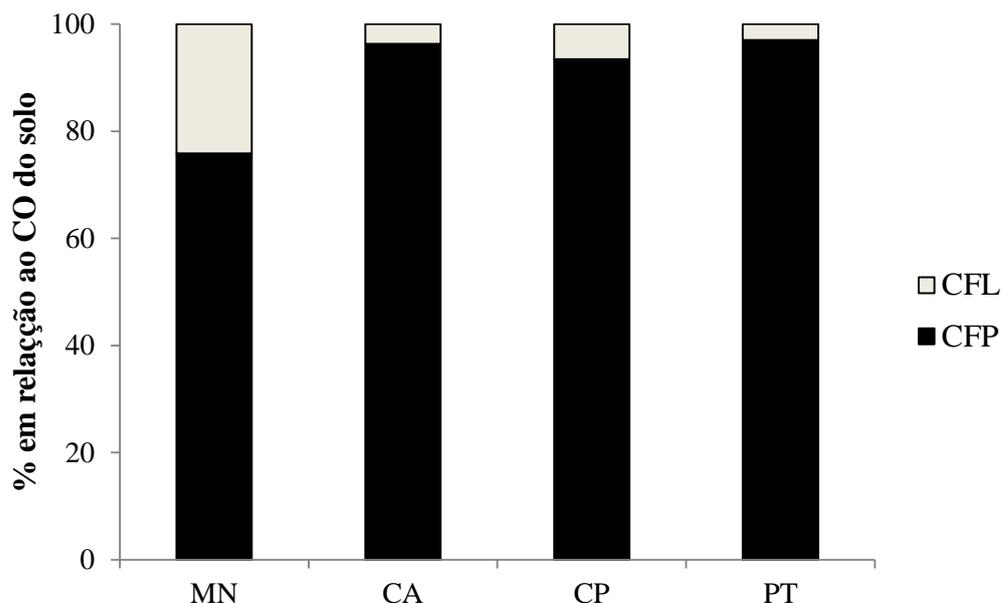


Figura 1. Proporção dos teores de carbono na fração leve (C-FL) e carbono na fração pesada (C-FP) em relação ao carbono orgânico (CO) do solo. MN = Mata nativa, CA = cultura anual, CP = cultura perene e PT = pastagem.

Estoques de carbono nas frações leve e pesada da matéria orgânica do solo

Na Tabela 4 estão apresentados os estoques de carbono nas frações leve e pesada da MOS. Os estoques de C-FL variaram de 0,44 a 3,85 t há⁻¹, com o maior valor observado no sistema MN.

Os estoques de C-FP foram pouco influenciados pelos sistemas de manejo do solo, provavelmente em razão do curto período de cultivo e o constante revolvimento do solo no sistema CA, uma vez que nesta fração atuam os seguintes conjuntos de mecanismos de proteção da MOS: recalcitrância molecular, proteção física e; recalcitrância molecular, proteção física e interação química, fazendo com que o tempo de ciclagem do carbono presente nestas frações seja mais longo em relação ao carbono da fração leve, onde atua somente o mecanismo de recalcitrância molecular (Leal et al., 2010).

O maior estoque de C-FL observado no sistema MN está, provavelmente, associado ao maior aporte de material vegetal em relação aos demais sistemas de manejo. Segundo

Six et al. (2002), o C-FL é fortemente influenciado pela quantidade de massa seca adicionada ao solo, sendo o estoque de C-FL diretamente proporcional a sua adição.

Tabela 4. Densidade do solo (Ds), estoque de carbono orgânico fração leve e estoque carbono orgânico fração pesada na profundidade de 0 a 10 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso no município de Alegre-ES

Sistemas de uso	Ds	Estoque C-FL	Estoque C-FP
	kg dm ⁻³	----- t ha ⁻¹ -----	-----
MN	1,09	3,85a	11,95ab
CA	1,19	0,44b	12,17ab
CP	1,27	0,68b	10,18b
PT	1,29	0,44b	15,21a
Média	-	1,3	12,4
CV (%)	-	53,7	14,3

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. MN = Mata nativa, CA = cultura anual, CP = cultura perene e PT = pastagem.

Na Figura 2 são apresentados os aumentos e as reduções percentuais nos teores e estoques de carbono em amostras coletadas nos diferentes sistemas de uso solo. Os valores obtidos no solo de mata nativa (MN) foram utilizados como referência. Verificou-se que as maiores oscilações entre as frações de carbono analisadas ocorreram para os teores de C-FP. No sistema PT, observou-se um aumento médio nos teores de C-FP, em relação ao solo de mata, de 15,8%. Esse comportamento diferencia-se daquele notado para o C-FL, que apresentou redução nos teores em todos os sistemas avaliados. Para os atributos CO, C-FL, C-FL/CO e ESTC-FL houve redução em relação ao sistema de referência (MN), indicando a susceptibilidade de oxidação da matéria orgânica em ambientes com baixa entrada de resíduos vegetais e manejo menos conservacionista do solo. Considerando os diferentes sistemas de uso do solo, as maiores reduções nos teores de carbono foram notadas para o C-FL, o que torna esse atributo bastante útil como indicador de mudanças ocorridas na matéria orgânica do solo em diferentes agroecossistemas.

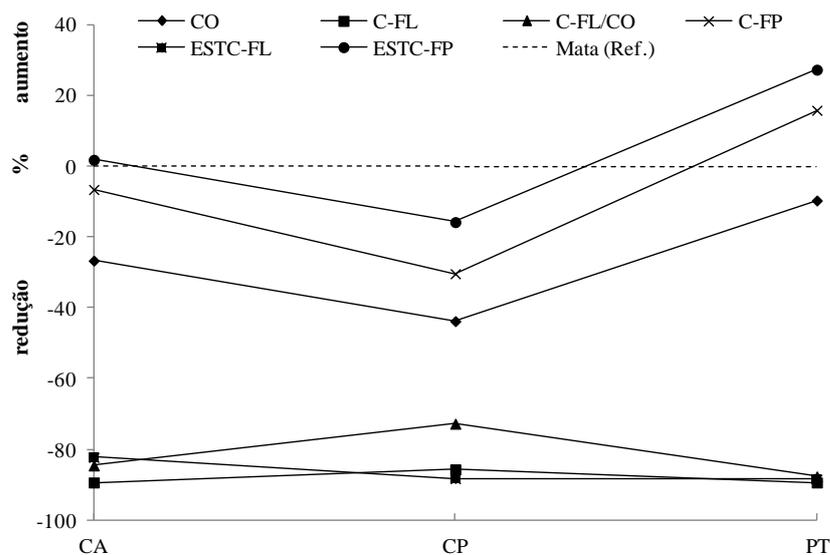


Figura 2. Aumentos e reduções percentuais de frações de carbono em Latossolo Vermelho-Amarelo nos sistemas cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT) em relação à mata nativa (MN - referência). CO = carbono orgânico do solo; C-FL = carbono na fração leve; C-FL/CO = relação entre C-FL e CO; C-FP = carbono na fração pesada; ESTC-FL = estoque de carbono na fração leve e; ESTC-FP = estoque de carbono na fração pesada.

CONCLUSÕES

1. A remoção da mata nativa (MN) e a adoção de diferentes sistemas de uso promoveu alterações, algumas significativas, nos teores e estoques das frações da matéria orgânica avaliadas.
2. Em relação ao sistema de referência (MN), houve redução nos teores de CO, C-FL, da relação C-FL/CO e dos estoques de C-FL em todos os sistemas de uso analisados.
3. O solo na área com cultura anual (CA) foi o que apresentou as maiores reduções médias dos atributos avaliados, comparativamente ao sistema MN, com destaque para a redução de 89,4% no teor de C-FL. Os sistemas de uso do solo apresentaram a seguinte ordem decrescente de preservação da MOS: MN > PT > CP > CA.

4. O carbono na fração leve (C-FL) foi o atributo mais sensível e o que refletiu as principais mudanças no CO do solo, em função da adoção de diferentes sistemas de uso do solo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pela oportunidade do curso; ao Instituto Federal de Educação do Espírito Santo (Ifes-Campus de Alegre) pela disponibilidade das áreas em estudo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. CAB International, 1989. 171p.
- BARRIOS, E.; BURESH, R.J.; SPRENT, J.I. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v 28, p.185-193. 1996.
- BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C.; URGUIGA, S. Potencial para acumulação e sequestro de carbono em pastagem de *Brachiaria*. In: LIMA, M.A., CABRAL, O.M.R; MIGUEZ, J.D.G. (Eds.). **Mudanças climáticas globais e agropecuária brasileira**. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2001.p.213-239.
- CHRISTENSEN, B.T. **Organic matter in soil** – structure, function and turnover. Dias Report No. 30 Plant Production, Tjele, 2000. 95p.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, p.1161-1164. 2003.
- COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V. (Eds.). **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 51-72.
- DEMOLINARI, M.S.M.; SILVA, I.R.; LIMA A.M.N.; VERGUTZ, L.; MENDONÇA, E.S. Efeito na solução de separação densimétrica na quantidade e qualidade da matéria orgânica leve e na quantificação do carbono orgânico da fração pesada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 32, p.871-879. 2008.

DORAN, J.N. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.765-771. 1980.

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

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.69-116. 1997.

FREIXO, A.A.; CANELLAS, L.P.; MACHADO, P.L.O.A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p.445-453. 2002.

FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, Amsterdam, v 79, p.49-67. 1997.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by ¹³C NMR spectrometry and solid-state ¹³C NMR spectroscopy in density fractions of an Oxiol under forest and pasture. **Australian Journal Soil Research**, Victoria, v 33, p. 59-76. 1995.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEY-SMITH, L., Lig-fraction organic matter in soils from long term crop rotations. **Soil Science of American Journal**, Madison, v.56, p. 1799-1806, 1992.

JÚNIOR, J.I.R.; MELO, A.L.P. **Guia prático para utilização do SAEG**, Viçosa, Folha, 2009. 288p.

LEAL, O.A.; CASTILHOS, R.M.V.; PILLON, C. N.; PENNING, L.H.; PAULETTO, E.A.; FERNANDES, F.F. **Frações densimétricas da matéria orgânica de um solo construído após mineração de carvão e recentemente vegetado**, XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas, Minas Gerais. 2010.

LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 24, p.723-729. 2000.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBERBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N., MARQUES, J.J., GULHERME, L.R.G., LIMA, J.M., LOPEZ, A. S.; ALVAREZ, V. V.H. (Eds.). Tópicos em ciência do solo, **Sociedade Brasileira em Ciência do solo**, Viçosa, v 3, p.209-248. 2003.

PARFITT, R.L.; THENG, J.S.; WHITTON, J.S.; SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v 75, p. 1-12. 1997.

- PASSOS, R.R.; RIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v 31, p.1109-1118. 2007.
- PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; MARTINS NETO, L. **Sequestro de carbono por sistemas de manejo do solo e seus reflexos sobre o efeito estufa**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., Viçosa, 2001. Anais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. P.20-22.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, I.H.C.; MACHADO, P. L.O.A. fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v 28, p.731-737. 2004.
- POHLMAN, A.A.; MCCOLL, J.G. Soluble organics from forest litter and their role in metal dissolution. **Society Soil Science American Journal**, Madison, v 52, p.265-271. 1988.
- POTES, M.L.; DICK, M.P.; DALMOLIM, R.S.D.; KNICKER, H.; ROSA, A.S. Matéria orgânica em Neossolo de altitude influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v 34, p.23-32. 2010.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 31, p.1341-1353. 2007.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.
- ROVIRA, P.; VALLEJO, V.R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: An acid hydrolysis approach. **Geoderma**, Dordrecht, v 101, p.109-141. 2002.
- SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**, Porto Alegre, Metropole, 2008. 654p.
- SILVA, C.A.; MACHADO, P.L.O. **Sequestro e emissão de carbono em sistemas agrícolas: estratégias para o aumento de matéria orgânica em solos tropicais**: Embrapa Solos, 2000. 23p.
- SILVA, I.R. da; NOVAIS, R.F. de; SILVA, E.F. de. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, v 29, p.10-20. 2004.
- SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter. In: Implications for C-saturation of soils. **Plant and soil**, Dordrecht, v 241, p.155-176. 2002.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, July/Sept. 2006.

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

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter stability in soil fertility and agricultural potential. **Nature**, London, v 371, p. 783-785. 1994.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v 13, p.1467-1476. 1998.

3.2 Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio de Latossolo sob diferentes sistemas de uso¹

(preparado de acordo com as normas da Revista Ceres)

RESUMO

Em solos cultivados de regiões tropicais, as perdas de matéria orgânica ocorrem de modo intenso, na medida em que seu estoque pode ser reduzido em mais de 50%, em menos de dez anos de cultivo, em relação à área não perturbada de mesmo solo. Considerando o alto índice de conversão de áreas de florestas para agroecossistemas no Espírito Santo, fazem-se necessários estudos que avaliam o efeito de tal conversão sobre os teores e estoques de carbono orgânico, bem como sobre os atributos químicos do solo. Assim, este estudo tem com objetivo avaliar os teores e estoques de carbono e nitrogênio e os atributos de fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso, na região Sul do Estado do Espírito Santo. Os sistemas de uso do solo avaliados foram: mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). Foram avaliados os teores e estoques de CO e NT, a relação CO/NT, os atributos químicos de fertilidade e os teores de macro e micronutrientes do solo, nas profundidades

de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Os estoques de CO e NT do solo, nas profundidades avaliadas, seguiram a seguinte ordem decrescente de redução percentual em relação ao sistema de referência (MN): CP > CA > PT. Na média, as reduções percentuais nos estoques de CO e NT foram de 38 e 15%; 42 e 21% e; 8,3 e 3% nos sistemas CP, CA e PT, respectivamente. Dentre os sistemas de uso do solo estudados, as áreas sob mata nativa e pastagem apresentaram a pior condição de fertilidade do solo, caracterizado o solo nesses sistemas como ácido e deficiente em macronutrientes (P, K, Ca e Mg). As maiores deficiências de micronutrientes foram observadas para Cu, Zn e B, sendo que para esse último os teores em solo estiveram abaixo do nível crítico em todos os sistemas e profundidades do solo avaliados.

Palavras-chave: fertilidade do solo, matéria orgânica, café, sorgo, pastagem.

ABSTRACT

Chemistry and nitrogen and carbon stocks of Latosol under different land use systems

In soils in tropical regions losses occurring organic matter so intense in that its stock can be reduced by more than 50% in less than ten years of cultivation, relative to the undisturbed soil of the same. Considering the high rate of conversion of forest to agricultural ecosystems in the Holy Spirit, to make necessary studies evaluating the effect of such conversion on the contents and organic carbon, as well as on soil chemical properties. Thus, this study is to evaluate the levels and stocks of carbon and nitrogen and fertility attributes of an Oxisol under different land use systems in the southern state of Espírito Santo. The land use systems evaluated were: native forest (NF), annual crops (CA), perennial (CP) and grassland (PT). The levels of CO and stocks and NT, the ratio CO / NT, the chemical fertility and concentration of macro and micronutrients in the soil at

depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm. Inventories of CO and NT soil depths evaluated, followed the following descending order of percentage reduction compared to the reference system (MN): CP > CA > PT. On average, percentage reductions in CO and NT stocks were 38 and 15%, and 42 and 21%; 8.3 and 3% CP systems, CA and PT, respectively. Among the systems studied land use, areas under native forest and grassland showed the worst condition of soil fertility, soil characterized these systems as acid and deficient in nutrients (P, K, Ca and Mg). The major micronutrient deficiencies have been observed for Cu, Zn and B, whereas for the latter the concentrations in soil were below the critical level for all systems and soil depths measured.

Key words: soil fertility, organic matter, coffee, sorghum, pasture.

INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo era originalmente coberto pela Floresta Atlântica em torno de 90% do seu território. A ocupação do espaço territorial rural no Estado foi historicamente predatória dos recursos florestais, caracterizando-se pelo desmatamento indiscriminado das áreas, sem o planejamento correto do uso do solo e sem a utilização de práticas conservacionistas adequadas (Espírito Santo, 2008).

A degradação do solo nas áreas agrícolas no Espírito Santo concentra-se, na sua maior parte, nas atividades de café e pastagem, que ocupam, respectivamente, áreas plantadas de 550.000 e 1.821,069 hectares. Nas lavouras de café, os principais problemas ocorrem devido à erosão causada principalmente pelo uso de áreas excessivamente íngremes, excesso de capinas, plantios antigos com baixa densidade e baixo uso de práticas conservacionistas eficientes. Já nas áreas de pastagens, a degradação do solo ocorre principalmente em função da compactação do solo provocada pela implantação incorreta da pastagem plantada, ausência de correção do solo nas pastagens naturais e o manejo

inadequado relativo à alta taxa de lotação, havendo excessivo pastejo e pisoteio pelo rebanho bovino (Espírito Santo, 2008).

A conversão de áreas florestais em plantios agrícolas representa mudança drástica no ecossistema original, por provocar alterações no conjunto de atributos morfológicos, físicos, químicos e biológicos do solo. Assim, são esperados severos impactos no solo, uma vez que se rompem os mecanismos naturais de reciclagem e de proteção do sistema, induzindo, desde o início, vários fatores de degradação (Luizão et al., 2006; Lima et al., 2011).

Em solos cultivados de regiões tropicais, as perdas de matéria orgânica ocorrem de modo intenso, na medida em que seu estoque pode ser reduzido em mais de 50%, em menos de dez anos de cultivo, em relação à área não perturbada de mesmo solo (Shang & Tiessen, 1997). Reduções de até 80% nos teores de C do solo foram observadas por Silva et al. (1994), em áreas cultivadas com soja e por Silva et al. (1999), em Latossolos sob efeito da calagem e adubação fosfatada. As reduções nos teores de C em áreas agrícolas são resultantes do aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), que ocorre em razão do maior revolvimento, da maior aeração e pelo comprometimento da estrutura do solo (Resck et al., 1991) ou pela redução do aporte de material orgânico ao solo (Dalal & Mayer, 1986).

Os estoques de MOS e seus compartimentos são importantes na disponibilidade de nutrientes e no fluxo de gases de efeito estufa entre a superfície terrestre e a atmosfera (Leite et al., 2003). O impacto e a contribuição das formas de uso da terra, especialmente da agricultura, para o aquecimento global têm sido amplamente discutidos pela comunidade científica nacional e internacional. Segundo Scarpellini & Bolonhezi (2007) as atividades agrícolas são responsáveis por mais de 20% das emissões dos gases de efeito estufa, em nível global, de acordo com dados do IPCC do ano de 2001. O solo se constitui num compartimento chave no processo de emissão e sequestro de carbono, pois em termos

globais, há duas a três vezes mais carbono nos solos em relação ao estocado na vegetação e duas vezes mais em comparação à atmosfera (Cerri & Cerri, 2007).

Os estoques de MOS em qualquer agroecossistema são obtidos pela interação dos fatores que determinam a sua formação e aqueles que promovem a sua decomposição. O declínio no estoque da matéria orgânica é devido a conversão de florestas nativas em sistemas de produção. Segundo Santos et al., (2008) , essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e oxidação de carbono orgânico no solo e a menor quantidade de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente a florestas nativas. Souza et al. (2012) afirmam que manejos inadequados do solo podem assumir um papel desastroso, uma vez que potencializam a mineralização da matéria orgânica e a emissão de grandes quantidades de gases de efeito estufa para a atmosfera.

O estoque de nitrogênio total (NT) do solo é controlado, em condições naturais, por fatores climáticos e pela vegetação. Em solos sob clima tropical, a concentração de NT pode variar entre 0,02 e 0,4%, podendo, em casos extremos de solos orgânicos, chegar a até 2% (Stevenson, 1994). A maior parte do NT do solo se encontra na forma orgânica (mais de 95%), sendo a MOS um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de N para os vegetais, principalmente na forma nítrica (N-NO_3^-) e amoniacal (N-NH_4^+). A mineralização da MOS, que inclui os processos de aminação e amonificação, é responsável, por ano, pela conversão de 2 a 5% do N orgânico a N mineral. Esse processo é regulado pelo uso e manejo do solo (D'Andréa et al., 2004; Moreira & Siqueira, 2002), notadamente pelas espécies que são incluídas nos esquemas de rotação de culturas, de modo que o maior uso de leguminosas e a implantação de espécies com maior produção de biomassa causam um maior armazenamento de NT no solo (Mielniczuk et al., 2003).

Entre as características químicas afetadas pela matéria orgânica, destacam-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca de cátions e a

complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais, na sua maioria altamente intemperizados e ácidos (Bayer & Mielniczuk, 2008).

Em relação a capacidade de troca catiônica (CTC), a fração húmica da MOS apresenta em torno de 400-800 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, sendo bem superiores, portanto, as estimativas feitas para a MOS como um todo, o que se deve à maior concentração de radicais carboxílicos nessa fração (Sposito, 1989; Bayer & Mielniczuk, 2008). Esses autores também descreveram que em solos tropicais e subtropicais a CTC da matéria orgânica pode representar um grande percentual da CTC total do solo. Nestes solos a manutenção ou o aumento dos teores de MOS é fundamental na retenção dos nutrientes e na diminuição da sua lixiviação.

Considerando o alto índice de conversão de áreas de florestas para agroecossistemas no Espírito Santo, fazem-se necessários estudos que avaliem o efeito de tal conversão sobre os teores e estoques de MOS, bem como sobre os atributos químicos do solo. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar os teores e estoques de carbono e nitrogênio e os atributos de fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso, na região Sul do Estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

Características do solo e dos sistemas de uso em estudo

O estudo foi realizado utilizando-se amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, localizado no Campus de Alegre do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) (20° 45' 51" S; 41° 27' 24" W e 131,4 m de altitude), em Alegre -ES. O clima da região é classificado como Cwa, no sistema Köppen, com inverno seco, sendo a temperatura e precipitação média anuais de 23° e 1200 mm, respectivamente.

Na avaliação dos diferentes sistemas de uso do solo foram selecionadas quatro áreas adjacentes, distribuídas numa faixa homogênea de solo. Os sistemas de uso do solo

avaliados foram: mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). A escolha desses sistemas de uso do solo foi feita com base no histórico de uso e nas características dos sistemas de manejo adotados. Os históricos dos sistemas avaliados são apresentados na Tabela 1. As características texturais do solo nos quatro sistemas de uso, efetuada com base em amostras coletadas na profundidade de 0-10 cm, são apresentadas na Tabela 2. A metodologia utilizada na análise granulométrica está descrita em Embrapa (1997).

Tabela 1. Históricos dos sistemas de uso instalados em Latossolo Vermelho-Amarelo no município de Alegre-ES

Sistemas	Histórico
Mata nativa (MN)	Remanescente de mata nativa localizada a aproximadamente 500 m dos demais sistemas de uso, com a mesma classe de solo. Foi utilizada como referência do estado de equilíbrio do solo.
Cultura anual (CA)	Área anteriormente cultivada com hortaliças durante 11 anos, onde no ano de 1994 implantou-se o cultivo de sorgo forrageiro (<i>Sorghum bicolor</i>) para arração animal. A lavoura é implantada todos os anos em sistema de plantio convencional e conduzida de acordo com os tratos culturais indicados para a cultura. A área permanece em pousio no período de entressafra.
Cultura perene (CP)	Área anteriormente cultivada com laranja durante 23 anos, onde no ano de 2006 implantou-se a lavoura de café conilon (<i>Coffea canephora</i>). A lavoura é conduzida de acordo com os tratos culturais indicados para a cultura, inclusive com podas (1 vez ao ano) onde os restos da cultura ficam depositados nas entrelinhas de plantio.
Pastagem (PT)	Pastagem formada inicialmente com capim Pernambuco, espécie nativa da região. Em 1994, após 64 anos, foi plantado <i>Brachiara decumbens</i> , sendo a pastagem conduzida sob pastejo contínuo de bovinos em regime semi-intensivo e sem manejo da fertilidade do solo.

Tabela 2. Análise granulométrica de um Latossolo Vermelho–Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso (valores médios de quatro repetições)

Sistemas	Areia	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----		
MN	372	57	571
CA	475	35	490
CP	567	47	386
PT	382	67	551

Mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene, (CP) e pastagem (PT).

Amostragem do solo e preparo das amostras

As amostragens de solo foram efetuadas em setembro de 2010, selecionando-se em cada sistema quatro blocos retangulares com dimensões individuais de 15x20 m (300 m²). Foram retiradas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, para a avaliação dos teores e estoques de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) e dos atributos da fertilidade do solo. Para cada sistema e profundidade, nos sistemas de uso, foram retiradas quatro amostras compostas, oriundas de 15 subamostras coletadas ao acaso, cada uma constituindo uma repetição. Para a avaliação da densidade do solo, foram coletadas amostras indeformadas nos diferentes sistemas e profundidades de amostragem, com o auxílio de um anel volumétrico de 89,53 cm³, obtendo-se a densidade do solo de cada sistema pela média de 4 repetições. Em todos os sistemas de uso, antes da coleta das amostras de solo, foram removidos os resíduos vegetais presentes na superfície do solo.

As amostras compostas foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para o laboratório. Para a análise dos teores de CO e NT, necessárias para o cálculo dos estoques desses elementos em solo, as amostras foram secadas ao ar, destorroadas, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,210 mm. As amostras para a realização das análises químicas de fertilidade foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, para a obtenção de terra fina seca ao ar-TFSA.

Análises químicas

Carbono orgânico do solo

O carbono orgânico (CO) do solo foi determinado pelo método descrito em Yeomans & Bremner (1988), após a digestão de 0,3 g de solo em 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ e 10 mL de H_2SO_4 p.a., por 30 minutos a 170°C em bloco digestor de 40 provas. Após o resfriamento a temperatura ambiente, os extratos foram transferidos quantitativamente para frascos erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada suficiente para obter um volume final de aproximadamente 75 mL. Em seguida, a cada erlenmeyer, foram adicionados 5 mL de H_3PO_4 p.a., procedendo-se a titulação com solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,4 mol L⁻¹ (sal de Mohr), sendo utilizado como indicador a solução ácida de difenilamina 1%. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento.

Nitrogênio total do solo

Na determinação do nitrogênio total (NT), foi utilizado o método descrito em Bremner (1996), que envolve o uso de uma mistura digestora à base de K_2SO_4 , $CuSO_4$ e selênio. A cada amostra de 0,1 g de solo foi adicionada 1,1 g da mistura digestora e 3,0 mL de H_2SO_4 p.a.. A digestão foi feita a 350°C em bloco digestor de 40 provas, com posterior destilação a vapor. O destilado foi recolhido em solução de H_3BO_3 (20 g L⁻¹), misturada a uma solução de verde de bromocresol e vermelho de metila e, posteriormente, titulado com solução de HCl 0,01 mol L⁻¹.

Os estoques de CO e NT, nos diferentes sistemas sob estudo e em cada profundidade do solo, foram calculados pelo uso da seguinte fórmula: estoque de CO ou NT (t ha⁻¹) = teor de CO ou NT (g kg⁻¹) x Ds x e/10, onde Ds = densidade do solo na profundidade (kg dm⁻³) (média de quatro repetições) e; e = espessura da camada de solo (cm). Para verificar o acúmulo ou a perda de CO, foi calculada a variação do estoque de

CO em relação ao sistema referência (MN) (ΔEstC , $\text{t ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$), pela diferença entre os valores médios de estoque de CO neste sistema e em cada um dos demais, dividida pela espessura (cm) da camada de solo avaliada.

Com base nos resultados dos teores de CO e NT, foi calculada a relação CO/NT.

Atributos químicos de fertilidade do solo

Nas amostras de TFSA, obtidas nos diferentes sistemas de uso e profundidades do solo, foram avaliados o pH em água, os teores trocáveis de Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Zn, Mn e B, os teores disponíveis de P (Mehlich-1) e S e os teores H^+Al . Utilizou-se nas análises a metodologia descrita em Embrapa (1999). A extração do enxofre foi realizada com solução de fosfato de cálcio ($500 \text{ mg de P L}^{-1}$), sendo o S disponível quantificado por turbidimetria (Vitti, 1989). Com base nos dados da análise de fertilidade, foram calculados os valores de capacidade de troca de cátions efetiva (t) e potencial (T), soma de bases (SB), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e o índice de saturação por sódio (ISNa).

Análise estatística

Os dados dos teores e estoques de CO e NT, da relação CO/NT e dos atributos de fertilidade do solo foram submetidos à análise de variância para a verificação dos efeitos dos sistemas de uso, em cada profundidade do solo. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (Júnior & Melo, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores e estoques de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT)

Na Tabela 3, são apresentados os dados de teores e estoques de CO e NT, além da relação CO/NT, nos diferentes sistemas de uso e profundidades do solo.

Tabela 3. Teores de carbono orgânico (CO), nitrogênio total (NT), relação carbono e nitrogênio (CO/NT) e estoques de carbono orgânico (EstCO) e nitrogênio total (EstNT) em diferentes sistemas de manejo e profundidades (0–10 cm, 10–20 cm e 20–40 cm) num Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de uso

Sistemas	CO ----- g kg ⁻¹ -----	NT	CO/NT	EstCO -----t ha ⁻¹ -----	EstNT
0-10 cm					
MN	14,4a	1,2a	11,9a	15,8a	1,3a
CA	10,5bc	0,9bc	11,6a	12,6a	1,1a
CP	8,0c	0,8c	9,5a	10,8a	1,1a
PT	13,0b	1,0b	11,7a	15,7a	1,2a
Média	11,5	1,0	11,4	13,7	1,2
CV (%)	9,6	6,8	14,0	13,5	7,8
10-20 cm					
MN	9,0a	1,0a	13,1a	14,8a	1,1a
CA	6,5ab	0,7b	8,6b	7,8b	0,9a
CP	5,0b	0,7b	7,4b	6,9b	0,9a
PT	9,3a	0,9a	10,0b	10,8ab	1,1a
Média	8,0	0,8	9,7	10,1	1,0
CV (%)	10,3	10,3	13,7	16,5	9,8
20-40 cm					
MN	7,7ab	0,8a	9,9a	17,8a	1,8a
CA	5,1ab	0,5b	8,8a	12,5ab	1,4b
CP	4,1b	0,5b	8,3a	10,5b	1,3b
PT	8,0a	0,8a	10,1a	18,2a	1,8a
Média	6,7	0,7	9,3	14,7	1,6
CV (%)	5,5	5,2	18,4	21,7	13,1

Mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Na profundidade de 0-10 cm, os teores de CO variaram de 8,0 a 14,4 g kg⁻¹. Nesta profundidade O CO no sistema MN apresentou-se significativamente superior aos sistemas CA, CP e PT, áreas que historicamente sofreram um maior revolvimento do solo e conseqüentemente maior ação da erosão. O NT variou de 0,8 a 1,2 g kg⁻¹, apresentando o sistema MN um teor significativamente superior aos demais manejos na profundidade de 0-10 cm. Os teores de NT do solo sofreram influencia dos diferentes sistemas de uso,

mostrando-se maior nos sistemas MN e PT, nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm. As discussões sobre a influência dos sistemas de uso do solo sobre o CO e o NT serão mais aprofundadas para os dados dos estoques desses elementos no solo.

A relação CO/NT do solo variou de 9,5 (CP) a 11,9/1 (MN), de 7,4 (CP) a 13,1/1 (MN) e de 8,3 (CP) a 10,1/1 (PT) para as amostras coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente (Tabela 3). Para solos de regiões tropicais não revolvidos existe um equilíbrio na relação CO/NT em torno de 10 a 15/1 (Stevenson, 1994). Os baixos valores dessa relação observados em CA e CP podem ser devidos ao alto valor de pH e à ausência de alumínio no solo (Tabela 4), fatores que favorecem o aumento da decomposição da MOS (Stevenson, 1994). Apesar de não se ter informações detalhadas sobre o manejo da fertilidade do solo nos sistemas cultivados com sorgo e café em anos muito anteriores à amostragem, é possível afirmar que as adubações nitrogenadas efetuadas nas culturas ao longo dos anos criaram condições favoráveis à elevação dos teores de NT do solo e conseqüente redução dos valores da relação CO/NT.

O estoque de CO foi pouco alterado pelos sistemas de uso do solo em todas as profundidades avaliadas (Tabela 3). De modo geral, considerando todas as profundidades de solo, os maiores valores de estoque de CO foram observados nos sistemas MT e PT, seguidos pelos sistemas CA e CP. Os sistemas de manejo com ausência ou menor revolvimento do solo apresentaram uma tendência em armazenar mais CO, como observado nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm. Paul & Clark (1989) afirmam que o aumento do estoque de CO em solos submetidos a sistemas mais conservacionistas de manejo pode estar associado a dois fatores principais: i) proteção física dos compostos orgânicos contra a decomposição microbiana, favorecida pela oclusão do CO nos agregados do solo e; ii) proteção química dos compostos orgânicos por meio da interação destes com os minerais e cátions do solo, o que dificulta a sua decomposição.

No Brasil, as áreas sob pastagem, principalmente de gramíneas de origem africana, estão crescendo em todas as regiões. O levantamento publicado por Boddey et al. (2001) revela que mais de 80 milhões de hectares estão ocupados por pastagens do gênero *Brachiaria* atualmente no Brasil. Analisando os dados da Tabela 3, é possível observar que o sistema PT apresentou estoque de CO com valores numericamente próximos ou superiores ao sistema MN, resultados também obtidos por Rangel et al. (2007). Esses resultados podem ser atribuídos ao sistema radicular mais desenvolvido e bem distribuído das gramíneas sob pastagem, o que favorece a uma elevada deposição de carbono ao solo na forma de raízes. Segundo Teixeira & Bastos (1989), as pastagens, em geral, apresentam uma regular distribuição do sistema radicular até um metro de profundidade, com 46% das raízes na camada superficial do solo (0-10 cm), 18,6% na camada de 10-20 cm, 22,8% na camada de 20-40 cm e, 12,4% na camada de 40-100 cm.

Nas profundidades estudadas, os menores estoques de CO foram observados, em geral, nos sistemas com maior revolvimento do solo. É provável que o revolvimento do solo, homogeneizando as camadas superficiais pelas operações de aração e gradagem, tenha contribuído para a ocorrência deste efeito no sistema CA. Souza & Melo (2003) estudando o impacto de diferentes sistemas de produção do milho sobre a dinâmica do carbono do solo, também observaram menores valores de estoque de CO no solo cultivado no sistema convencional, comparativamente aos valores obtidos nos sistemas onde os restos culturais eram mantidos na superfície do solo.

Em geral, os estoques de NT do solo seguiram o mesmo padrão de resposta dos estoques de CO (Tabela 3), o que se explica no fato da maior parte do NT do solo ($\pm 95\%$) se encontrar associado à matéria orgânica (Camargo et al., 1999). O aumento do estoque de NT nos sistemas MN e PT está provavelmente associado ao maior volume de resíduos vegetais retornados ao solo e, também, aos maiores estoques de CO nesses sistemas. As perdas médias de NT, nas diferentes profundidades, nos sistemas CA, CP e PT foram,

respectivamente, de 19, 21 e 3%. Num Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de produção (mineral e orgânica), Leite et al. (2003) observaram reduções no estoque de NT de 37% na testemunha (sem adubação) e de 15,4% no sistema com adubação orgânica, em relação ao sistema referência (floresta nativa), indicando a menor perda de nitrogênio no sistema com maior aporte de matéria orgânica, resultados semelhantes ao do presente trabalho.

Mais informativo que os valores absolutos dos estoques de CO é a variação dos mesmos em relação ao sistema referência (MN) (ΔEstC) (Figura 1), sendo esses valores uma estimativa do incremento ou redução do estoque de CO do solo. Com exceção do sistema PT, na profundidade de 20-40 cm, todos os sistemas de uso do solo causaram uma redução nos estoques de CO nas profundidades estudadas, em relação ao sistema MN, o que indica a susceptibilidade à oxidação do CO do solo, quando estes são submetidos a diferentes sistemas de uso. As reduções nos estoques de CO foram de 20,2, 31,4, 1% e 47,1, 53, 26,7% para CA, CP, PT, respectivamente, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Na profundidade de 20-40 cm, houve redução de 29,7 e 41% e aumento de 2,3% no estoque de CO para CA, CP, PT, respectivamente. A redução nos estoques de CO foi similar aos percentuais obtidos por Rangel et al. (2007), para Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo (eucalipto, pinus, pastagem e milho), no Sul de Minas Gerais.

Levando-se em consideração todas as profundidades do solo e tomando-se o sistema MN como referência, nos sistemas CA, CP e PT houve uma redução de 15,5, 20,1 e 3,7 t CO ha⁻¹, respectivamente. Considerando um fator de conversão de C para CO₂ de 3,67 (massa molar do CO₂/massa molar do C) houve uma liberação total de 144,2 t C-CO₂ ha⁻¹ para a atmosfera.

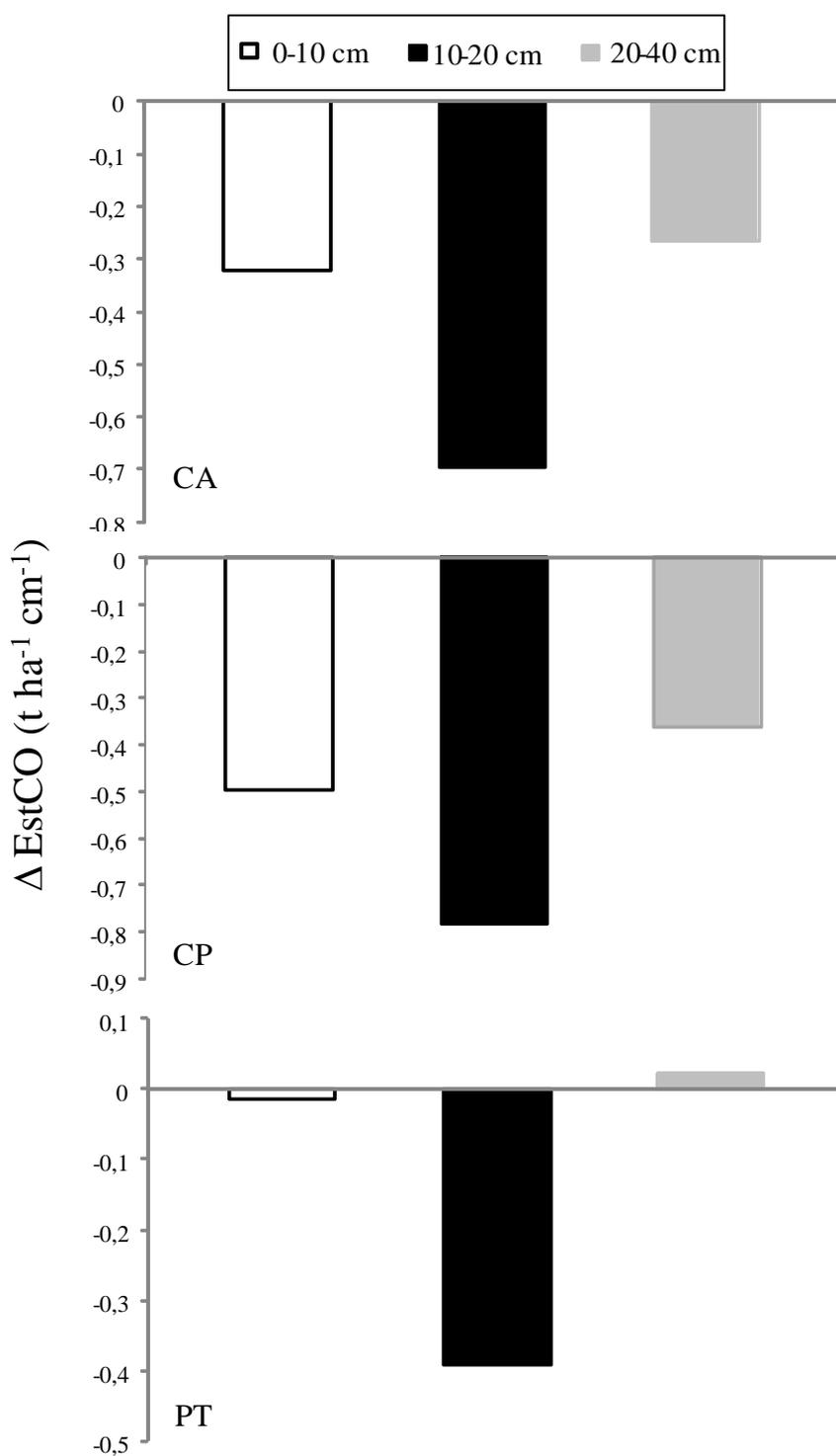


Figura 1. Variação do estoque de carbono (ΔEstCO), nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40cm, em relação ao sistema mata nativa (MN) num Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso: CA: cultura anual; CP: cultura perene; PT: pastagem. Valores negativos indicam redução no estoque de CO em relação ao sistema mata nativa (MN).

Atributos químicos de fertilidade do solo

Na Tabela 4 estão apresentados os atributos químicos do solo determinados nas amostras coletadas nas diferentes profundidades dos sistemas de uso avaliados. Os resultados da análise do solo foram comparados seguindo os padrões de fertilidade do Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo, 5ª Aproximação (Prezotti et al, 2007).

Tabela 4. Características químicas e teores de macronutrientes nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso

Sistemas	pH	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			
		S	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
0 - 10 cm									
MN	4,6b	20,6ab	2,0b	49,5c	3,2b	0,3b	0,5b	0,8a	6,5a
CA	6,0a	25,4a	32,7a	144,7a	12,0a	2,6a	1,1a	0,0c	2,0c
CP	6,1a	2,8c	23,2ab	96,0b	4,5ab	2,3a	0,9a	0,0c	2,2c
PT	5,1b	11,3b	1,6b	47,3c	7,5ab	0,5b	0,9a	0,3b	4,1b
Média	5,5	15,0	14,9	84,4	6,8	1,4	0,9	0,3	3,6
CV (%)	4,2	36,1	82,2	13,7	53,0	21,3	18,8	42,1	12,9
10 - 20 cm									
MN	4,6b	24,2a	1,5b	28,7b	1,7b	0,1b	0,4b	0,9a	5,2a
CA	5,9a	33,3a	28,3a	63,0a	15,0a	2,4a	0,9a	0,0c	1,7c
CP	6,5a	0,7b	20,7a	64,2a	4,0b	2,3a	0,9a	0,0c	1,2c
PT	5,0b	14,9ab	1,32b	17,7b	6,2ab	0,4b	0,5b	0,3b	3,2b
Média	5,5	18,3	13,0	43,3	4,4	1,3	0,7	0,3	3,0
CV (%)	6,2	49,5	84,4	22,1	28,9	30,5	18,2	29,2	14,8
20 - 40 cm									
MN	4,6c	28,0a	1,4c	17,0b	0,0b	0,0b	0,4b	0,8a	4,5a
CA	6,0b	25,8a	11,7a	22,0b	5,2a	2,1a	0,9a	0,0c	1,5c
CP	6,9a	6,4b	4,9b	49,3a	3,2a	2,1a	0,9a	0,0c	3,5b
PT	5,2c	16,8ab	1,2c	11,7b	6,0a	0,3b	0,2b	0,4b	0,6d
Média	5,6	19,3	4,8	25,0	3,6	1,1	0,6	0,3	2,5
CV (%)	7,2	27,9	19,0	25,4	38,6	26,9	10,1	13,3	15,6

Mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Para todas as profundidades avaliadas, a acidez ativa (pH) do solo no sistema MN foi classificado como elevada, sendo seguida do sistema PT, com acidez ativa classificada como média. De acordo com Prezotti et al. (2007), valores de pH entre 6,0 e 6,9 indicam uma acidez fraca. No presente trabalho, valores dentro desta faixa foram encontrados nos

sistemas CA a CP. Em termos de diferenças significativas, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, os maiores valores de pH foram observados nos sistemas CA e CP.

Esses resultados de pH refletem o manejo da calagem nos diferentes sistemas, com ausência da prática na área de floresta, pastagem e aplicações regulares nos sistemas com cultura anual e perene. Os dados também indicam o avançado estágio de intemperismo e a baixa fertilidade natural do solo estudado. Os baixos valores de pH obtidos nos solos dos sistemas MN e PT podem estar associados aos maiores teores de Al do solo nessas áreas (Tabela 4). De acordo com Sousa et al. (2007), o Al presente na solução do solo sofre hidrólise liberando íons H, responsável pela elevação da acidez ativa do solo. Outro fator que pode explicar os menores valores de pH nos sistemas MN e PT são seus maiores teores de CO, como observado na Tabela 3. Stevenson (1994) relata que a ionização do H presente nos ácidos carboxílicos, fenólicos e, principalmente, de álcoois terciários da matéria orgânica, contribui para a acidez do solo. Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os obtidos por Candido et al. (2010), que avaliaram as características químicas de solos sob cultivo de café na microrregião do Caparaó-ES, encontrando valores de pH próximos aos relatados na Tabela 4, além de baixos níveis de fertilidade do solo. Um aspecto a ser ressaltado, por meio dos dados obtidos, é a necessidade de adoção de práticas corretivas na área de pastagem, que apresentou níveis de acidez elevados e baixo teor de Ca. Esses resultados refletem o real estado em que se encontram a quase totalidade dos mais de 1.821,069 hectares de solo sob pastagem no estado do Espírito Santo.

A acidez potencial (H+Al) seguiu um padrão de resposta semelhante ao observado para os valores de pH, com os maiores teores no sistema MN para todas as profundidades avaliadas. Os sistemas CA e CP, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm não diferiram significativamente quanto aos seus teores de H+Al. Com exceção do sistema CP na profundidade de 20-40 cm, os teores de H+Al nos sistemas CA e CP foi classificado como

baixo. Já no sistema MN, os teores de H+Al foram classificados como alto nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, e médio na profundidade de 20-40 cm.

Os teores de P na profundidade de 0-10 cm apresentaram variações de 2 a 32,7 mg dm⁻³. A maior disponibilidade de P nesta profundidade foi determinada nos sistemas CA e CP. No sistema CA, onde o teor de argila é de 49%, o P (32,7 mg dm⁻³) foi classificado como alto. Na área sob cultivo de cafeeiro (CP), onde o solo apresentou teor de argila igual a 38,6%, o teor de P (23,2 mg dm⁻³) também foi classificado como alto. Na profundidade de 0-10 cm, em relação ao sistema CA, os teores mais baixos de P foram determinados nos sistemas MN (2,0 mg dm⁻³) e PT (1,6 mg dm⁻³), sendo que em ambos o teor de P no solo foi classificação como baixo. Esses resultados evidenciam, mais uma vez, o manejo inadequado da fertilidade do solo na área de pastagem, além do baixo teor natural de P do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Falleiro et al. (2003). Na camada de 10-20 cm, os sistemas CA e CP apresentaram teor de P significativamente superior aos sistemas MN e PT. Tal resultado pode estar associado às adubações fosfatadas realizadas nesses sistemas. O mesmo foi verificado na profundidade de 20-40 cm. Segundo Matiello et al. (2006) os solos tropicais apresentam baixo teor de P pela ação do intemperismo ao longo do tempo. Em todos os sistemas o P decresceu em profundidade, o que pode ser explicado pelo maior aporte de matéria orgânica nas primeiras profundidades do solo (0-10 cm), o que contribui para maior disponibilidade do P nesta profundidade, além da baixa mobilidade do P no perfil do solo (Falleiro et al., 2003).

A disponibilidade de Ca e Mg demonstrada na Tabela 4 apresentou uma variação significativa pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade nos sistemas de uso do solo, em todas as profundidades avaliadas. Nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm, os teores de Ca e Mg apresentaram comportamento semelhantes, com teores mais elevados nos sistemas CA e CP, e significativamente menores nos sistemas MN e PT. Para todas as profundidades avaliadas, com exceção do teor de Mg de 0-10 cm no sistema CA, os teores

de Ca e Mg nos sistemas CA e CP foram classificados, de acordo com Prezotti et al. (2007), como médios. Se considerarmos como nível crítico de Ca e Mg no solo os teores de 2,4 e 0,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (CFSEMG, 1999), apenas nos sistemas CA e CP os teores desses nutrientes estão próximos ou acima do nível crítico, com exceção apenas para o teor de Mg no sistema PT na profundidade de 0-10 cm, que atingiu o nível crítico. Esses resultados evidenciam a necessidade de fornecimento de Ca e Mg ao solo na área sob PT, dada a importância desses elementos ao bom desenvolvimento da cultura. Frazão et al. (2008), em trabalho que avaliou a fertilidade do solo em diferentes sistemas de manejo, também observaram menores teores de Ca e Mg no sistema não antropizado e na área de pastagem. Os baixos teores destas bases no solo de pastagem estão relacionados ao fato de a última aplicação de calcário no solo deste sistema ter ocorrido a 18 anos, quando houve a implantação da pastagem plantada. Resultados similares ao do presente trabalho também foram relatados por Ferreira et al. (2007).

Os teores de K para os sistemas CA e CP estiveram dentro do nível considerado baixo para MN e PT em todas as profundidades (Prezotti et al., 2007). Na área com plantio da cultura anual (sorgo), o teor de K foi significativamente superior aos demais sistemas na profundidade de 0-10 cm, não diferindo do sistema CP na profundidade de 10-20 cm. Na profundidade de 20-40 cm, o maior teor de K ocorreu no sistema CP. As concentrações de K em todos os sistemas foram decrescentes com a profundidade (Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos em outros estudos, em que as maiores concentrações de K encontravam-se na camada superficial do solo (Maria et al., 1999; Santos & Tomm, 2003; Frazão et al., 2008). Nos sistemas CA e CP, esses resultados podem estar associados ao depósito em superfície dos adubos potássicos, principalmente KCl, o que favorece o acúmulo do K nas camadas superficiais do solo. Com exceção dos sistemas CA e CP, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, os resultados para todos os sistemas de manejo nas

diferentes profundidades foram considerados baixos ($< 60 \text{ mg dm}^{-3}$) para a fertilidade do solo em potássio.

Quanto aos micronutrientes na tabela 5, O sistema PT apresentou um teor Fe significativamente superior aos demais na camada de 0-10 cm, sendo que nas outras profundidades não houve variação significativa, estando os teores de Fe em todos os sistemas dentro das faixas de nível médio ($20 - 45 \text{ mg dm}^{-3}$) e alto ($> 45 \text{ mg dm}^{-3}$). Nos sistemas em que houve adubação e calagem em seus manejos (CP e CA), os teores de Mn foram significativamente superiores, com valores dentro da faixa de interpretação alto para todas as profundidades estudadas. Nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, os teores de Mn nos sistemas MN e PT não diferiram entre si, e foram significativamente inferiores aos teores observados nas áreas cultivadas com cultura anual e perene. O solo apresentou deficiência de B em todos os sistemas e profundidades, estando a abaixo ou ligeiramente acima do nível considerado baixo ($< 0,35 \text{ mg dm}^{-3}$). Segundo Silveira & Cunha (2002) a presença da matéria orgânica no solo está associada com a disponibilidade, a quantidade e a retenção de alguns micronutrientes no solo, como B. Os teores de CO mais altos no sistema MN (Tabela 3) podem explicar o maior teor de B no solo nessa área.

De acordo com CFSEMG (1999), os níveis críticos em solo para os micronutrientes apresentados na Tabela 5 são: Fe = 30 mg dm^{-3} ; Cu = $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$; Zn = $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$; Mn = $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e; B = $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$. Dessa forma, o solo avaliado nos diferentes sistemas de uso, nas várias profundidades, apresenta as seguintes deficiências de micronutriente: Cu (nos sistemas CA e CP, na profundidade de 0-10 cm); Zn (nos sistemas MN e PT, em todas as profundidades e CA, na profundidade de 20-40 cm); Mn (no sistema MN, nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm) e; B (em todos os sistemas de uso e profundidades estudados). Guimarães et al. (1999), relatam que os micronutrientes que mais comumente apresentam deficiência no solos são Cu, Zn, B e, às vezes, o Mn, resultados idênticos ao do presente estudo.

Tabela 5. Teores de micronutrientes nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso

Sistemas	Fe	Cu	mg dm ⁻³		
			Zn	Mn	B
0 – 10 cm					
MN	59,9b	0,3c	1,0b	13,1b	0,4a
CA	43,9b	1,1b	4,1b	83,6a	0,1b
CP	40,9b	3,6a	17,0a	114,2a	0,1b
PT	85,2a	0,7bc	1,0b	28,7b	0,1b
Média	57,5	1,4	5,8	59,9	0,2
CV (%)	30,7	30,3	71,0	32,6	14,2
10 – 20 cm					
MN	48,3a	0,3b	0,6b	5,0c	0,3a
CA	34,8a	0,8b	3,2ab	56,0b	0,1b
CP	42,5a	2,9a	3,1a	92,9a	0,1b
PT	43,4a	0,6b	0,4b	17,0c	0,1b
Média	43,0	1,1	2,6	42,7	0,2
CV (%)	15,5	23,2	60,8	47,5	41,3
20 – 40 cm					
MN	42,5a	0,3b	0,4a	3,2a	0,3a
CA	27,1a	0,4b	0,6a	17,3a	0,0b
CP	35,2a	1,3a	1,8a	29,5a	0,0b
PT	32,7a	0,5b	0,2a	8,6a	0,1b
Média	34,4	0,6	0,8	14,7	0,1
CV (%)	15,4	35,2	38,8	57,3	22,9

Mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Nos sistemas avaliados onde há cultivo do solo, a correção das deficiências de micronutrientes se faz necessária em razão das funções exercidas por esses nutrientes no metabolismo e crescimento das plantas. O B é um nutriente importante na síntese de RNA, importante para o crescimento dos meristemas das plantas, além de também estar associado à germinação do grão de pólen, ao crescimento e estabilidade do tubo polínico e ao metabolismo de carboidratos (síntese de hemicelulose). O Cu participa do processo fotossintético como constituinte da plastocianina (proteína do cloroplasto), no transporte de elétrons, na lignificação da parede celular, no metabolismo de proteínas e carboidratos e na fixação biológica de nitrogênio. Entre as funções do Mn, destaca-se sua participação no processo de óxido-redução no sistema fotossintético de transporte de elétrons. O Zn é essencial para a síntese do triptofano (precursor do ácido indolacético-AIA), inibe RNA-se,

ativa a anidrase carbônica e participa da estrutura da dismutase de superóxido (Motta et al., 2007).

A Tabela 6 apresenta os atributos químicos calculados nos diferentes sistemas de uso e profundidades do solo.

Tabela 6. Atributos de fertilidade nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de uso

Sistemas	t ----- cmol _c dm ⁻³ -----	T ----- cmol _c dm ⁻³ -----	SB	V ----- % -----	m	ISNa
0 – 10 cm						
MN	1,9c	7,2a	1,0b	14,6c	45,4a	0,1b
CA	4,2a	6,0b	4,2a	69,9a	0,0c	0,8a
CP	3,5b	5,7b	3,5a	60,8a	0,0c	0,3ab
PT	1,9c	5,8b	1,6b	27,5b	16,3b	0,5ab
Média	2,9	6,2	2,6	43,1	15,4	0,5
CV (%)	10,2	7,7	13,4	11,4	51,6	52,4
10 – 20 cm						
MN	1,5b	1,5b	0,6b	10,5b	60,0a	0,1b
CA	3,9a	3,9a	3,9a	69,0a	0,0c	1,0a
CP	3,5a	3,5a	3,5a	73,4a	0,0c	0,4b
PT	1,4b	1,4b	1,0b	21,9b	25,8b	0,6ab
Média	2,6	5,2	2,3	43,7	21,5	0,5
CV (%)	21,1	12,3	24,6	15,4	36,5	83,2
20 – 40 cm						
MN	1,3b	1,3b	0,5b	9,4c	64,2a	0,9a
CA	3,1a	3,1a	3,1a	67,1b	0,0c	0,5a
CP	3,1a	3,1a	3,1a	82,9a	0,0c	0,4a
PT	1,2b	1,2b	0,8b	18,9c	35,7b	0,6a
Média	2,2	4,4	1,9	44,6	25,0	0,4
CV (%)	16,1	5,4	18,8	17,3	11,7	43,4

Mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A T do sistema MN apresentou valor 7,18 cmol_c dm⁻³, significativamente superior aos sistemas CA (6,0 cmol_c dm⁻³), PT (5,8 cmol_c dm⁻³) e CP (5,7 cmol_c dm⁻³), na profundidade de 0-10 cm. Este resultado se explica pelo maior aporte de resíduos vegetais depositados nas primeiras profundidades do solo no sistema MN, influenciado no aumento do teor de matéria orgânica nesta profundidade. Costa et al. (2006), pesquisando um Latossolo Vermelho, constatou que sistemas de uso onde há um maior aporte de resíduos vegetais, apresentam uma T mais alta em relação a outros sistemas, dando origem a solos

de melhor qualidade em seus atributos físico-químicos. Nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm os sistemas CA e CP apresentaram valores de T significativamente superiores aos sistemas MN e PT. Os valores da T foram decrescentes no perfil do solo, estando de acordo com os resultados observados por Siqueira Neto (2006) e Frazão et al. (2008).

A saturação por base (V) apresentou-se significativamente maior nos sistemas CA e CP em todas as profundidades. Considerando os valores de V, pH, Al, H+Al, m, Ca e Mg, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos sistemas CA e CP não há necessidade de aplicação de corretivo da acidez do solo (calcário). No entanto, para o sistema PT, analisando os mesmos atributos acima mencionados, há necessidade premente de intervenção no solo para a correção de sua acidez. Utilizando a fórmula de necessidade de calagem (NC) do método da saturação por bases, os dados da análise do solo da profundidade de 0-10 cm, considerando uma saturação por bases adequada ao bom desenvolvimento de pastagens formadas igual a 60% (Prezotti et al., 2007), um calcário com PRNT igual a 100% e uma profundidade de incorporação do calcário aplicado em superfície de 7,5 cm, seriam necessário aplicar 0,72 t de calcário por hectare na área de pastagem.

CONCLUSÕES

1. A introdução dos diferentes sistemas de uso do Latossolo Vermelho-Amarelo culminou em redução nos teores de CO e NT, principalmente nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.
2. Os estoques de CO e NT do solo, nas profundidades avaliadas, seguiram a seguinte ordem decrescente de redução percentual em relação ao sistema de referência (MN): CP > CA > PT. Na média, as reduções percentuais nos estoques de CO e NT foram de 38 e 15%; 42 e 21% e; 8,3 e 3% nos sistemas CP, CA e PT, respectivamente.

3. Dentre os sistemas de uso do solo estudados, as áreas sob mata nativa e pastagem apresentaram a pior condição de fertilidade do solo, caracterizado o solo nesses sistemas como ácido (acidez média/elevada, Al médio, H+Al médio/alto, m médio/alto e V baixo) e deficiente em macronutrientes (P, K, Ca e Mg).
4. Para os micronutrientes, as maiores deficiências foram observadas para Cu, Zn e B, sendo que para esse último os teores em solo estiveram abaixo do nível crítico em todos os sistemas e profundidades do solo avaliados.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pela oportunidade, ao Instituto Federal de Educação do Espírito Santo (Ifes-Campus de Alegre) pela disponibilidade das áreas em estudo, ao Laboratório de Análises de Fertilizantes LAFARSO-CCA-UFES pelas análises dos atributos químicos e ao Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela análise dos teores de CO e NT.

REFERÊNCIAS

- Bayer C & Mielniczuk J (2008) Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos GA & Camargo FAO (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre, Metropole. p.7-18.
- Bremner JM (1996) Nitrogen total. In: Sparks DL (Ed.) Methods of soil analysis. Part 3. Madson, American Society of Agronomy. p.1085-1121. (SSSA Book Series, 5).
- Camargo FAC, Gianello C, Tedesco MJ & Vidor C (1999) Nitrogênio orgânico do solo. In: Santos GA de & Camargo FAO de (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre, Genesis. p.117-137.
- Candido AO, Brinate SVB, Martins LD, Nogueira NO & Tomaz MA (2010) Avaliação das características químicas de solos em superfície e subsuperfície sob cultivo de café na microrregião do Caparaó – ES. Enciclopédia Biosfera, 6:1.

- Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (CFSEMG) (1999) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação. Viçosa, UFV. 359p.
- Costa EA, Goedert WJ & Sousa DMG (2006) Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 7:1185-1191.
- D'Andréa AF, Silva MLN, Curi N & Guilherme LRG (2004) Estoque de carbono e nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:179-186.
- Dalal RC & Mayer RJ (1986) Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Australian Journal Soil Research*, 24:281-292.
- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA (1997) Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de pesquisa de solos. 212p.
- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA (1999) Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 412p.
- Espírito Santo (estado). Secretaria de estado da agricultura, abastecimento, aquicultura e pesca (2008) E77p Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura: Novo PEDEAG 2007-2025 / Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. Vitória, SEAG. 284p.
- Falleiro RM, Souza CM, Silva CSW, Sedyama CS, Silva AA & Fagundes JL (2003) Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1097-1104.
- Frazão LA, Píccolo MC, Feigl BJ, Cerri CC & Cerri CEP (2008) Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:641-648.
- Guimarães PTG, Garcia AWR, Alvarez VHV, Prezotti LC, Viana AS, Miguel AE, Malavolta E, Corrêa JB, Lopes AS, Nogueira FD, Monteiro AVC & Oliveira JA (1999) Cafeeiro. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG & Alvarez VHV Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, CFSEMG. p. 289-302.
- Júnior JIR & Melo ALP (2009) Guia prático para utilização do SAEG. Viçosa, Folha. 288p.
- Leite LFC, Mendonça ES, Neves JCL, Machado PLOA & Galvão JCC (2003) Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:821-832.
- Lima SS, Leite LFC, Oliveira FC & Costa DB (2010) Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. *Revista Árvore*, 35:51-60.

- Luizão FJ, Tapia-Coral S, Ordinola JG, Silva GC, Luizão R CC, Cabrera LT, Wandeli E & Fernandes ECM (2006) Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. In: Rodriguês ACG, Barros NF, Rodriguês EFG, Freitas MSM, Viana AP, Jasmim JM, Marciano CR & Carneiro JGA (Eds.) Sistemas agrofloretais: bases para o desenvolvimento sustentável. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. p.87-10.
- Maria, IC de, Castro OM & Dias HS (1999) Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:703-709.
- Matiello JB, Garcia AWR & Almeida SR (2006) Adubos, corretivos e defensivos para a lavoura cafeeira: indicações de uso. Varginha, Fundação PROCAFÉ. 112p.
- Moreira FM & Siqueira JO (2002) Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras. 625p.
- Paul EA & Clark FE (1989) Soil microbiology and biochemistry. San Diego, Academic Press. 272p.
- Prezotti LC, Gomes JA, Dadalto GG & Oliveira JA (2007) Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo. 5ª aproximação. Vitória, SEEA/INCAPER/CEDAGRO. 289p.
- Rangel OJP, Silva CA & Guimarães PTG (2007) Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1341-1353.
- Resck DVS & Pereira JE (1991) Dinâmica da matéria orgânica na região dos cerrados. Planaltina, Embrapa Cerrados. 22p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 36).
- Santos GA, Silva LS, Canellas LP & Camargo FAO (Eds.) (2008) Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre, Metropole. 654p.
- Santos HP & Tomm GO (2003) Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função dos sistemas de cultivo e manejo do solo. *Ciência Rural*, 33:477-486.
- Scarpellini J R, Bolonhezi D (2007) O aquecimento global e a agricultura em São Paulo. 2007. Artigo em Hypertexto, 5 p. Disponível em http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/Aquecimentoglobal/Index.htm.
- Shang C & Tiessen H (1997) Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. *Soil Science*, 11:795-807.
- Silva CA, Anderson SJ & Vale FR (1999) Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem a adubação fosfatada, *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 23:593-602.
- Silva JE, Lemainski J & Resck DVS (1994) Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *Revista Brasileira Ciência do solo*, 18:541-547.

- Silveira PM da & Cunha AA da (2002) Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:1325-1332.
- Siqueira Neto M (2006) Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no cerrado em Rio Verde. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 159p.
- Sousa DMG, Miranda LN & Oliveira AS (2007) Acidez do solo e sua correção. In: Novais RF, Alvarez V. VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB & Neves JCL (Eds.) *Fertilidade do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p.205-274.
- Souza JL, Prezotti LC & Guarçoni M,A (2012) Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. *IDÉSIA*, 30:7-15.
- Souza WJO & Melo WJ (2003) Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1113-1122.
- Stevenson FJ (1994) *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2^a ed. New York, John Wiley & Sons, 496p.
- Teixeira LB & Bastos JB (1989) Matéria orgânica nos ecossistemas de floresta primária e pastagem na Amazônia central. Belém, EMBRAPA-CPATU. 26p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 99).
- Vitti GC (1989) Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, Funep. 37p.
- Yeomans JC & Bremner JM (1988) A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1467-1476.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes usos do solo sobre os seguintes atributos: estoques e teores de carbono e nitrogênio, carbono associado às frações leve e pesada da MOS e atributos químicos de fertilidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo, localizado no Campus de Alegre do Instituto Federal de Educação do Espírito Santo (Ifes). Os sistemas de uso do solo avaliados foram: mata nativa (MN), cultura anual (CA), cultura perene (CP) e pastagem (PT). Concluiu-se que a remoção da mata nativa (MN) e a adoção de diferentes sistemas de uso promoveu alterações, algumas significativas, nos teores e estoques das frações da matéria orgânica avaliadas. Em relação ao sistema de referência (MN), houve redução nos teores de CO, C-FL, da relação C-FL/CO e dos estoques de C-FL em todos os sistemas de uso analisados. O solo na área com cultura anual (CA) foi o que apresentou as maiores reduções médias dos atributos avaliados, comparativamente ao sistema MN, com destaque para a redução de 89,4% no teor de C-FL. O carbono na fração leve (C-FL) foi o atributo mais sensível e o que refletiu as principais mudanças no CO do solo, em função da adoção de diferentes sistemas de uso do solo. A introdução dos diferentes sistemas de uso do Latossolo Vermelho Amarelo culminou em redução nos teores de CO e NT, principalmente nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Os estoques de CO e NT do solo, nas profundidades avaliadas, seguiram a seguinte ordem decrescente de redução percentual em relação ao sistema de referência (MN): CP > CA > PT. Na média, as reduções percentuais nos estoques de CO e NT foram de 38 e 15%; 42 e 21% e; 8,3 e 3% nos sistemas CP, CA e PT, respectivamente. Dentre os sistemas de uso do solo estudados, as áreas sob mata nativa e pastagem apresentaram a pior condição de fertilidade do solo, caracterizado o solo nesses sistemas como ácido e deficiente em macronutrientes (P, K, Ca e Mg). Para os micronutrientes, as maiores deficiências foram observadas para Cu, Zn e B, sendo que para esse último os teores em solo estiveram abaixo do nível crítico em todos os sistemas e profundidades do solo avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amado, T.J.C.; Mielniczuk, J.; Aita, C. (2002) Recomendações de adubação nitrogenada para milho no RS adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo sob sistema plantio direto: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:241-248.
- Anderson, J. M.; Ingram, J. S. I. (1989) *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. CAB International, 171p.
- Barreto, A.C.; Ferreira, M.B.G.S; Nacif, P.G.S; Araújo, Q.R; Freire, F.; Inácio, E.S.B. (2008) Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1471-1478.
- Barrios, E.; Buresh, R.J.; Sprent, J.I. (1996) Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 28:185-193.
- Bayer, C.; Martin-Neto, L.; Saab, S.C.; Mielniczuk, J. (2000) Interferência da fração mineral na estimativa do grau de humificação da matéria orgânica em agregados organo-minerais por ressonância magnética. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:11-17.
- Bayer, C.; Mielniczuk, J. (1999) Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G. A.; Camargo, F. A. O. (eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, p. 9-26.

- Bayer, C.; Mielniczuk, J. (2008) Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G. A. & Camargo, F. A. O. (eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*, 2.ed. Porto Alegre, p.7-18.
- Bayer, C.; Neto, L. M.; Mielniczuk, J.; Pavinato A. (2004) Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:677-683.
- Bayer, C.; Paviano, A. (2004) Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Sob plantio direto: *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 7: 667-683.
- Bayer, C.; Spagnollo; Widner, L.P.; Ernani, P. R.; Albuquerque, J. A. (2003) Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo: *Ciência Rural*, 33:469-475.
- Boddey, R.M.; Alves,B.J.R.; Oliveira,O.C.; Uргуига, S. (2001) Potencial para acumulação e sequestro de carbono em pastagem de *Brachiaria*. In: Lima, M.A.; Cabral, O.M.R; Miguez, J.D.G. (eds.). *Mudanças climáticas globais e agropecuária brasileira*. Embrapa Meio Ambiente, p.213-239.
- Bremner, J.M. (1996) Nitrogen total. In: Sparks DL (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3. Madson, American Society of Agronomy. p.1085-1121. (SSSA Book Series, 5).
- Camargo F.A.C.; Gianello, C.; Tedesco, M.J.; Vidor, C. (1999) Nitrogênio orgânico do solo. In: Santos GA de & Camargo FAO de (eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. Genesis. p.117-137.
- Candido AO, Brinate SVB, Martins LD, Nogueira NO & Tomaz MA (2010) *Avaliação das características químicas de solos em superfície e subsuperfície sob cultivo de café na microrregião do Caparaó – ES*. Enciclopédia Biosfera, 6:1.
- Cantarella, H.; Andrade, C.A.; Júnior, D.M. (2008) Matéria orgânica do solo e disponibilidade de N para as plantas In: Santos, G.A., Silva, L.S., Canellas, L.P., Camargo, F.A.O., (eds.), *Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Metrole, p. 581-592.
- Carter, M.R. (2001) Organic matter and sustainability. In: Rees, R.M.; Ball, B.C.; Campbell, C.D.; WATSON, C.A. (eds.). *Sustainable management of soil organic matter*. New York: CABI Publishing, p 9-22.
- Carvalho, S.I.C.; Vilela, L.; Spain, J.M., Kaira, C.T. (1990) Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiara decumbens* cv. Basilisk Na região de cerrados. *Pasturas Tropicais*, Cali, 12: 24-28.
- Cerri, C.E.P.; Feigl, B.J.; Cerri, C.C. (2008) Dinâmica da matéria orgânica no solo da Amazônia In: Santos, G.A., Silva, L.S., Canellas, L.P., Camargo, F.A.O. (Eds), *Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*, 2.ed. Porto Alegre, Metrole, p. 325-353.

- Christensen, B.T. (2000) *Organic matter in soil – structure, function and turnover*. Dias Report No. 30 Plant Production: Tjele, p. 95.
- Ciotta, M. N.; Bayer, C.; Fontoura, S.M.V.; Ernani, P.R.; Albuquerque, J.A. (2003) Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto: *Revista Ciência Rural*, 33:1161-1164.
- Collins, H. P.; Paul, E. A.; Paustian, K.; Elliott, E. T. (1997) Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: Paul, E. A.; Paustian, K.; Elliott, E. T.; Cole, C. V. (eds.). *Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America*. Boca Raton: CRC Press, p.51-72.
- Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (CFSEMG) (1999) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação*. Viçosa, UFV. 359p.
- Conceição, P.C.; Spagnollo, E. (2005) Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados: *Revista Brasileira de ciência do Solo*, 29:777-788.
- Costa E.A.; Goedert, W.J.; Sousa, D.M.G. (2006) Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 7:1185-1191.
- Coutinho, P.C.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M.; Alves, B.J.; Torres, A.Q.A.; Jantalia, C.P. (2010) Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos de solo na Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 45:195-203.
- D'Andréa, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Guilherme, L.R.G. (2004) Estoque de carbono e nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:179-186.
- D'andréa, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Siqueira, J.O.; Carneiro, M.A.C. (2002) Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:913-923.
- Dalal, R.C; Mayer, R.J. (1986) Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Australian Journal Soil Research*, 24:281-292.
- Demolinari, M.S.M.; Silva, I.R.; Lima A.M.N.; Vergutz, L.; Mendonça, E.S. (2008) Efeito na solução de separação densimétrica na quantidade e qualidade da matéria orgânica leve e na quantificação do carbono orgânico da fração pesada: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:871-879.

- Doran, J.N. (1980) Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44:765-771.
- Duxbury, J.M.; Smith, M.S.; Doran, J.W.; Jordan, C.; Szott, L.; Vance, E. (1989) Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: Coleman, D.C.; Oades, J.M.; Uehara, G. (eds.) *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawaii Press, p.33-67.
- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA (1997) *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de pesquisa de solos. 212p.
- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA (1999) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 412p.
- Espírito Santo (estado). Secretaria de estado da agricultura, abastecimento, aquicultura e pesca (2008) E77p *Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura: Novo PEDEAG 2007-2025 / Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca*. Vitória, SEAG. 284p.
- Falleiro, R.M.; Souza C.M.; Silva, C.S.W.; Sedyama, C.S.; Silva, A.A.; Fagundes, J.L. (2003) Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1097-1104.
- Felbeck, G.T. (1971) Chemical and biological characterization of humic matter. In: McLarem, A.D.; Scujins, J.; Hayes, M.H.B. (eds.). *The chemistry of soil*. New York, Marcell Dekker, p.16-35.
- Feller, C.; Beare, M.H. (1997) Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*,79:69-116.
- Fernandes, E.C.M.; Motavalli, P.P.; Castilla, C. (1997) Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. *Geoderma*,79:49-67.
- Frazão, L.A.; Píccolo, M.C.; Feigl, B.J.; Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P. (2008) Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:641-648.
- Freitas, P.L.; Blancaneaux, P.; Gavinel, E.; Larrouy, M.C.L.; Feller, C. (2000) Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo: *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, 35:157-170.
- Freixo, A.A.; Canellas, L.P.; Machado, P.L.O.A. (2002) Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 26:445-453.

- Golchin, A.; Baldock, J.A.; Oades, J.M. (1997) A model linking organic matter decomposition, chemistry, and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; Follett, R.F.; Stewart, B.A., eds. *Soil processes and the carbon cycle*. Boca Raton, CRC Press. p.245-266. (Advances in Soil Sciences Series).
- Golchin, A.; Oades, J.M.; Skjemstad, J.O.; Clarke, P. (1995) Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by ¹³C NMR spectrometry and solid-state ¹³C NMR spectroscopy in density fractions of an Oxiol under forest and pasture. *Australian Journal Soil Research*, 33:59-76.
- Guerra, J.G.M.; Santos, G.A.; Silva, L.S.; Camargo, F.A.O. (2008) Macromoléculas e substâncias húmicas In: Santos, G.A., Silva, L.S., Canellas, L.P., Camargo, F.A.O. (eds). *Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*, Porto Alegre, Metrol, 654p.
- Guimarães, P.T.G.; Garcia, A.W.R.; Alvarez, V.H.V.; Prezotti, L.C.; Viana, A.S.; Miguel, A.E.; Malavolta, E.; Corrêa, J.B.; Lopes, A.S.; Nogueira, F.D.; Monteiro, A.V.C.; Oliveira, J.A. (1999) Cafeeiro. In: Ribeiro AC, Guimarães, P.T.G.; Alvarez, V.H.V. *Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais*. 5ª Aproximação. Viçosa, CFSEMG. p. 289-302.
- Islan, K.R.; Weil, R.R. (2000) Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management: *J Soil Water Conser*. 55:69-78.
- Janzen, H.H.; Campbell, C.A.; Brandt, S.A.; Lafond, G.P.; townley-Smith, L. (1992) Ligt-fraction organic matter in soils from long term crop rotations. *Soil Science of American Journal*,56:1799-1806.
- Júnior, J.I.R.; Melo, A.L.P. (2009) *Guia prático para utilização do SAEG*. Viçosa, Folha. 288p.
- Konova, M.M. (1984) Current Problems in the study matter accumulation in soils under anaerobiosis: *Soil Science*, Baltimore, 137:419-427.
- Leal, O.A.; Castilhos, R.M.V.; Pillon, C.N.; Penning, L.H.; Pauletto, E.A.; Fernandes, F.F. (2010) *Frações densimétricas da matéria orgânica de um solo construído após mineração de carvão e recentemente vegetado*, XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas, Minas Gerais.
- Leite, L.F.C.; Mendonça, E.S.; Neves, J.C.L.; Machado, P.L.O..A.; Galvão, J.C..C. (2003) Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:821-832.
- Lima, S.S.; Leite, L.F.C.; Oliveira, F.C.; Costa; D.B. (2011) Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. *Revista Árvore*, 35:51-60.

- Longo, R.M.; Espíndola, C.R. (2000) C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:723-729.
- Luizão, F.J.; Tapia-Coral, S.; Ordinola, J.G.; Silva, G.C.; Luizão, R.C.C.; Cabrera, L.T.; Wandeli, E.; Fernandes, E.C.M. (2006) Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. In: Rodriguês, A.C.G.; Barros, N.F.; Rodriguês E.F.G.; Freitas, M.S.M.; Viana, A.P.; Jasmim, J.M.; Marciano, C.R.; Carneiro, J.G.A. (eds.). *Sistemas agroflorestais: bases para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. p.87-10.
- Macedo, M.O.; Resende, A.S.; Garcia, P.C.; Bodey, R.M.; Jantalia, C.P.; Urquiaga, S.; Campello, E.F.C.; Franco, A.A. (2008) Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management*, 255:1516-1524.
- Maria, I.C. de; Castro, O.M.; Dias, H.S. (1999) Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:703-709.
- Matiello, J.B.; Garcia, A.W.R.; Almeida, S.R. (2006) *Aubos, corretivos e defensivos para a lavoura cafeeira: indicações de uso*. Varginha, Fundação PROCAFÉ. 112p.
- Mielniczuk, J.(2008) Matéria orgânica e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Metrópole. p.1-5.
- Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Vezzani, F.M.; Lovato, T.; Fernandes, F.F.; Deberba, L. (2003) Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: Curi, N., Marques, J.J.; Guilherme, L.R.G.; Lima, J.M., Lopez, A. S.; Alvarez, V.V.H. (eds.). *Tópicos em ciência do solo, Sociedade Brasileira em Ciência do solo*, 3:209-248.
- Moreira, F.M.; Siqueira, J.O. (2002) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 625p.
- Parfitt, R.L.; Theng, J.S.; Whetton, J.S.; Shepherd, T.G. (1997) Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 75:1-12.
- Passos, R.R.; Riz, H.A.; Cantarutti, R.B.; Mendonça, E. S. (2007) Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 31:1109-1118.
- Paul EA & Clark FE (1989) *Soil microbiology and biochemistry*. San Diego, Academic Press. 272p.

- Pillon, C.; Cruz, L.; Moraes, C.; Antunes, L.; Potes, M.; Pereira, R. (2005) Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas: www.Ecologiaemrede.org.br/.../p422-2005-11-24_110106_068.pdf.
- Pillon, C.N.; Mielniczuk, J.; Martins Neto, L. (2001) *Sequestro de carbono por sistemas de manejo do solo e seus reflexos sobre o efeito estufa*. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., Viçosa, 2001. Anais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, P.20-22.
- Pinheiro, E.F.M.; Pereira, M.G.; Anjos, I.H.C.; Machado, P. L.O.A. (2004) fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 28:731-737.
- Pohlman, A.A.; Mccoll, J.G. (1988) Soluble organics from forest litter and their role in metal dissolution. *Society Soil Science American Journal*, 52:265-271.
- Potes, M.L.; Dick, M.P.; Dalmolim, R.S.D.; Knicker, H.; Rosa, A.S. (2010) Matéria orgânica em Neossolo de altitude influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 34:23-32.
- Prezotti, L.C.; Gomes, J.A.; Dadalto, G.G.; Oliveira, J.A. (2007) *Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo*. 5ª aproximação. Vitória, SEEA/INCAPER/CEDAGRO. 289p.
- Rangel, O.J.P.; Silva, C.A.; Guimarães, P.T.G. (2007) Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1341-1353.
- Rangel, O.J.P.; Silva, C.A.; Guimarães, P.T.G. (2007) Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1341-1353.
- Resck, D.V.S.; Pereira, J.E. (1991) *Dinâmica da matéria orgânica na região dos cerrados*. Planaltina, Embrapa Cerrados. 22p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 36).
- Roscoe, R.; Machado, P.L.O.De A. (2002) *Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Brasília, 86p.
- Rosenzweig, C.; Hilled, D. (2000) soil and global climate change: cahallenges and opportunities. *Soil science*, 165:47-56.
- Rovira, P.; Vallejo, V.R. (2002) Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: An acid hydrolysis approach. *Geoderma*, 101:109-141.

- Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (eds.) (2008) Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre, Metropole. 654p.
- Santos, H.P.; Tomm, G.O. (2003) Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função dos sistemas de cultivo e manejo do solo. *Ciência Rural*, 33:477-486.
- Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (eds.) (2008) Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais & subtropicais, Porto Alegre, Metrole, 654p.
- Scarpellini, J.R.; Bolonhezi, D. (2007) O aquecimento global e a agricultura em São Paulo. 2007. Artigo em Hypertexto, 5 p. Disponível em http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/Aquecimentoglobal/Index.htm.
- Shang, C.; Tiessen, H. (1997) Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. *Soil Science*, 11: 795-807.
- Silva, C.A.; Anderson, S.J.; Vale, F.R. (1999) Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem a adubação fosfatada, *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 23:593-602.
- Silva, J.E.; Lemainski, J.; Resck, D.V.S. (1994) Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *Revista Brasileira Ciência do solo*, 18:541-547.
- Silva, C.A.; Machado, P.L.O. (2000) *Sequestro e emissão de carbono em sistemas agrícolas: estratégias para o aumento de matéria orgânica em solos tropicais*. Embrapa Solos, Brasília, 23p.
- Silva, F.C. (2009) *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 627p.
- Silva, I.R. da; Novais, R.F. de; Silva, E.F. de. (2004) Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 29:10-20.
- Silva, R. C.; Pereira, J.M.; Araújo, Q.R.; Pires A.J.V.; Rei, A.J (2007) Alterações nas propriedades químicas e físicas de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 31:101-107.
- Silveira, P.M.; Cunha A.A. (2002) Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 9:1325-1332.
- Siqueira Neto, M. (2006) Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no cerrado em Rio Verde. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo - Piracicaba, 159p.

- Siqueira, J.O.; Soares, C.R.F.S.; Silva, C.A. (2008) Matéria orgânica em solos de áreas degradadas In: Santos, G.A., Silva, L.S., Canellas, L.P., Camargo, F.A.O., (Eds), *Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*, Porto Alegre, Metrole, p. 495-524.
- Six, J.; Conant, R.T.; Paul, E.A.; Paustian, K. (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter. In: Implications for C-saturation of soils. *Plant and soil*, 241:155-176.
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). (2004) *Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Porto Alegre, 400 p.
- Sousa, D.M.G.; Miranda, L.N.; Oliveira, A.S. (2007) Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p.205-274.
- Souza, J.L.; Prezotti, L.C.; Guarçoni, M.A. (2012) Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. *IDÉSIA*, 30:7-15.
- Souza, W.J.O.; Melo, W.J. (2003) Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1113-1122.
- Souza, D.G.M.; Lobato, E. (2002) *Correção solo e adubação*. Planaltina. Embrapa Cerrado, Brasília, 416p.
- Souza, E. D.; Carneiro, M. A. C.; Paulino, H. B.; Silva, C. A.; Buzetti, S. (2006) Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, 28:323-329.
- Souza, E.D.; Costa, S.E.V.G.A.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.S.F.; Andrigueti, M., Cao, E. (2009) Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1829-1836.
- Souza, Z.M.; Alves, M.C. (2003) *Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos*. *Acta Scientiarum, Agronomy*, Maringá, Paraná, 27-34.
- Sposito, G. (1989) *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 227p.
- Stevenson, F.J. (1994) *Humus chemistry. genesis, composition, reactions*. 2. ed. New York. John Wiley & Sons, 496p.

- Teixeira, L.B.; Bastos, J.B. (1989) *Matéria orgânica nos ecossistemas de floresta primária e pastagem na Amazônia central*. Belém, EMBPRAPA-CPATU. 26p. (EMBPRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 99).
- Tiessen, H.; Cuevas, E.; Chacon, P. (1994) The role of soil organic matter stability in soil fertility and agricultural potential. *Nature*, 371:783-785.
- Vargas, M.A.T.; Hungria, M., (eds.) (1997) *Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina*. EMBRAPA-CPAC, Brasília, 524p.
- Vezzani, F.M.; Mielniczuk, J. (2009) Uma revisão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 33:743-755.
- Vitti, G.C. (1989) *Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta*. Jaboticabal, Funep. 37p.
- Yeomans, J.C.; Bremner, J.M. (1988) A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1467-1476.