

FABRÍCIO DE OLIVEIRA GEBRIM

**ESTOQUES E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS
CULTIVADOS COM CAFEIEIRO SOB DIFERENTES MANEJOS, EM
REGIÕES DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

G293e
2010

Gebrim, Fabrício de Oliveira, 1980-

Estoques e qualidade da matéria orgânica em solos cultivados com cafeeiro sob diferentes manejos, em regiões de Minas Gerais / Fabrício de Oliveira Gebrim. – Viçosa, MG, 2010.

xiv, 108f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Roberto Ferreira de Novais.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Humus. 2. *Coffea arabica*. 3. Nitrogênio. 4. Sequestro de carbono. 5. Plantas e solo. Cerrado. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.417

FABRÍCIO DE OLIVEIRA GEBRIM

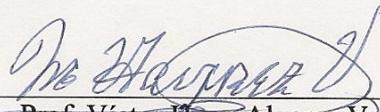
**ESTOQUES E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS
CULTIVADOS COM CAFEIEIRO SOB DIFERENTES MANEJOS, EM
REGIÕES DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Solos e
Nutrição de Plantas, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

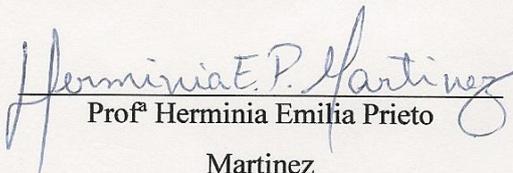
APROVADA: 26 de abril de 2010.



Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Co-orientador)



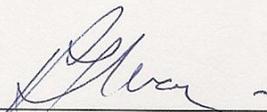
Prof. Victor Hugo Alvarez V.
(Co-orientador)



Profª Herminia Emilia Prieto
Martinez



Prof. Carlos Alberto Silva



Prof. Roberto Ferreira de Novais
(Orientador)

Primeiramente a Deus por me iluminar nesta caminhada.

Aos meus pais Abrahão Gebrim Neto e Maria Luiza de Oliveira Gebrim, pelo incentivo, apoio e principalmente pelos ensinamentos de honestidade, luta e perseverança.

Aos meus familiares, em especial aos que se foram, mas que são eternizados em nossas mentes através dos ensinamentos e pela alegria que conduziram à vida, porém deixando em nossos corações saudades.

Ao meu irmão Flávio de Oliveira Gebrim pela amizade e compreensão que sempre teve por minha ausência durante minha vida universitária.

...a quem dedico esta realização!

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao DPS, pela oportunidade de realização do curso;

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudo e também pelo financiamento do projeto;

A Capes e ao CNPq pelos auxílios financeiros que tornarão a realização deste trabalho possível;

Ao Prof. Roberto Ferreira de Novais; pela orientação exemplar principalmente pelos ensinamentos éticos, críticas sempre geniais, seus ensinamentos de dedicação sublime a ciência e principalmente pela amizade.

Ao Prof. Ivo Ribeiro da Silva, pelos ensinamentos científicos, pela prontidão e principalmente pela co-orientação que foi intensa e proveitosa, mas antes de tudo pela amizade deste o tempo de pós-doutorado, que se estende até hoje e espero que seja eterna.

Ao cafeicultor Ramon, presidente da associação dos cafeicultores de Araguari-MG, por permitir a realização de parte deste estudo em sua propriedade.

Ao Centro de Pesquisas Cafeeiras (CEPEC) em Martins Soares-MG por permitir a coleta de material em experimentos já alocados por seus pesquisadores, em especial as pessoas que nos ajudaram nessa coleta como o Gustavo, Sinésio e Marcio.

A EPAMIG de Machado-MG, por ajudar na escolha de locais de coleta e permitir a coleta de dados em seus experimentos, em especial a pessoa do Gilmar.

Ao produtor Ricardo por ter cedido sua área de café para a realização deste trabalho na cidade de Capelinha-MG.

Aos amigos estagiários, Fellip Januário, Víctor Sampaio, Marelise Teruya e Laísa, que muito contribuíram na execução e análises laboratoriais;

Aos colegas Augusto, Dalton (Descontrolado), Flancer, Guilherme (Red), Michelle, Carol, Eulene, Leonardus, Manu, Silvano, Lucas, Bacana (Robert), Ivan,

Dener, Diogo, Gelton enfim todos do Laboratório de Isótopos Estáveis, pela convivência amizade e momentos de descontração.

A uma pessoa que tornou minha vida mais completa, minha companheira e namorada Fernanda Schulthais.

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela amizade e companheirismo.

Aos meus colegas de república Ariel, Vander, Renato e Rogério.

Aos funcionários do DPS, principalmente a João Milagres, Beto, Cardoso, Carlinhos, Carlos, Chico, Cláudio, Denise, Luciana, Sonia e à Zé Luiz pela presteza e amizade.

Ao José Luiz Teixeira pelos ensinamentos durante a coleta de material para a realização desse trabalho.

A minha avó materna Izila pelo carinho e bondade, e pelo exemplo de vida.

Ao meu avô materno Antônio (*in memorium*) que foi o que me proporcionou os primeiros ensinamentos agrícolas, os quais me inspiraram para que ingressasse no curso de agronomia.

A minha tia e madrinha Carmem (*in memorium*) que me ensinou como é a alegria da vida.

Ao meu avô paterno Willian (*in memorium*) pelo carinho e ensinamentos proporcionados.

A minha avó paterna Julieta (*in memorium*) que apesar de não ter a oportunidade de ter convivido e conhecido, mas que com certeza me apoiou junto ao nosso senhor.

A todos que direta e indiretamente me ajudou na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Fabício de Oliveira Gebrim, filho de Abrahão Gebrim Neto e Maria Luiza de Oliveira Gebrim, nasceu em Araguari - Minas Gerais, em 25 de março de 1980.

Em agosto de 2003, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em janeiro de 2003, iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 10 de maio de 2006.

Em 15 de maio de 2006, iniciou a caminhada no Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa em 26 de abril de 2010.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	xii
LITERATURA CITADA	xiv
CAPÍTULO 1 - Alterações nos estoques e na qualidade de matéria orgânica do solo pelo cultivo do cafeeiro. I. Efeito do tempo de cultivo	01
Resumo	01
Abstract.....	02
Introdução	03
Material e Métodos	06
Resultados e Discussão.....	11
Conclusões	23
Literatura Citada	24
CAPÍTULO 2 – Alterações nos estoques e na qualidade da matéria orgânica do solo pelo cultivo do cafeeiro. II. Efeito da poda das plantas (esqueletamento)	29
Resumo	29
Abstract.....	29
Introdução	30
Material e Métodos	33
Resultados e Discussão.....	36
Conclusões	48
Literatura Citada	49
CAPÍTULO 3 - Estoque e qualidade da matéria orgânica em solo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio	53
Resumo	53
Abstract.....	54
Introdução	54
Material e Métodos	56
Resultados e Discussão.....	61

Conclusões	73
Literatura Citada	74
CAPÍTULO 4 – Estoque e qualidade da matéria orgânica em solo cultivado com cafeeiro irrigado e de sequeiro.....	77
Resumo	77
Abstract.....	77
Introdução	78
Material e Métodos	81
Resultados e Discussão.....	84
Conclusões	103
Literatura Citada	104
CONCLUSÕES GERAIS.....	108

RESUMO

GEBRIM, Fabrício de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2010.
Estoques e qualidade da matéria orgânica em solos cultivados com cafeeiro sob diferentes manejos, em regiões de Minas Gerais. Orientador: Roberto Ferreira de Novais. Co-orientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Victor Hugo Alvarez V.

A constituição da matéria orgânica do solo (MOS) é bastante complexa, sendo formada por diversas frações com tempos de residência variando desde meses até milhares de anos. Sua manutenção é relevante para a sustentabilidade da produtividade das culturas. Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar alterações nos estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Lável (CL), Carbono Não-Lável (CNL), Nitrogênio Total (NT) e o Índice de Manejo do Carbono (IMC) no solo e nas frações da Matéria Orgânica Particulada (MOP) e Matéria orgânica Associada aos Minerais (MAM), causadas por diferentes práticas de cultivo do cafeeiro. Avaliou-se também o efeito do tempo de cultivo, do esqueletamento, da densidade de plantio e do cultivo irrigado ou de sequeiro sobre essas formas de MOS. Para a avaliação do efeito do tempo de cultivo, foram selecionadas áreas com cafeeiro com 10 e 30 anos de cultivo na cidade de Araguari-MG (Triângulo Mineiro), tendo a vegetação de Cerrado como referência; em outra região, foram selecionadas áreas com cafeeiros não esqueletado, esqueletado e uma área adjacente de mata, utilizada como referência, na cidade de Machado-MG (Sul de Minas), uma área com diferentes densidades de plantio, com a combinação de dois espaçamentos entre plantas (0,5 e 1,0 m) e três de entrelinhas (1,0; 2,0 e 4,0 m), tendo-se como solo referência uma mata adjacente, sendo essa área localizada na cidade de Martins Soares-MG (Região da Zona da Mata Mineira) e, por último, na região do Vale do Jequitinhonha, na cidade de Capelinha-MG, foram selecionadas áreas com cafeeiro irrigado e de sequeiro e uma área de Cerrado adjacente como referência. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm, na linha e na entrelinha de plantio para as áreas do Triângulo Mineiro, Sul de Minas e Vale do Jequitinhonha, e para a área do Zona da Mata Mineira foram coletadas até 60 cm. Foram determinados os teores totais de COT e NT, CL, CNL e de C e N nas frações MOP e MAM, e, posteriormente, calculados os seus estoques nas camadas analisadas. Para a região do Vale do Jequitinhonha também foi determinada a razão isotópica do $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Observou-se que o cultivo do cafeeiro proporcionou mudanças nos estoques e na qualidade da MOS, sendo que, para a região

do Triângulo Mineiro, Sul de Minas e Vale do Jequitinhonha essas mudanças causaram aumento nos estoques de MOS; porém, para a região da Zona da Mata houve diminuição nos estoques de MOS. Na primeira região (Triângulo Mineiro), o tempo de cultivo do cafeeiro causou aumentos nos estoques de C do solo contribuindo para que o Índice de Manejo do Carbono (IMC) fosse maior que 100 %, até a profundidade 0 a 40 cm, indicando efeito positivo na manutenção da MOS nos solos cultivados com cafeeiro. Por último, o estoque C da MOP foi maior para o cafeeiro Velho (30 anos de cultivo) em relação ao Novo (10 anos de cultivo), indicando que o tempo de cultivo está propiciando um maior aporte de C nesta fração (MOP). Para a segunda área (Sul de Minas), a poda do cafeeiro (esqueletamento) proporcionou aumentos e, ou, a manutenção nos estoques de MOS, de modo particular na entrelinha do tratamento esqueletado, onde houve maior deposição dos resíduos vegetais; todavia, os estoques foram menores na linha, quando comparados à referência (Mata). O IMC da área esqueletada foi superior a 100 % (referência), de modo particular na entrelinha do tratamento esqueletado. Na terceira região (Zona da Mata), os estoques de COT na mata foram superiores em 28 e 29 % aqueles encontrados na linha e entrelinha (respectivamente). Observou-se tendência de maior estoque de C nos espaçamentos mais adensados (1 x 0,5 e 1 x 1 m). Todavia, o IMC foi menor do que 100 % em todos os espaçamentos estudados, tanto na linha quanto na entrelinha. Na última região (Vale do Jequitinhonha), o café irrigado proporcionou aumentos nos estoques de COT, em especial na linha de plantio. O café irrigado também proporcionou aumentos nos estoques de CL, especialmente na entrelinha de plantio. Além disso, o cafeeiro irrigado também proporcionou maiores estoques de C nas frações MOP e MAM. Por último, os valores de δ do ^{13}C (razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) indicou um aporte de C proveniente do cafeeiro na MOS, tanto em relação ao solo quanto às frações da MOP e MAM, em especial no café irrigado. Portanto, os manejos adotados devem ser analisados caso a caso, a fim de se ter previsão sobre alterações nos estoques e na qualidade da MOS.

ABSTRACT

GEBRIM, Fabrício de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2010.
Stocks and quality of organic matter in soils cultivated with coffee under different management, in regions of Minas Gerais. Adviser: Roberto Ferreira de Novais. Co-advisers: Ivo Ribeiro da Silva and Victor Hugo Alvarez V.

The composition of soil organic matter (SOM) is fairly complex, since it consists of various fractions with residence times varying from a few months to thousands of years. This organic matter must be maintained in the interests of sustainable crop yield. Therefore, the aim of this study was to assess changes in stocks of total organic carbon (TOC), labile carbon (LC), non-labile carbon (NLC) and total nitrogen (TN), and changes in the soil carbon management index (CMI) and fractions of particulate organic matter (POM) and mineral-associated organic matter (MAM) brought about by the use of different management practices on coffee plantations. We also assessed the effect on these SOM forms of cultivation time, lateral pruning (esqueletamento), crop density and irrigated or dryland farming. To assess the effect of cultivation time, we selected areas of coffee bushes that had been growing for 10 and 30 years in the town of Araguari (in the region of Minas Gerais state known as the “Triângulo Mineiro”), taking the Cerrado (savanna) vegetation as the reference. In another region we selected areas of coffee bushes, both laterally pruned and not laterally pruned, and an adjacent forest area used as a reference in the town of Machado-MG (Southern Minas), an area in which different planting densities had been used, with a combination of two bush spacings (0.5 and 1.0 m) and three row spacings or interrows (1.0, 2.0 and 4.0 m), with adjacent forest as the reference soil, this area being located in the town of Martins Soares–MG (Region in the “Mata Mineira” Zone). Finally, in the Jequitinhonha Vally region, in the town of Capelinha–MG, we selected areas of irrigated and dryland plantations, using an adjacent Cerrado savanna area as a reference. Soil samples were collected from the interrow at depths of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm in the selected areas in the Triângulo Mineiro, Southern Minas and Jequitinhonha Valley areas. In the “Mata Mineira” Zone we collected samples at a depths of up to 60 cm. Total content figures were determined for TOC and TN, LC, NLC, and C and N in POM and MAM fractions. We then calculated stocks in the layers examined. For the Jequitinhonha Valley region, we also determined the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio. We observed that coffee cultivation brought about changes in the stocks and quality of SOM, increasing SOM stocks in the

Triângulo Mineiro, Southern Minas and Jequitinhonha Valley areas. However, in the Mata Mineira zone, SOM stocks had dropped. In the first region (Triângulo Mineiro), the existence of the coffee plantation had caused an increase in C stocks in the soil, inducing a rise in the Carbon Management Index (CMI) to over 100 % up to a depth of 0 to 40 cm, showing the positive effect of coffee plantations in maintaining SOM. C stocks in POM was higher for older coffee bushes (30 years) than for younger bushes (10 years), indicating that cultivation time does contribute to C stocks in this fraction (POM). In the second area (Southern Minas), lateral pruning increased and/or maintained SOM stocks, especially in the laterally pruned interrow which received higher deposits of plant waste. However, stocks were lower in the row when compared to the reference (Forest). The CMI for the laterally pruned area was above 100 % (reference), especially in the pruned interrow. In the third region (Forest Area), TOC stocks in the forest soil were 28% higher than those found in the plant row and 29 % higher than in the interrow. There was a tendency for C stocks to be higher in more densely planted areas (1 x 0.5 and 1 x 1 m). However, the CMI was below 100 % in all the spacings studied, both in the row and interrow. In the last region (Jequitinhonha Valley), the irrigated plantation increased TOC stocks, especially in the plant row. Irrigated coffee also increased LC stocks, especially in the interrow. In addition, the irrigated coffee also increased C stocks in POM and MAM fractions. Finally, δ values for ^{13}C ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratio) indicated that the C content of the SOM was boosted by the coffee plantation, both in relation to the soil and in POM and MAM fractions, especially where irrigation was used. Therefore, the management systems used must be studied case-by-case if predictions are to be made on alterations in SOM stocks and quality.

INTRODUÇÃO GERAL

Um grande número de estudos tem demonstrado que a intervenção humana nos ecossistemas naturais para implantação de atividades agropecuárias têm impacto negativo no conteúdo e na qualidade da matéria orgânica do solo (MOS). Isso tem levantado vários questionamentos sobre a viabilidade desses sistemas de produção no médio e longo prazos, visto que a MOS é um dos componentes edáficos associado mais diretamente com a sustentabilidade da produção agrícola, face seus efeitos em características físicas, químicas e biológica dos solos. Portanto, o declínio ou acréscimo no conteúdo e qualidade da MOS serve para mensurar o grau de preservação dos ecossistemas naturais e os desequilíbrios dos agroecossistemas.

Tal fato tem levado um grande número de pesquisadores a estudar os impactos das atividades agropecuárias na MOS. Os sistemas de produção com culturas anuais são aqueles mais enfocados em virtude da sua grande extensão, histórico de uso e importância econômica. Resultados desses estudos indicam que as perdas de MOS chegaram a mais de 50 % dos conteúdos iniciais em períodos relativamente curtos (menos que 20 anos), especialmente nos solos de textura mais arenosa e onde se adotaram práticas de manejo com maior revolvimento do solo. Como resultados desses estudos, práticas de manejo mais conservacionistas, tal como o plantio direto, foram testadas e aperfeiçoadas para solos de clima tropical e seu emprego tem resultado numa recuperação gradual no conteúdo e qualidade da MOS, com impacto positivo na produtividade das culturas e qualidade ambiental (Machado & Silva, 2001; Bayer et al., 2004). Esses estudos também demonstraram que não apenas a quantidade, mas também a qualidade da MOS, é alterada pelas práticas de manejo, o que possivelmente alterará seu tempo de ciclagem e potencial de liberação de nutrientes, geração de cargas, agregação do solo, potencial de sustentar a atividade microbiana, agregação regulação dos gases do efeito estufa, etc.

É inegável que muitos desses estudos com solos cultivados com espécies anuais serviram para melhor entender a composição e a dinâmica da MOS e seu comportamento frente às práticas diferenciadas de manejo. Todavia, dada suas particularidades, as culturas perenes podem alterar as propriedades da MOS de maneira diferenciada. Por exemplo, da mesma forma que a adoção do sistema plantio direto com rotação de culturas tem possibilitado uma recuperação gradual do conteúdo da matéria orgânica em solos degradados pelo manejo com revolvimento intensivo do solo (Bayer

et al., 2004), o plantio de eucalipto com cultivo mínimo em solos anteriormente ocupados por pastagens degradadas tem levado a um aumento da MOS ao longo do tempo (Lima et al., 2006).

Infelizmente, poucos são os estudos que têm avaliado o impacto do cultivo de espécies perenes na MOS. No Estado de Minas Gerais, umas das culturas perenes com maior expressão econômica, é o café, com expansão substancial nas últimas décadas, nesse Estado. Tal crescimento elevou o Estado à categoria de maior produtor de café do país, e contribui com aproximadamente 50 % da produção nacional (2.433.746 t em 2009 e 1.197.595 t no Estado de Minas Gerais) (IBGE, 2010).

A despeito da tradição cafeeira e da importância econômica dessa cultura para a economia do país, não existem muitos estudos sistematizados para se avaliar as mudanças ocorridas na MOS após o estabelecimento dos cafezais. Em um dos poucos estudos sobre o assunto, conduzido no Estado de São Paulo, observou-se que o cultivo do cafeeiro por 12 anos em Latossolo Roxo, textura argilosa, levou a um decréscimo de 33 e 9,7 % nos teores da MOS em comparação a cobertura vegetal original (Mata), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente. Paralelamente às perdas em quantidade, houve mudanças significativas na qualidade da MOS, com perdas substanciais das frações mais lábeis e incrementos substanciais na proporção de frações mais recalcitrantes (Marchiori Júnior & Melo, 2000). Pavan & Chaves (1996) verificaram que quanto maior a densidade de plantio do cafeeiro maior o incremento nos estoques de Carbono Orgânico Total (COT) do solo, dado o expressivo aporte de resíduos provenientes de raízes, galhos, folhas e de compostos orgânicos liberados pelas raízes. Rangel et al. (2007) estudaram o efeito de espaçamentos de plantio do cafeeiro nos estoques de COT e N Total (NT) e sobre a distribuição do C em frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho distroférico típico e concluíram que os estoques de COT e NT não foram alterados pelo espaçamento entre plantas e entrelinhas do cafeeiro. Porém, concluíram que os estoques de COT e NT no solo, na entrelinha do cafeeiro foram iguais ou superiores ao na linha (projeção da copa).

O presente estudo teve como objetivo avaliar as alterações nos estoques e na qualidade de diversas frações da MOS, causadas pelo cultivo do cafeeiro com diferentes tempos de cultivo, com ou sem esqueletamento, com diferentes densidades de plantio (espaçamentos) e em cafeeiros irrigados ou não irrigados em diferentes regiões de Minas Gerais.

LITERATURA CITADA

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.E. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:677-683, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201003co mentarios.pdf) consultada em 10/02/2010.

LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; SMYTH, T.J.; MOREIRA, M.S. & LEITE, F.P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in Southeastern Brazil. *For. Ecol. Manag.*, 235:219-231, 2006.

MACHADO, P.L.O.A. & SILVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 61:119–130, 2001.

MARCHIORI JUNIOR, M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.* 35:1177-1182, 2000.

PAVAN, M.A. & CHAVES J.C.D. Alterações na frações de fósforo no solo associadas com a densidade de populacional de cafeeiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:251-256, 1996.

RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1609-1623, 2007.

CAPÍTULO 1: ALTERAÇÕES NOS ESTOQUES E NA QUALIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO PELO CULTIVO DO CAFEIEIRO. I. EFEITO DO TEMPO DE CULTIVO

RESUMO

A matéria orgânica do solo (MOS) é um componente chave para a avaliação do impacto das culturas, no que diz respeito às condições originais do C no solo. Neste contexto, a avaliação do tempo de cultivo de cafeeiros e sua influência nos estoques de MOS é de grande importância para o entendimento da sustentabilidade da produção desta cultura. O presente estudo teve como objetivo avaliar alterações nos estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Lável (CL), Carbono Não – Lável (CNL), Nitrogênio Total (NT) e o Índice de Manejo do Carbono (IMC) no solo e nas frações Matéria Orgânica Particulada (MOP) e Matéria orgânica Associadas aos Minerais (MAM), causadas pelo cultivo do cafeeiro por períodos de tempos diferenciados. Para isso, foram selecionadas áreas na região do Triângulo Mineiro (Araguari – MG) aos 10 (Novo) e 30 anos (Velho) de plantio a cafeicultura, além de uma área adjacente de Cerrado, utilizada como referência. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio. Foram determinados os teores de COT e NT, CL, CNL e de C, N, CL e CNL nas frações MOP e MAM e, posteriormente, calculados os seus estoques nas camadas de solos analisadas. Foi observado aumento do estoque de COT no solo do cafeeiro, em relação ao do Cerrado, principalmente na linha de plantio; nas áreas de café Velho, os estoques de CNL e CL seguiram essa mesma tendência, porém, na entrelinha os estoques de CL foram maiores no café Novo, possivelmente pela maior presença de plantas daninhas na entrelinha. O Índice de Manejo de C (IMC) foi superior a 100 % (valor de referência para a área de Cerrado) nas primeiras camadas estudadas (0-10, 0-20 e 0-40 cm), tanto na linha como na entrelinha de plantio, independente do tempo de cultivo do cafeeiro. O acúmulo de matéria orgânica ocorreu preferencialmente na MAM. O café Velho apresentou os maiores estoques de C na MOP, de CNL na MAM, o que indica a importância do maior tempo de cultivo para o aumento e, ou, estabilização da MOS. Para o N, os estoques foram maiores nos solos com café em relação ao Cerrado, em especial no café Velho. Independente do tempo de cultivo, os estoques de N na MAM no solo com café foram maiores que aqueles encontrados no Cerrado, enquanto que na MOP esses valores não se diferenciaram.

Termos de indexação: *Coffea arabica*, carbono lábil, índice de manejo de carbono, Cerrado

CHANGES IN SOIL ORGANIC MATTER STOCKS AND QUALITY BROUGHT ABOUT BY COFFEE CULTIVATION. I. EFFECT OF CULTIVATION TIME

Abstract: Soil organic matter (SOM) is a key component in assessing crop impact on original C stocks in the soil. In this context, assessing coffee plantation age and its influence on SOM stocks is very important for understanding the sustainability of coffee production. The aim of this study was to assess changes in stocks of total organic carbon (TOC), labile carbon (LC), non-labile carbon (NLC), total nitrogen (TN) and the carbon management index (CMI) in the soil and in particulate organic matter (POM) and mineral-associated organic matter (MAM) fractions, brought about by coffee cultivation over different periods of time. This involved selecting areas in the “Triângulo Mineiro” region (Araguari – MG) with plantations in existence for 10 years (Young Plantation) and 30 years (Old Plantation), as well as an adjacent Cerrado (savanna) area for use as a reference. Samples were collected from layers at depths of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm, both in the row and in the interrow. The samples were examined to obtain content figures for TOC and TN, LC, NLC and C, N, LC and NLC in POM and MAM fractions. Next, stocks figures were calculated for the soil layers examined. An increase in TOC stocks was observed in coffee plantation soil by comparison with Cerrado soil, mainly in the row. In Old Plantation areas, stocks of NLC and LC followed the same trend, but in the interrow LC stocks were greater in the Young Plantation, possibly due to the higher volume of weeds in the interrow. The carbon management index (CMI) was above 100% (Cerrado soil benchmark) in the first layers examined (0-10, 0-20 and 0-40 cm), both in the row and in the interrow, irrespective of the plantation age. The accumulation of organic matter was more marked in MAM. The Old Plantation exhibited greater stocks of C in POM and NLC in MAM, indicating how important plantation age is in increasing or stabilizing SOM. Stocks of nitrogen (N) were greater in coffee plantation soils by comparison with the Cerrado, with a more marked difference in the Old Plantation. Regardless of plantation age, stocks of N in the plantation soil MAM fraction were greater than in Cerrado soil, whereas there was no difference in the figures for POM fractions.

Indexing terms: *Coffea arabica*, labile carbon, carbon management index, Cerrado

INTRODUÇÃO

A falta de estudos relacionando o cultivo do cafeeiro com a dinâmica da Matéria Orgânica do Solo (MOS) tem despertado o interesse de pesquisadores por esse tema, especialmente no que se refere à avaliação de alterações causadas a MOS pelos diferentes manejos adotados nessa cultura e, ou, pela conversão de ecossistemas naturais para sistemas agrícolas.

A substituição de ecossistemas naturais por sistemas agrícolas alteram diretamente as taxas de adição e, ou, de decomposição da MOS (Zinn et al., 2005). Todavia, o impacto dos sistemas de produção com culturas anuais na MOS tem merecido mais estudos em detrimento àqueles com culturas perenes, seja em virtude de sua grande ocupação territorial, histórico de uso mais antigo e, ou, sua importância econômica.

Em solos brasileiros, de acordo com o manejo adotado, as perdas de MOS têm variado de 15 a 50 % num período de 5-15 anos de cultivo (Anghinoni & Nicolodi, 2004), chegando a 80 % em menos de cinco anos, conforme observado por Silva & Resck, 2004. Em áreas de Cerrado, estudos têm mostrado redução expressiva nos teores ou estoques de MOS, aliada principalmente às maiores temperaturas dessa região e, também, ao revolvimento do solo imposto pelo sistema plantio convencional, e com maior exposição da MOS à mineralização (Freixo et al., 2002; Zinn et al., 2002). Todavia, a adoção de práticas de manejo mais conservacionistas tem possibilitado reverter esse quadro, resultando em incrementos significativos no conteúdo de MOS, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (Machado & Silva, 2001; Bayer, 2004).

Assim como as alterações de uso ou de manejo do solo promovem alteração no conteúdo de MOS, há, também, alterações de sua qualidade, especialmente no seu grau de oxidação e labilidade (Blair et al., 1995; Shang & Tiessen, 1997). Sendo o Carbono Lábil (CL) aquele potencialmente mais acessível aos microrganismos do solo, sua determinação torna-se importante ferramenta para se medir o grau de modificação da MOS em solos submetidos a diferentes manejos ou usos.

Procedimentos baseados na oxidação do C pelo permanganato de potássio ($0,333 \text{ mol L}^{-1}$) têm sido aplicados na avaliação da labilidade do C (Blair et al., 1995). Todavia, Shang & Tissen (1997), reduzindo em 10 vezes a concentração dessa solução,

concluíram que a nova concentração ($0,033 \text{ mol L}^{-1}$) era suficiente para oxidar o CL do solo de regiões tropicais.

Rangel et al. (2008a), estudando as frações oxidáveis do COT em Latossolo cultivado com cafeeiro, observaram que o teor de CL na entrelinha de plantio foi, em média, 43 % superior aos teores obtidos nas amostras coletadas na projeção da copa e 29 % maior em relação ao solo de referência (solo sob mata), além de o CL apresentar acréscimos ou decréscimos em um curto espaço de tempo comparativamente ao COT e ao Carbono Não-Lábil (CNL), tornando-se um importante índice na avaliação das mudanças da MOS. Portanto, as formas de CL têm papel relevante em inúmeros processos que acontecem no solo, em especial como promotora da atividade microbiana (Scherer et al., 2007), como fonte de nutrientes para os organismos (Rosa et al., 2003), aumento da CTC do solo (Bayer & Bertol, 1999), aumento da mobilidade no solo de alguns nutrientes como Ca e Mg (Franchini et al., 2003), o que torna a manutenção dos estoques de C, em especial das frações lábeis, primordial para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (Blair et al., 2001; Blair et al., 2006). Da relação entre o estoque de COT e a labilidade do C forma-se um importante índice, o Índice de Manejo de C (IMC), originalmente proposto por Blair et al. (1995), com capacidade de fornecer uma medida para avaliação da capacidade dos sistemas de manejo em promover a qualidade do solo (Blair et al., 1995, 2006; Diekow et al., 2005).

Além da determinação das formas lábeis e não lábeis de C no solo, os métodos de separação física da MOS, baseados na separação por peneiramento (tamanho de partículas) aliado a análises químicas destas frações vêm se firmando como importante ferramenta no estudo da dinâmica da MOS, uma vez que, nessa separação, as alterações químicas são minimizadas, dada a possibilidade de alterações químicas na amostra proporcionadas pelo fracionamento químico. Rangel & Silva (2007), estudando os estoques de C e N do solo e de suas frações num Latossolo, constataram que a maior parte do C estava associada à fração pesada da MOS, chegando a 98 % nos sistemas cultivados com milho.

No fracionamento físico, a matéria orgânica particulada (MOP) destaca-se como forma preferencialmente mineralizável quando há uma intensificação do cultivo nos solos (Hussain et al., 1999; Chan, 2001; Solomon et al., 2002), tornando-se um componente muito sensível às alterações causadas pelos diferentes usos e, ou, manejos aos quais os solos são submetidos.

Besnard et al (1996) constataram um decréscimo na fração MOP de 11 e 68 %, para milho com 7 e 35 anos de cultivo, respectivamente, inferindo que o tempo de cultivo foi preponderante para alterações das frações MOP e MAM (Matéria orgânica Associada aos Minerais) no solo. Six et al. (1999), observando o impacto do cultivo de solos com o sistema plantio direto (SPD), em relação ao convencional, sobre o estoque de C no solo, constataram que a fração mais fina da MOP (53-250 μm) foi 51 % maior no SPD do que no sistema convencional, sendo esta fração responsável por uma diferença de 21 % no COT entre os dois manejos. Esses autores também sugerem que esta fração é uma promotora da formação dos macroagregados do solo, por ser o principal meio da atividade microbiana. De fato, Simpson et al. (2004) demonstraram que a MOS acumulada em solos sob plantio direto encontrava-se principalmente nos microagregados, estes dentro dos macroagregados, e que ela era principalmente de origem microbiana.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos estoques de COT, CNL, CL e NT no solo e nas frações MOP e MAM e o IMC, causadas por diferentes tempos de cultivo do cafeeiro, tendo como referência o solo sob vegetação de Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do estudo e de amostragem

O estudo foi realizado em plantações comerciais de café (*Coffea arabica*) localizadas na região do Triângulo Mineiro, no município de Araguari – MG. O clima pela classificação de Köppen é do tipo Cwa, isto é, clima mesotérmico úmido com seca no inverno e chuva no verão, com temperatura média anual de 22 °C e pluviosidade anual média de 1.500 mm com o Cerrado como cobertura vegetal predominante. O solo das áreas estudadas foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico álico muito argiloso (Quadro 1). Nas áreas de cafeeiro o espaçamento utilizado foi de 4 m na entrelinhas e 0,8 metros entre plantas, utilizando-se a variedade Mundo Novo com produtividade em torno de 100 sacas ha⁻¹. O controle de plantas invasoras foi realizado de duas maneiras mecânico (roçadeira) e químico. Antes da colheita realizava-se a prática da arruação.

Neste estudo, foram selecionadas três áreas: uma com café com 10 anos de implantação (Novo), outra com 30 anos (Velho), e uma área de Cerrado adjacente à área experimental amostrada como referência da condição original do solo (Quadro 2). Foram coletadas amostras compostas de seis amostras simples nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm, com três repetições por unidade de amostragem. Nas áreas de cultivo do cafeeiro (Novo e Velho), amostras foram coletadas tanto na linha como na entrelinha de plantio. Assim, as unidades de amostragem foram: Cerrado, café novo linha, café novo entrelinha, café velho linha e café velho entrelinha.

Em cada unidade de amostragem, foi realizada a abertura de uma trincheira com 1 m de profundidade e, em cada camada de amostragem, foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos para se estimar a densidade do solo para posterior cálculo dos estoques de MOS, tomando como base a massa de solo do Cerrado.

Quadro 1. Características químicas e físicas das amostras dos solos utilizados em diferentes profundidades

Uso do solo	Prof	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	t	V	m	Silte	Argila	Areia grossa	Areia fina
	cm		.....mg dm ⁻³.....				.....cmol _c dm ⁻³.....				.....%.....		.....g kg ⁻¹				
CERRADO	0-10	4,36	1,32	53,70	0,35	0,40	1,08	9,54	0,89	10,42	1,97	8,51	54,92	45,0	500,3	162,3	292,5
CERRADO	10-20	4,30	0,51	32,52	0,04	0,17	0,84	7,56	0,30	7,85	1,14	3,76	73,98	35,6	534,8	155,4	274,3
CERRADO	20-40	4,21	0,13	23,44	0,02	0,11	0,88	7,03	0,19	7,22	1,07	2,63	82,27	27,4	542,7	163,3	266,6
CERRADO	40-60	4,16	nd	20,41	nd	0,10	0,72	6,04	0,15	6,19	0,87	2,47	82,46	27,2	561,9	156,8	254,1
CERRADO	60-80	3,83	nd	19,40	nd	0,05	0,68	5,78	0,10	5,87	0,78	1,67	87,37	16,4	646,8	124,2	212,5
CERRADO	80-100	4,08	nd	20,41	nd	0,05	0,36	5,64	0,10	5,75	0,46	1,78	77,87	1,6	663,6	117,2	217,7
VL	0-10	5,23	217,11	79,92	3,41	5,27	0,36	9,34	8,89	18,23	9,25	48,76	3,89	71,7	686,0	93,5	148,8
VL	10-20	4,69	73,55	87,99	2,23	0,78	0,04	9,01	3,23	12,24	3,27	26,39	1,22	70,4	706,4	82,3	140,9
VL	20-40	4,44	1,52	77,91	0,90	0,40	0,16	7,36	1,50	8,85	1,66	16,89	9,67	53,6	746,3	72,8	127,3
VL	40-60	4,18	3,25	69,84	0,62	0,32	0,36	6,44	1,12	7,55	1,48	14,82	24,33	31,8	750,8	76,4	141,0
VL	60-80	3,90	nd	74,88	0,13	0,13	0,44	5,84	0,45	6,29	0,89	7,12	49,56	35,6	764,1	75,4	124,9
VL	80-100	4,82	nd	90,01	0,47	0,18	0,12	3,53	0,87	4,40	0,99	19,80	12,10	39,8	754,6	73,3	132,2
VEL	0-10	6,59	33,65	109,41	18,59	6,29	0,04	2,81	25,16	27,97	25,20	89,97	0,16	125,3	608,0	98,2	168,6
VEL	10-20	6,29	10,63	107,40	2,88	3,76	0,08	5,05	6,92	11,97	7,00	57,81	1,14	58,5	710,8	85,1	145,7
VEL	20-40	5,62	0,51	101,34	1,29	0,52	0,12	5,25	2,07	7,31	2,19	28,26	5,49	65,5	721,6	75,5	137,4
VEL	40-60	5,23	0,13	65,03	0,71	0,37	0,12	4,72	1,25	5,97	1,37	20,97	8,74	32,2	762,3	71,7	133,9
VEL	60-80	4,88	nd	36,79	0,15	0,14	0,36	3,47	0,38	3,85	0,74	9,90	48,59	26,9	769,4	74,9	128,8
VEL	80-100	4,50	nd	36,79	0,12	0,14	0,04	3,40	0,36	3,76	0,40	9,54	10,04	29,0	765,9	68,4	136,7
NL	0-10	4,54	159,93	103,36	2,52	0,98	0,32	11,72	3,77	15,48	4,09	24,34	7,83	56,5	721,5	88,0	134,0
NL	10-20	4,63	135,44	226,90	1,88	0,62	0,04	9,67	3,08	12,75	3,12	24,16	1,28	53,4	734,0	81,7	130,9
NL	20-40	4,33	10,97	247,07	1,37	0,35	0,32	7,16	2,35	9,51	2,67	24,71	11,99	49,8	753,0	75,0	122,2
NL	40-60	4,12	1,11	184,05	0,47	0,18	0,20	7,03	1,12	8,15	1,32	13,73	15,17	50,3	760,8	70,6	118,3
NL	60-80	3,93	nd	67,05	0,12	0,14	0,04	4,39	0,43	4,82	0,47	8,86	8,57	17,4	790,8	66,4	125,4
NL	80-100	4,48	nd	89,24	0,17	0,13	0,08	2,94	0,53	3,47	0,61	15,29	13,11	9,5	798,6	66,8	125,1
NEL	0-10	6,22	35,70	143,71	16,63	5,65	0,04	3,27	22,65	25,91	22,69	87,39	0,18	112,4	663,7	85,8	138,1
NEL	10-20	6,09	14,30	129,59	2,90	3,41	0,04	4,59	6,64	11,23	6,68	59,14	0,60	37,7	745,6	83,0	133,7
NEL	20-40	4,93	1,52	80,93	1,13	0,47	0,04	6,17	1,81	7,98	1,85	22,71	2,16	55,4	751,5	71,9	121,1
NEL	40-60	4,87	nd	64,79	1,07	0,47	0,12	4,79	1,70	6,49	1,82	26,25	6,58	24,8	784,3	72,8	118,1
NEL	60-80	5,16	nd	41,59	0,56	0,15	0,12	3,20	0,81	4,02	0,93	20,28	12,84	33,4	779,7	67,8	119,2
NEL	80-100	5,31	27,09	67,82	0,57	0,15	0,04	3,14	0,88	4,02	0,92	22,01	4,33	38,1	773,4	72,1	116,4

pH em H₂O – relação 1:2,5. P e K, Extrator: Mehlich 1 (Defilipo & Ribeiro, 1997). Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, Extrator: KCl 1 mol L⁻¹ (Vettori, 1969). H+Al, Extrator: acetato de cálcio 0, 5 mol L⁻¹, pH 7 (Vettori, 1969). Silte, argila, areia grossa e areia fina - Método da pipeta (Ruiz, 2005). nd: não detectado. Cerrado: solo de referência; VL: café velho linha; VEL: café velho entrelinha; NL: café novo linha; NEL: café novo entrelinha.

Quadro 2. Uso atual e histórico dos solos utilizados no estudo

Uso atual	Histórico de uso
Cerrado	Vegetação característica do bioma cerrado, sem histórico de intervenção antrópica.
Cafeeiro novo	Logo após a retirada do Cerrado implantou-se a pastagem no ano de 1985, entrando a cafeicultura nesta área no ano de 1998.
Cafeeiro velho	Implantado em 1979 após a retirada do Cerrado sendo renovado no ano de 2004.

Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT)

As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm, e posteriormente, uma sub-amostra foi passada em peneira de 0,250 mm (60 mesh) para se proceder a análise de COT, determinado conforme o método de Yeomans & Bremner (1988) e de NT pelo método de Kjeldhal.

Carbono oxidável por permanganato de potássio – Carbono Lábil (CL)

Para a determinação do teor de C oxidável por KMnO_4 , denominado de CL, sub-amostra de 1,0 g de solo de cada camada amostrada foi passada em peneira de 0,250 mm e acondicionada em tubo de centrífuga de 50 mL, juntamente com 25 mL de solução de KMnO_4 ($0,033 \text{ mol L}^{-1}$) (Shang & Tiessen, 1997). Imediatamente após a adição do KMnO_4 , os tubos foram agitados horizontalmente a 170 rpm por 1 h e, em seguida, centrifugados a 850 g por 5 min, sempre protegidos da luz. Após centrifugação, pipetaram-se 250 μL do sobrenadante em balões volumétricos de 10 mL, completando seu volume com água deionizada. As dosagens foram realizadas em espectrofotômetro de UV/VIS no comprimento de onda de 565 nm.

O CL foi estimado a partir da equação da curva-padrão, considerando-se o cálculo:

$$\text{CL} = \frac{[y - (a + b \text{ absorbância})] 9 V}{P}$$

Em que CL= em g kg^{-1} ; y = concentração real de KMnO_4 (mol L^{-1}), determinada na padronização do KMnO_4 ; (a + b absorbância) = concentração de KMnO_4 estimada com a leitura da amostra; 9 = massa (g) de C oxidado por 1,0 mol de KMnO_4 ; V=

volume (L) da solução de KMnO_4 em cada tubo; P = massa (g) de amostra adicionada em cada tubo.

A padronização da solução de KMnO_4 $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ foi realizada utilizando-se oxalato de sódio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$).

Carbono Não – Lábil (CNL)

O CNL foi determinado pela diferença entre o C Orgânico Total (COT) menos o C oxidável por KMnO_4 (CL):

$$\text{CNL} = \text{COT} - \text{CL}$$

Em que CNL = em g kg^{-1} ; COT = em g kg^{-1} ; CL = em g kg^{-1} .

Índice do Manejo do Carbono (IMC)

O IMC (%) foi calculado de acordo com Blair et al. (1995),

$$\text{IMC} = \text{ICC} \cdot \text{IL} \cdot 100$$
$$\text{ICC} = \frac{\text{Estoque COT do solo cultivado}}{\text{Estoque de COT do solo de referência}}$$
$$\text{IL} = \frac{\text{L do solo cultivado}}{\text{L do solo de referência}}$$
$$\text{L} = \frac{\text{Estoque de CL}}{\text{Estoque de CNL}}$$

Em que ICC = índice de compartimento do C; IL = índice de labilidade e L = labilidade.

Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

Este fracionamento foi realizado conforme descrito por Cambardella & Elliott (1992) para as duas primeiras camadas amostradas do solo (0 - 10 e 10 - 20 cm). Cinco gramas de solo, passadas em peneira de 2 mm, foram dispersas com 15 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}) por 15 h em agitador horizontal a 120 rpm com temperatura controlada em $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Após a agitação, as amostras foram passadas em peneira com malha de $53 \text{ } \mu\text{m}$ (170 mesh), originando duas frações: Matéria Orgânica

Particulada (MOP) e Matéria orgânica Associada aos Minerais (frações silte e argila) (MAM), sendo a MOP o material que fica retido na peneira e a MAM o material que passa pela peneira. Estas duas frações foram secas em estufa a 60 °C, pesadas e passadas em peneira de 0,149 mm (100 mesh) para posterior análise de COT e NT, o teor de COT foi determinado pelo método de Yeomans & Bremner (1988) e o de NT pelo método de Kjeldhal. Foi determinado também o CL na fração MAM, conforme Shang & Tiessen (1997). O CL da fração MOP foi estimado pela diferença entre o CL do solo e o CL da fração MAM.

Estimativa dos estoques de carbono e nitrogênio no solo e nas frações

Os estoques de COT, CL, CNL e NT tanto no solo quanto nas frações foram obtidos por meio da multiplicação do teor pela massa de solo da vegetação de referência (Cerrado) em cada profundidade estudada. A massa do solo de referência foi obtida por meio da multiplicação da densidade pelo volume de solo.

Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, em cada profundidade do solo estudado, verificando-se o efeito do tempo de cultivo do cafeeiro na linha e entrelinha de plantio sobre os estoques de COT, CNL, CL, NT nos solos e nas frações MOP e MAM e o IMC. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL)

De modo geral, as áreas com o cultivo do café, independente do tempo de implantação, apresentaram estoques mais elevados de COT quando comparadas à área de Cerrado, exceto para o café Novo (10 anos) na camada de 0 – 100 cm que não diferiu ao do Cerrado. Observa-se que o café Velho (30 anos) apresentou maior estoque na camada de 0-100 cm, em contraste ao café Novo, especialmente na linha de plantio, indicando que, maior tempo de cultivo influenciou positivamente os estoques de COT (Figuras 1 e 2).

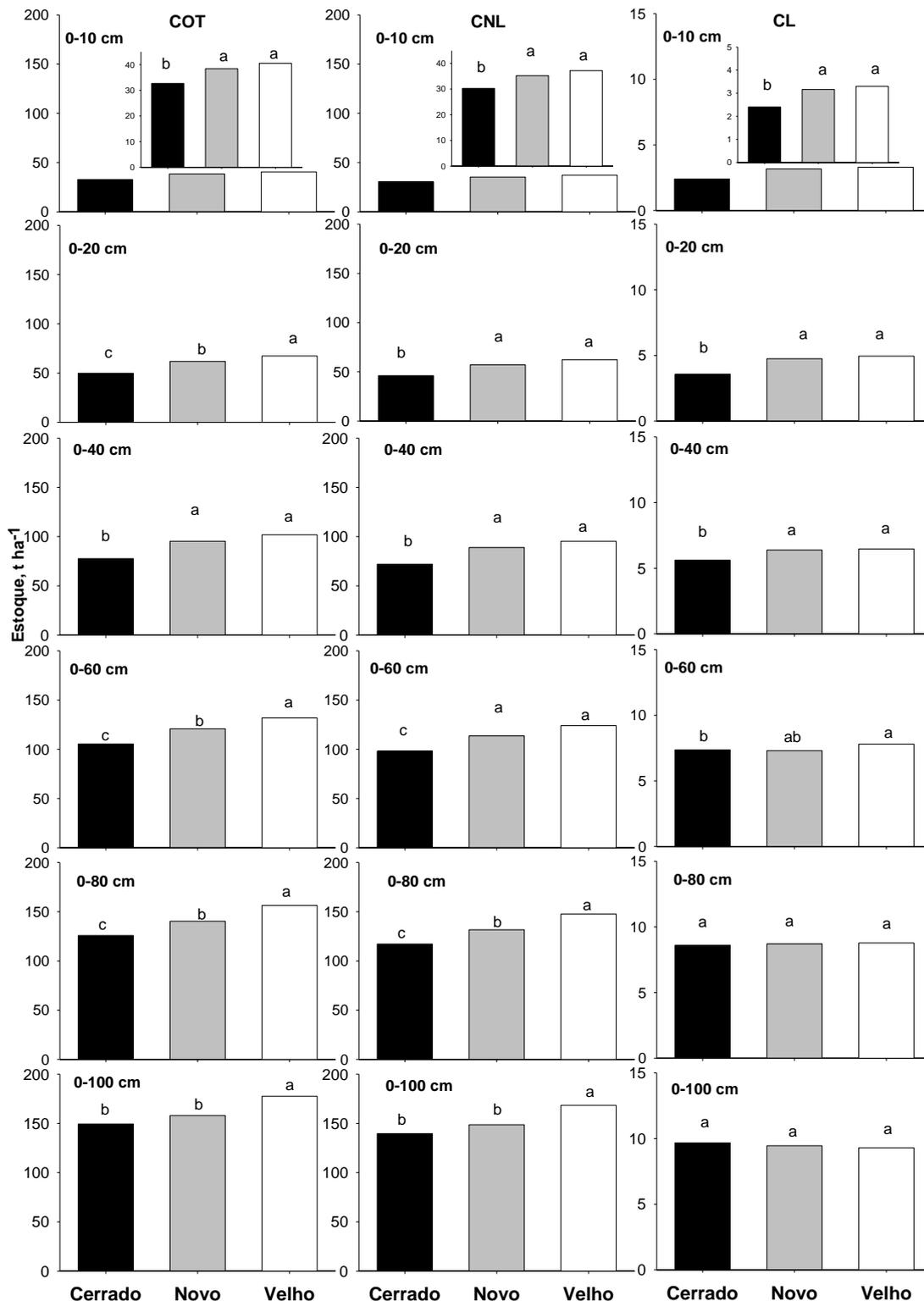


Figura 1. Estoque de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), nos manejos de café Velho (30 anos) e Novo (10 anos) em comparação ao Cerrado, em profundidades distintas do perfil do solo na linha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

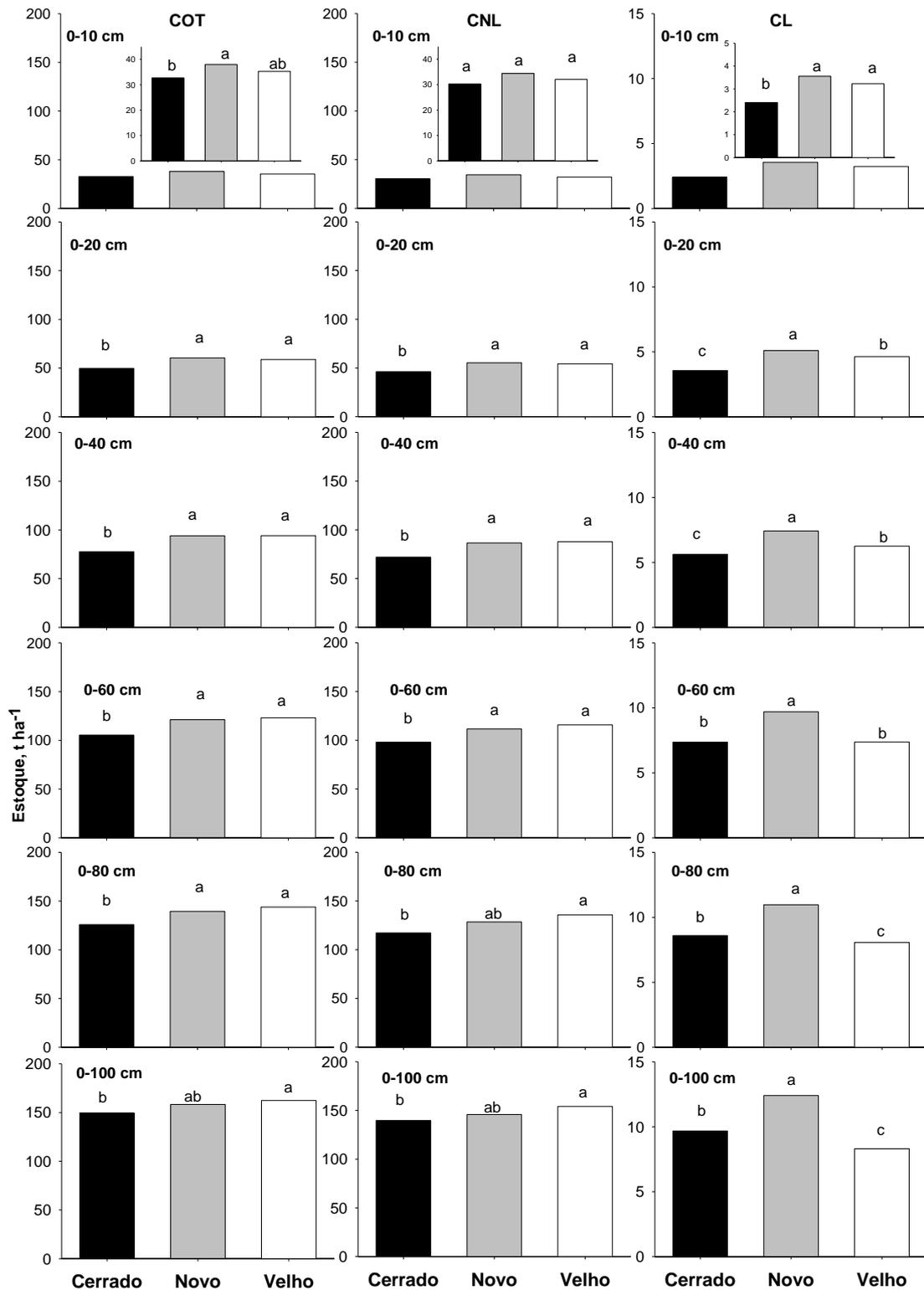


Figura 2. Estoque de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não Nável (CNL) e Carbono Nável (CL), nos manejos de café Velho (30 anos) e Novo (10 anos) em comparação ao Cerrado, em profundidades distintas do perfil do solo na entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na entrelinha do café Velho e do Novo encontram-se estoques estatisticamente não diferentes de COT, os quais foram superiores àqueles encontrados nas áreas de Cerrado, com exceção da primeira profundidade (Figura 2). Este fato deve-se, provavelmente, à maior deposição de resíduo vegetal ao solo pela parte aérea e pelo sistema radicular do cafeeiro. O sistema radicular das culturas apresenta participação significativa na produção da MOS, podendo ser até 30 % maior que a contribuição da parte aérea, além de apresentar tempo médio de residência de até 2,4 vezes maior que o C derivado da parte aérea (Rasse et al., 2005).

Os aumentos médios nos estoques de COT da linha do cafeeiro na profundidade de 0–20 cm foram em média de 35,6 e 24,7 % para o café Velho e Novo, respectivamente, quando comparados ao Cerrado, enquanto na entrelinha esses valores foram de 29,9 e 43,3 %. Esses resultados contradizem dados encontrados na literatura, que mostram redução de 33,1 e 11,5 % nos teores de MOS em solos cultivados com café (na projeção da copa) em comparação à cobertura vegetal original, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (Marchiori Junior & Melo, 2000). Por outro lado, Rangel et al. (2007) observaram que o cultivo do cafeeiro por 11 anos propiciou aumento nos estoques de COT na entrelinha de plantio, corroborado pelo presente trabalho; todavia, esses autores também observaram redução dos estoques de COT na projeção da copa do cafeeiro.

Os estoques de Carbono Não-Lábil (CNL) eram maiores no café Velho em relação ao Novo nas camadas de 0-80 e 0-100 cm, onde os estoques no café Novo não diferiram dos estoques no Cerrado, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio (Figuras 1 e 2), o que evidencia que maior o tempo de cultivo do cafeeiro contribuiu para o aumento nos estoques dessa fração. Essa diferença pode ter sido alcançada pelo aporte de substâncias mais recalcitrantes ao longo do tempo (polímeros orgânicos como lignina, suberinas, resinas e ceras) (Silva & Mendonça, 2007) e, ou, por esta fração da matéria orgânica formada contribuir para a agregação do solo e conseqüente formação de macroagregados, responsáveis pela estabilização da MOS (Six et al., 1999; Bayer & Mielnickzuc, 2008), dado o maior tempo de contato da MOS com os argilominerais nesse solo.

Na linha de plantio, os estoques de Carbono Lábil (CL), independente do tempo de cultivo, foram maiores quando comparados ao Cerrado até a profundidade de 0-60 cm, enquanto que o tempo de cultivo do cafeeiro não influenciou os estoques de CL (Figura 1).

Todavia, na entrelinha os estoques de CL no café Novo foram maiores do que o café Velho em todas as profundidades, exceto na camada de 0-10 cm (Figura 2). Esses maiores estoques de CL na entrelinha podem ter ocorrido dada a presença de plantas invasoras. Atualmente, na área de estudo adota-se o controle mecânico de ervas daninhas (roçadeira) para as duas áreas (Novo e Velho). Com a adoção desse sistema de manejo, os incrementos de CL tornaram-se, possivelmente, mais intensos dada a contribuição dos resíduos, exsudatos radiculares e resíduos da parte aérea das plantas roçadas.

Comparativamente ao Cerrado, os cafezais Velho e Novo apresentaram acréscimos médios de 39,1 e 33,7 % respectivamente nos estoques de CL na camada de 0-20 cm na linha de plantio. Esses efeitos ficaram restritos a camada de 0-60 cm, o que refletiu maior aporte de resíduos da parte aérea e raízes. Andrade et al. (2005) também observaram decréscimos nos dos teores de CL à medida em que se aumentou a espessura da camada do solo analisada. Esses dados corroboram os resultados obtidos por Rangel et al. (2008a), que observaram decréscimos nos teores de CL em solos cultivados com cafeeiro em relação a mata (referência).

Índice de Manejo do Carbono (IMC)

Blair et al. (1995) e Vieira et al. (2007), na busca de uma ferramenta de predição dos impactos causados pela intervenção antrópica nos sistemas agrícolas e na substituição de ecossistemas naturais pela agricultura, propuseram o IMC que avalia características da labilidade da MOS, tendo-se como referência a labilidade da MO de um solo padrão (referência), comparando as mudanças do COT e CL em virtude de alterações de manejo e uso em diferentes sistemas agrícolas.

O princípio de interpretação deste índice baseia-se, principalmente, nos valores de COT e CL do solo referência atribuindo-lhe o valor de $IMC = 100 \%$; valores maiores do que este indicam a capacidade do sistema em estudo em promover a melhoria da qualidade do solo e a sustentabilidade de seu uso agrícola; por outro lado, valores inferiores a 100% são indicativos de impacto negativo das práticas de manejos e, ou, uso na qualidade do solo (Blair et al., 1995).

Os valores de IMC foram superiores a 100% tanto no cafezal Velho quanto no Novo, até a profundidade de 0-40 cm na linha de plantio. A partir dessa camada

(quando se considera camadas mais profundas, 0-60; 0-80 e 0-100 cm), os índices se igualaram a 100 % (Figura 3).

Na entrelinha de plantio, o cafezal Novo apresentou maiores valores de IMC, comparativamente ao Velho, para a maioria das camadas estudadas. Esses valores podem ser atribuídos à maior contribuição dos resíduos das ervas daninhas propiciando valores mais elevados do IMC para o café Novo em relação ao café Velho.

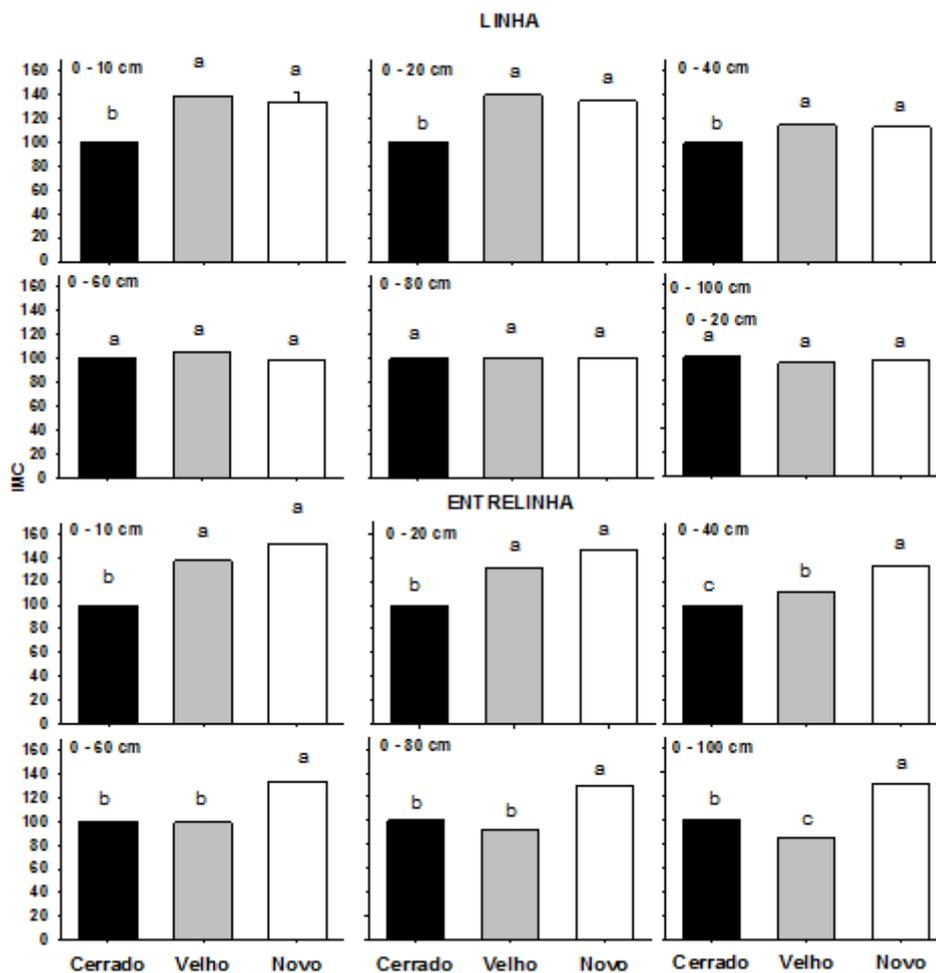


Figura 3. Índice de Manejo do Carbono (IMC), nos manejos de café Novo (10 anos) e Velho (30 anos) em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Carbono associado às frações Matéria Orgânica Particulada (MOP) e Matéria orgânica Associada aos Minerais (MAM)

Os estoques de C na MOP (>53 μm) foram de 15,7; 8,6 e 6,9 t ha^{-1} para o café Velho, Novo e Cerrado, respectivamente na profundidade de 0-20 cm (Figura 4). Assim, o café Velho apresentou os maiores estoques de C na MOP, indicando que nessa área, essa fração da MOS encontra-se mais protegida, o que está de acordo com os dados observados por Rangel & Silva (2007) para a cultura do eucalipto e pinus.

Os estoques de C na MAM na entrelinha do cafeeiro foram maiores em relação ao Cerrado, independente do tempo de cultivo, nas duas profundidades estudadas (0-10 e 0-20 cm) (Figura 5), enquanto que para o C na MOP só houve diferença na primeira camada amostrada, com o maior valor para o cafezal Velho.

Nos solos estudados, o acúmulo de matéria orgânica ocorreu preferencialmente na MAM, evidenciado pela maior proporção do COT nessa fração (Figura 6). Isso corrobora com o trabalho de Christensen (1992), que atribuiu à fração areia uma reduzida superfície específica e densidade de carga superficial, o que leva à pequena quantidade de material orgânico fortemente ligado a essa fração e, portanto, dos complexos organominerais formados. Zinn et al. (2007) relatam que a capacidade de estocar C nas frações silte e argila está intimamente relacionada com suas superfícies específicas. Na entrelinha, a contribuição relativa da MAM para os estoques de COT do solo foi de 72,2; 81,9 e 80,5 % para o café Velho, Novo e Cerrado, respectivamente (Figura 6). Por outro lado, na linha de plantio e na camada de 0-10 cm, o café Velho apresentou a maior contribuição no estoque de C na MOP (27,8 %) em relação ao Novo (18,1 %) e ao Cerrado (19,5 %) (Figura 6), evidenciando que o maior tempo de cultivo aliado ao maior aporte de resíduos, tanto daqueles oriundos do café quanto das ervas daninhas, contribui para o aumento e participação da MOP em detrimento a da MAM para o COT do solo ao longo do tempo. Cabe ressaltar que a MOP é citada por diversos autores como fração muito sensível às alterações de manejo e de uso do solo (Koutika et al., 1999; Bayer et al., 2004; Rangel & Silva, 2007; Mirsky et al., 2008).

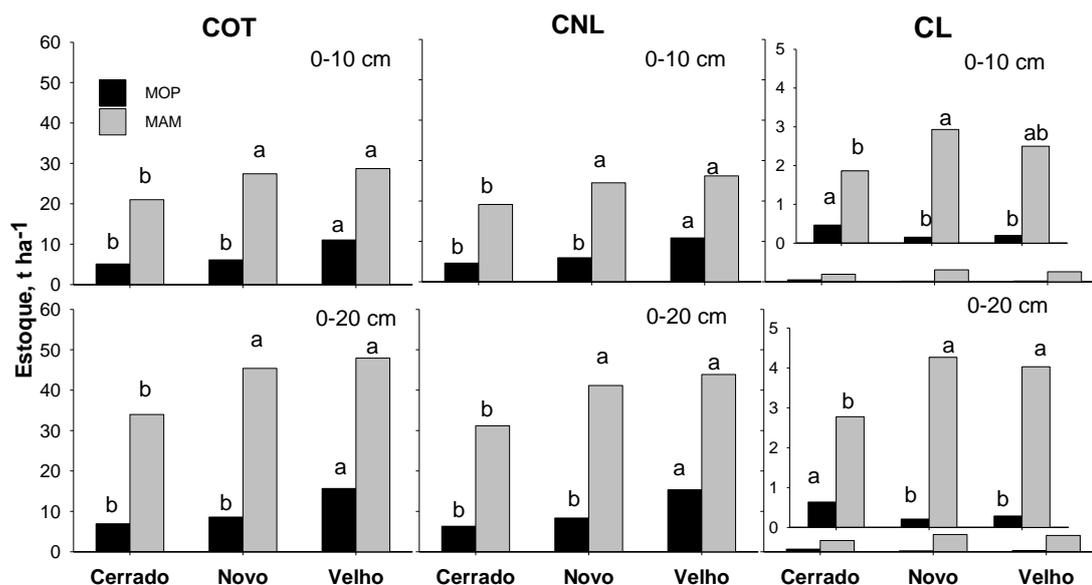


Figura 4. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), nos manejos de café Velho (30 anos) e Novo (10 anos) em comparação ao Cerrado, em profundidades distintas do perfil do solo na linha de plantio, nas frações MOP e MAM. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

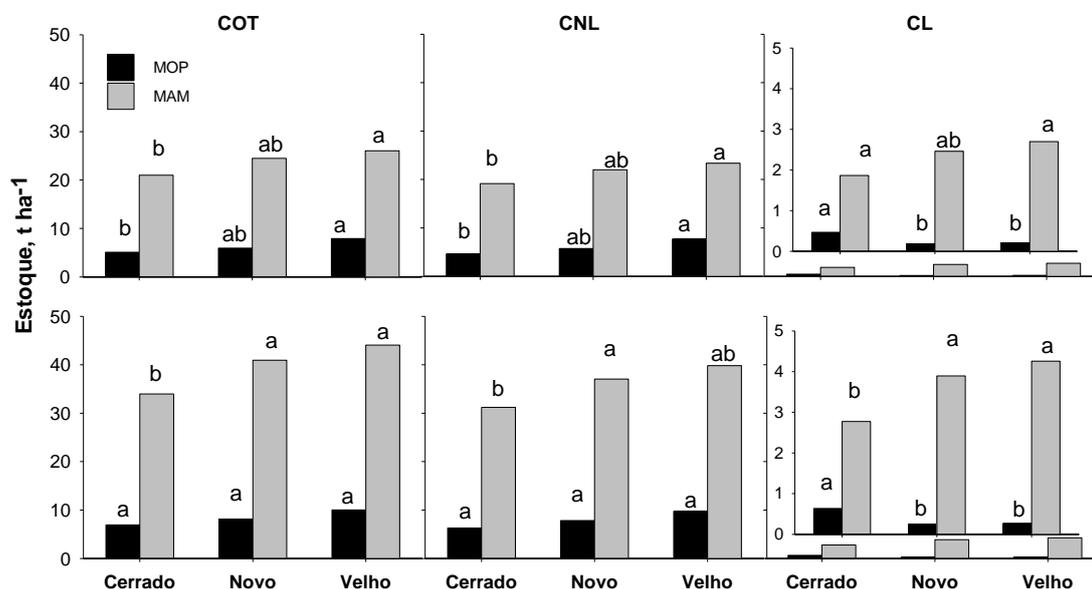


Figura 5. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), nos manejos de café Velho (30 anos) e Novo (10 anos) em comparação ao Cerrado, em profundidades distintas do perfil do solo na entrelinha de plantio, nas frações MOP e MAM. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

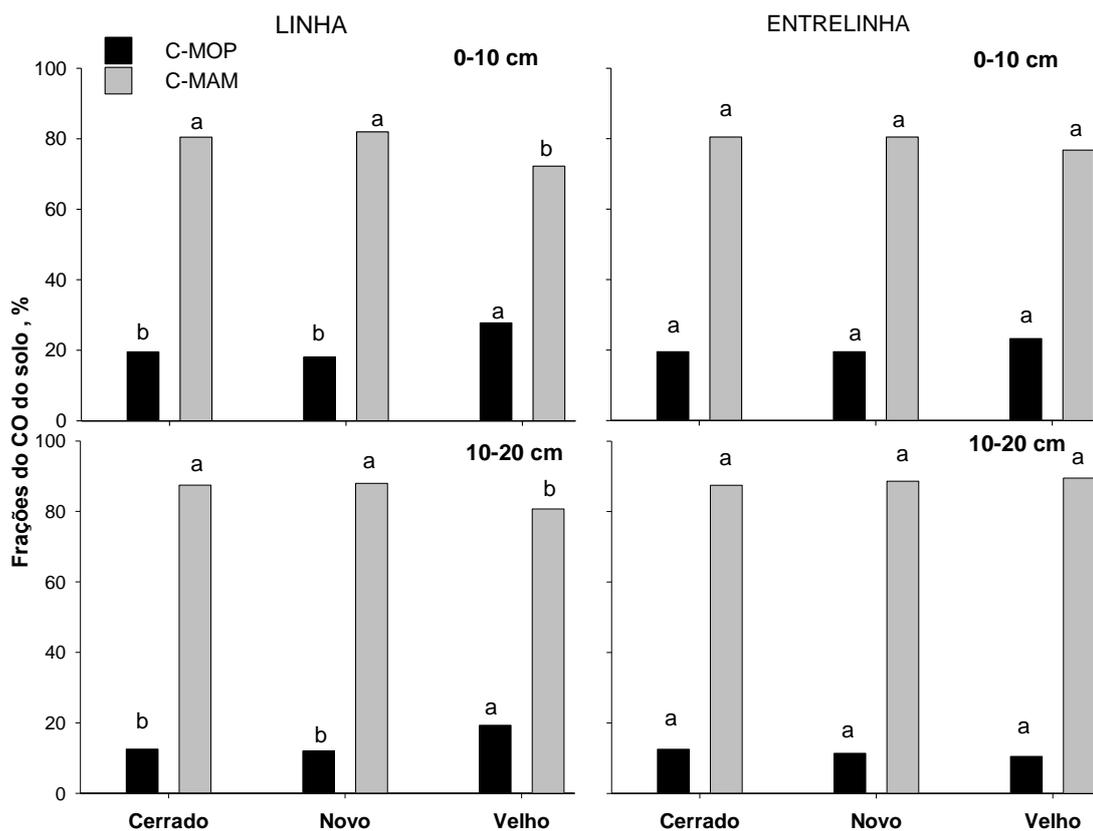


Figura 6. Percentagem na contribuição das frações do Carbono Orgânico Total (COT) do solo, nos manejos de café Novo (10 anos) e Velho (30 anos) em comparação ao Cerrado, em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio.

Carbono oxidado por permanganato de potássio (Carbono Lábil - CL) e Carbono Não-Lábil (CNL) associado às frações Matéria Orgânica Particulada (MOP) e Matéria orgânica Associada aos Minerais (MAM)

Quando comparados ao Cerrado, os estoques de CL na MOP dos solos sob o cultivo do cafeeiro foram menores para as duas profundidades estudadas, independentemente do tempo de cultivo (Figura 4), resultado esse que se manteve para a entrelinha de cultivo (Figura 5). Resultados semelhantes foram também observados por Cambardella & Elliott (1994), em diferentes sistemas agrícolas. Cabe ressaltar que a contribuição do CL é pequena quando comparada ao do CNL para o estoque total de COT para esse solo.

A contribuição da MAM para o estoque de CL foi maior do que a da MOP, assim como o que foi observado para o COT (Figura 6). Freixo et al. (2002) também observaram que a maior parte do COT estava associada a frações granulométricas mais

finas (60-90 %); porém, no caso do CL as diferenças de tempo de implantação não foram significativas.

Os maiores estoques de CNL também ocorreram na MAM, independente do tempo de cultivo do cafeeiro, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio (Figuras 4 e 5) e, semelhantemente aos estoques de COT, o estoque de CNL tendeu a ser maior no café Velho, o que novamente ressalta a importância do tempo de implantação da cultura do café para a maior proteção do COT do solo.

Estoque de Nitrogênio Total (NT)

Quando comparados às áreas de Cerrado, os estoques de NT nas áreas sob cultivo do cafeeiro foram maiores apenas na linha de plantio, independente da idade do café, fato que não ocorreu na entrelinha, onde ambos não diferiram daqueles do Cerrado (Figura 7). Esse maior estoque de NT na linha do plantio evidencia que o maior tempo de cultivo possibilitou uma maior estabilização do N ao solo e, conseqüentemente, maior resiliência dessa forma de N no sistema. Porém, na linha do café Novo e nas maiores profundidades (0-60, 0-80 e 0-100 cm) os estoques de NT igualaram-se aos do Cerrado, provavelmente devido ao fato de o tempo de cultivo ainda não ter sido suficiente para elevar estes estoques nas camadas mais profundas. Na entrelinha, não houve diferença entre os estoques de NT no solo do café Velho e Novo em todas as camadas amostradas, o que indica que, para região estudada, o tempo de cultivo não influenciou os estoques de NT do solo. Rangel et al. (2008b), contrariamente ao observado no presente trabalho, observaram aumentos nos teores de NT na entrelinha.

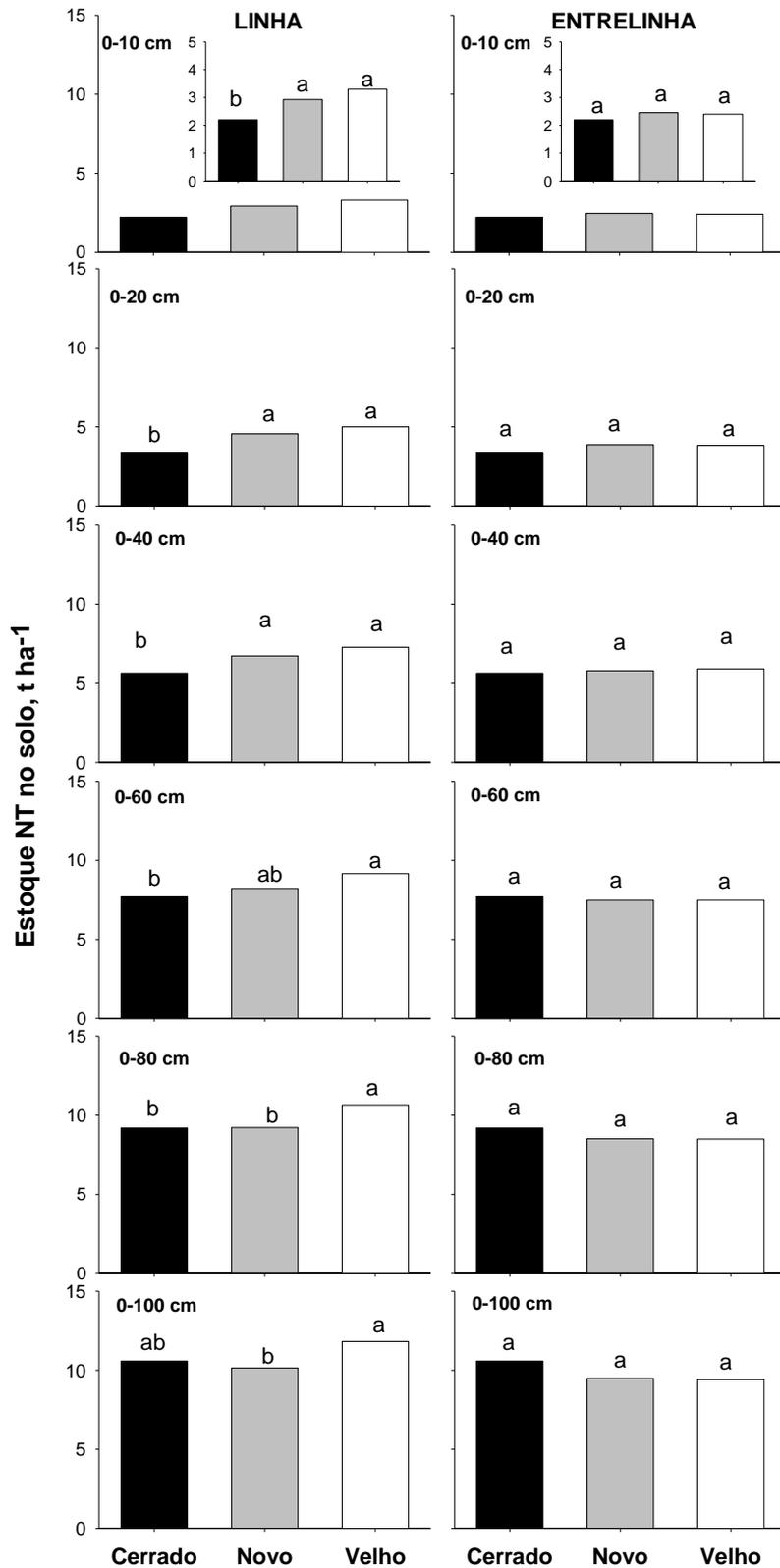


Figura 7. Estoques de Nitrogênio Total (NT), nos manejos de café Novo (10 anos) e Velho (30 anos) em comparação ao Cerrado, em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nitrogênio associado às frações MOP e MAM

Na linha de plantio os estoques de N na MAM, independente do tempo de cultivo do cafeeiro, foram maiores do que aqueles encontrados no Cerrado; porém, esses valores não diferiram para a MOP para as duas camadas estudadas (Figura 8). Essa mesma tendência foi observada para essas frações MAM e MOP na entrelinha de plantio.

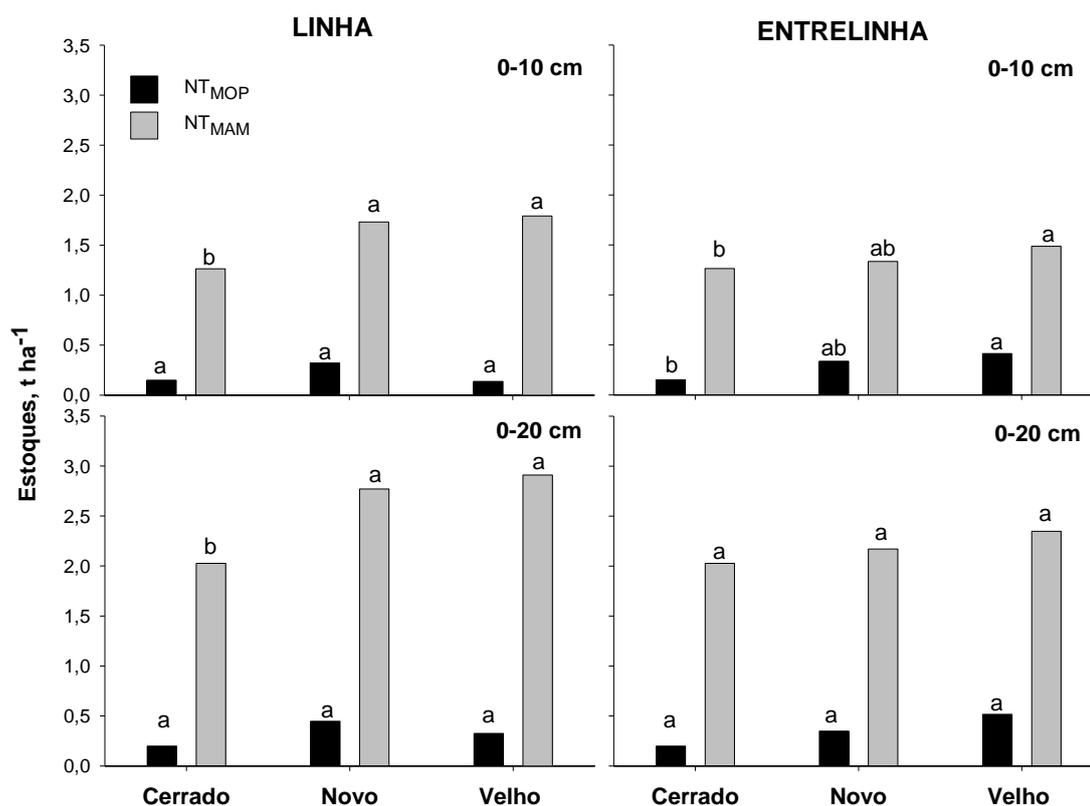


Figura 8. Estoques de Nitrogênio Total (NT), nos manejos de café Novo (10 anos) e Velho (30 anos) em comparação ao Cerrado, em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio, nas frações MOP e MAM. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

1. O tempo de cultivo do cafeeiro causa aumentos nos estoques de COT do solo.
2. O Índice de Manejo do Carbono (IMC) são maiores que 100 % até a profundidade 0 a 40 cm, indicando efeito positivo na preservação da MOS nos solos cultivados com cafeeiro.
3. O C da Matéria Orgânica Particulada (MOP) é maior para o cafeeiro Velho em relação ao Novo, indicando que o tempo de cultivo está propiciando um aporte de C nesta fração.
4. A contribuição Matéria orgânica Associada aos Minerais (MAM) nos estoques de C são maiores em todos os usos estudados comparativamente ao solo de Cerrado.
5. Os estoques de NT do solos com cafeeiro são superiores em relação ao Cerrado e, o tempo de cultivo contribuiu para o aumento dos estoques de N, em especial na linha de plantio e nas camadas mais profundas.
6. O NT das frações MAM e MOP do solo não são diferentes nas áreas sob o cafeeiro, independente do tempo de cultivo.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, C. & CERRI, C.C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com bio sólido e cultivado com eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 29:803-816, 2005.
- ANGHINONI, I. & NICOLODI, M. Estratégias de calagem no sistema plantio direto. Fertbio 2004, Lages SC, Palestras; Julho 2004. CD-ROM.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 23:687-694, 1999.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais, Metrópole, Porto Alegre, 2008, 7-16p.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.E. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 39:677-683, 2004.
- BESNARD, E.; CHENU, C.; BALESSENT, J.; PUGET, P. & ARROUAYS, D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. Europ. J. Soil Sci., 47:495-503, 1996.
- BLAIR, G.J., LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. Aust. J. Agric. Res., 46:1459-1466, 1995
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.; WHITBREAD A.; BLAIR N. & CONTEH, A. The development of the KMnO_4 to determine labile carbon in soil and its use in a carbon management index. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F., & STEWART, D.B.A. eds. Assessment methods for soil carbon. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. p. 323-337, 2001.

- BLAIR, N.; FAULKNER, R.D.; TILL, A.R. & CROCKER, G.J. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part III. Tamworth crop rotation experiment. *Soil Till. Res.*, 91:48–56, 2006.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:123-10, 1994
- CHAN, K.Y. Soil particulate carbon under different land use and management. *Soil use and Management*, 17:217-221, 2001.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *Eur. J. Soil Sci.*, 52:345-353, 2001.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 26p. (Boletim de Extensão, 29)
- FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Organic composition of green manures during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Com. Soil Sci. Plant Anal.*, 34:2045-2058, 2003.
- FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. *Soil Till. Res.*, 2005.
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A. & FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:425-434, 2002.
- GREGORICH, E.H., ROCHETTE, P., VANDENBYGAART, A.J. & ANGERS, D.A. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil Till. Res.*, 2005.

- HUSSAIN, I; OLSON, K.R. & EBELHAR, S.A. Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63: 1335-1341, 1999.
- KOUTIKA, L.S.; ANDREUX, F.; HASSINK, J.; CHONÉ, T. & CERRI, C.C. Characterization of organic matter in topsoils under rain forest and pasture in the Eastern Brazilian Amazon Basin. *Biol. Fertil. Soils*, 29:309-313, 1999.
- MACHADO, P.L.O.A. & SILVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 61:119–130, 2001.
- MARCHIORI JUNIOR, M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetidos a diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.* 35:1177-1182, 2000.
- MIRSKY, S.B.; LANYON, L.E. & NEEDELMAN, B. A. Evaluating soil management using particulate and chemically labile soil organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72:180-185, 2008.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1609-1623, 2007.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. & GUIMARÃES, P.T.G. Estoques e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1341-1353, 2007.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. & GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciênc. Agrotec.*, 32:429-337, 2008a.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G.; MELO, L.C.A. & OLIVEIRA JUNIOR, A.C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com espaçamentos de plantio de cafeeiro. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:2051-2059, 2008b.

- RASSE, D.P.; RUMPEL, C. & DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant Soil*, 269:341-356, 2005.
- ROSA, M.E.C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M. & CORREIA, J.R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho eutroférico sob plantio direto no sistemabiogeográfico do Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:911-923, 2003
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:297-300, 2005.
- SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T. & NESI, C.S. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco suíno. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:123-131, 2007.
- SHANG, C. & TIESSEN, H. Organic matter lability in tropical Oxisol: Evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, and magnetic fractionations. *Soil Sci.*, 162:795-807, 1997.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H., BARROS, N.F.; FONTES, R.LF.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. *Fertilidade do Solo*, SBCS, Viçosa, 2007, 276-374p.
- SIMPSON, R.T.; FREY, S.D.; SIX, J & THIET, R.K. Preferential accumulation of microbial carbon in aggregate structures of no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:1249–1255, 2004.
- SIX, J.; ELLIOTT, E. T. & PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1350-1358, 1999.
- SOLOMON, D.; FRITZSCHE, F.; LEHMANN, J.; TEKALIGN, M. & ZECH, W. Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian highlands: Evidence from natural ¹³C abundance and particle-size fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:969-978, 2002.

- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.
- VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J. & HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil Till. Res.*, 96: 195–204, 2007.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7)
- ZINN, Y.L.; RESCK, D.V.S. & SILVA, J.E. Soil organic carbon as affected by afforestation with eucalyptus and pinus in the Cerrado region of Brazil. *For. Ecol. Manag.*, 166:285-294, 2002.
- ZINN, Y.L.; LAL, R. & RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brasil. *Soil Till. Res.*, 84: 28-40, 2005.
- ZINN, Y.L.; LAL, R., BIGHAM, J.M. & RESCK, D.V.S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in Brazilian Cerrado: Texture and Mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 71:1204-1214, 2007.

CAPÍTULO 2: ALTERAÇÕES NOS ESTOQUES E NA QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO PELO CULTIVO DO CAFEIEIRO. II. EFEITO DA PODA DAS PLANTAS (ESQUELETAMENTO)

RESUMO

A constituição da matéria orgânica do solo (MOS) é bastante complexa, sendo formada por diversas frações com tempos de residência variando desde meses até milhares de anos. Sua manutenção é muito relevante para a sustentabilidade da produtividade das culturas no médio e longo prazo. Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Lável (CL), Carbono Não-Lável (CNL), Nitrogênio Total (NT) e o Índice de Manejo do Carbono (IMC) no solo e nas frações da Matéria Orgânica Particulada (MOP) e Matéria orgânica Associada aos Minerais (MAM), causadas pelo cultivo do cafeeiro bem como avaliar o efeito do esqueletamento nessas formas de MOS na região sul do Estado de Minas Gerais (Machado–MG). Foram selecionadas áreas com cafeeiro não esqueletado, esqueletado e uma área adjacente de mata (M), utilizada como referência. As amostras foram coletadas nas camadas de solo de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm, na linha e na entrelinha de plantio. Foram determinados os teores totais de C e N, CL, CNL, C e N nas frações MOP e MAM, e, posteriormente, calculados os seus estoques nas camadas analisadas. A manutenção dos restos vegetais provenientes do esqueletamento do cafeeiro é importante para a manutenção e, ou, aumento nos estoques de MOS, aliado, de modo particular, aos aumentos dos estoques das frações mais lábeis da MOS e do IMC.

Termos de indexação: frações da MOS, Índice de manejo de carbono, poda do cafeeiro.

CHANGES IN STOCKS AND QUALITY OF SOIL ORGANIC MATTER INTRODUCED BY COFFEE CULTIVATION. II. EFFECT OF LATERAL PRUNING

Abstract: The composition of soil organic matter (SOM) is fairly complex, since it consists of various fractions with residence times varying from a few months to

thousands of years. This organic matter must be maintained in the interests of sustainable crop yield in the medium and long term. Therefore, the aim of this study was to assess changes in stocks of total organic carbon (TOC), labile carbon (LC), non-labile carbon (NLC), total nitrogen (TN), the carbon management index (CMI) and fractions of particulate organic matter (POM) and mineral-associated organic matter (MAM) brought about by coffee growing, and to assess the effect of lateral pruning on these forms of SOM in the south of Minas Gerais state, Brazil (Machado–MG). We selected unpruned and pruned coffee plantation areas and an adjacent forest area (F) for use as a reference. Samples were collected in soil layers at depths of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm, in both the row and interrow. Total content figures were determined for C, N, LC and NLC, and C and N in POM and MAM fractions, and stocks calculated for the layers analyzed. Not removing the waste resulting from pruning coffee bushes is important for maintaining and/or increasing SOM stocks, and especially for boosting stocks of the more labile fraction of SOM and boosting the CMI.

Indexing terms: SOM fractions, carbon management index, coffee bush pruning.

INTRODUÇÃO

Um grande número de estudos tem demonstrado que a intervenção humana nos ecossistemas naturais para implantação de atividades agropecuárias causa redução nos teores e, ou, estoques da matéria orgânica do solo (MOS). Isso tem levado a vários questionamentos sobre a viabilidade desses sistemas de produção no médio e longo prazo, visto que a MOS é um dos componentes edáficos associado mais diretamente à sustentabilidade da produção agrícola, face seus efeitos em características físicas, químicas e biológicas dos solos (Lal, 2005; Silva & Mendonça, 2007; Bayer & Milniczuk, 2008). Neste contexto, os declínios ou acréscimos nos estoques de MOS contribuem para mensurar o grau de preservação dos ecossistemas naturais e os desequilíbrios dos agroecossistemas (Stevenson, 1994).

Vários autores têm observado que a substituição da pastagem nativa e florestas naturais por sistemas agrícolas pode levar a uma redução no estoque de C de compostos orgânicos (CO) do solo, em resposta à aceleração na taxa de decomposição, maior

aeração e maior exposição física da MOS aos microrganismos decompositores (Zinn, et al., 2002; Zinn et al., 2005; Silva & Mendonça, 2007).

Estudos mostram que alterações nos teores e, ou, estoques de COT no solo dependem de vários fatores, dentre eles destacam-se o manejo adotado nos diferentes ecossistemas (Mendham et al., 2002; Lal, 2005), técnicas de cultivo que resultem em revolvimento do solo (Bayer et al, 2006; Zinn et al., 2007), relação raiz parte aérea (Rasse et al., 2005) e capacidade da cultura em aportar resíduos no solo, aliados a não retirada desses resíduos da área (Silva et al., 2004).

Além desses fatores, Feller & Beare (1997) relatam que a dinâmica das frações da MOS está intimamente ligada à textura do solo, em que solos com maior proporção de CO associada a fração areia ($> 53\mu\text{m}$ (270 mesh)) têm maior predisposição a mudanças na MOS, dada a maior fragilidade (labilidade) do C dessa fração, constituído, preferencialmente, por resíduos vegetais facilmente mineralizáveis (Freixo et al., 2002), e também pela reduzida superfície específica e densidade de carga superficial da fração areia, o que implica poucos complexos argilominerais nessa fração (Christensen, 1992). Em contrapartida, nos solos argilosos a maior proporção do CO encontra-se intimamente associada à fração silte + argila dada a maior superfície específica e capacidade de formar complexos argilominerais dessa fração (Zinn et al., 2007).

As formas mais lábeis de CO também têm grande importância nos processos de formação e estabilização de agregados, muito embora os estudos se concentrem mais nas substâncias húmicas e suas relações com o material mineral (Rosa et al., 2003). O Carbono Lábil (CL) é considerado o C oxidável por uma solução de permanganato de potássio ($0,033 \text{ mol L}^{-1}$), em virtude da sua correlação com o C oxidado por microrganismos do solo, medido pela evolução do CO_2 . Blair et al. (1995), utilizando essa medida de CL em solos cultivados da Austrália, observaram que a redução do teor de C oxidável foi proporcionalmente maior que a redução do teor de C total, podendo este C oxidável atuar como indicador das mudanças atribuídas ao cultivo. O estoque de CO e a labilidade do C influenciam diretamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Addiscott, 1995; Blair & Crocker, 2000). Assim, a integração do estoque de COT e a labilidade do C torna-se importante Índice de Manejo de C (IMC), originalmente proposto por Blair et al. (1995). Esse índice é capaz de fornecer uma medida da capacidade dos sistemas de manejo em promover a qualidade do solo (Blair et al., 1995, 2006a, b; Diekow et al., 2005).

Infelizmente, poucos são os estudos que relatam o impacto do cultivo do cafeeiro sobre a MOS. Todavia, em cultivos de ciclos mais longos, como é o florestal, a MOS apresenta-se como uma das características estreitamente relacionadas à sustentabilidade de seu crescimento (Mendham et al., 2004).

Todavia, estudos que relacionam a influência do esqueletamento e, ou, recepa do cafeeiro, causados por geadas ou chuvas de granizo ou por recomendada renovação da lavoura, com os estoques de MOS não são comuns na literatura, bem como aqueles relacionados ao impacto do manejo dos resíduos dessa cultura nos estoques de COT e NT.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar as alterações nos estoques e na qualidade da MOS ocasionadas pelo esqueletamento do cafeeiro.

MATERIAL E METODOS

Local do estudo e amostragem

O estudo foi realizado em uma área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizada em uma propriedade particular, no município de Machado-MG. O solo das áreas estudadas é um Latossolo Vermelho distroférico típico (Quadro 1).

Para este estudo foram selecionadas três áreas: uma com cafeeiro não esqueletado (NE), outra com cafeeiro esqueletado (E) e uma área de Mata (M), adjacente à área experimental, amostrada como referência da condição original do solo (Quadro 2). As áreas de cafeeiro foram cultivadas com a variedade Mundo Novo, os espaçamentos utilizados foram de 3 x 1 e 4 x 0,75 m para os tratamentos E e NE, respectivamente.

As amostras de solo compostas (sendo cada amostra composta proveniente de seis amostras simples) foram coletadas nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm com três repetições. Nas áreas com a cultura do cafeeiro a amostragem foi realizada tanto na linha quanto na entrelinha. Em cada tratamento (E, NE e M), foi realizada a abertura de uma trincheira com 1 m de profundidade coletando-se amostras indeformadas para posterior estimativa da densidade do solo e cálculo dos estoques de C tomando como base a massa de solo da mata.

Foram determinados Carbono Orgânico Total (COT), N total (NT), C oxidável por permanganato de potássio ou Carbono Lábil (CL), Carbono Não-Lábil (CNL) e Índice do Manejo do Carbono (IMC). Foi também realizado o fracionamento físico da MOS segundo Cambardella & Elliott (1992) para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, determinando-se os estoques de C e N no solo e nas frações. Detalhes dos procedimentos analíticos adotados são apresentados no capítulo anterior.

Quadro1. Características químicas e físicas das amostras dos solos utilizados em diferentes profundidades

Uso do solo	Prof	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	t	V	m	Silte	Argila	Areia grossa	Areia fina
	cm		.....mg dm ⁻³.....				.....cmolc dm ⁻³.....				.....%.....	.....g kg ⁻¹					
Mata	0-10	3,57	1,52	54,71	nd	0,16	2,12	11,65	0,30	11,95	2,42	2,50	87,65	40,1	567,5	291,7	100,7
Mata	10-20	3,63	0,32	40,59	nd	0,13	1,20	12,18	0,24	12,41	1,44	1,90	83,56	32,0	594,4	269,7	103,9
Mata	20-40	3,76	nd	27,47	nd	0,10	0,96	9,60	0,17	9,78	1,13	1,77	84,71	16,1	640,8	240,2	102,9
Mata	40-60	3,81	nd	17,39	nd	0,08	0,96	8,35	0,13	8,47	1,09	1,48	88,44	27,3	651,1	219,7	101,8
Mata	60-80	4,03	nd	5,28	nd	0,05	0,92	5,05	0,06	5,11	0,98	1,22	93,65	18,0	670,9	204,1	107,0
Mata	80-100	4,10	nd	3,27	nd	0,04	0,88	5,78	0,05	5,83	0,93	0,86	94,62	21,6	680,0	197,2	101,2
CEEL	0-10	5,28	25,57	54,71	2,73	3,95	0,40	10,33	6,82	17,15	7,22	39,78	5,54	63,4	591,3	245,0	100,3
CEEL	10-20	5,07	3,71	50,67	3,30	0,84	0,40	8,55	4,27	12,81	4,67	33,30	8,57	28,5	632,1	238,3	101,2
CEEL	20-40	4,99	1,94	39,58	2,71	0,62	0,28	7,95	3,43	11,38	3,71	30,14	7,54	33,7	630,7	233,6	102,1
CEEL	40-60	4,55	0,71	24,45	1,45	0,33	0,60	7,49	1,84	9,33	2,44	19,73	24,58	24,1	636,8	238,4	100,7
CEEL	60-80	4,25	nd	36,55	0,66	0,38	0,56	5,91	1,14	7,05	1,70	16,16	32,97	16,7	645,5	241,0	96,8
CEEL	80-100	4,27	nd	6,29	0,82	0,54	0,48	5,84	1,38	7,22	1,86	19,13	25,79	37,0	651,6	215,8	95,5
CEL	0-10	5,02	4,91	180,02	2,53	1,06	0,36	7,56	4,05	11,61	4,41	34,89	8,16	44,7	650,7	211,0	93,6
CEL	10-20	4,19	0,51	175,98	0,53	0,29	0,64	9,34	1,27	10,61	1,91	11,94	33,56	45,4	633,9	212,0	108,6
CEL	20-40	4,16	0,13	127,57	0,46	0,25	0,68	7,62	1,04	8,66	1,72	11,98	39,60	47,7	642,3	213,6	96,4
CEL	40-60	3,91	0,13	119,50	0,20	0,19	0,52	7,23	0,70	7,93	1,22	8,88	42,48	43,8	634,3	232,1	89,7
CEL	60-80	3,62	nd	58,74	nd	0,06	0,92	6,57	0,12	6,68	1,04	1,74	88,80	58,1	628,1	220,1	93,7
CEL	80-100	3,76	nd	70,85	nd	0,06	0,52	6,44	0,18	6,61	0,70	2,66	74,70	22,1	648,1	227,6	102,2
CNEEL	0-10	5,38	10,97	129,59	14,46	5,34	0,36	7,29	20,13	27,42	20,49	73,41	1,76	95,0	667,2	157,1	80,7
CNEEL	10-20	6,00	4,42	56,72	8,17	2,83	0,44	3,73	11,14	14,87	11,58	74,93	3,80	54,0	718,4	150,3	77,3
CNEEL	20-40	6,28	0,32	56,72	2,97	5,95	0,12	3,40	9,06	12,45	9,18	72,71	1,31	53,6	728,9	143,3	74,2
CNEEL	40-60	5,32	0,13	53,70	1,76	1,08	0,12	4,65	2,98	7,63	3,10	39,01	3,88	31,2	765,3	131,9	71,7
CNEEL	60-80	4,48	nd	19,40	0,38	0,36	0,32	7,36	0,79	8,15	1,11	9,67	28,88	23,1	772,9	132,2	71,8
CNEEL	80-100	4,55	nd	20,41	0,43	0,42	0,24	6,90	0,90	7,79	1,14	11,51	21,11	28,8	762,7	137,2	71,2
CNEL	0-10	4,80	6,18	194,14	2,30	0,84	0,04	8,48	3,63	12,11	3,67	29,99	1,09	69,9	669,0	172,4	88,7
CNEL	10-20	6,02	11,31	198,17	3,40	7,47	0,24	4,13	11,38	15,50	11,62	73,39	2,07	62,1	713,2	150,8	73,9
CNEL	20-40	6,10	0,51	123,53	2,39	4,17	0,20	4,32	6,87	11,20	7,07	61,39	2,83	33,9	746,5	147,8	71,8
CNEL	40-60	6,25	1,94	157,83	3,07	4,68	0,16	3,60	8,15	11,75	8,31	69,38	1,93	39,4	735,5	151,4	73,6
CNEL	60-80	4,71	nd	57,73	0,87	0,29	0,28	6,63	1,31	7,95	1,59	16,52	17,58	20,7	776,0	133,7	69,5
CNEL	80-100	4,61	nd	19,40	1,02	0,59	0,28	6,44	1,66	8,09	1,94	20,46	14,47	25,7	769,8	135,7	68,9

pH em H₂O – relação 1:2,5. P e K, Extrator: Mehlich I (Defilipo & Ribeiro, 1997). Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, Extrator: KCl 1 mol L⁻¹ (Vettori, 1969). H+Al,

Extrator: acetato de cálcio 0, 5 mol L⁻¹, pH 7 (Vettori,1969). Silte, argila, areia grossa e areia fina - Método da pipeta (Ruiz, 2005). nd: não detectado.

Mata: solo de referência; CEEL: café esqueletado entrelinha; CEL: café esqueletado linha; CNEEL: café não - esqueletado entrelinha; CNEL: café não - esqueletado linha.

Quadro 2. Uso atual e histórico dos solos utilizados no estudo

Uso atual	Histórico de uso	Espaçamento
Mata nativa	Mata nativa, sem qualquer histórico de intervenção humana.	_____
Cafeeiro esqueletado	Em 1980 a vegetação natural foi retirada para o plantio do cafeeiro, realizou-se o esqueletamento desta área, alocando-se o material na entrelinha de plantio com posterior moagem do material (roçadeira).	3 m entre linhas e 1 m entre plantas
Cafeeiro não esqueletado	Em 1985 também retirou-se a vegetação natural para a implantação da cafeicultura	4 m entre linhas e 0,75 m entre plantas

Análises estatísticas

Os resultados obtidos em cada profundidade de solo foram submetidos à análise de variância, verificando-se o efeito da manutenção dos resíduos vegetais provenientes do esqueletamento sobre os estoques de COT, CNL, CL, NT e o IMC nos solos e nas frações MOP e MAM. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL)

Os estoques de COT foram menores para o cafeeiro que sofreu o esqueletamento (E), em todas as profundidades na linha de plantio, tanto em relação à mata nativa (M) quanto em relação ao cafeeiro não esqueletado (NE) (Figura 1). A diminuição nos estoques de COT em solos cultivados com cafeeiro, na projeção da copa, também foi constatada por Rangel et al. (2007). Diminuição semelhante foi também observada para as frações CNL e CL (Figura 1); porém, na profundidade (0-100 cm) notou-se aumento significativo nos estoques de CL para o cafeeiro E. Esse aumento pode ser uma resposta da decomposição de raízes em resposta à diminuição temporária do sistema radicular de modo a buscar nova relação parte aérea/raiz, dada a perda expressiva da parte aérea do cafeeiro. Esse aporte de MOS via raízes pode superar o proveniente da parte aérea, com um tempo médio de resistência à mineralização de 2,4 vezes maior que o da parte aérea (Rasse et al., 2005). Adicionalmente, houve maior acúmulo de resíduo vegetal proveniente da poda do cafeeiro na entrelinha, com posterior trituração pela roçadeira, acarretando menor aporte de resíduo na linha de plantio. Entretanto, na entrelinha, observou-se que o estoques de COT no solo do cafeeiro E não diferiu do NE, mas ambos os tratamentos, E e NE, superaram os estoques encontrados no solos da mata (M) (Figura 2). Nota-se, também, que o estoque de CL foi maior para a área esqueletada, reflexo do grande aporte de resíduo vegetal e da grande ciclagem de raízes finas nessa condição. Estudos com as frações de CL demonstram que em culturas agrícolas e, ou, sistemas de manejos com adições frequentes de resíduos ao solo, há maior proporção de CL em relação à fração mais recalcitrante ou não-lábil (CNL) (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001), como o observado neste trabalho, em especial no cafeeiro E.

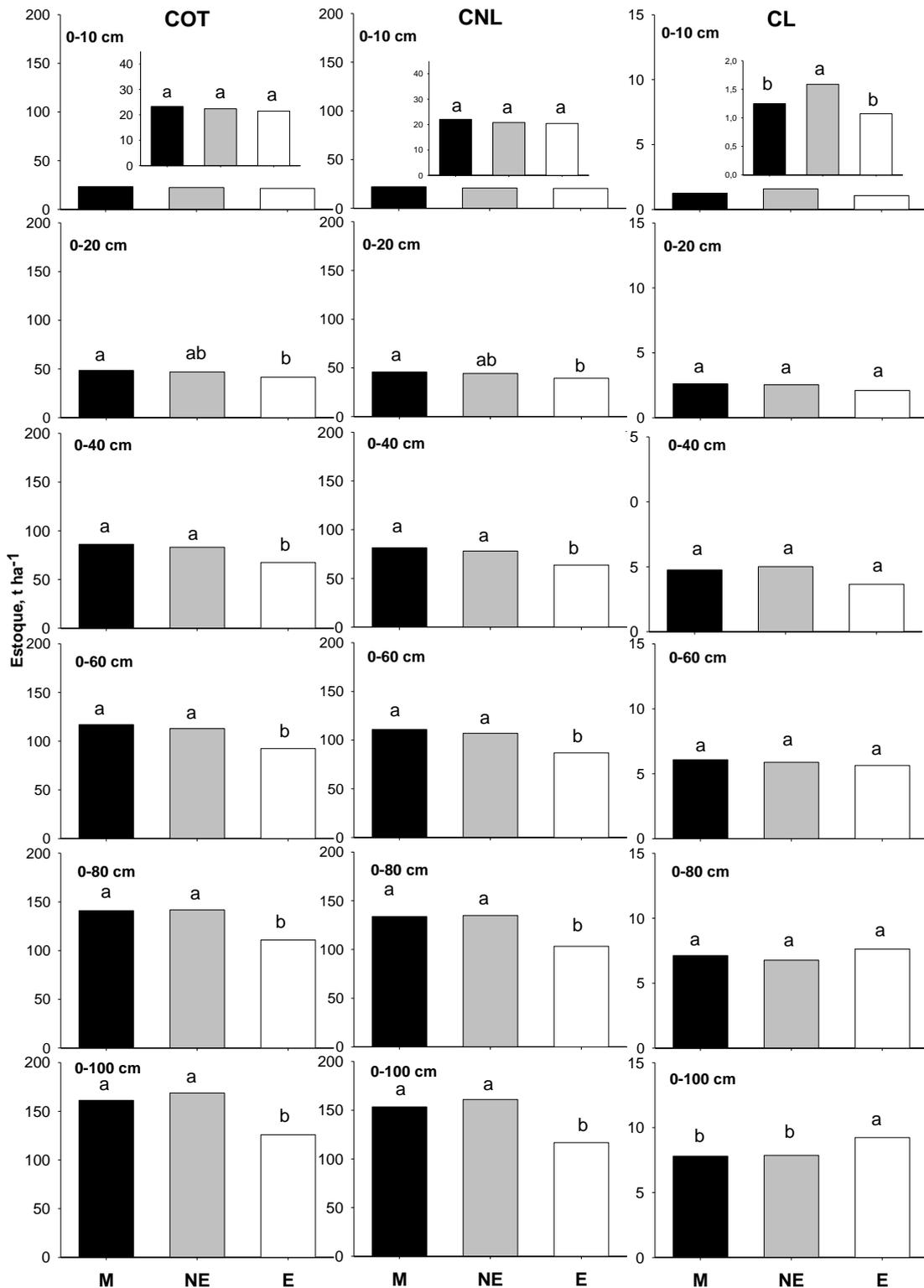


Figura 1. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), nos manejos de café Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) e Mata (M), em profundidades distintas do perfil do solo na linha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

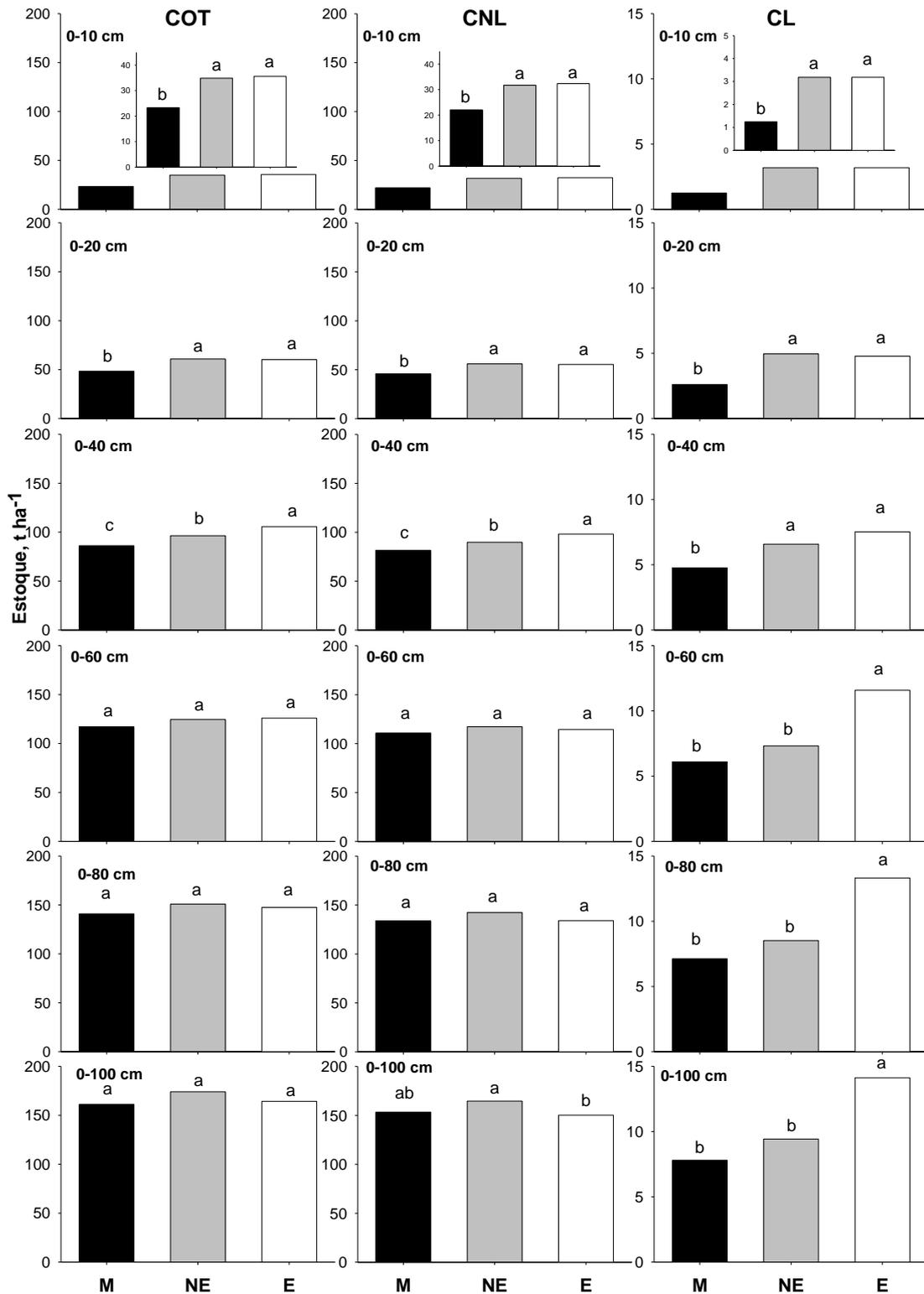


Figura 2. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), nos manejos de café Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) e Mata (M), em profundidades distintas do perfil do solo na entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto ao balanço dos estoques de COT, CNL e CL observou-se um decréscimo em relação ao solo da mata (M), em ambos os tratamentos, para a camada de 0-20 cm na linha de plantio (Figura 3). Resultado semelhante ao do COT foi também observado por Rangel et al. (2007). Pode-se concluir que, para esta profundidade, o cultivo do cafeeiro ocasionou decréscimos nos estoques de COT, em especial para o solo da área do tratamento E, comparativamente ao da mata (M), retirada para o cultivo do cafeeiro.

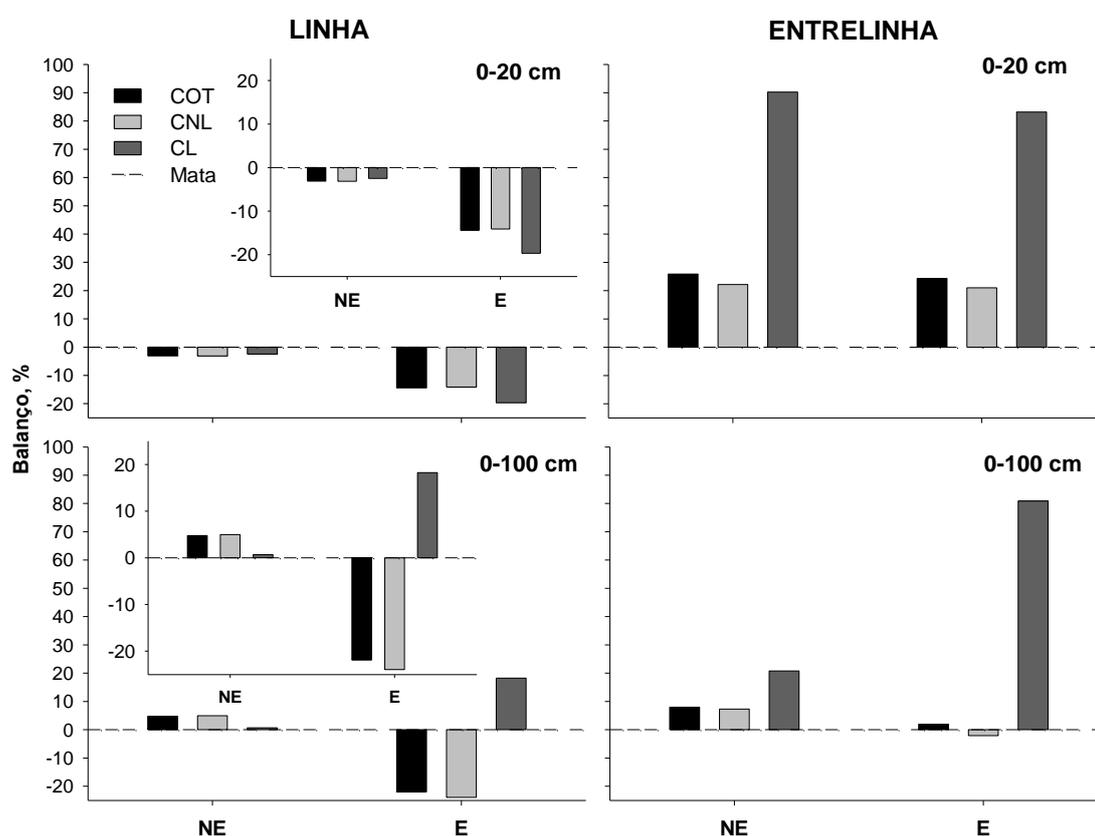


Figura 3. Balanço dos estoques do Carbono Orgânico Total (COT), carbono Não-Lábil (CNL) e do Carbono Lábil (CL), nos manejos de café Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio em relação à Mata (referência).

Para a profundidade de 0-100 cm, observou-se estabilização dos estoques de COT para o tratamento NE e, ainda, decréscimos nos estoques de COT e CNL para o tratamento E. Entretanto, o estoque de CL para o tratamento E foi maior, em torno de 20 %, em relação ao da M, reflexo do esqueletamento ocorrido quatro anos antes da coleta do solo, o que pode ser oriundo do aporte das raízes do cafeeiro, como já comentado.

Por outro lado, os tratamentos E e NE apresentaram acréscimos nos estoques de COT, CNL e CL na camada de 0-20 cm, na entrelinha (Figura 3), porém no café NE os aumentos desses estoques, em especial o do CL, deve ter sido causado pelas plantas invasoras. No tratamento E este acréscimo deve-se, provavelmente, à grande quantidade de resíduo aportado via esqueletamento e, adicionalmente, pelo aporte de MOS proveniente das raízes. O aumento nos estoques de C persiste na camada de 0-100 cm, destacando-se o CL no tratamento E, com um acréscimo em torno de 80 % em relação à M. De modo geral, os resultados apresentados são coincidentes com os de Rangel et al. (2007), em que os estoques de COT são maiores na entrelinha e menores na linha de plantio, em relação a M, e que os estoques de CL na entrelinha são maiores em relação à linha de plantio (Rangel et al., 2008). Semelhantemente ao observado por Andrade et al. (2005), houve diminuição dos teores de CL à medida que a profundidade aumentou. Entretanto, Rangel et al. (2008) observaram decréscimos nos estoques de CL em solos cultivados com cafeeiro, o que é compensado, no presente estudo quando se deixa o material do esqueletamento na área de cultivo.

Dado estes fatos, pode-se inferir que a manutenção dos resíduos oriundos do esqueletamento na área de cultivo beneficia a manutenção e até aumentos no conteúdo da MOS. Semelhantemente Silva (2008) concluiu que a manutenção dos resíduos de eucalipto proveniente da colheita na área de plantio contribui para aumentar os estoques de COT e CL no solo.

Índice de Manejo do Carbono (IMC)

A busca por índices que se tornem uma ferramenta para avaliação do impacto causado pela intervenção antrópica nos sistemas agrícolas ou na substituição de ecossistemas naturais pela agricultura, tem sido uma constante, como o IMC (Índice de Manejo do Carbono), sugerido por Blair et al. (1995) e Vieira et al. (2007). O IMC avalia características da labilidade da MOS, tendo-se como referência a labilidade da MO de um solo padrão, comparando as mudanças do COT e CL em virtude de alterações de manejo e uso em diferentes sistemas agrícolas. Esse índice baseia-se, principalmente, nos teores de COT e CL do solo referência atribuindo-lhe o valor de 100 %. Valores maiores do que esse refletem a capacidade do sistema em estudo em promover a melhoria da qualidade do solo e a sustentabilidade de seu uso agrícola; por outro lado, valores inferiores a 100 % são indicativos de impacto negativo das práticas

de manejos e, ou, do uso na qualidade do solo, por meio de alterações nos teores ou estoques de MOS (Blair et al., 1995).

Os valores de IMC não diferiram entre os tratamentos NE e o E na linha de plantio, em todas as profundidades, com exceção do tratamento E na camada de 0-100 cm, que apresentou um valor maior que 100 % (120%) (Figura 4). Quando se considera a entrelinha, o cultivo do cafeeiro propiciou valores de IMC maiores do que 100 %. De modo geral, observou-se que, em nenhuma condição, os valores de IMC foram estatisticamente menores que 100 %, indicando que este cultivo desempenha papel positivo sobre a sustentabilidade da MOS. Analisando de maneira mais específica, notam-se valores de IMC próximos de 140 e 200 % para o café NE e E, respectivamente. Com isso, pode-se concluir que a manutenção dos resíduos do café esqueletado na área de cultivo aliado a grande ciclagem de raízes tem impactos positivo na sustentabilidade da MOS, como também observado por Silva (2008) para a cultura do eucalipto.

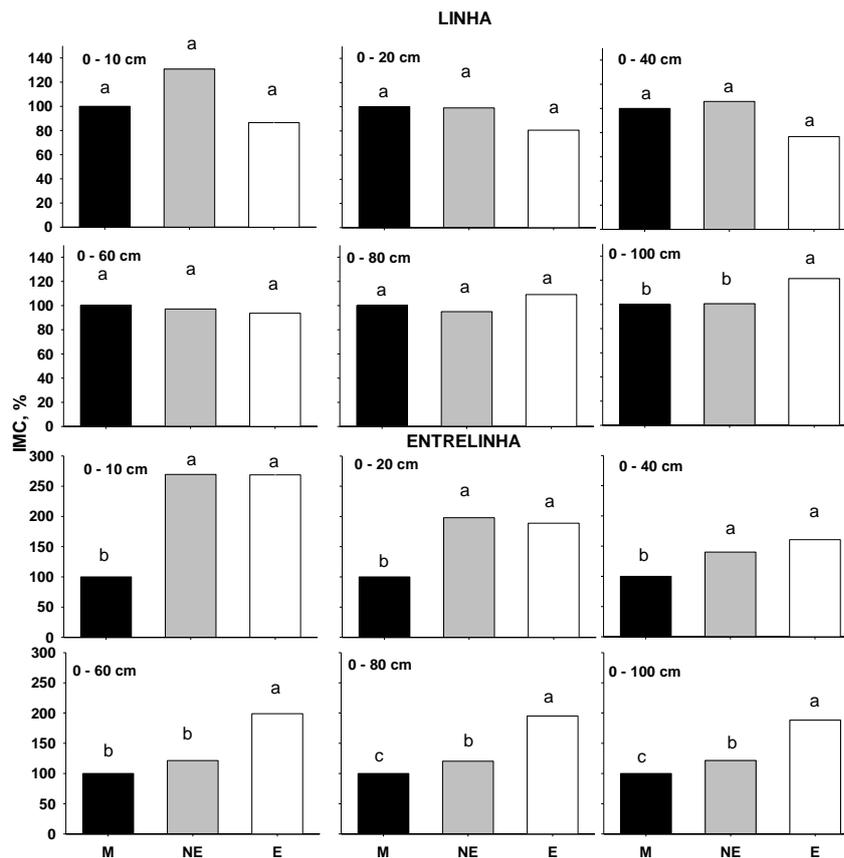


Figura 4. Índice de Manejo do Carbono (IMC), nos manejos Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) e Mata (M), em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Carbono Orgânico Total (COT), Carbono oxidável por permanganato de potássio (Carbono Lábil – CL) e Carbono Não-Lábil (CNL) associada às frações Matéria Orgânica Particulada (MOP- fração areia) e Matéria Orgânica Associada aos Minerais (MAM- fração silte + argila)

A fração MOP é considerada a mais sensível às alterações nos sistemas agrícolas e, ou, nos sistemas naturais (Koutika et al., 1999; Bayer et al., 2004; Rangel & Silva, 2007). No presente trabalho, os estoques de COT e CNL nesta fração (MOP) foram maiores para o café NE, tanto quando se compara com a mata (M) quanto com o café E (Figura 5). Por outro lado, os estoques de CL na MOP do café E superaram o do café NE; mesmo assim, nota-se que estes estoques não superaram o de CL na MOP da mata na linha de plantio (Figura 5). O declínio do estoque de C na MOP em relação à referência (M) provavelmente deveu-se à labilidade desta fração aliado à redução do aporte de resíduos vegetais, em especial na linha de plantio do cafeeiro, como também observado por Cambardella & Elliott (1994), em diferentes sistemas agrícolas.

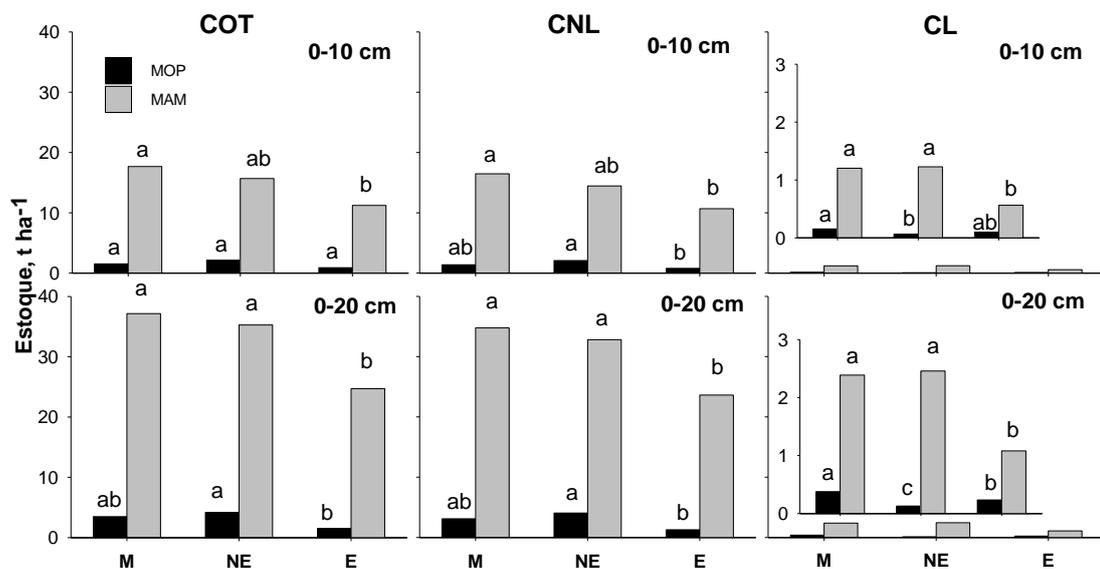


Figura 5. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não – lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), nos manejos Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) e Mata (M), em profundidades distintas do perfil do solo na linha de plantio, nas frações MOP e MAM. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os estoques de COT e CNL na fração MOP apresentaram-se maiores em ambos os manejos (E e NE) na entrelinha de plantio em relação a M (Figura 6). Destaca-se o CL para o café E com maior valor tanto em relação a M quanto em relação ao café NE, indicando a participação do grande aporte de resíduo vegetal oriundo do esqueletamento e da nova regulação da relação parte aérea/raiz nesta condição, como já comentado.

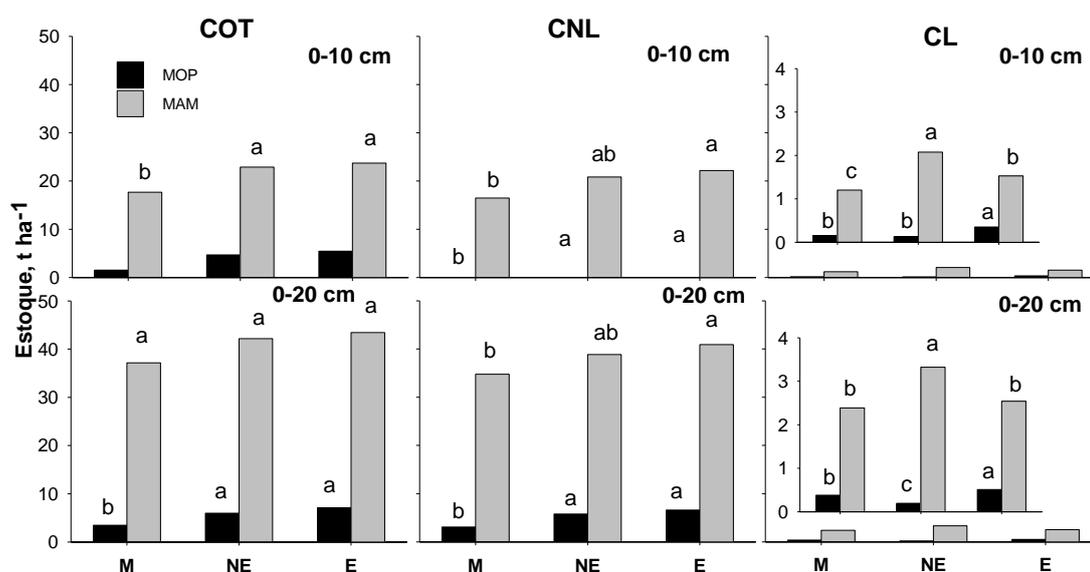


Figura 6. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), nos manejos Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) e Mata (M) em profundidades distintas do perfil do solo na entrelinha de plantio, nas frações MOP e MAM. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto à fração MAM, percebe-se que os estoques de COT, CNL e CL foram menores na área esqueletada (E) tanto em relação a mata (M) quanto em relação a área não-esqueletada (NE) na linha de plantio, para as duas profundidades estudadas (0-10 e 0-20 cm) (Figura 5). Rangel & Silva (2007) observaram reduções da ordem de 26 % nos teores de COT na fração pesada (MAM) em relação à M. Entretanto, quando se observa a área com café E verificam-se maiores estoques de COT, CNL e CL em relação à M (Figura 6). Quanto aos estoques de COT e CNL da MAM do café NE observaram-se valores não diferentes entre si com os do café E; porém, os estoques de CL da MAM foram menores para o café E em relação ao NE (Figura 6), inferindo-se que a diferença nos estoques de CL é dependente da fração MOP.

Complementando os dados obtidos sobre os estoques nas frações MOP e MAM, têm-se os valores de participação de cada fração no COT do solo (Figura 7). Nota-se que a fração MAM é participante predominante nos estoques de COT do solo. Por outro lado, a participação da MOP é essencial para atribuir as diferenças entre os estoques de COT no solo, por ser mais sensível às alterações no solo num tempo relativamente curto. Rangel & Silva (2007) também observaram que a maior parte do COT estava na fração associada aos minerais – MAM (silte e argila) com valores próximos a 98 % em solos cultivados com milho. Freixo et al. (2002) também observaram que a maior parte do COT estava associadas a frações granulométricas mais finas (60-90 %).

Observa-se que onde não houve maior aporte de resíduo vegetal (linha de plantio), no cafeeiro E, teve-se menor participação da MOP em relação ao cafeeiro NE e, até mesmo, em relação à M. Por outro lado, na entrelinha do café E, onde houve grande aporte de resíduo vegetal, das raízes finas que senesceram em virtude da busca de um novo equilíbrio entre raiz e parte aérea, da poda ou da arruação, tem-se uma participação maior da fração MOP nos estoques de COT, indicando um possível equilíbrio.

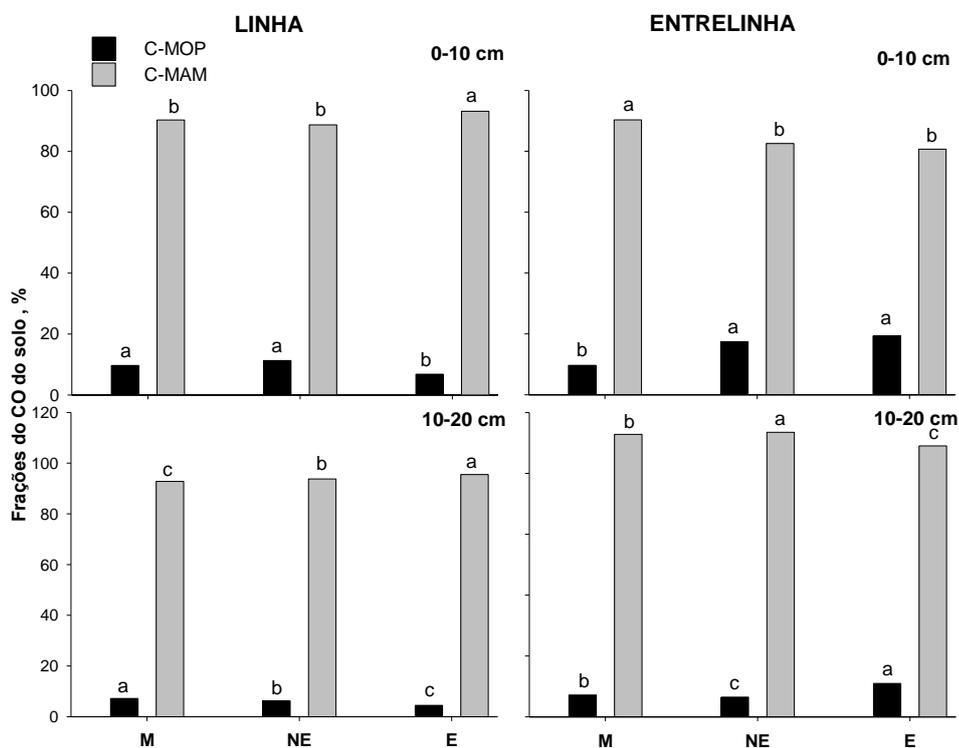


Figura 7. Percentagem das frações na contribuição do carbono orgânico total (COT) do solo, nos manejos Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) e Mata (M) em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Estoques de nitrogênio

Os estoques de NT no solo foram maiores em ambos os manejos dos cafeeiros (E e NE), em relação ao estoques da M, em especial para o cafeeiro E, estatisticamente menor do que o da M em todas as profundidades na linha de plantio (Figura 8). Nota-se que este fato se inverte quando a entrelinha do cafeeiro é analisada, pois o cafeeiro apresentou estoques de NT maiores do que o da M e, também, maiores que do cafeeiro NE, com exceção das duas camadas (0-10 e 0-20 cm), sendo que o cafeeiro NE não difere estatisticamente do E (Figura 8). Os estoques de NT seguem uma mesma tendência dos estoques de COT, uma vez que 95 % do NT está na forma orgânica (Camargo et al. ,1999).

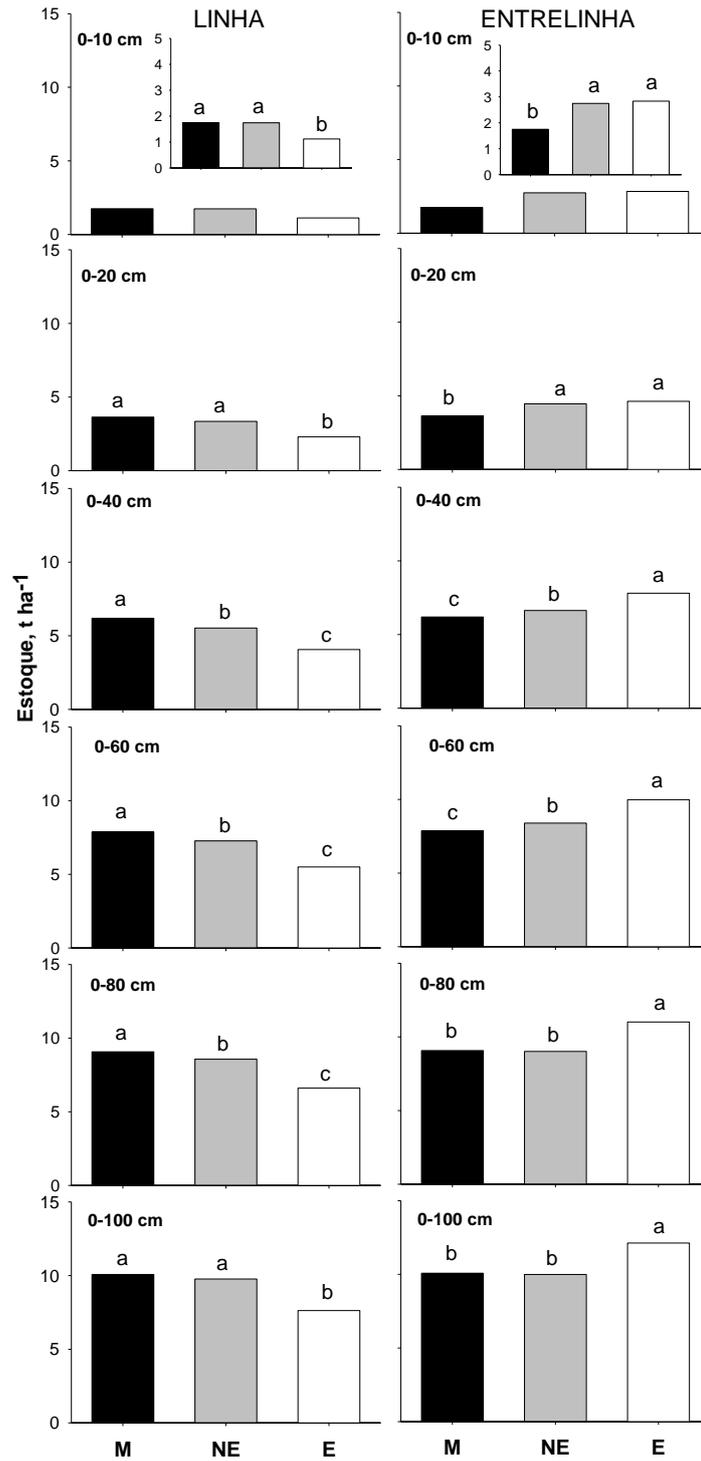


Figura 8. Estoques de Nitrogênio Total (NT), nos manejos Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) e Mata (M) em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nitrogênio associado às frações MOP e MAM

Os estoques de NT na fração MOP apresentam-se maiores para o cafeeiro NE, nas duas profundidades (0-10 e 0-20 cm), na linha de plantio, tanto em relação à M quanto em relação ao cafeeiro E (Figura 9). Nota-se que os estoques de NT para o cafeeiro E não diferem estatisticamente daqueles do cafeeiro NE na entrelinha, sendo maiores do que para a M, enfatizando o efeito do aporte dos resíduos vegetais na entrelinha do café.

Os estoques de NT na fração MAM foram menores para o cafeeiro E na linha de plantio, tanto em relação à referência (M) quanto em relação ao cafeeiro NE, sendo que na entrelinha o cafeeiro E seus estoques não diferiram estatisticamente do cafeeiro E, e ainda, apresentam valores superiores aos encontrados na M (Figura 9).

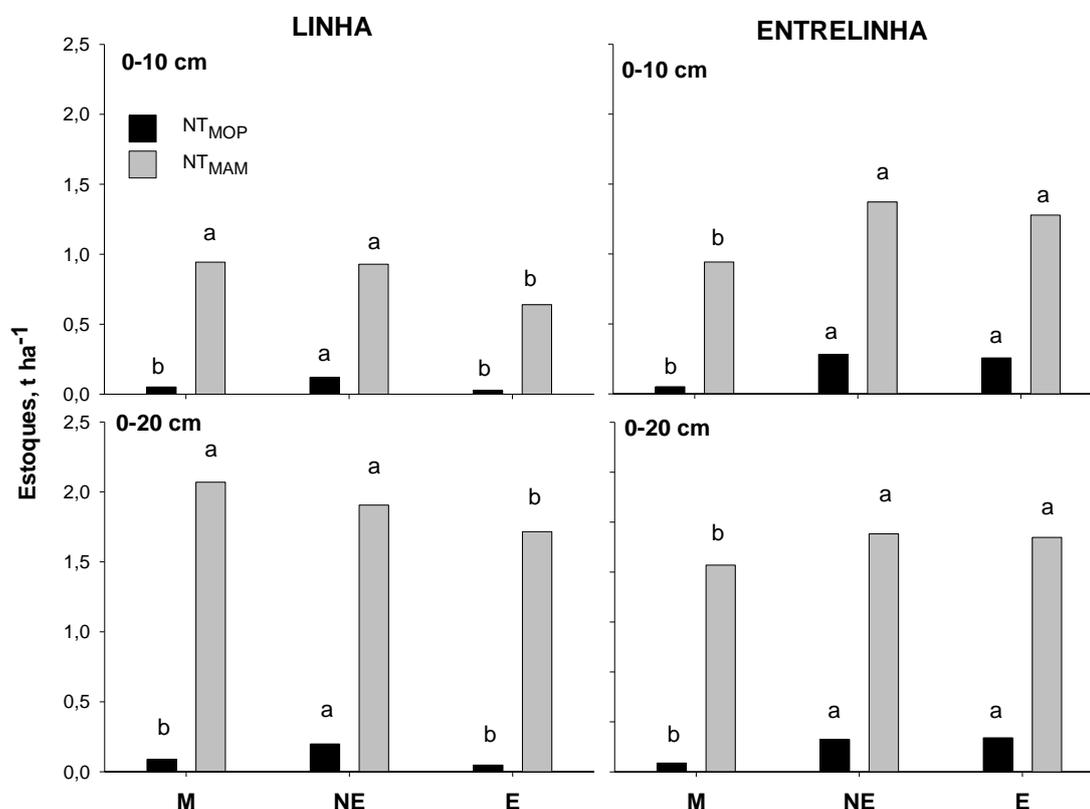


Figura 9. Estoques de Nitrogênio Total (NT), nos manejos Não Esqueletado (NE), Esqueletado (E) e Mata (M), em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio, nas frações MOP e MAM. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

1. A poda do cafeeiro (esqueletamento – E) proporciona aumentos e, ou, a manutenção nos estoques de MOS, de modo particular na entrelinha do tratamento E, onde houve maior deposição dos resíduos vegetais; porém os estoques foram menores na linha do cafeeiro quando comparados a referência (Mata – M).
2. O esqueletamento proporciona aumentos nos estoques das frações mais lábeis da MOS do solo tanto em relação ao cafeeiro não esqueletado (NE) quanto a M .
3. O Índice de Manejo do Carbono (IMC) da área esqueletada é superior a 100 % (mata como referência), de modo particular na entrelinha do tratamento E.

LITERATURA CITADA

- ADDISCOTT, T., Entropy and sustainability. *Eur. J. Soil Sci.*, 46:161-168, 1995.
- ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, C. & CERRI, C.C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:803-816, 2005
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.E. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 39(7):677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soil under no-till. *Soil Till. Res.*, 86:237-245, 2006.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo:ecossistemas tropicais e subtropicais, Metrópole, Porto Alegre, 2008, 7-16p.
- BLAIR, N. & CROCKER, G.J. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. *Aust. J. Soil Res.* 38:71-84, 2000.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46:1459-1466, 1995.
- BLAIR, N.; FAULKNER, R.D.; TILL, A.R.; KORSCHENS, M. & SCHULZ, E. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part II. Bad Lauchstadt static and extreme FYM experiments. *Soil Till. Res.* 91:39-47, 2006a.
- BLAIR, N.; FAULKNER, R.D.; TILL, A.R. & CROCKER, G.J. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part III. Tamworth crop rotation experiment. *Soil Till. Res.* 91: 48-56, 2006b.

- CAMARGO, F.A.C.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. & VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., Eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre, Genesis, 1999. P. 117-137.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:123-10, 1994
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A. & OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*, 166:61-67, 2001.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *Eur. J. Soil Sci.*, 52:345-353, 2001.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 26p. (Boletim de Extensão, 29)
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGELKNABER, I., Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long – term no – till cropping systems and N fertilization. *Plant Soil* 268:319-328, 2005.
- FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in tropics. *Geoderma*, 79: 69-116, 1997.
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:425-434, 2002.
- KOUTIKA, L.S.; ANDREUX, F.; HASSINK, J.; CHONÉ, T. & CERRI, C.C. Characterization of organic matter in topsoils under rain forest and pasture in the Eastern Brazilian Amazon Basin. *Biol. Fertil. Soils*, 29:309-313, 1999.

- LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. *For. Ecol. Manag.*, 220:242-258, 2005.
- MENDHAM, D.S.; SANKARAN, K.V.; O'CONNEL, A.M. & GROVE, T.S. *Eucalyptus globulus* harvest management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. *Soil Biol. Biochem.*, 34:1903-1912, 2002.
- MENDHAM, D.S.; HEAGNEY, E.C.; CORBELLS, M.; O'CONNEL, A.M; GROVE, T.S. & MCMURTRIE, R.E. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globulus*. *Soil Biol. Biochem.*, 36:1067-1074, 2004.
- PAVAN, M.A. & CHAVES J.C.D. Alterações na frações de fósforo no solo associadas com a densidade de populacional de cafeeiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:251-256, 1996.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. & GUIMARÃES, P.T.G. Estoques e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1341-1353, 2007.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1609-1623, 2007.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. & GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciênc. Agrotec*, 32:429-337, 2008
- ROSA, M.E.C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M. & CORREIA, J.R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistemabiogeográfico do cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:911-923, 2003.
- RASSE, D.P.; RUMPEL, C. & DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil*, 269:341-356, 2005.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:297-300, 2005.

- SILVA, E.F. Frações da matéria orgânica e decomposição de resíduos da colheita de eucalipto em solos de tabuleiros costeiros da Bahia. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Solos, 2008. 110p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & SILVA, E.F. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, Viçosa, v.29, 2004, p. 10-20.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H., BARROS, N.F.; FONTES, R.LF.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo, SBCS, Viçosa, 2007, 276-374p.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York, Willey & Sons Inc., 1994. 496p.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7)
- VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J. & HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. Soil Till. Res., 96: 195–204, 2007.
- ZINN, Y.L.; RESCK, D.V.S. & SILVA, J.E. Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. For. Ecol. Manag., 166:285-294, 2002.
- ZINN, Y.L.; LAL, R. & RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brasil. Soil Till. Res., 84: 28-40, 2005.
- ZINN, Y.L.; LAL, R., BIGHAM, J.M. & RESCK, D.V.S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in Brazilian Cerrado: Texture and Mineralogy. Soil Sci. Soc. Am. J., 71:1204-1214, 2007.

CAPÍTULO 3: ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO CULTIVADO COM CAFEIEIRO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO

RESUMO

O teor da matéria orgânica do solo (MOS) é um indicador do grau de preservação dos ecossistemas naturais ou de desequilíbrios nos sistemas agrícolas. O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do cultivo do cafeeiro sob diferentes espaçamentos, por um período de 14 anos, no estoque e qualidade da MOS. Utilizou-se um experimento de campo do Centro de Pesquisas Cafeeiras (CEPEC), na cidade de Martins Soares, Minas Gerais, com os tratamentos delineados em blocos ao acaso, com quatro repetições, compostos pela combinação de três espaçamentos entrelinhas (1,0; 2,0 e 4,0 m) e em dois espaçamentos entre plantas (0,5 e 1,0 m). Uma área sob mata nativa, próxima ao experimento, foi amostrada como referência da condição original do solo. Para a avaliação dos estoques de C foram coletadas quatro amostras compostas de seis amostras simples, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm de profundidade, na linha e na entrelinha do cafeeiro. Os estoques de C na mata superaram os estoques encontrados nos cafezais tanto na linha quanto na entrelinha de plantio, sendo maiores estoques nos espaçamentos mais adensados (1 x 0,5 e 1 x 1 m), em especial o C lábil (CL). O Índice de Manejo de Carbono (IMC) foi menor do que 100 % em todos os espaçamentos estudados, tanto na linha quanto na entrelinha, indicando desequilíbrios no que diz respeito à sustentabilidade do sistema de plantio. Os estoques de Carbono da Matéria Orgânica Particulada (C-MOP), Carbono Não-Lábil da Matéria Orgânica Particulada (CNL-MOP) e Carbono Lábil da Matéria Orgânica Particulada (CL-MOP) foram, de modo geral, menores do que os da mata. Assim, para a região estudada, manejos mais adequados devem ser buscados no sentido de preservar a MOS, possivelmente, conseguido com plantios mais adensados.

Termos de indexação: frações da matéria orgânica do solo, densidade de plantio, carbono lábil, índice de manejo do carbono.

STOCKS AND QUALITY OF ORGANIC MATTER IN CULTIVATED SOIL UNDER COFFEE AT DIFFERENT CROP SPACINGS

Abstract: The soil's organic matter content (SOM) is a good indicator of natural ecosystem conservation and imbalance in farming systems. The aim of this study was to assess the impact of coffee growing at different crop spacings over a period of 14 years on SOM stocks and quality. We carried out a field experiment at the Coffee Research Center (CEPEC) in the town of Martins Soares, state of Minas Gerais, Brazil, using treatments in a random block design with four replications, consisting of combining three interrow spacings (1.0, 2.0 and 4.0 m) and two interplant spacings (0.5 and 1.0 m). An area near the experiment under native forest was sampled as a reference for the soil's original condition. To assess C stocks, we collected four composite samples each consisting of six discrete samples from layers at depths of 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm, in both the interrows and rows on the coffee plantation. C stocks in forest soil exceeded the stocks found on the plantations in both interrows and rows, with greater stocks at denser spacings (1 x 0.5 e 1 x 1 m), especially labile carbon (LC). The Carbon management index (CMI) was below 100 % for all the spacings investigated, both interrow and row, indicating imbalances in regard to cropping system sustainability. C stocks in particulate organic matter (C-POM), non-labile carbon in particulate organic matter (NLC-POM) and labile carbon in particulate organic matter (LC-POM) were generally lower than those in native forest soil. Therefore, in the region studied, more adequate management systems should be sought to achieve the level of SOM that is possible in denser plantation arrangements.

Indexing terms: soil organic matter fractions, plantation density, labile carbon, carbon management index.

INTRODUÇÃO

Um grande número de estudos tem demonstrado que a intervenção humana nos ecossistemas naturais para implantação de atividades agropecuárias tem, de modo geral, impacto negativo no estoque da matéria orgânica do solo (MOS).

Estudos relacionados à densidade de plantio do cafeeiro objetivam, principalmente, a ganhos na produtividade de grãos. Todavia, diferentes densidades

populacionais podem contribuir com o acréscimo ou decréscimo nos estoques de C e N do solo. Na década de 90, tornou-se expressivo o volume de lavouras adensadas; embora aproximadamente 50 % da cafeicultura nacional apresente o espaçamento denominado tradicional contra 22 % com os espaçamentos adensados e semi-adensados (Thomasiello, 2001).

Segundo Pavan & Chaves (1996), quanto maior a densidade de plantio do cafeeiro maior o incremento nos estoques de Carbono Orgânico Total (COT) do solo, dada a maior deposição e conseqüente acúmulo de resíduos provenientes de galhos, folhas e de compostos orgânicos liberados pelas raízes.

Rangel et al. (2007) estudaram o efeito de espaçamentos de plantio do cafeeiro nos estoques de COT e N total (NT) e sobre a distribuição dos teores de C em frações da MOS de um Latossolo Vermelho distroférrico típico. Esses autores concluíram que os estoques de COT e NT não foram alterados pelo espaçamento entre plantas e entrelinhas e pela quantidade de matéria seca na parte aérea da planta. Todavia, concluíram que os estoques de COT e NT no solo na entrelinha do cafeeiro foram iguais ou superiores ao na linha (projeção da copa).

Estudos que caracterizam mudanças no estoque da matéria orgânica em solos cultivados são comuns. Todavia, recentemente, estudos que caracterizam suas mudanças qualitativas estão conquistando seu espaço, em especial os que tratam da oxidação e da labilidade da MOS (Blair et al.; 1995; Vieira et al., 2007). Um índice que contempla as informações de labilidade e estoques da MOS é o Índice de Manejo do Carbono (IMC). Proposto originalmente por Blair et al. (1995), esse índice indica o quanto equilibrado ou desequilibrado o sistema de cultivo encontra-se em relação à referência (condição original).

Rangel et al. (2008) estudaram as frações oxidáveis do COT e observaram que os teores de Carbono Lábil (CL) na camada superficial do solo foram, em geral, maiores na entrelinha (EL) do que na linha (L) de plantio; concluíram, ainda, que os teores de CL e Carbono Não-Lábil (CNL) foram dependentes da largura da rua (entrelinha) do cafeeiro, da profundidade e do local de amostragem do solo (L ou EL). Esses autores observaram IMC maiores do que 100 % em todos os espaçamentos em relação à mata.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar alterações causadas pelo cultivo do cafeeiro, em diferentes espaçamentos, no estoque e na qualidade da matéria orgânica do solo, na região da Zona da Mata Mineira.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi avaliado um experimento no Centro de Pesquisas Cafeeiras (CEPEC), na cidade de Martins Soares, MG. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho húmico textura argilosa, com topografia montanhosa (Quadro 1). A cobertura vegetal é a Mata Atlântica. O clima Cwa de acordo com a classificação de Köppen, ou seja, mesotérmico com verões quentes e úmidos. A altitude média do local de estudo é de 950 m.

Quadro 1. Características químicas e físicas das amostras dos solos utilizados em diferentes profundidades

Uso do solo	Prof	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	t	V	m	Silte	Argila	Areia grossa	Areia fina
	cm	.....mg dm ⁻³.....							.....cmol _c dm ⁻³.....					.....%.....		.....g kg ⁻¹	
Mata	0-10	4,96	0,00	29,49	0,00	0,71	1,88	15,28	0,79	16,07	2,67	4,92	70,40	91,27	577,46	225,35	105,92
Mata	10-20	4,47	0,00	21,42	0,00	0,62	1,16	18,25	0,68	18,93	1,84	3,59	63,07	51,59	676,18	172,34	99,89
Mata	20-40	4,25	0,00	17,39	0,00	0,22	1,52	7,03	0,27	7,30	1,79	3,66	85,04	31,04	709,37	171,56	88,04
Mata	40-60	4,15	0,00	13,35	0,00	0,21	1,52	11,39	0,24	11,62	1,76	2,06	86,40	38,25	703,83	172,68	85,25
1 x 0,5 L	0-10	4,44	209,66	226,90	2,35	2,07	0,52	8,88	5,00	13,88	5,52	36,04	9,42	62,30	660,81	178,91	97,98
1 x 0,5 L	10-20	4,34	91,72	145,73	1,70	0,78	1,00	13,23	2,85	16,08	3,85	17,70	26,00	45,06	662,02	194,21	98,71
1 x 0,5 L	20-40	4,17	31,53	119,50	0,84	0,40	1,52	12,64	1,54	14,18	3,06	10,86	49,69	37,61	704,65	161,50	96,24
1 x 0,5 L	40-60	4,20	15,99	83,19	0,71	0,38	1,40	26,96	1,30	28,26	2,70	4,60	51,87	10,75	732,40	167,65	89,20
1 x 0,5 EL	0-10	5,87	96,87	287,42	21,09	4,00	0,44	7,36	25,82	33,18	26,26	77,82	1,68	80,38	619,00	193,11	107,52
1 x 0,5 EL	10-20	5,53	40,92	188,09	2,74	6,79	0,00	9,74	10,01	19,75	10,01	50,70	0,00	26,93	686,91	186,91	99,26
1 x 0,5 EL	20-40	4,90	17,37	111,43	1,56	0,71	0,36	10,53	2,55	13,08	2,91	19,51	12,37	16,99	706,85	179,73	96,44
1 x 0,5 EL	40-60	4,67	14,30	95,29	1,37	0,64	0,48	8,42	2,26	10,68	2,74	21,17	17,52	22,08	713,99	176,66	87,28
1 x 1 L	0-10	4,26	174,02	206,72	1,40	0,66	1,28	17,85	2,59	20,44	3,87	12,68	33,06	19,39	678,12	200,55	101,94
1 x 1 L	10-20	4,14	43,75	131,60	1,08	0,47	1,76	16,27	1,89	18,16	3,65	10,43	48,17	32,96	690,59	180,75	95,69
1 x 1 L	20-40	4,42	21,61	99,33	1,40	0,64	1,16	12,57	2,30	14,87	3,46	15,46	33,53	34,85	668,10	202,68	94,37
1 x 1 L	40-60	4,14	16,90	83,19	0,83	0,60	1,80	11,91	1,65	13,56	3,45	12,14	52,23	45,83	680,23	181,26	92,69
1 x 1 EL	0-10	5,66	40,28	210,76	21,39	3,47	0,24	9,67	25,40	35,07	25,64	72,43	0,94	98,57	617,47	187,95	96,02
1 x 1 EL	10-20	5,29	12,75	133,62	2,47	1,10	0,16	10,99	3,91	14,89	4,07	26,22	3,94	29,19	696,92	177,28	96,60
1 x 1 EL	20-40	5,11	4,42	107,40	1,44	0,61	0,20	9,67	2,33	12,00	2,53	19,41	7,91	14,39	711,62	181,24	92,75
1 x 1 EL	40-60	4,75	3,71	73,10	1,17	0,53	0,36	8,28	1,88	10,17	2,24	18,53	16,04	26,52	705,15	179,93	88,40
2 x 0,5 L	0-10	4,73	152,79	222,86	2,58	6,56	0,36	14,03	9,71	23,73	10,07	40,90	3,58	37,72	685,70	183,34	93,24
2 x 0,5 L	10-20	4,55	31,53	171,95	1,64	0,75	0,76	13,63	2,83	16,46	3,59	17,19	21,17	21,54	711,51	174,46	92,49
2 x 0,5 L	20-40	4,38	12,01	131,60	0,71	0,35	1,12	11,32	1,40	12,72	2,52	11,02	44,42	7,78	725,56	181,11	85,56
2 x 0,5 L	40-60	4,21	10,97	85,21	0,51	0,27	1,36	9,87	1,00	10,87	2,36	9,21	57,61	21,52	716,19	178,28	84,02

continua...

Continuação..

Quadro 1. Características químicas e físicas das amostras dos solos utilizados em diferentes profundidades

Uso do solo	Prof	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	t	V	m	Silte	Argila	Areia grossa	Areia fina
	cm	.....mg dm ⁻³.....						.....cmol _c dm ⁻³.....				.....%.....		.....g kg ⁻¹			
2 x 0,5 EL	0-10	6,34	26,31	167,92	22,74	3,80	0,00	4,72	26,98	31,69	26,98	85,11	0,00	65,59	620,90	209,01	104,50
2 x 0,5 EL	10-20	6,12	6,72	137,66	15,21	6,12	0,00	8,28	21,69	29,97	21,69	72,36	0,00	39,13	675,30	185,09	100,48
2 x 0,5 EL	20-40	5,47	3,71	89,24	1,60	0,63	0,12	9,14	2,46	11,60	2,58	21,18	4,66	40,31	688,48	185,34	85,86
2 x 0,5 EL	40-60	5,40	5,92	69,07	1,76	0,82	0,32	7,03	2,75	9,78	3,07	28,14	10,42	30,04	713,52	168,45	87,98
2 x 1 L	0-10	4,86	94,26	239,00	2,66	5,04	0,16	13,30	8,31	21,61	8,47	38,45	1,89	27,62	649,50	218,80	104,09
2 x 1 L	10-20	4,84	36,03	173,97	2,34	1,08	0,20	12,31	3,87	16,17	4,07	23,90	4,92	39,01	672,11	181,34	107,54
2 x 1 L	20-40	4,54	24,85	127,57	1,23	0,59	1,04	10,99	2,15	13,14	3,19	16,36	32,61	49,79	680,08	176,91	93,22
2 x 1 L	40-60	4,39	18,85	89,24	0,97	0,45	1,20	9,21	1,65	10,85	2,85	15,17	42,16	22,64	709,97	178,98	88,41
2 x 1 EL	0-10	5,59	22,84	127,57	19,82	3,54	0,00	6,04	23,68	29,72	23,68	79,68	0,00	95,52	565,57	237,45	101,46
2 x 1 EL	10-20	5,75	7,27	71,09	13,46	5,04	0,32	7,69	18,69	26,38	19,01	70,85	1,68	57,51	635,78	205,54	101,17
2 x 1 EL	20-40	5,49	3,03	56,96	1,97	0,91	0,40	8,02	3,02	11,04	3,42	27,39	11,68	44,75	673,48	185,64	96,13
2 x 1 EL	40-60	5,07	2,15	192,12	1,27	0,59	0,28	19,11	2,36	21,47	2,64	10,99	10,61	38,10	699,06	170,07	92,77
4 x 0,5 L	0-10	4,58	152,79	263,21	1,50	0,62	0,80	16,47	2,79	19,25	3,59	14,47	22,30	7,68	695,18	198,46	98,68
4 x 0,5 L	10-20	4,35	37,34	139,67	0,96	0,39	1,20	13,30	1,71	15,01	2,91	11,38	41,26	42,03	682,86	183,41	91,70
4 x 0,5 L	20-40	4,13	17,37	139,67	0,37	0,18	1,48	11,72	0,91	12,62	2,39	7,18	62,02	26,04	716,77	171,46	85,73
4 x 0,5 L	40-60	4,23	13,12	109,41	0,54	0,21	1,32	10,40	1,03	11,43	2,35	9,03	56,12	19,10	722,02	175,07	83,82
4 x 0,5 EL	0-10	6,58	13,90	99,33	22,57	4,24	0,16	3,73	27,06	30,79	27,22	87,89	0,59	91,27	577,46	225,35	105,92
4 x 0,5 EL	10-20	6,01	4,91	54,95	13,22	5,97	0,28	7,82	19,33	27,15	19,61	71,20	1,43	51,59	676,18	172,34	99,89
4 x 0,5 EL	20-40	5,42	1,73	30,74	1,47	0,66	0,16	7,76	2,21	9,96	2,37	22,15	6,76	31,04	709,37	171,56	88,04
4 x 0,5 EL	40-60	5,40	1,94	32,76	1,52	0,70	0,04	5,64	2,30	7,94	2,34	28,92	1,71	38,25	703,83	172,68	85,25
4 x 1 L	0-10	4,76	124,24	271,28	2,21	0,90	0,20	14,55	3,80	18,35	4,00	20,69	5,00	46,20	646,20	204,35	103,26
4 x 1 L	10-20	4,31	40,28	171,95	1,13	0,45	1,28	14,36	2,02	16,37	3,30	12,32	38,81	59,19	643,27	205,34	92,19
4 x 1 L	20-40	4,16	8,73	147,74	0,60	0,29	1,52	11,98	1,27	13,25	2,79	9,57	54,53	39,19	677,74	189,44	93,63
4 x 1 L	40-60	4,15	8,73	123,53	0,51	0,24	1,52	11,25	1,06	12,31	2,58	8,62	58,87	83,01	658,00	168,23	90,76
4 x 1 EL	0-10	6,55	5,66	115,47	22,50	4,88	0,00	3,73	27,68	31,41	27,68	88,13	0,00	114,67	553,80	229,35	102,17
4 x 1 EL	10-20	6,23	3,94	91,26	12,37	7,05	0,00	6,70	19,66	26,36	19,66	74,58	0,00	107,55	603,48	190,11	98,86
4 x 1 EL	20-40	5,66	1,52	50,91	1,61	0,82	0,00	8,02	2,56	10,58	2,56	24,18	0,00	102,47	620,27	178,63	98,63
4 x 1 EL	40-60	5,60	1,52	48,90	2,07	1,09	0,00	7,69	3,29	10,98	3,29	29,95	0,00	43,67	697,60	169,21	89,52

pH em H₂O – relação 1:2,5. P e K, Extrator: Mehlich 1 (Defilipo & Ribeiro, 1997). Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, Extrator: KCl 1 mol L⁻¹ (Vettori, 1969). H+Al, Extrator: acetato de cálcio 0, 5 mol L⁻¹, pH 7 (Vettori,1969). Silte, argila, areia grossa e areia fina - Método da pipeta (Ruiz, 2005). Mata: solo de referência - 1 x 0,5; 1 x 1; 2 x 0,5; 2 x 1; 4 x 0,5 e 4 x 1 m: diferentes espaçamentos; L: Linha e EL: entrelinha.

O plantio ocorreu em dezembro de 1993, utilizando-se a variedade Catuaí Vermelho IAC-44 com produtividades médias de 13 safras (1996 à 2008) para todos os espaçamentos indicadas no quadro 2. Os tratamentos consistiram da combinação de três espaçamentos entrelinhas (1,0; 2,0 e 4,0 m) e de dois espaçamentos entre plantas (0,5 e 1,0 m), dispostos em quatro blocos. Uma área sob mata nativa, próxima ao experimento, foi amostrada como referência da condição original do solo. Para a avaliação dos estoques e da qualidade da MOS foram coletadas amostras compostas (de seis amostras simples), tanto na linha quanto na entrelinha do cafeeiro, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm de profundidade em cada bloco.

Quadro 2. Produtividade média de 13 safras correspondente as safras entre os anos de 1996 à 2008.

Tratamentos	Produtividade média (sacas ha⁻¹)
4,0 x 0,5 m (5000 plantas ha ⁻¹)	42,0
4,0 x 1,0 m (2500 plantas ha ⁻¹)	32,6
2,0 x 0,5 m (10000 plantas ha ⁻¹)	53,1
2,0 x 1,0 m (5000 plantas ha ⁻¹)	53,7
1,0 x 0,5 m (20000 plantas ha ⁻¹)	72,8
1,0 x 1,0 m (10000 plantas ha ⁻¹)	61,7

Para cada tratamento, foi aberta uma trincheira com 0,6 m de profundidade e, em cada camada de amostragem, foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos para estimar a densidade do solo para posterior cálculo dos estoques de MOS, tomando como base a massa de solo da Mata (referência).

As amostras foram secas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm e posteriormente, uma sub-amostra foi passada em peneira de 60 mesh (0,250 mm). O C Orgânico Total (COT) do solo foi determinado pelo método de Yeomans & Bremner (1988) e o Nitrogênio Total (NT) pelo método de Kjeldhal. Foram também determinados o C oxidado por permanganato de potássio, para a determinação do que se denomina Carbono Lábil (CL) e Carbono-Não Lábil (CNL) e foi estimado o Índice de Manejo do Carbono (IMC). Além disso, foi realizado o fracionamento físico da MOS segundo Cambardella & Elliott (1992) para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, determinando-se os estoques de C no solos e nas frações Matéria Orgânica Particulada

(MOP) e Matéria orgânica Associadas aos Minerais (MAM). Detalhes dos procedimentos analíticos adotados são apresentados no primeiro capítulo.

Análises estatísticas

Os resultados obtidos em cada camada do solo foram submetidos à análise de variância e posteriormente submetidos à regressão, verificando-se o efeito dos diferentes espaçamentos sobre os estoques de COT, CNL, CL, NT e o IMC nos solos e nas frações MOP e MAM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estoques de Carbono Orgânico Total (COT) e Carbono Lábil (CL)

As equações de regressão dos estoques de COT indicam que com o aumento da densidade de plantio (espaçamentos menores) há também aumento nos estoques de COT tanto na linha quanto na entrelinha de plantio (Figuras 1). Todavia, nenhuma das densidades de plantio (espaçamentos) proporcionou estoque de COT semelhante ao do solo de mata, próxima ao experimento, indicando que a cultura do café nessa região, com os manejos adotados, não foi capaz de sustentar estoques semelhantes ao da mata. Resultados semelhantes foram observados por Rangel et al. (2007).

Observou-se que os estoques de CL foram influenciados pelos espaçamentos, embora nenhum tratamento tenha proporcionado estoques semelhantes aos da mata (Figura 1). Vale a pena ressaltar que também há um aumento nos estoques de CL com o aumento da densidade de plantio. Além disso, os estoques de CL na entrelinha foram maiores do que na entrelinha. Rangel et al. (2008) observaram acréscimos nos teores de CL em solos da entrelinha do cafeeiro e decréscimos em solos da linha do cafeeiro.. Destaca-se que os maiores estoques de CL foram obtidos nos espaçamentos mais adensados (1 x 0,5 e 1 x 1 m, 20.000 e 10.000 plantas ha⁻¹ respectivamente), de maneira particular na linha de plantio (Figura 1).

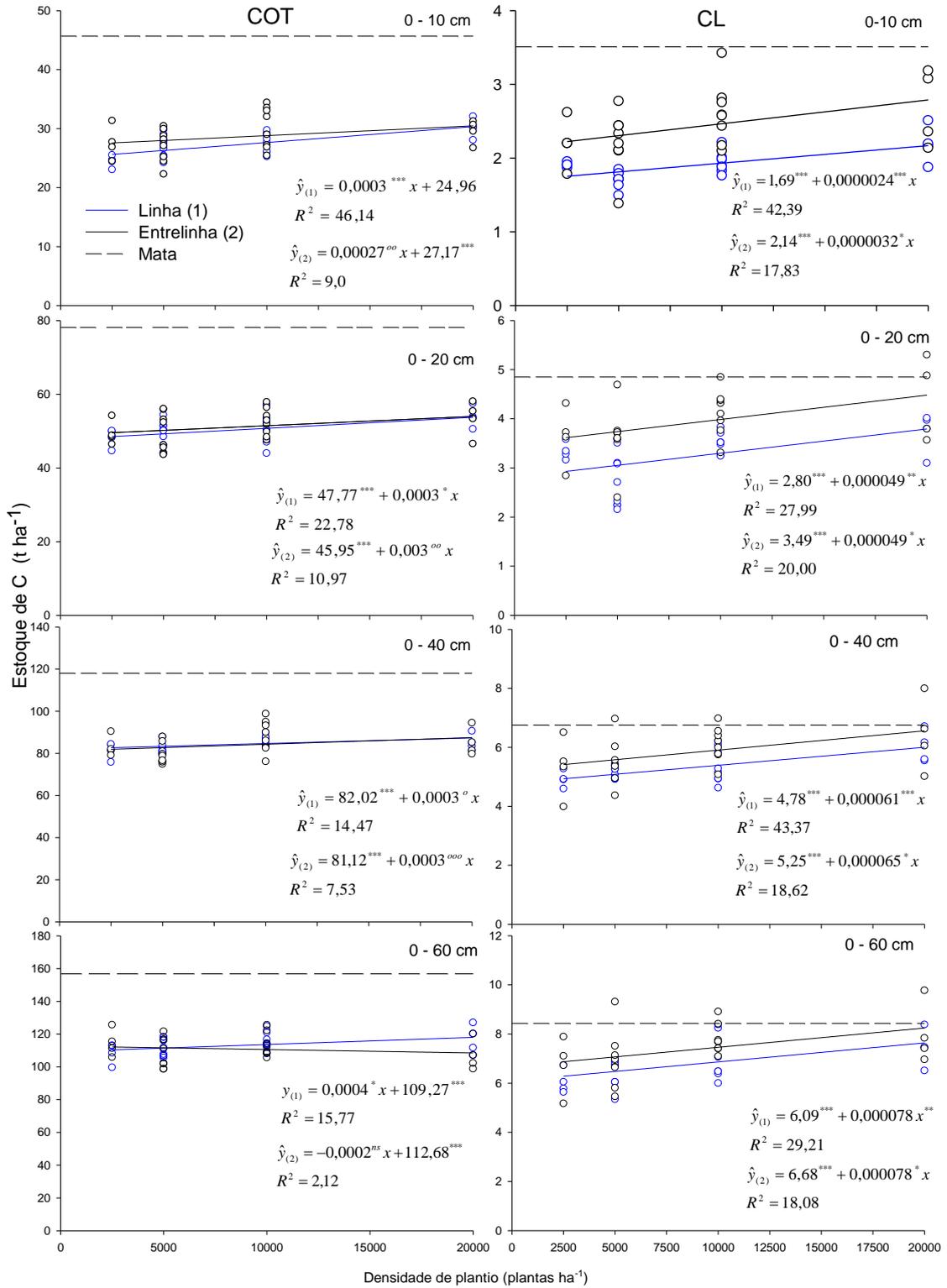


Figura 1. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), nas diferentes densidades de plantio dos cafeeiros e Mata (M), em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio.

Os estoques de COT (0–60 cm) na linha e na entrelinha foram em média de 28,0 e 29,0 % menores em relação ao da mata, respectivamente (Figura 2). Esses resultados corroboram com os obtidos por Tiessen et al. (1994) e Mielniczuk et al. (2003). De acordo com esses trabalhos, em regiões tropicais, as taxas de perda de MOS são proporcionais à metade do conteúdo da vegetação natural (conteúdo original), em menos de 10 anos de cultivo, em especial em sistemas onde prevalece baixo aporte de resíduo orgânico. De certa forma, esses resultados estão de acordo com os obtidos por Rangel et al. (2007), que encontraram perdas de 66 e 24 % nos teores de COT em relação à referência (mata), na linha e na entrelinha do cafeeiro, respectivamente.

As perdas médias nos estoques de CNL foram de 28,5 e 30,3 % em comparação a mata (referência), na linha e na entrelinha, respectivamente. Essas perdas também foram observadas para o CL, porém foram maiores na linha (19,8 %) do que na entrelinha (12,8 %) quando comparadas à mata (Figura 2), destacando-se o tratamento mais adensado (1 x 0,5 m; na entrelinha) com a menor perda de CL (5,2 %). Provavelmente, essa menor perda de CL nos tratamentos mais adensados foi devido à maior concentração de raízes do cafeeiro, o que implica maior deposição de exsudatos radiculares e de materiais provenientes das raízes em decomposição (Rasse et al., 2005). Semelhantemente, Pavan & Chaves (1996) observaram que quanto maior a densidade de plantio do cafeeiro maior o incremento nos estoques de COT do solo, dada a maior deposição de resíduos provenientes de galhos, folhas e dos compostos orgânicos liberados pelas raízes.

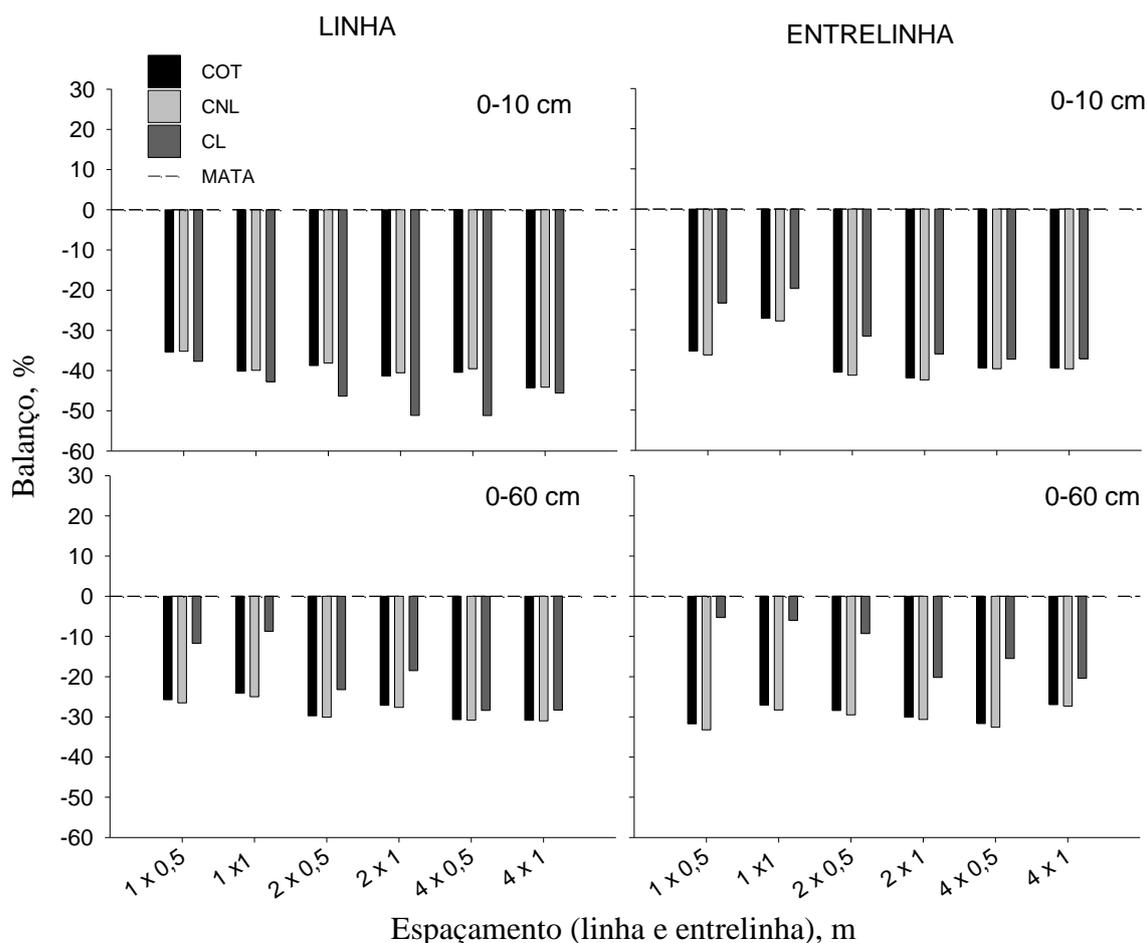


Figura 2. Balanço dos estoques do Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e do Carbono Lábil (CL), nos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio, em relação à Mata (referência).

Vale ressaltar que os estoques de COT não diferiram entre si para as diferentes densidades de plantio devido ao provável efeito compensatório de aporte de matéria orgânica oriundo das plantas invasoras quando se aumenta o espaçamento, diminuindo a densidade de plantio.

Índice de Manejo do Carbono (IMC)

Os valores do IMC foram menores do que 100 % em todos os espaçamentos quando se considera a linha de plantio, destacando-se os tratamentos mais adensados (1 x 0,5 e 1 x 1 m) com os maiores índices (Figura 3). Todavia, Rangel et al. (2008)

encontraram valores de IMC maiores do que 100 % para todos os espaçamentos estudados, contrariamente ao detectado no presente trabalho.

Nos tratamentos mais adensados (1 x 0,5 e 1 x 1 m) obtiveram-se valores médios do IMC na ordem de 89,3 e 92,5 %, respectivamente, considerando todo o perfil amostrado (0-60 cm) na linha de plantio. Por outro lado, os tratamentos menos adensados (4 x 0,5 e 4 x 1 m) proporcionaram valores de IMC de 71,8 % nessa mesma condição (Figura 3). Na entrelinha, o IMC diferiu estatisticamente somente na camada superior (0–10 cm), seguindo a tendência de maiores valores para os tratamentos mais adensados; todavia, essa diferença diminuiu à medida que se aumenta a espessura da camada de solo (Figura 3).

Os valores menores do que 100 % denotam que ações devem ser buscadas no sentido de preservar e, ou, aumentar o conteúdo de MOS dos solos (Blair et al., 1995; Vieira et al., 2007)

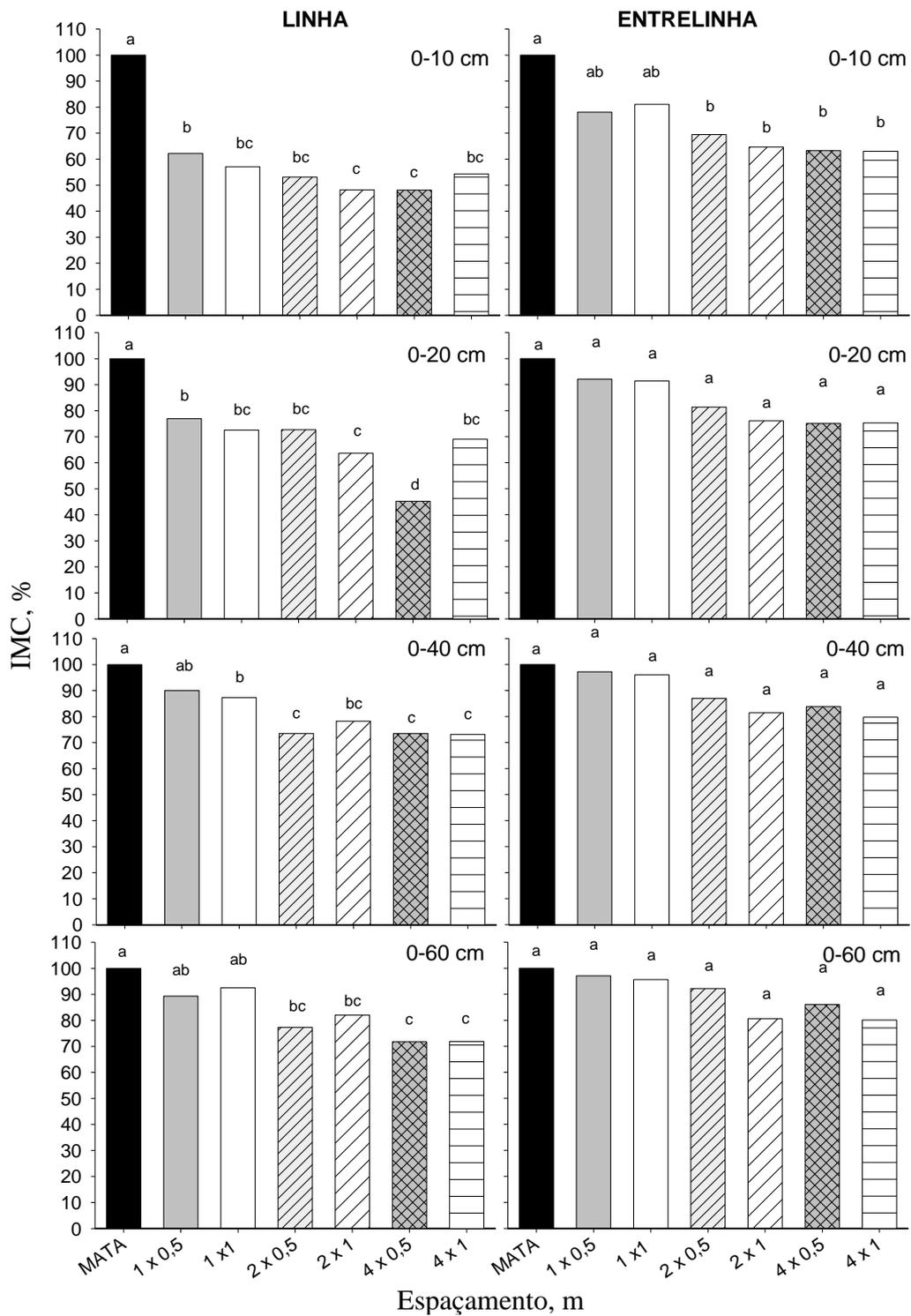


Figura 3. Índice de Manejo do Carbono (IMC), nos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros e Mata (referência) em profundidades distintas do perfil do solo na linha e entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Carbono orgânico associado às frações Matéria Orgânica Particulada (C-MOP) e Matéria orgânica Associada aos Minerais (C-MAM), Carbono Lábil (CL) associado às frações Matéria Orgânica Particulada (CL-MOP) e Matéria orgânica Associada aos Minerais (CL-MAM), Carbono Não-Lábil (CNL) associado às frações Matéria Orgânica Particulada (CNL-MOP) e Matéria orgânica Associada aos Minerais (CNL-MAM)

Os estoques de C-MOP foram menores em todos os espaçamentos de plantio estudados tanto na linha quanto na entrelinha em relação à mata (Figura 4). Porém, só ocorreram diferenças entre os espaçamentos na linha de plantio, sendo que nos tratamentos menos adensados (4 x 0,5 e 4 x 1 m) obtiveram-se menores estoques (3,0 e 3,5 t ha⁻¹), respectivamente, considerando a camada de 0-20 cm (Figura 4a). Já na entrelinha, os estoques de C-MOP não diferiram entre os espaçamentos (Figura 4b).

A MOP é considerada a fração mais sensível às alterações causadas nos sistemas agrícolas e nos sistemas naturais pela ação antrópica (Koutika et al., 1999; Bayer et al., 2004; Rangel & Silva, 2007). Conseqüentemente, valores de C-MOP menores do que o da referência (mata) denotam perda de sustentabilidade do sistema em questão e, portanto, manejos mais adequados devem ser buscados.

Observou-se que os espaçamentos de plantio intermediários (2 x 0,5 e 2 x 1 m) foram os que proporcionaram os maiores estoques de C-MOP (5,9 e 5,5 t ha⁻¹ respectivamente). Entretanto, esses estoques ainda são quase 50 % menores que aqueles encontrados na mata (10,4 t ha⁻¹) (Figura 4a).

Os estoques de CNL-MOP também seguiram a mesma tendência ao observado para o C-MOP, com valores menores que o observado para a mata; os espaçamentos intermediários foram os que causaram maiores estoques desta fração (Figura 4).

O estoque de CL-MOP da mata foi maior do que os encontrados nos diferentes espaçamentos; adicionalmente, observou-se que esses estoques foram influenciados pela densidade de plantio, para a camada de 0-10 cm. Todavia, na camada de 0-20 cm o estoque para o tratamento mais adensado (1 x 0,5 m) não diferiu significativamente do encontrado sob a mata, com os valores de 0,31 e 0,28 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 4 a).

Na entrelinha também foi observada diferença estatística entre os tratamentos, destacando-se os tratamentos mais adensados (maiores estoques de CL) para a camada de 0-10 cm. Por outro lado, na camada de 0-20 cm todos os tratamentos não diferiram

entre si, ou seja, a densidade de plantio não influenciou os estoques de CL-MOP nessa camada (Figura 4b).

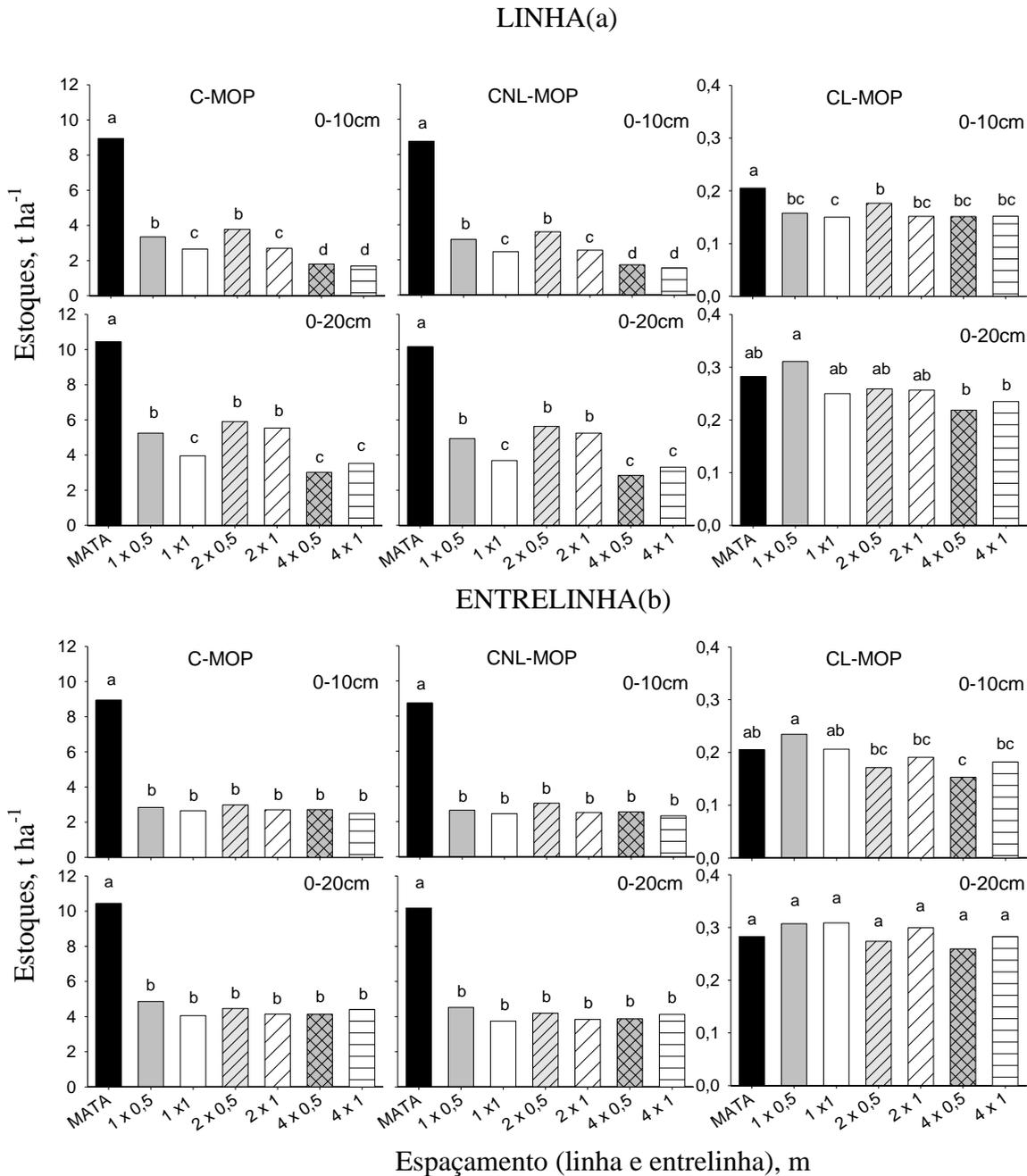


Figura 4. Estoques de Carbono (C-MOP), Carbono Não – lábil (CNL-MOP) e Carbono Lábil (CL-MOP), nos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros e Mata (referência), em profundidades distintas do perfil do solo na linha (a) e na entrelinha (b) de plantio, na fração MOP. As barras representam o erro padrão da média. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Deve-se enfatizar que os estoques de CL-MOP foram maiores na entrelinha do que na linha. Esse fato deve-se, provavelmente, à maior deposição de resíduos vegetais tanto da parte aérea quanto do sistema radicular, como já mencionado anteriormente.

Observou-se que os estoques de C-MAM e de CNL-MAM foram influenciados pelos diferentes espaçamentos, em especial na camada superficial (0-10 cm), em que os estoques foram superiores ao da mata, com exceção para o espaçamento menos adensado (4 x 1 m) que apresentou estoque semelhante ao da mata (Figura 5). Por outro lado, na camada de 0-20 cm os estoques de C-MAM e CNL-MAM foram semelhantes ao da mata; nesta camada, o maior espaçamento proporcionou o menor estoque de C-MAM e CNL-MAM. Rangel & Silva (2007) observaram reduções da ordem de 26 % nos teores de COT na fração pesada em relação à mata, contrário ao que foi observado no presente trabalho.

Os estoques de CL-MAM não foram influenciados na linha de plantio pelos diferentes espaçamentos de plantio e apresentaram estoques menores que os encontrados na mata (Figura 5a). Por outro lado, na entrelinha de plantio os estoques de CL-MAM foram influenciados pelos diferentes espaçamentos, porém com maiores estoques nos espaçamentos mais largos entre plantas na linha de plantio, em especial na camada de 0-20 cm (Figura 5b).

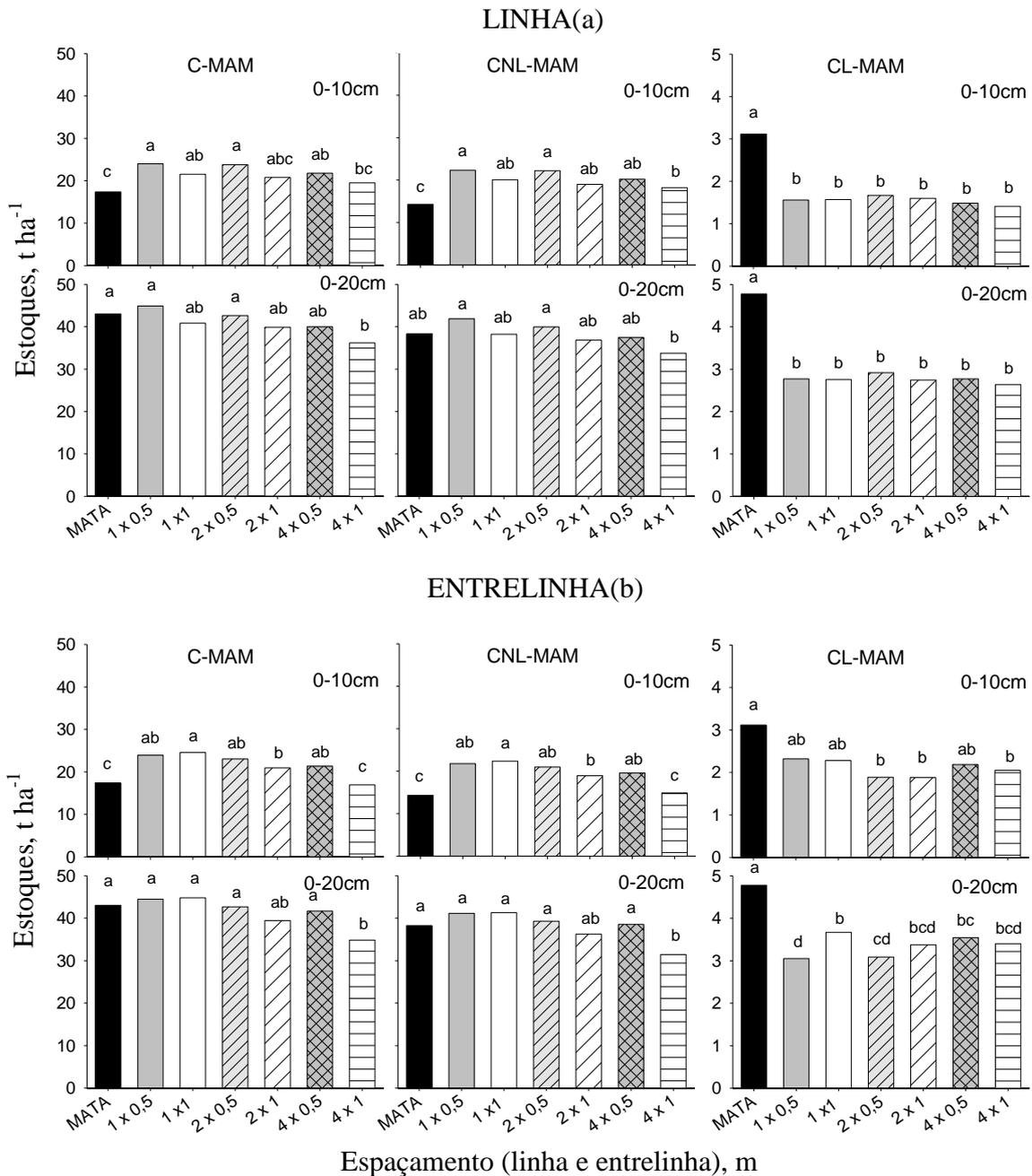


Figura 5. Estoques de Carbono (C-MAM), Carbono Não-Lábil (CNL-MAM) e Carbono Lábil (CL-MAM), nos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros e Mata (referência) em profundidades distintas do perfil do solo na linha (a) e na entrelinha (b) de plantio, na fração MAM. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Estoques de Nitrogênio Total (NT)

Os estoques de NT foram semelhantes aos observados para COT, ou seja, não foram influenciados pelo espaçamento na linha de plantio (entre plantas), exceto para as camadas superficiais na entrelinha: nas camadas de 0-10 e de 0-20 cm observou-se maior perda de NT em relação à mata nos plantios menos densos (4 x 1 m) como também observado por Freixo et al. (2002), que observaram decréscimos nos teores de NT na primeira camada do solo (0-5 cm) nas condições de diferentes manejos agrícolas estudados.

Mesmo assim, em todas as profundidades na linha e entrelinha de plantio, o solo da mata apresentou maiores estoques de NT (Figura 6). As perdas médias nos estoques de NT chegam a 39,4 e 35,1 % em relação à mata, na linha e entrelinha, respectivamente.

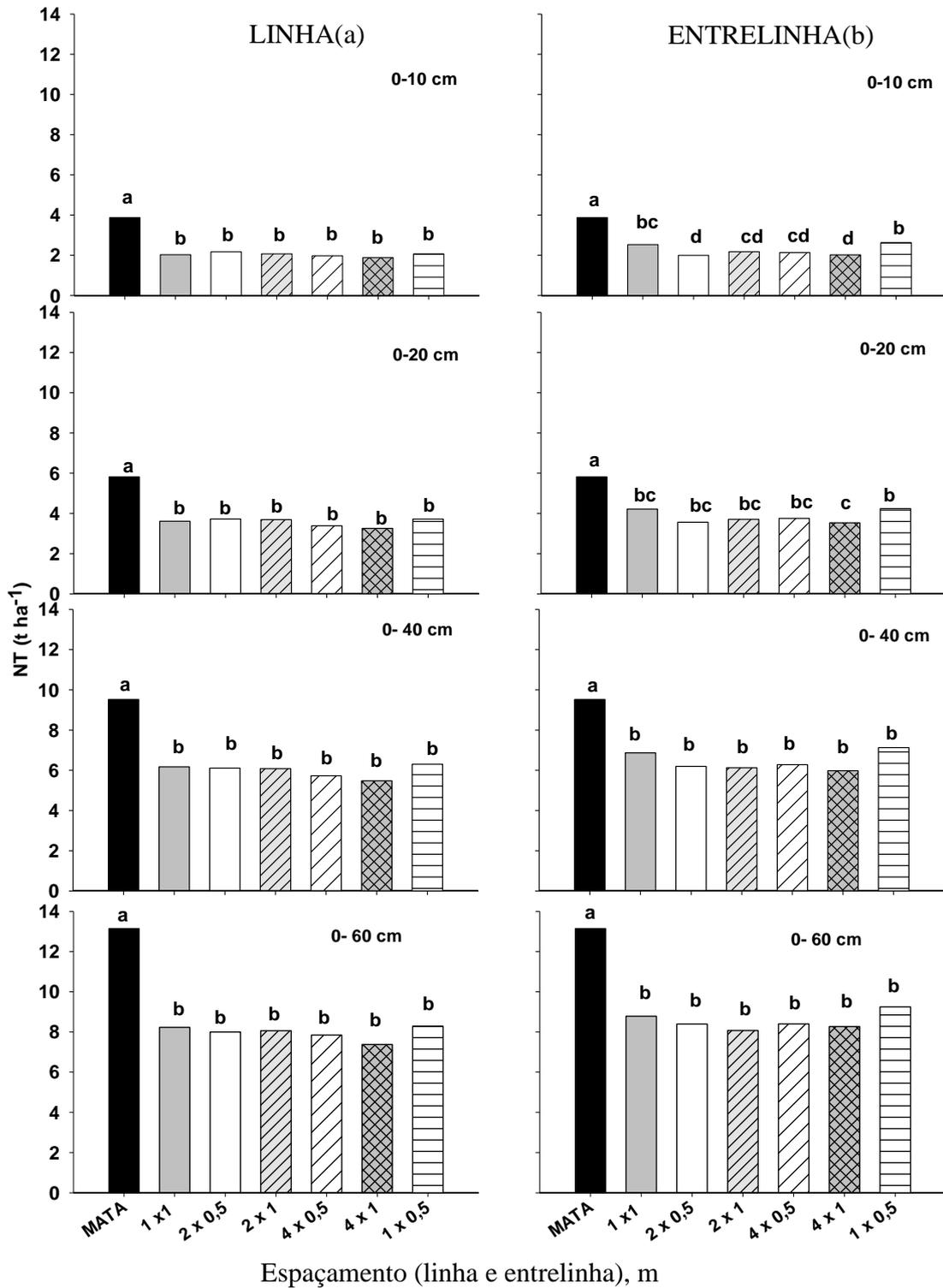


Figura 6. Estoques de Nitrogênio Total (NT), nos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros e Mata (referência) em profundidades distintas do perfil do solo na linha (a) e entrelinha (B) de plantio. As barras verticais representam o erro padrão da média. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

1. Observa-se tendência de maior estoque de Carbono Orgânico Total (COT) nos espaçamentos de plantio mais adensados (1 x 0,5 e 1 x 1 m).
2. Os estoques de COT na mata superam em 28 e 29 % os estoques encontrados na linha e entrelinha, respectivamente.
3. O Índice de Manejo de Carbono (IMC) é menor do que 100 % em todos os espaçamentos, tanto na linha quanto na entrelinha.
4. Os estoques de C-MOP (Carbono-Matéria Orgânica Particulada), CNL-MOP (Carbono Não-Lábil - Matéria Orgânica Particulada) CL-MOP (Carbono Lábil - Matéria Orgânica Particulada) são menores do que os da mata.
5. Os estoques de Nitrogênio Total (NT) são menores que os observados na mata.
6. O cultivo do café, nos manejos testados, resulta em decréscimo nos estoques da MOS, indicando que formas mais sustentáveis de manejo do solo devem ser buscadas.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. & NICOLODI, M. Estratégias de calagem no sistema plantio direto. Fertbio 2004, Lages SC, Palestras; Julho 2004. CD-ROM.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.E. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:677-683, 2004.
- BLAIR, G.J., LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46:1459-1466, 1995.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 26p. (Boletim de Extensão, 29)
- FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. *Soil Till. Res.*, 83: 120-147, 2005.
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A. & FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:425-434, 2002.
- GREGORICH, E.H., ROCHETTE, P., VANDENBYGAART, A.J. & ANGERS, D.A. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil Till. Res.*, 83: 53-72, 2005.
- KOUTIKA, L.S.; ANDREUX, F.; HASSINK, J.; CHONÉ, T. & CERRI, C.C. Characterization of organic matter in topsoils under rain forest and pasture in the Eastern Brazilian Amazon Basin. *Biol. Fertil. Soils*, 29:309-313, 1999.

- MACHADO, P.L.O.A. & SILVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 61:119–130, 2001.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. 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.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. *Tópicos em Ciência do Solo*, eds. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 209–248.
- PAVAN, M.A. & CHAVES J.C.D. Alterações na frações de fósforo no solo associadas com a densidade de populacional de cafeeiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:251-256, 1996.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1609-1623, 2007.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. & GUIMARÃES, P.T.G. Estoques e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1341-1353, 2007.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. & GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciênc. Agrotec.*, 32:429-337, 2008.
- RASSE, D.P.; RUMPEL, C. & DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant Soil*, 269:341-356, 2005.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:297-300, 2005.
- SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 76:39-58, 2004.

- TIESSEN, H.; CUEVAS, E. & CHACON, P.. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371: 783-785, 1994.
- THOMAZIELLO, R.A. O cultivo do cafeeiro no sistema adensado. *O Agrônômico*, 53:8-10, 2001.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7)
- VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J. & HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil Till. Res.*, 96: 195–204, 2007.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 4: ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO CULTIVADO COM CAFEIEIRO IRRIGADO E DE SEQUEIRO

RESUMO

A matéria orgânica é um dos principais constituintes do solo e redução de seu teor provoca perda de produtividade de muitas culturas. Assim, estudos que avaliem o aporte ou perda de matéria orgânica do solo com a cultura do café são de grande importância para avaliar a sustentabilidade do sistema. O presente estudo teve como objetivo avaliar alterações causadas pelo cultivo do cafeeiro sob manejo irrigado e não-irrigado (sequeiro) nos estoques da matéria orgânica do solo (MOS) no Vale do Jequitinhonha. O local de estudo é uma propriedade particular localizada próximo à cidade de Capelinha-MG. Foram coletadas amostras compostas (seis amostras simples) de solos nas linhas e nas entrelinhas do cafeeiro irrigado e do de sequeiro, em seis profundidades (0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm), com três repetições. Uma área sob Cerrado adjacente à lavoura de café foi utilizada como referência das condições naturais da MOS. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico argiloso. Foram realizadas análises dos teores totais de C e N e, posteriormente, calculados os seus estoques nas diferentes camadas analisadas. Foi também analisada a abundância natural do ^{13}C . Observou-se que os estoques de C orgânico total, carbono lábil no solos e nas frações matéria orgânica particulada e matéria orgânica associada aos minerais foram, de modo geral, maiores para o café irrigado. Os valores de delta do ^{13}C foram, também, mais negativos para o café irrigado, especialmente na linha de plantio, indicando maior contribuição de C do café irrigado para a MOS.

Termos de indexação: Abundância natural do ^{13}C , frações da MOS, sustentabilidade, Cerrado

STOCKS AND QUALITY OF ORGANIC MATTER IN SOIL UNDER IRRIGATED AND DRYLAND COFFEE CULTIVATION

Abstract: Organic matter is one of the main constituents of the soil and a drop in OM content can result in a loss of productivity in many crops. Studies to assess the

rise or fall of organic matter content brought about by coffee cultivation are therefore very important in evaluating the sustainability of an agricultural system. The aim of this study was to assess alterations caused by irrigated and dryland coffee cultivation on soil organic matter (SOM) stocks in the Jequitinhonha Valley. The study location was private property near the town of Capelinha, in the state of Minas Gerais (MG), Brazil. Composite samples, consisting of six discrete samples, were collected from the soils in the rows and interrows of irrigated and dryland coffee plantations at six depths (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm), with three replications. An area under Cerrado (savanna) adjacent the coffee plantation was used as a reference for SOM content in the original soil. The soil in the area was classified as clayey dystrophic Red Oxisol (Latosolo Vermelho). Total carbon and nitrogen contents were analyzed and C and N stocks calculated in the six layers sampled. The natural abundance of ^{13}C was also analyzed. We observed that stocks of total organic carbon (TOC) and labile carbon (LC) in the soils, as well as in particulate organic matter (POM) and mineral-associated organic matter (MAM) fractions, were generally higher under the irrigated plantation. Delta figures for ^{13}C was also more negative for irrigated coffee growing, especially in the interrow, indicating that irrigated coffee growing contributes more carbon to the SOM.

Indexing terms: Natural abundance of ^{13}C , SOM fractions, sustainability, Cerrado (savanna)

INTRODUÇÃO

A Matéria Orgânica do Solo (MOS) desempenha papel fundamental na qualidade física, química e biológica do solo (Stevenson, 1994; Baldock & Skjemstad, 2000). A compreensão de sua dinâmica nos diferentes sistemas de uso e, ou, de manejo do solo faz-se necessária para que se encontre um manejo que possibilite aumento ou, pelo menos, sustentabilidade dos estoques de MOS. Nesse contexto, a MOS é um indicador do grau de preservação e, ou, de desequilíbrio dos sistemas agrícolas. Sua formação e constituição são fortemente influenciadas, dentre outros fatores, pelo tipo de manejo das plantas no ecossistema (Mendham et al., 2002) e redução de seu conteúdo no solo provoca, de modo geral, diminuição da produtividade de muitas culturas (Bauer & Black, 1994).

Vários autores têm observado que a substituição de pastagem nativa e florestas naturais por sistemas agrícolas pode levar a uma redução no conteúdo de C Orgânico (CO) do solo, em resposta à aceleração na taxa de decomposição, maior aeração e exposição física da MOS aos microrganismos decompositores (Silva et al., 1994; Richter et al., 1999). Todavia, o acúmulo da matéria orgânica também tem sido observado em solos da região do Cerrado sob plantio direto (SPD), embora os resultados sejam conflitantes. No Distrito Federal, pesquisadores observaram que, após 12 anos de cultivo com grade pesada, o solo apresentou uma perda de $8,3 \text{ t ha}^{-1}$ de C em relação ao Cerrado nativo, enquanto no solo sob SPD, verificou-se, em 15 anos, um aumento de $21,4 \text{ t ha}^{-1}$ de C, o que corresponde a uma taxa de acúmulo de $1,43 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C no solo (Corazza et al., 1999). No entanto, nem sempre os solos sob PD têm apresentado maior estoque de C em relação aos solos cultivados sob plantio convencional (PC), mesmo em sistema com rotação de culturas incluindo leguminosas (Freixo et al., 2002), ou mesmo irrigados (D'Andréa et al., 2004).

Estudos nessa linha, com adoção de práticas de manejo mais conservacionistas, tal como o SPD, foram testadas e aperfeiçoadas para solos de clima tropical e seu emprego tem resultado numa recuperação gradual no conteúdo de MOS, com impacto positivo na produtividade das culturas e na qualidade ambiental (Machado & Silva, 2001; Bayer et al., 2004). Esses estudos também demonstraram que não apenas a quantidade mas também a qualidade da MOS é alterada pelas práticas de manejo, o que, possivelmente, influencia seu tempo de ciclagem e potencial de liberação de nutrientes, geração de cargas, agregação, etc. (Silva & Mendonça, 2007; Santos et al., 2008).

Uma forma eficaz de estudar a dinâmica do C no solo é empregar técnicas que possam apontar a contribuição das culturas para a MOS. Nesse sentido, têm-se utilizado a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, que é diferente entre a vegetação original e a cultura do café, sendo possível determinar a contribuição da origem dos resíduos de café na formação da MOS.

O conteúdo de ^{13}C na MOS reflete, de maneira muito sensível, o valor de ^{13}C nas plantas (Gerzabek et al., 1997). Durante o processo de humificação, as atividades químicas e microbianas enriquecem o solo com ^{13}C adicionado via resíduo vegetal e, conseqüentemente, alterando a característica inicial do solo. Pode-se, assim, expressar a contribuição de cada composto adicionado e, ou, pela decomposição de resíduos vegetais de diferentes origens (mata ou café). Mesmo o café sendo uma planta C_3 e as plantas arbóreas do Cerrado também com predomínio de plantas C_3 , a presença de

gramíneas C₄ no Cerrado faz com que os valores dos deltas de ¹³C para essas duas culturas sejam diferentes, sendo que esses valores para o café variam de -29,03 à -27,90 ‰ e para o Cerrado de -20,05 a -19,70 ‰ (Wilcke & Lilienfein, 2004).

Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar alterações causadas pelo cultivo do cafeeiro sob manejo irrigado e sequeiro nos estoques e na qualidade matéria orgânica do solo na região do Vale do Jequitinhonha.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados dois manejos na cultura do café (*Coffea arabica cv catuaí*), uma área com café irrigado e outra, ao lado, não-irrigada (sequeiro). Uma área de Cerrado adjacente à área experimental foi amostrada como referência da condição original do solo. Foram coletadas amostras compostas de solo tanto na linha quanto na entrelinha de plantio em seis profundidades (0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm). Cada amostra composta foi originada de seis amostras simples para cada tratamento e profundidade, com três repetições. O local de coleta foi uma propriedade particular localizada próximo à cidade de Capelinha-MG, no Vale do Jequitinhonha, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico argiloso (Quadro 1), em uma altitude média de 890 m. Tanto para a área irrigada quanto para a não irrigada, a variedade cultivada foi a Catuaí, com espaçamento de 4 m entre linhas e 0,75 m entre plantas. A técnica de irrigação aplicada foi a por gotejo com um turno de rega variável ao longo do ano.

Em cada tratamento, foi realizada a abertura de uma trincheira com 1 m de profundidade e, em cada camada de amostragem, foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos para se estimar a densidade do solo.

Quadro 1. Características químicas e físicas das amostras dos solos utilizados em diferentes profundidades

cm	.....mg dm ⁻³.....			.....cmol _e dm ⁻³.....							.....%.....	.....g kg ⁻¹				
Cerrado 0-10	4,28	0,00	52,93	0,00	0,11	0,96	12,24	0,24	12,49	1,20	1,94	79,83	62,31	591,42	200,20	146,07
Cerrado 10-20	4,13	0,00	34,77	0,00	0,08	0,72	9,34	0,17	9,51	0,89	1,78	81,00	69,84	584,01	199,39	146,76
Cerrado 20-40	4,35	0,00	18,64	0,00	0,07	0,48	7,16	0,12	7,28	0,60	1,64	80,07	55,38	580,51	223,59	140,51
Cerrado 40-60	4,74	0,00	8,55	0,00	0,05	0,20	5,97	0,07	6,05	0,27	1,21	73,27	40,06	578,04	253,90	127,99
Cerrado 60-80	4,82	0,00	6,53	0,00	0,04	0,36	4,59	0,06	4,65	0,42	1,27	85,88	36,39	638,71	189,87	135,02
Cerrado 80-100	4,93	0,00	6,53	0,00	0,05	0,40	3,47	0,07	3,53	0,47	1,90	85,64	16,95	654,66	203,39	125,00
CIEL 0-10	5,13	4,18	103,36	2,76	3,76	0,16	9,01	6,78	15,79	6,94	42,96	2,30	51,72	668,60	173,09	106,60
CIEL 10-20	6,00	12,75	107,40	17,20	4,62	0,12	5,58	22,10	27,68	22,22	79,85	0,54	90,81	623,47	178,44	107,28
CIEL 20-40	4,75	0,71	36,79	0,90	0,55	0,16	7,43	1,54	8,97	1,70	17,19	9,41	35,86	678,28	182,38	103,48
CIEL 40-60	5,01	0,71	26,71	1,17	0,63	0,16	5,78	1,87	7,65	2,03	24,50	7,86	29,14	703,99	165,64	101,23
CIEL 60-80	4,73	0,71	14,60	0,20	0,18	0,04	5,25	0,42	5,67	0,46	7,45	8,65	21,40	731,21	149,27	98,12
CIEL 80-100	4,46	0,00	8,55	0,12	0,12	0,08	5,12	0,26	5,37	0,34	4,80	23,68	14,46	742,90	154,88	87,76
CIL 0-10	5,92	1,26	295,48	14,22	10,99	0,32	6,04	25,97	32,01	26,29	81,13	1,22	95,04	630,29	174,41	100,26
CIL 10-20	5,26	143,00	196,16	2,46	6,79	0,20	8,55	9,76	18,30	9,96	53,30	2,01	75,14	629,73	189,19	105,95
CIL 20-40	4,24	54,83	113,45	0,78	0,40	0,44	9,01	1,47	10,48	1,91	14,03	23,03	64,76	668,17	174,70	92,37
CIL 40-60	4,03	10,63	117,48	0,76	0,41	0,40	8,28	1,47	9,75	1,87	15,06	21,41	44,25	699,39	160,73	95,63
CIL 60-80	3,31	0,13	61,00	0,00	0,12	0,80	7,36	0,28	7,64	1,08	3,64	74,20	32,19	728,67	148,19	90,96
CIL 80-100	3,29	0,00	54,95	0,00	0,07	0,68	7,23	0,21	7,44	0,89	2,83	76,39	24,13	728,44	151,95	95,48
CSL 0-10	6,41	123,77	311,62	15,77	3,95	0,24	4,65	20,52	25,17	20,76	81,52	1,16	128,70	673,14	135,85	62,31
CSL 10-20	6,28	22,22	184,05	1,75	1,06	0,12	5,31	3,28	8,59	3,40	38,18	3,53	64,16	748,04	124,15	63,64
CSL 20-40	5,49	3,71	111,43	1,42	0,87	0,04	5,71	2,58	8,28	2,62	31,09	1,53	83,59	745,22	112,79	58,41
CSL 40-60	5,47	3,48	87,22	0,12	0,14	0,04	5,18	0,48	5,66	0,52	8,42	7,75	50,05	796,80	113,11	40,04
CSL 60-80	4,53	0,00	14,60	0,03	0,14	0,40	5,97	0,21	6,18	0,61	3,33	66,02	29,68	811,37	103,62	55,33
CSL 80-100	4,77	0,00	4,51	3,05	8,12	0,20	5,71	11,18	16,89	11,38	66,21	1,76	25,37	827,50	96,40	50,74
CSEL 0-10	5,30	9,03	89,24	0,60	0,51	0,24	8,02	1,34	9,36	1,58	14,35	15,16	83,55	736,12	124,30	56,04
CSEL 10-20	4,38	1,32	79,15	0,19	0,30	0,72	9,67	0,69	10,36	1,41	6,67	51,01	64,29	750,88	126,57	58,26
CSEL 20-40	4,21	0,00	48,90	0,41	0,35	0,48	7,89	0,88	8,77	1,36	10,04	35,30	17,40	800,41	120,78	61,41
CSEL 40-60	4,37	0,00	36,79	0,00	0,08	0,40	6,37	0,18	6,55	0,58	2,70	69,32	32,58	805,01	110,28	52,13
CSEL 60-80	3,57	0,00	99,33	0,00	0,07	0,36	5,71	0,33	6,04	0,69	5,40	52,47	12,64	830,64	103,13	53,59
CSEL 80-100	3,49	0,00	75,12	3,01	2,39	0,60	5,78	5,59	11,37	6,19	49,21	9,69	17,25	831,56	100,46	50,74

pH em H₂O – relação 1:2,5. P e K, Extrator: Mehlich 1 (Defilipo & Ribeiro, 1997). Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, Extrator: KCl 1 mol L⁻¹ (Vettori, 1969). H+Al, Extrator: acetato de cálcio 0, 5 mol L⁻¹, pH 7 (Vettori, 1969). Silte, argila, areia grossa e areia fina - Método da pipeta (Ruiz, 2005).

Cerrado: solo de referência; CIEL: Café irrigado entrelinha; CIL: Café irrigado linha; CSL: café sequeiro linha e CSEL: café sequeiro entrelinha.

Para a análise dos teores de C, N e da abundância natural do ^{13}C , as amostras de solo e das frações foram secas em estufa, passadas em peneira de 0,149 mm (100 mesh) e o COT e a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ foram determinados em um analisador elementar conectado a um espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (ANCA-GLS 20-20, Sercom, Crewe, UK). A razão isotópica (δ) foi expressa em partes por 1.000 (‰), em relação ao padrão de Pee Dee Belemnita (PDB) (Bernoux et al.,1998). Foram também determinados o C oxidado por permanganato de potássio, para a determinação do Carbono Lábil (CL) e foi estimado o Índice do Manejo do Carbono (IMC). Além disso, foi realizado o fracionamento físico da MOS segundo Cambardella & Elliott (1992), determinando-se os estoques de C no solos e nas frações Matéria Orgânica Particulada (MOP) e Matéria orgânica Associadas aos Minerais (MAM). Esses estoques foram calculados a partir da densidade do solo do Cerrado com o objetivo de minimizar o efeito de compactação do solos manejados. Detalhes dos procedimentos analíticos adotados são apresentados no primeiro capítulo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono-Não Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL) no solo

Os estoques de COT diferiram da condição original (Cerrado), ao longo do perfil do solo, na linha de plantio, com exceção da camada de 0-20 cm, em que esses estoques no café irrigado e de sequeiro não se diferenciaram daqueles do Cerrado adjacente (Figura 1). Nota-se também que o solo sob o café irrigado apresentou maiores estoques de COT, tanto em relação ao café de sequeiro quanto ao Cerrado, em especial nas camadas mais profundas (de 0-40 até 0-100 cm). Este fato ocorreu, provavelmente, devido às condições originais do solo de Cerrado, com um baixo estoque de COT e, aliado a isso, uma maior produção radicular do cafeeiro, levando a um maior aporte de MOS sob o café irrigado. Dessa maneira, um manejo que venha a propiciar um aporte de resíduo orgânico, mesmo que pequeno, causa uma diferença significativa em relação ao Cerrado. Rangel et al. (2007) observaram reduções nos teores de COT em solos cultivados em diferentes espaçamentos, na linha plantio do cafeeiro; todavia, no presente trabalho os resultados indicaram que os estoques de COT na linha de plantio foram iguais ou maiores do que a referência (Cerrado).

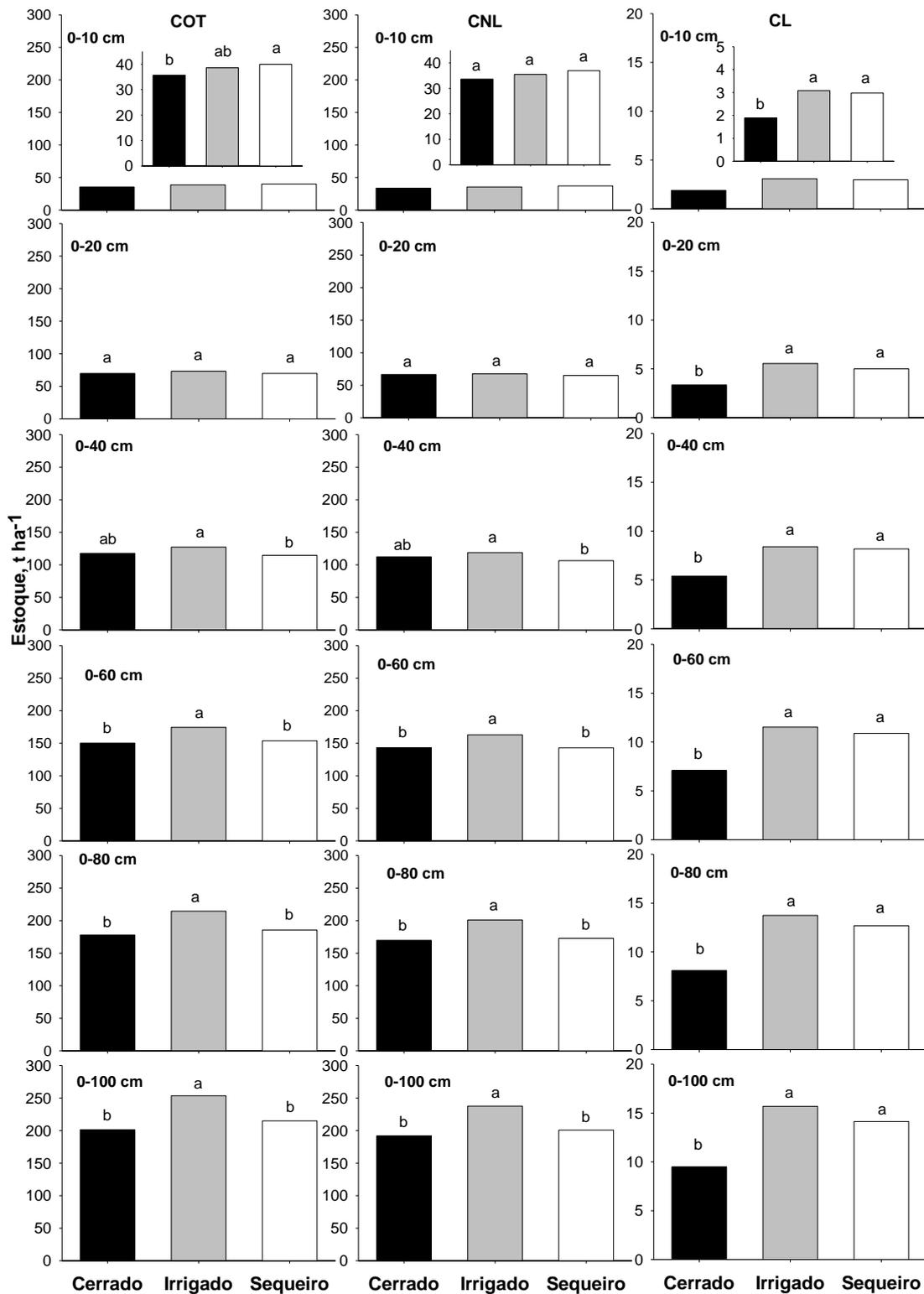


Figura 1. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), no solo sob os manejos de café irrigado, de sequeiro e Cerrado (referência), em profundidades distintas no perfil do solo na linha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na entrelinha, tanto o café irrigado quanto o de sequeiro não superaram os estoques de COT encontrados no Cerrado, em especial o café de sequeiro, que apresentou menores estoques tanto em relação ao café irrigado quanto ao Cerrado (Figura 2). Provavelmente, esse fato deve-se ao maior aporte de material vegetal que ocorre ao longo do ano, proporcionado pela irrigação, principalmente durante o período de seca.

Os estoques de Carbono Não-Lábil (CNL), fração mais recalcitrante da MOS, comportaram-se semelhantemente aos estoques de COT, sendo maiores no solo sob café irrigado em relação ao solo sob Cerrado e sob café de sequeiro, em especial na linha de plantio (Figura 1). O estoque de CNL na entrelinha de plantio também se comportou como o estoque de COT, tendo o solo do café irrigado maiores valores em relação ao de sequeiro, mas os estoques de CNL do solo do café irrigado não diferiram em relação aos do Cerrado (Figura 2).

Os estoques de Carbono Lábil (CL), tanto na linha quanto na entrelinha dos solos do café irrigado e de sequeiro, para todas as camadas de solo amostradas (Figuras 1 e 2) foram maiores que no solo de Cerrado, indicando que o cultivo do café proporcionou um maior aporte de frações mais lábeis em detrimento ao Cerrado. Observou-se que na linha de plantio os estoques de CL sob o café irrigado e de sequeiro não diferiram entre si (Figura 1); porém, na entrelinha de plantio os estoques de CL sob o café irrigado superaram o de sequeiro (Figura 2). Esse fato deve-se, provavelmente, ao maior aporte de resíduo vegetal proveniente de um maior crescimento das plantas de café ao longo do ano, propiciado pela irrigação e, também, pelo manejo de arruação do cafeeiro para que se proceda a colheita (limpeza do material vegetal e ervas daninhas que se encontram sob a copa do cafeeiro e são colocadas na entrelinha). Estudos com as frações de CL demonstram que em culturas agrícolas e, ou, sistemas de manejos com adições frequentes de resíduos vegetais ao solo, há maior proporção de CL nessas áreas (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001), como observado neste trabalho, em especial no café irrigado. Esses resultados são curiosos uma vez que, com frequência, os dados da literatura indicam que a agricultura tropical, nos manejos atuais (exceto do sistema de plantio direto), contribui negativamente para os estoques de CO no solo (Marchiori Junior & Melo, 2003; Mielniczuk et al., 2003).

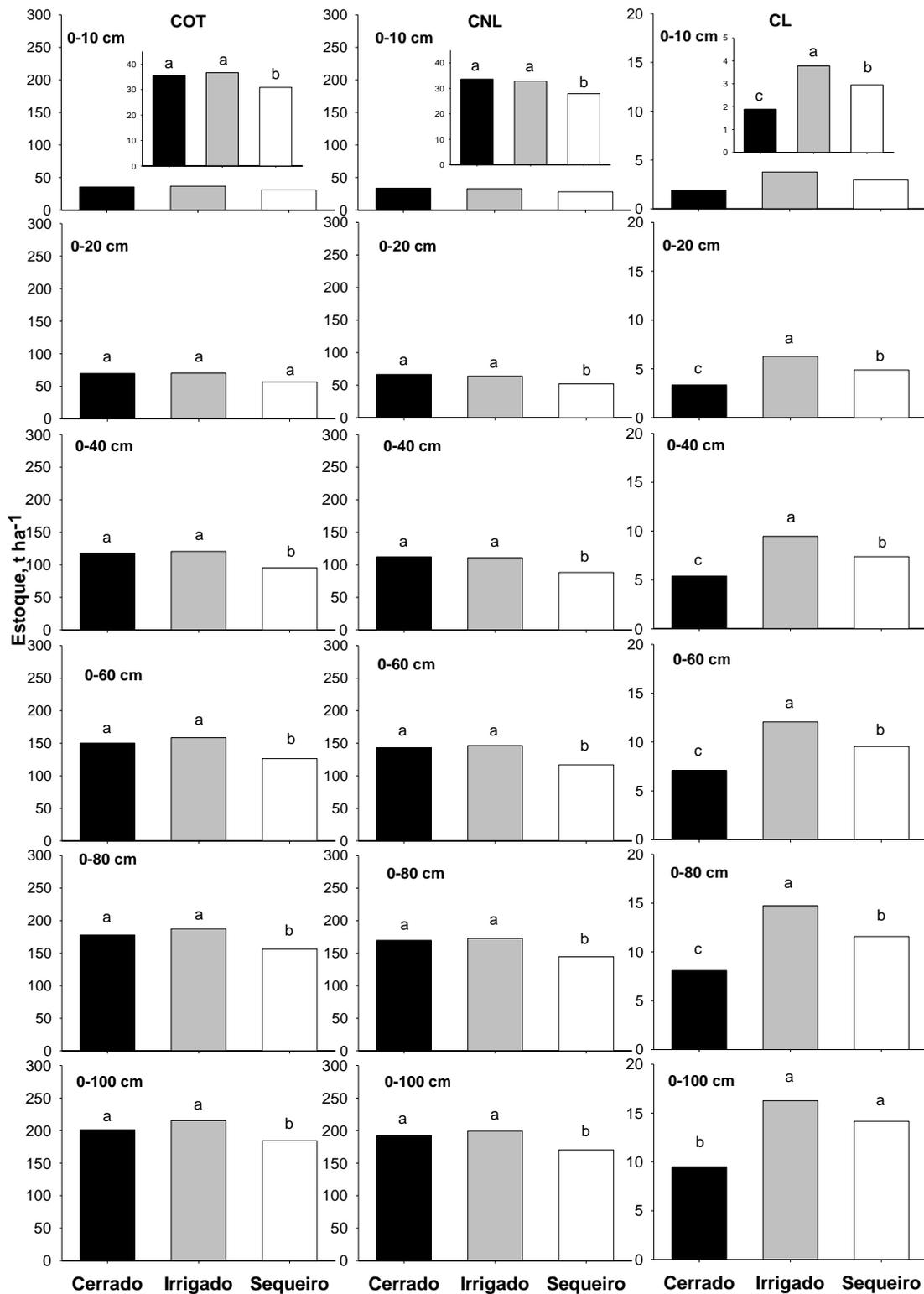


Figura 2. Estoques de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Não-Lábil (CNL) e Carbono Lábil (CL), no solo sob os manejos de café irrigado, de sequeiro e Cerrado (referência), em profundidades distintas no perfil do solo na entrelinha de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Índice de Manejo do Carbono (IMC)

O IMC, sugerido por Blair et al. (1995) e Vieira et al. (2007) é um indicativo de características da labilidade da MOS, tendo-se como referência a labilidade da MO de um solo padrão, comparando as mudanças do COT e CL em virtude de alterações de manejo e de uso em diferentes sistemas agrícolas. Valores de IMC maiores do que 100 % refletem a capacidade do sistema em estudo em promover a melhoria da qualidade do solo e a sustentabilidade de seu uso agrícola; por outro lado, valores inferiores a 100 % são indicativos de impacto negativo das práticas de manejos e, ou, do uso na qualidade do solo.

O IMC dos solos sob o cafeeiro foi maior do que 100 % em todas as camadas estudadas, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio (Figuras 3a, b). Nota-se que na entrelinha de plantio o IMC do solo sob o café irrigado superou ao do café de sequeiro e também ao do solo de Cerrado (referência) (Figura 3b), indicando o efeito positivo da irrigação na sustentabilidade da MOS. Rangel et al. (2008), estudando o cultivo de cafeeiro em diferentes espaçamentos, também encontraram valores de IMC maiores do que 100 %, o que indica que o cultivo do cafeeiro sob os diferentes manejos pode ser favorável à manutenção do C no solo.

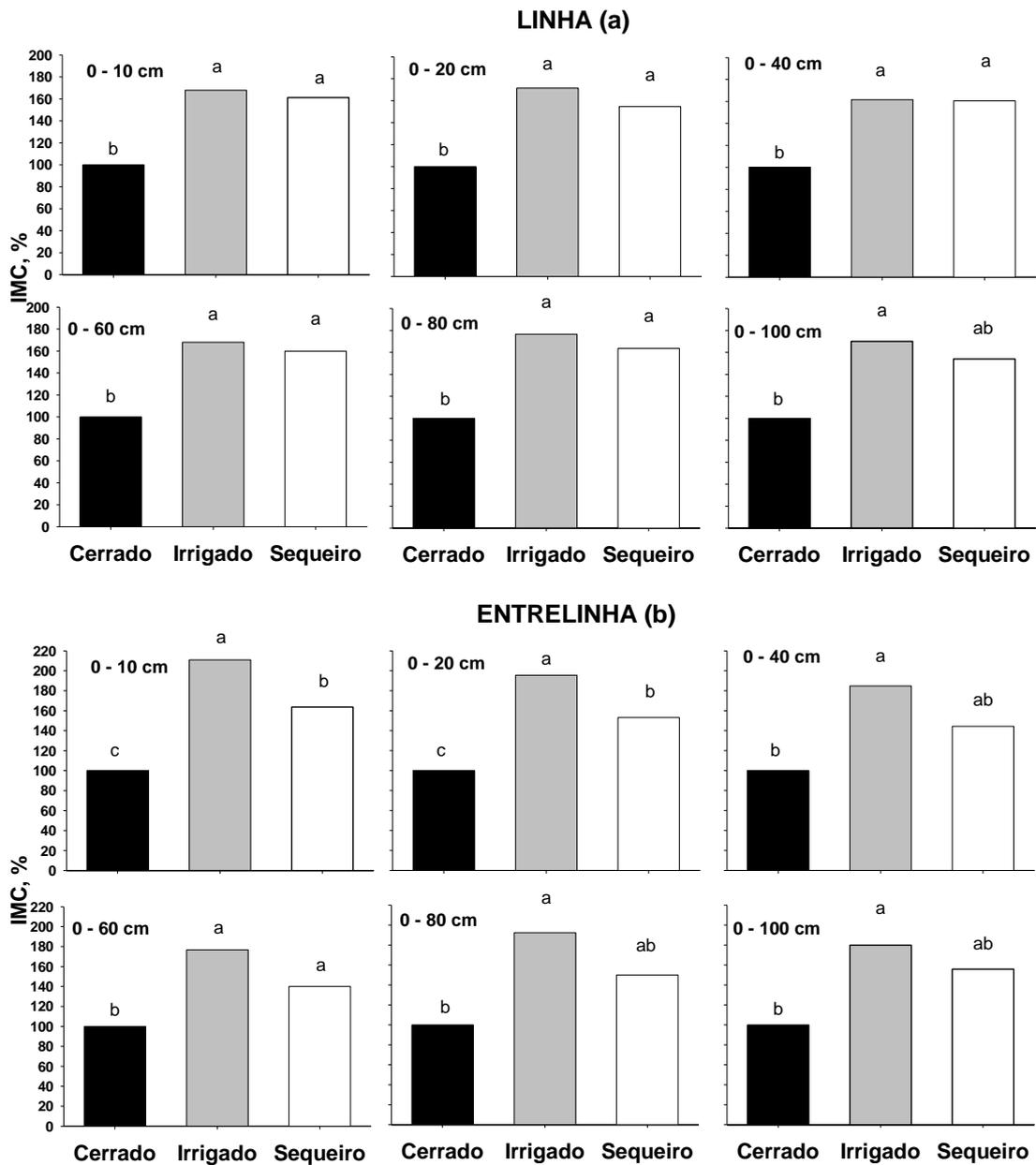


Figura 3. Índice de Manejo do Carbono (IMC), no solo sob os manejos café irrigado, de sequeiro e Cerrado (referência) em profundidades distintas no perfil do solo na linha (a) e entrelinha (b) de plantio. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Carbono orgânico associado à fração Matéria Orgânica Particulada (C-MOP), Carbono Lável (CL) associado à fração Matéria Orgânica Particulada (CL-MOP) e Carbono Não-Lável (CNL) associado à fração Matéria Orgânica Particulada (CNL-MOP)

Em vários trabalhos, a fração MOP é considerada a mais sensível às alterações nos sistemas agrícolas ou nos sistemas naturais (Koutika et al., 1999; Bayer et al., 2004; Rangel & Silva, 2007). No presente trabalho, observou-se que na linha de plantio o estoque de C-MOP foi maior tanto no solo sob café irrigado quanto no de sequeiro, em relação ao Cerrado (Figura 4), em todas as camadas. Todavia, na entrelinha de plantio somente o estoque de C-MOP no solo do café irrigado superou aqueles encontrados no solo do Cerrado (Figura 5), indicando que a irrigação contribui para maior estoque de C no solo, em especial nessa fração sensível (mais lábil) da MOS. A fração CNL-MOP também comportou-se como a C-MOP, indicando que a irrigação também proporciona incrementos de CNL nessa fração, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio (Figuras 4 e 5).

Quando se analisa a linha de plantio, o estoque de CL-MOP foi maior para o solo do café irrigado apenas nas camadas superiores (0-10 e 0-20 cm), sendo que para as demais camadas foi menor ou igual ao encontrado no Cerrado (Figura 4).

Por outro lado, o estoque de CL-MOP do solo do café de sequeiro foi menor em relação ao café irrigado e ao Cerrado para todas as camadas amostradas, confirmando o provável maior aporte de resíduo vegetal ao solo com irrigação ao longo do ano, como já comentado (Figura 4). Observa-se, também, o mesmo comportamento na entrelinha de plantio, ou seja, o estoque de CL-MOP foi maior em relação àqueles no solo de café de sequeiro e aos de Cerrado, exceto para as camadas mais profundas (0-80 e 0-100 cm) (Figura 5).

Os menores estoques de CL-MOP observados para o solo sob café de sequeiro, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio, em relação ao Cerrado (Figuras 4 e 5) deveu-se, provavelmente, à labilidade desta fração aliada à redução do aporte de resíduos vegetais, como também observado por Cambardella & Elliott (1994), em diferentes sistemas agrícolas.

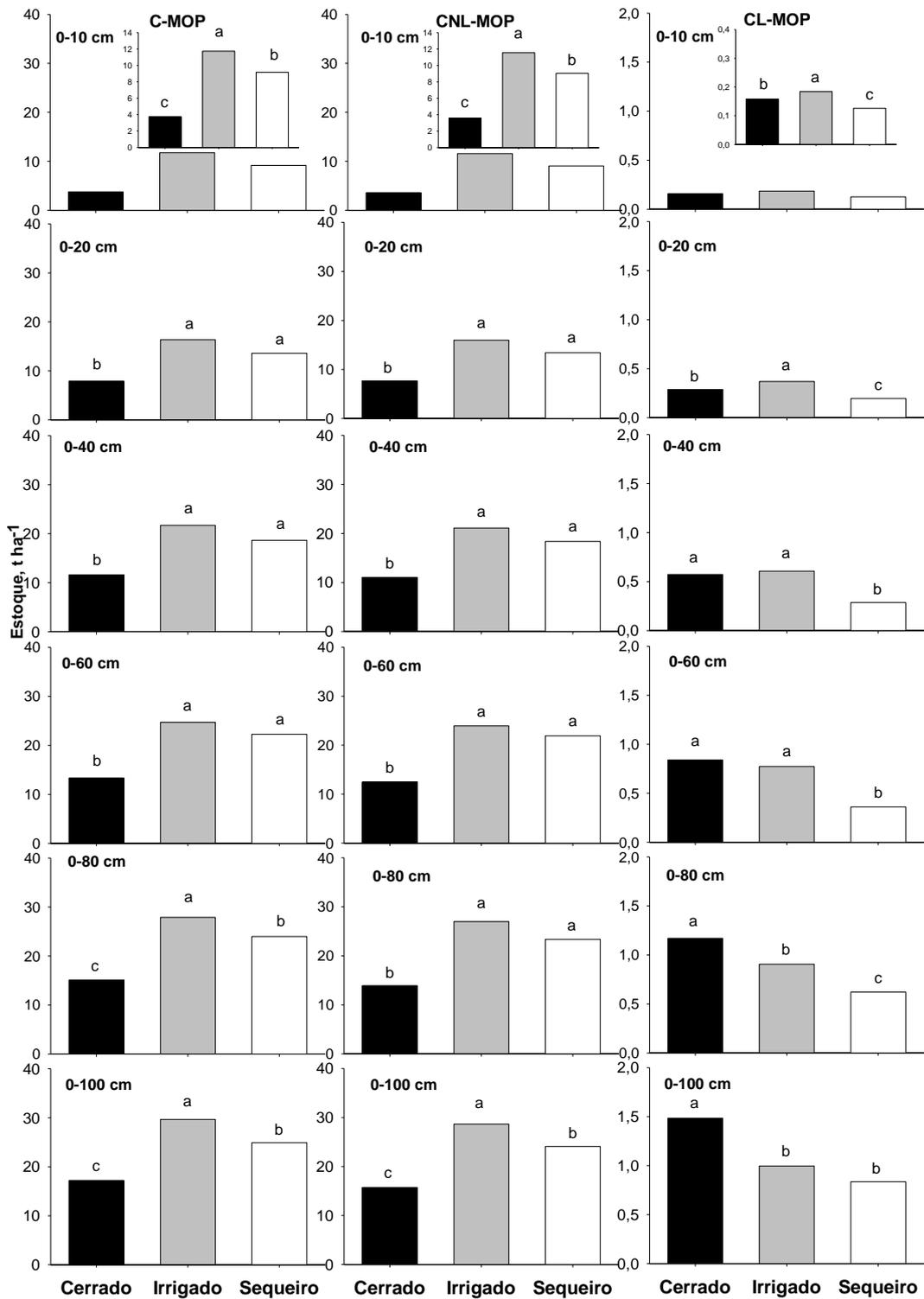


Figura 4. Estoques de Carbono (C-MOP), Carbono Não – lábil (CNL-MOP) e Carbono Lábil (CL-MOP), no solo sob os manejos café irrigado, de sequeiro e Cerrado em profundidades distintas no perfil do solo na linha de plantio, na fração Matéria Orgânica Particulada (MOP). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

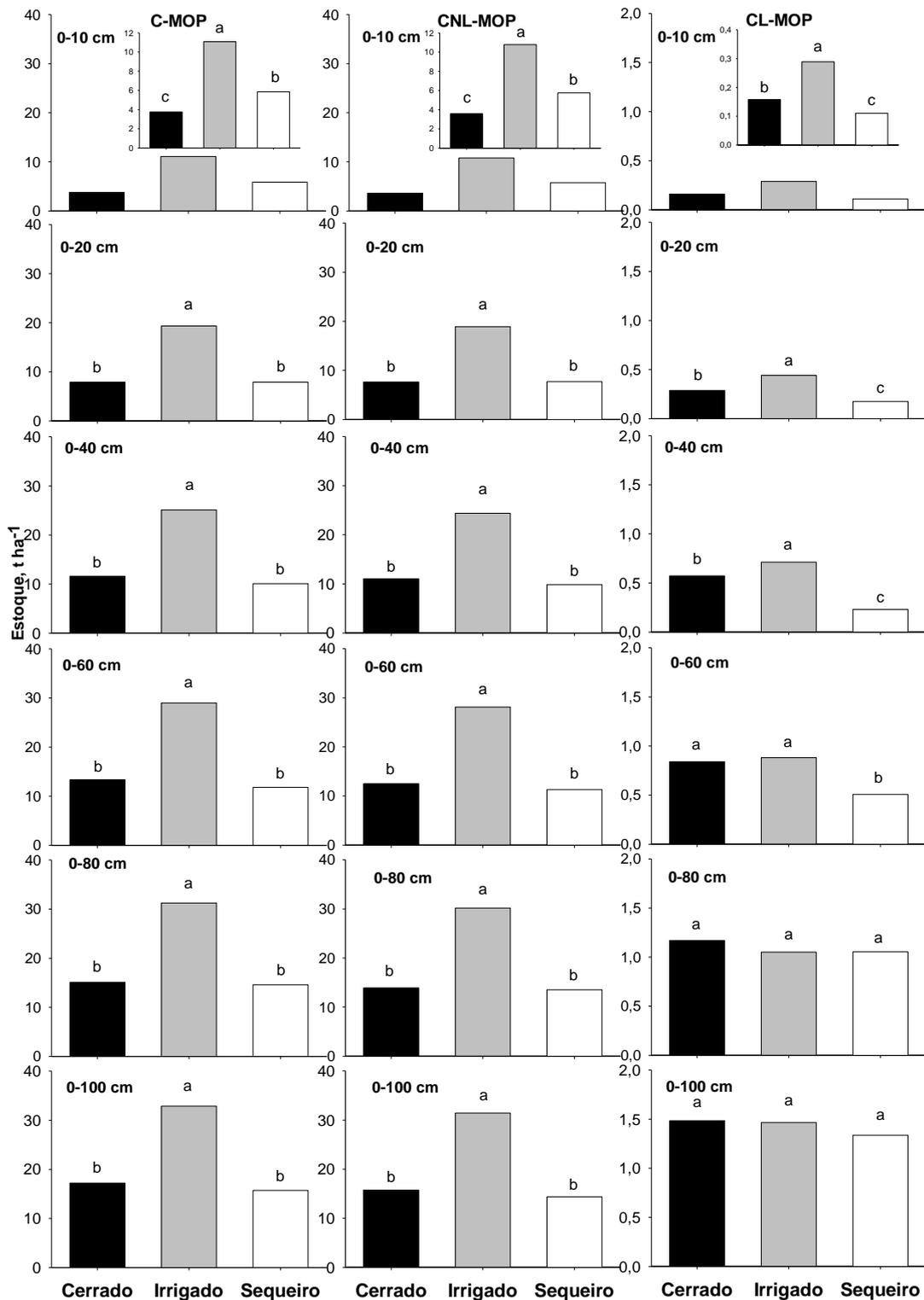


Figura 5. Estoques de Carbono (C-MOP), Carbono Não – lábil (CNL-MOP) e Carbono Lábil (CL-MOP), no solo sob os manejos café irrigado, de sequeiro e Cerrado em profundidades distintas no perfil do solo na entrelinha de plantio, na fração Matéria Orgânica Particulada (MOP). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Carbono orgânico Associado aos Minerais (C-MAM), Carbono Lábil (CL) Associado aos Minerais (CL-MAM) e Carbono Não-Lábil (CNL) Associado aos Minerais (CNL-MAM)

Analisando a linha de plantio, verifica-se que os estoques de C-MAM e CNL-MAM dos solos sob café irrigado e de sequeiro não diferiram em relação ao solo de Cerrado (Figura 6), exceto para a camada superficial (0-10 cm), em que os estoques de C-MAM e CNL-MAM foram maiores para o solo sob café de sequeiro, tanto em relação ao irrigado quanto ao do Cerrado (Figura 6). Todavia, na entrelinha de plantio, os estoques de C-MAM e CNL-MAM foram maiores para o solo sob café irrigado em relação ao de sequeiro (Figura 7). Vale ressaltar que nenhum solo sob café (irrigado e sequeiro) diferiu estatisticamente do solo de referência (Cerrado) quando se analisa a entrelinha de plantio (Figura 7). Rangel & Silva (2007), estudando solos com eucalipto e pinus, observaram reduções de C ligado à fração mais pesada (C-MAM) em relação à referência (mata), como semelhantemente observado no presente trabalho para o C-MAM.

Em todas as camadas amostradas, os estoques de CL-MAM foram maiores tanto no solo sob o café irrigado quanto no de sequeiro (na linha de plantio), em relação ao Cerrado (Figura 6), enquanto que na entrelinha de plantio somente o estoque de CL do solo sob café irrigado foi maior do que o de Cerrado, enfatizando a idéia de que a irrigação tem influência positiva nos estoques da MOS, como já comentado.

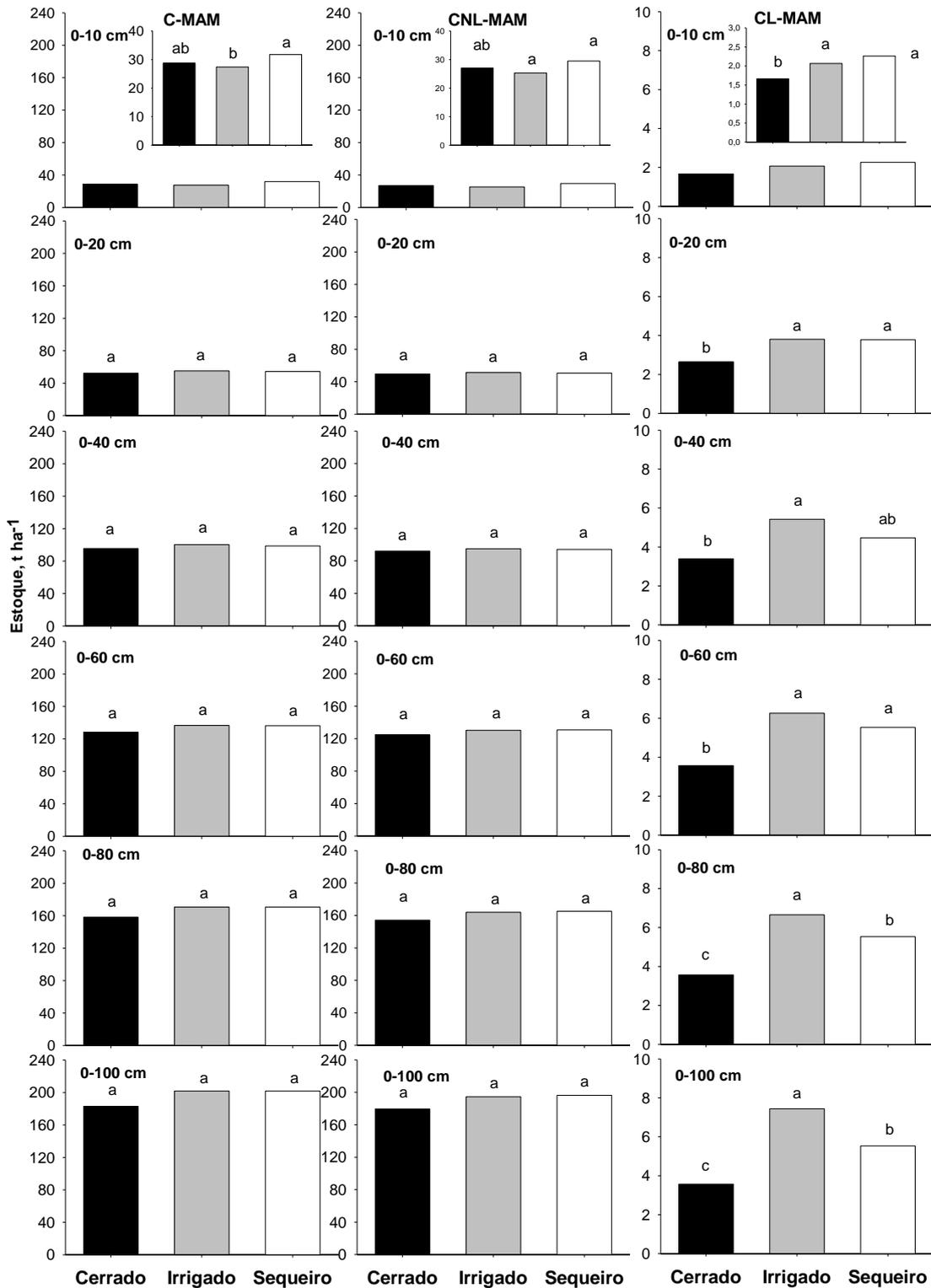


Figura 6. Estoques de Carbono (C-MAM), Carbono Não-lábil (CNL-MAM) e Carbono Lábil (CL-MAM), no solo sob os manejos café irrigado, de sequeiro e Cerrado em profundidades distintas no perfil do solo na linha de plantio, na fração Matéria Orgânica Associadas aos Minerais (MAM). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

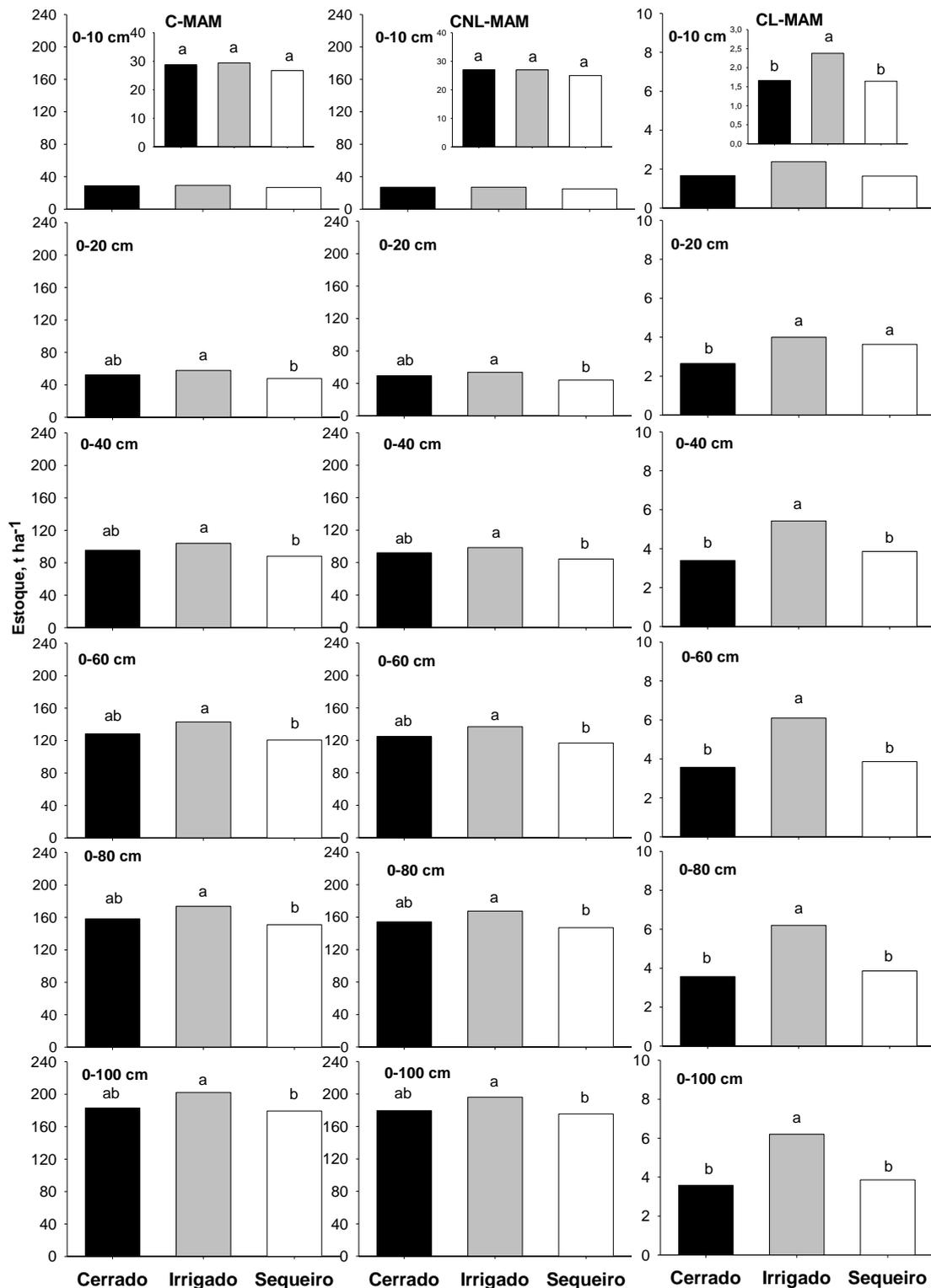


Figura 7. Estoques de Carbono (C-MAM), Carbono Não-lábil (CNL-MAM) e Carbono Lábil (CL-MAM), no solo sob os manejos café irrigado, de sequeiro e Cerrado em profundidades distintas no perfil do solo na entrelinha de plantio, na fração Matéria Orgânica Associadas aos Minerais (MAM). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Razão Isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (deltas – $\delta^{13}\text{C}$)

A abundância natural do ^{13}C é uma técnica que tem possibilitado o avanço nos estudos relacionados à dinâmica da MOS. Adicionalmente, ela facilita o entendimento da substituição da vegetação natural por outra espécie vegetal (Shang & Tiessen, 2000). Isso ocorre porque há uma diferença no metabolismo das plantas C_3 e C_4 que apresentam discriminação diferenciada do ^{13}C (Taiz & Zaiger, 2004), diferença essa que é transferida ao solo quando esses resíduos são nele aportados (Balesdent & Mariotti, 1993). As plantas com metabolismo C_4 discriminam menos o ^{13}C , conseqüentemente o $\delta^{13}\text{C}$ são menos negativos (-9 à -17 ‰) em relação às plantas de metabolismo C_3 . Já os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são mais negativos (-20 à -34 ‰) em plantas com metabolismo C_3 , em virtude da maior discriminação nessas espécies (Smith & Epstein, 1971). Considerando que o Cerrado apresenta plantas do metabolismo C_3 e C_4 os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variam em -20,05 a -19,10 ‰ (Wilcke & Lilienfein, 2004) e o café variando entre (-29,03 à -27,9 ‰).

O solo na linha de plantio do café irrigado apresentou menor razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ [valores de delta (δ) mais negativos], tanto em relação ao solo do café de sequeiro quanto ao Cerrado, sobretudo nas camadas mais profundas (40 – 60, 60 – 80 e 80-100 cm), indicando maior aporte de C proveniente das plantas de café da área irrigada (Figura 8a), o que é suportado pelo maior estoque de COT encontrado no café irrigado na linha de plantio (Figura 1). Porém, na entrelinha de plantio não se observam diferenças entre os valores de δ dos cafeeiros irrigado e sequeiro e do Cerrado (Figura 8b). Isso se deve, provavelmente, à formação do bulbo molhado da irrigação concentrando as raízes das plantas de café na linha de plantio, conseqüentemente proporcionando maior aporte de C oriundo das raízes do café, em especial nas camadas mais profundas. Essa diferença não é observada na entrelinha, dado um provável efeito compensatório das raízes do café de sequeiro crescendo de maneira mais intensa em direção à entrelinha.

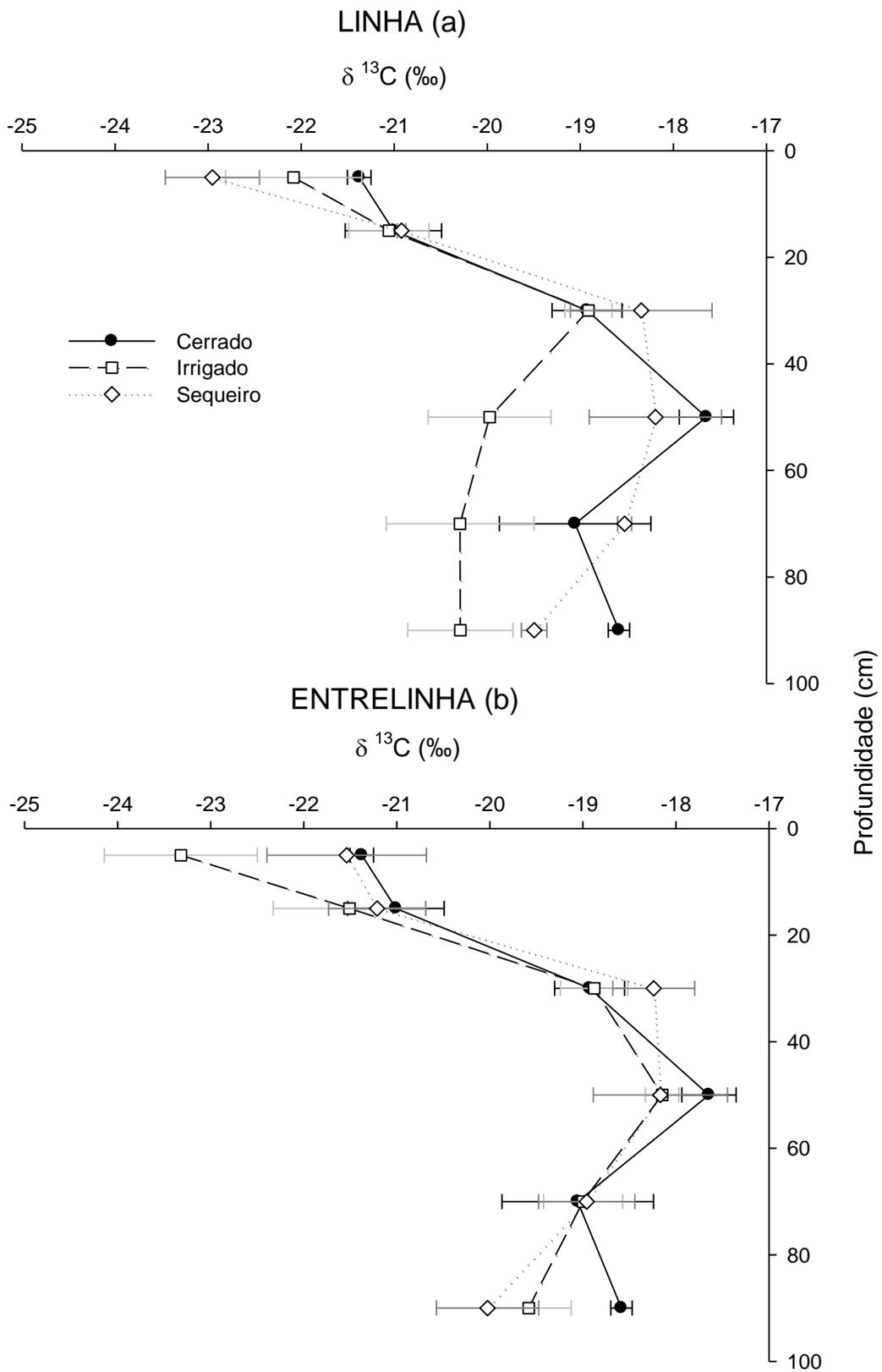


Figura 8. Distribuição da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (deltas – $\delta^{13}\text{C}$) dos solos nas diferentes profundidades no Cerrado (Referência), Café Irrigado e Café de Sequeiro. As barras na horizontal referem-se ao erro padrão da média (n=3).

Na fração MOP, os valores de δ na linha do café irrigado foram mais negativos em relação ao café de sequeiro e ao Cerrado, implicando também maior contribuição do cafeeiro para o C nesta fração, o que também foi evidenciado pelos maiores estoques de C-MAM e CL-MAM discutido anteriormente para o café irrigado (Figura 9a). Nesse caso, o efeito do bulbo molhado, como já comentado também se aplica. Na entrelinha de plantio o valor do δ do solo sob café sequeiro permaneceu mais elevado (Figura 9b) uma vez que o esperado era que o café de irrigado apresentasse δ mais negativos em função da presença do bulbo molhado na linha, desestimulando o crescimento radicular na entrelinha. Os motivos para tal comportamento não são bem claros, mas provavelmente, por ter ocorrido efeito *priming negativo* favorecendo a permanência dos resíduos oriundos das plantas C₄ do Cerrado em virtude da entrada do material mais recalcitrante proveniente das raízes (Rasse et al., 2005). Geralmente, materiais recalcitrantes apresentam altos teores de polifenóis e lignina que são limitantes ao crescimento microbiano, acarretando na permanência desse material no solo (Kuzyakov & Bol, 2006). Em estudo anterior também foi observado que o aporte de biomassa de eucalipto resultou na manutenção da MOS não apenas pelo aporte de resíduos no solo, mas como também pelo favorecimento da MOS de espécie C₄ já existente no solo (Binkley et al., 2004).

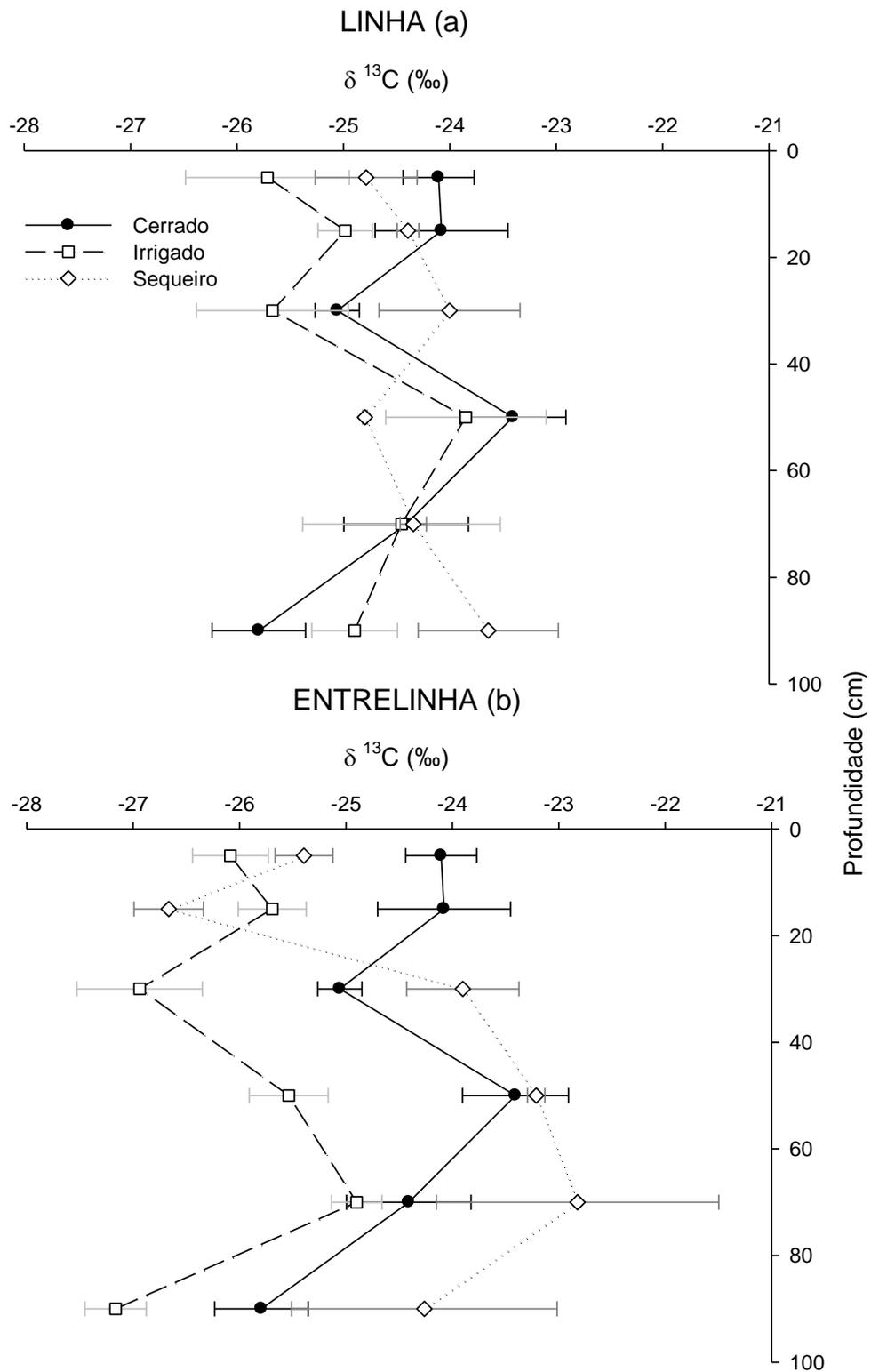


Figura 9. Distribuição da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (deltas – $\delta^{13}\text{C}$) na MOP (Matéria Orgânica Particulada) de solos nas diferentes profundidades no Cerrado (Referência), Café Irrigado e Café de Sequeiro. As barras na horizontal referem-se ao erro padrão da média (n=3).

Quando se analisa a fração MAM, mais recalcitrante, o comportamento dos valores de δ voltou a corroborar com os valores encontrados nos solos do café irrigado, ou seja, valores de δ mais negativos para a MAM do café irrigado em relação ao de sequeiro e ao de Cerrado, para a linha de plantio (Figura 10a). Contudo, na entrelinha os valores de δ da MAM do café de sequeiro apresentaram-se mais negativos, indicando o efeito da irrigação sob os valores de δ de ^{13}C e nos estoques de C no solo e nas frações (Figura 10b).

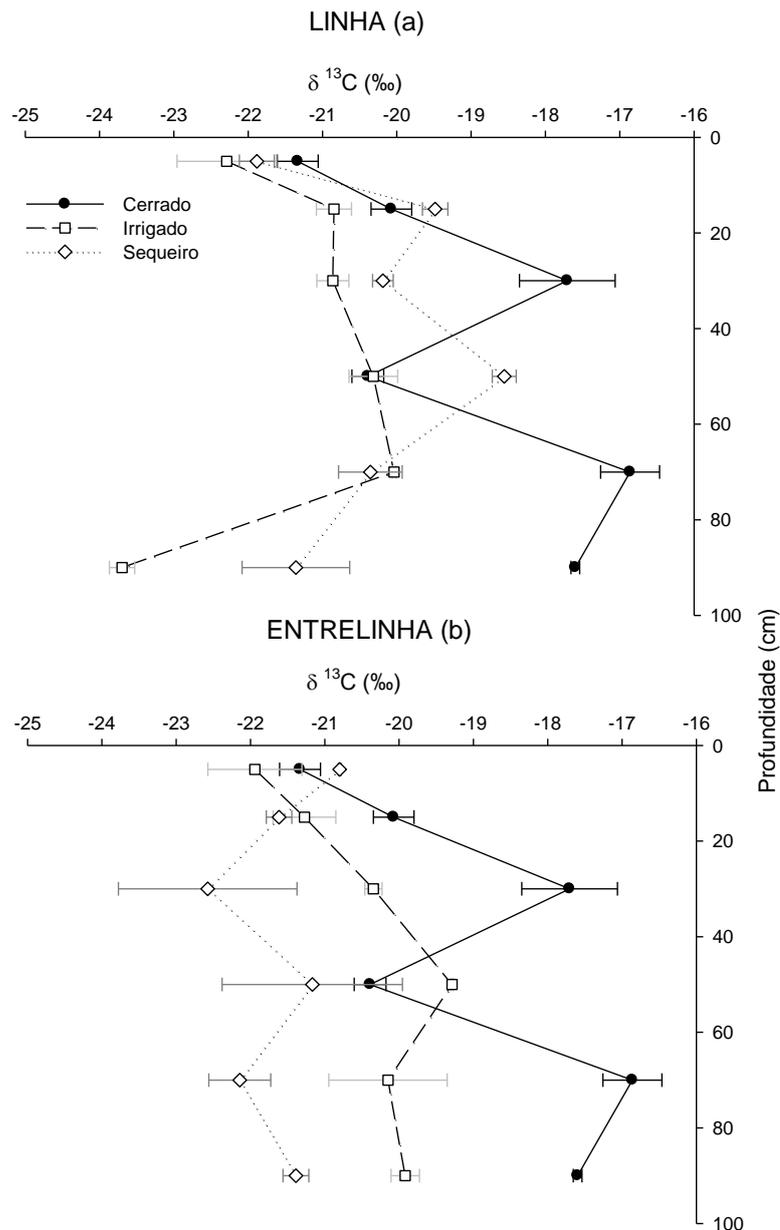


Figura 10. Distribuição da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (deltas $-\delta^{13}\text{C}$) na MAM (Matéria orgânica Associadas aos Minerais) de solos nas diferentes profundidades no Cerrado (Referência), Café Irrigado e Café de Sequeiro. As barras na horizontal referem-se ao erro padrão da média (n=3).

Estoques de Nitrogênio Total (NT)

Os estoques de NT diferenciam-se nas primeiras camadas do solo (0-10 cm), tanto na linha quanto na entrelinha de plantio, em relação à condição de referência (Cerrado). (Figura 11a). Porém, nas camadas subsequentes (0-20 até 0-80 cm) os estoques não diferiram em relação ao Cerrado para as amostras coletadas na linha. Quando se considera todo o perfil de solo amostrado, este estoque foi maior no café, em especial no irrigado. Para a entrelinha, os estoques de NT ao longo do perfil apresentaram-se maiores desde a camada superficial até a mais profunda, em relação ao estoque do Cerrado (Figura 11b).

Os estoques de NT na linha de plantio do café foram, em média, 27,0 e 3,3 % maiores em relação ao Cerrado, no manejo irrigado e sequeiro, respectivamente. Para a entrelinha estes valores foram de 29,9 e 20,7 %, como consequência da fertilização nitrogenada.

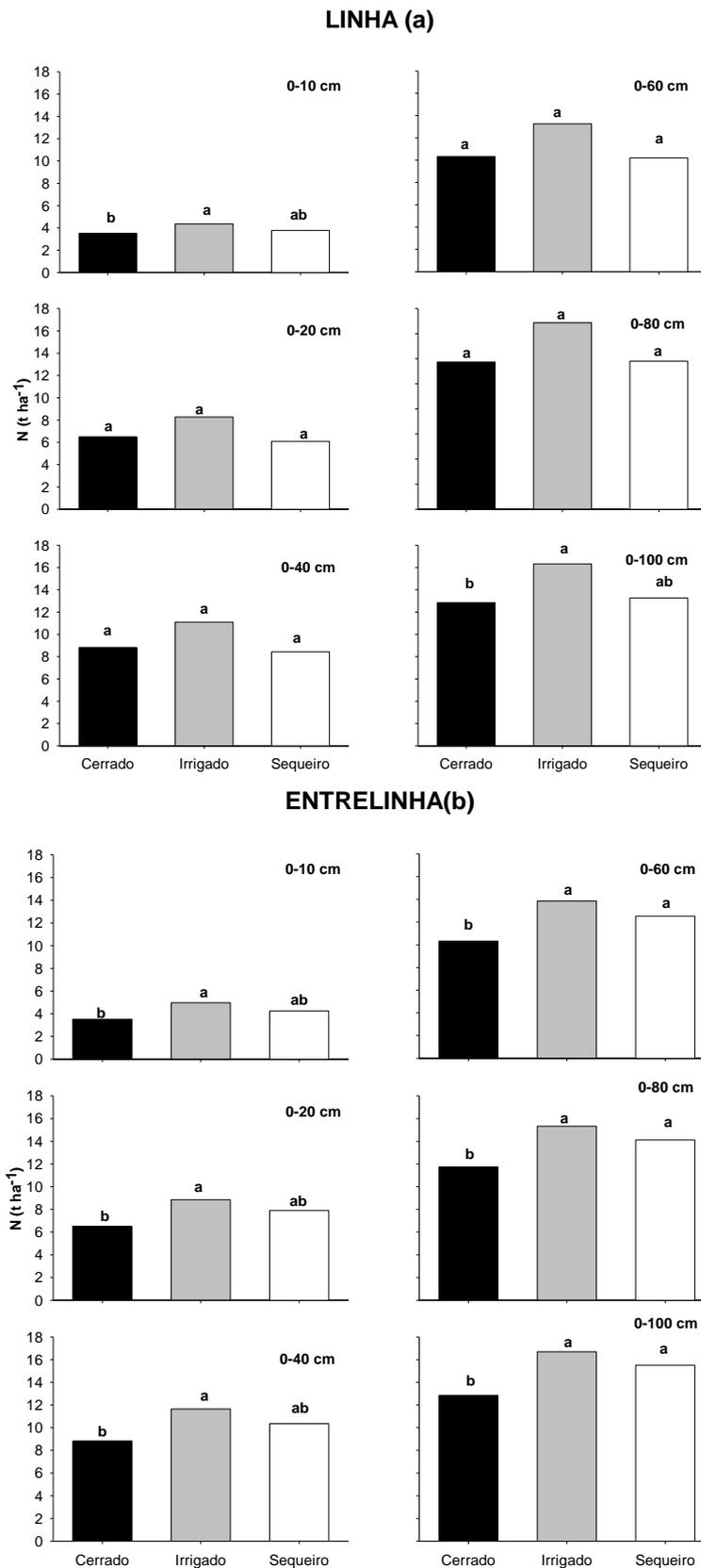


Figura 11. Estoques de Nitrogênio Total (NT) na linha (a) e na entrelinha (b) de plantio, nos manejos de café irrigado e de sequeiro em profundidades distintas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

1. Os estoques de Carbono Orgânico Total (COT) são maiores no café irrigado em relação ao café de sequeiro, na linha de plantio, e ao Cerrado.
2. O solo do café irrigado apresenta maiores estoques de Carbono Lável (CL) na entrelinha de plantio, tanto quando se compara com o café de sequeiro quanto com o Cerrado.
3. Os estoques de Carbono da Matéria Orgânica Particulada (C-MOP) no solo do café irrigado são maiores em relação ao café de sequeiro, tanto na linha quanto na entrelinha.
4. O solo do café irrigado apresenta estoques maiores de Carbono da Matéria Orgânica Associada aos Minerais (C-MAM) do que do Cerrado e do café de sequeiro na entrelinha de plantio.
5. Os valores de δ do ^{13}C (razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) indicam que há um aporte de C proveniente do cafeeiro na MOS, tanto em relação ao solo quanto às frações matéria orgânica particulada (MOP) e à matéria orgânica associadas aos minerais (MAM), em especial no café irrigado.

LITERATURA CITADA

- BALDOCK, J.A. & SKJEMSTAD, J.O. Role of the mineral matrix and minerals in protecting natural organic materials against decomposition. *Org. Geochem*, 31:697–710, 2000.
- BALESDENT, J.; GIRARDIN, C. & MARIOTTI, A. Site-related $\delta^{13}\text{C}$ of trees leaves and soil organic matter in a temperate forest. *Ecology*, 74:1713-1721, 1993.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.E. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:677-683, 2004.
- BAUER, A. & BLACK A.L. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:185-193, 1994.
- BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; NEILL, C. & MORAES, J.F.L. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma*, 82:43-58, 1998.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46:1459-1466, 1995.
- BINKLEY, D.; KAYE, J.; BARRY, M. & RYAN, M.G. First-rotation in soil carbon and nitrogen in an Eucalyptus plantation in Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:1713-1719, 2004.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:123-130, 1994.

- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A. & OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture leys. *Soil Sci.* 166:61-67, 2001.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:425-432, 1999.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.* 39:179-186, 2004
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 26p. (Boletim de Extensão, 29)
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:425-434, 2002.
- GERZABEK, M.H.; PICHLMAYER, F.; KIRCHMANN, H. & HABERHAUER, G. The response of soil organic matter to manure amendments in a long-term experiment in Ultuna, Sweden. *Eur. J. Soil Sci.* 48:273-282, 1997.
- KOUTIKA, L.S.; ANDREUX, F.; HASSINK, J.; CHONÉ, T. & CERRI, C.C. Characterization of organic matter in topsoils under rain forest and pasture in the Eastern Brazilian Amazon Basin. *Biol. Fertil. Soils*, 29:309-313, 1999.
- KUZYAKOV, Y. & BOL, R. Sources and mechanisms of priming effect induced in two grassland soils amended with slurry and sugar. *Soil Biol. Bioch.*, 38:747-758, 2006.
- MACHADO, P.L.O.A. & SILVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 61:119-130, 2001.

- MARCHIORI JUNIOR, M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.* 35:1177-1182, 2000.
- MENDHAM, D.S.; SANKARAN, K.V.; O'CONNEL, A.M. & GROVE, T.S. *Eucalyptus globulus* harvest management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. *Soil Biol. Biochem.*, 34:1903-1912, 2002.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. 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.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. *Tópicos em Ciência do Solo*, eds. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 209–248.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. & GUIMARÃES, P.T.G. Estoques e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1341-1353, 2007.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1609-1623, 2007.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. & GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciênc. Agrotec.*, 32:429-337, 2008.
- RASSE, D.P.; RUMPEL, C. & DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant Soil*, 269:341-356, 2005.
- RICHTER, D.D.; MARKEWITZ, D.; TRUMBORE, S.E. & WELLS, C.G. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a reestablishing forest. *Nature*, 400:56-58, 1999.

- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SHANG, C. & TIESSEN, H. Carbon turnover and carbon-13 natural abundance in organo-mineral fractions of a tropical dry forest soil under cultivation. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:2149-2155, 2000.
- SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J. & RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região dos Cerrados do Oeste baiano. R Bras. Ci. Solo, 18:541-547, 1994.
- SMITH, B.N. & EPSTEIN, S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higherplants. Plant Physiol., 47:380-384, 1971.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York, Willey & Sons Inc., 1994. 496p.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7)
- VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J. & HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. Soil Till. Res., 96: 195–204, 2007.
- WILCKE, W & LILIENFEIN, J. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:827-832, 2004.

CONCLUSÕES GERAIS

1. De modo geral, o cultivo do cafeeiro proporciona aumentos nos estoques de C, em relação a área com vegetação nativa, exceto para a região da Zona da Mata Mineira.
2. O Índice de Manejo do Carbono (IMC) são maiores que 100 %, em especial para o cafeeiro esqueletado e irrigado. São menores que 100 em todos os espaçamentos estudados.
3. O C da MOP (Matéria Orgânica Particulada) foi maior para o cafeeiro Velho em relação ao Novo, indicando que o tempo de cultivo está propiciando um aporte de C nesta fração.
4. A poda do cafeeiro (esqueletamento - E) proporciona aumentos e, ou, a manutenção nos estoques de MOS, de modo particular na entrelinha do cafeeiro esqueletado.
5. Observa-se maior estoque de Carbono Orgânico Total (COT) nos espaçamentos de plantio mais adensados (1 x 0,5 e 1 x 1 m).
6. Os estoques de COT são maiores no café irrigado em relação ao café de sequeiro e ao Cerrado, na linha de plantio.
7. O solo do café irrigado apresenta maiores estoques de CL na entrelinha de plantio, tanto quando se compara com o café de sequeiro quanto com o Cerrado.
8. Os estoques de C-MOP no solo do café irrigado são maiores em relação ao café de sequeiro, tanto na linha quanto na entrelinha.
9. Os valores de δ do ^{13}C (razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) indicam que há um aporte de C proveniente do cafeeiro na MOS, tanto em relação ao solo quanto às frações matéria orgânica particulada (MOP) e à matéria orgânica associadas aos minerais (MAM), em especial no café irrigado.