

LEONARDUS VERGÜTZ

**MUDANÇAS NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO CAUSADAS PELO
TEMPO DE ADOÇÃO DE UM SISTEMA AGROSSILVOPASTORIL COM
EUCALIPTO**

Dissertação 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 *Magister
Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007**

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

T

V498m
2007

Vergütz, Leonardus, 1982-

Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto / Leonardus Vergütz. – Viçosa, MG, 2007. x, 33f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Roberto Ferreira de Novais.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 27-31.

1. Solos - Manejo. 2. Solos - Teor de carbono.
3. Carbono. 4. Seqüestro de carbono. 5. Agricultura - Aspectos ambientais. 6. Eucalipto. 7. Húmus.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

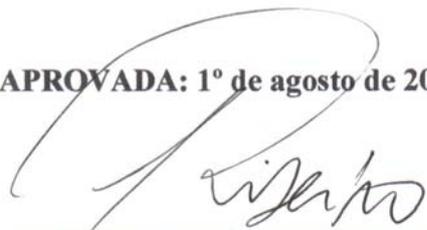
CDD 22.ed. 631.417

LEONARDUS VERGÜTZ

MUDANÇAS NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO CAUSADAS PELO
TEMPO DE ADOÇÃO DE UM SISTEMA AGROSSILVOPASTORIL COM
EUCALIPTO

Dissertação 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 *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 1º de agosto de 2007.



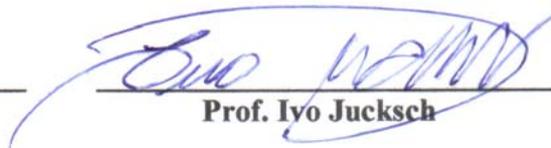
Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Co-Orientador)



Prof. Nairam Félix de Barros
(Co-Orientador)



Prof. Maurício Dutra Costa



Prof. Ivo Jucksch



Prof. Roberto Ferreira de Novais
(Orientador)

Aos meus pais, Ilmo e Neli

A minha esposa, Teresa Cristina

Aos meus irmãos, Thômas e Stéphaney...

...Dedico com todo o meu carinho e respeito!!!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por mais essa benção concedida.

Aos meus pais e irmãos, pelo constante amor, apoio, incentivo e confiança.

A minha esposa, pelos ensinamentos, companheirismo, carinho, apoio, amor, incentivo e confiança.

Aos meus amigos, pela amizade, experiência e conhecimento compartilhados.

A Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Solos, ao Laboratório de Solos Florestais e ao Programa Nutree, pela oportunidade e apoio.

A CAPES e FAPEMIG, a primeira pela concessão da bolsa e a segunda pelo financiamento do projeto.

Aos técnicos José Luiz e Geraldo, pela coleta e preparo das amostras e auxílio durante a realização dos trabalhos.

Aos amigos Tiagão e Piau, pela amizade e grande ajuda na realização das análises laboratoriais.

Aos laboratoristas Beto e Cardoso, pelo espaço cedido e pelo auxílio na realização das análises.

Aos professores Ivo Ribeiro da Silva, Roberto Ferreira de Novais e Nairam Félix de Barros pela orientação, pelas críticas construtivas e pelo exemplo de profissionalismo e imensa dedicação, os quais foram indispensáveis ao meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos professores das disciplinas cursadas durante a graduação e pós-graduação e aos membros da banca examinadora, pela atenção e pelos ensinamentos.

Muito obrigado!!!

BIOGRAFIA

LEONARDUS VERGÜTZ, filho de Ilmo Vergütz e Neli de Jesus Vergütz, nascido aos 23 dias do mês de março de 1982 na cidade de Patos de Minas – MG.

No ano 2000 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG, diplomando-se Engenheiro Agrônomo por esta instituição em janeiro de 2005.

Em agosto de 2005 ingressou no curso de Mestrado no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), vindo a defender tese para obtenção do título *Magister Scientiae* nesta ocasião, em 01 de agosto de 2007.

Nesse mesmo mês deu início às atividades do curso de doutorado, também no Departamento de Solos dessa mesma instituição.

SUMÁRIO

RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
3.1 – Estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total.....	12
3.2 – Estoques de carbono e nitrogênio na matéria orgânica leve (MOL).....	18
3.3 – Estoque de carbono lábil (CL) e índices de manejo do carbono (IMC).....	20
4. CONCLUSÕES.....	26
5. LITERATURA CITADA.....	27
APÊNDICE.....	32

RESUMO

VERGÜTZ, Leonardus, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2007.
Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto. Orientador: Roberto Ferreira de Novais. Co-orientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Nairam Félix de Barros.

A matéria orgânica do solo (MOS) é a principal propriedade indicadora da sustentabilidade de um sistema de cultivo, principalmente em solos sob condições tropicais. Além disso, ela é o maior compartimento de C orgânico no ciclo global deste elemento, sendo extremamente importante para a manutenção dos seus estoques no ambiente. Sistemas agrossilvopastoris (SASPs) representam práticas de manejo agroflorestal que têm como principal objetivo permitir maior diversidade e sustentabilidade do sistema. Sendo assim, espera-se que eles mantenham ou até mesmo elevem os estoques de carbono (C) do solo, quando comparados a uma área sob vegetação nativa, que neste caso é o Cerrado. Uma medida para se comparar sistemas produtivos é o índice de manejo do C (IMC) proposto por Blair et al. (1995), que compara sistemas produtivos com relação à área de referência. Para isso esse índice se baseia em medida não muito confiável de labilidade do C (C oxidável por permanganato de potássio). Os objetivos deste trabalho foram estudar o impacto dos SASPs de cultivo do eucalipto em diferentes frações de C e de N da MOS, como variável do tempo de implantação dos SASPs, tendo a área de vegetação nativa como referencial (Cerrado). Adicionalmente, propõe-se modificação no IMC proposto por Blair et al. (1995). Para isso, foi amostrada uma cronossequência composta por seis tempos de implantação dos SASPs, onde o tempo zero foi representado pela área de referência (Cerrado) e os demais com dois, três, quatro, sete e dez anos de

implantação. Foram coletadas amostras de solo das camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm, na linha e na entre-linha de cultivo do eucalipto. Foi feita a caracterização física e química desses solos, assim como as determinações de C orgânico total (COT), N total (NT), C na matéria orgânica leve (MOL), N na MOL e C oxidável por permanganato de potássio, como uma medida de labilidade do C (CL). A partir desses dados foram calculados o IMC_{CL} , proposto por Blair et al. (1995) e o IMC_{CMOL} , que é o índice modificado. Os estoques de COT apresentaram perda inicial de C para as camadas superficiais de 0-10 e 10-20 cm na linha e 0-10 e 20-40 cm na entre-linha, com tendência de recuperação ao final do ciclo (dez anos). As camadas mais profundas (60-100 cm), tanto para a linha quanto para a entre-linha, apresentaram acúmulo inicial de C, sendo maior na linha de plantio do que na entre-linha. Porém, esse acúmulo não foi sustentável e as perdas de C nessa camada foram maiores quanto maior for o ciclo. Para o estoque total de C na camada de 0-100 cm, o manejo da linha de plantio manteve os estoques de COT, enquanto na entre-linha há tendência de perda inicial de C num primeiro momento, sem que esses níveis retornem aos originais (Cerrado) no final do décimo e último ano analisado. As principais mudanças nos estoques de NT ocorreram nas camadas mais profundas (20-40 e 60-100 cm). Nestas camadas, após perda acentuada de N, houve tendência de acúmulo desse elemento ao longo do tempo de implantação dos SASPs. Porém esse acúmulo não foi sustentável e ao final do período estudado esses valores eram menores que os originais (Cerrado). Essa mesma tendência foi observada para o estoque de N na camada de 0-100 cm, sendo que para a entre-linha de plantio essas alterações foram mais acentuadas. A fração da MOL foi a que apresentou as maiores alterações, confirmando sua sensibilidade a alterações de manejo. As perdas de C e N da MOL também foram maiores para a entre-linha de plantio de eucalipto do que para a linha. O C lábil (CL), assim como o índice calculado a partir dele (IMC_{CL}) não possibilitaram ajustes dos seus resultados como variável do tempo de implantação dos SASPs. Entretanto o IMC modificado, calculado a partir do C da MOL (IMC_{CMOL}), apresentou bons ajustes para todas as camadas estudadas. Além disso, apresentou correlação mais elevada com o COT, mostrando-se mais indicado para a comparação dos sistemas de manejo estudados. A partir dos resultados desse estudo pode-se perceber a importância de se estudar camadas mais profundas de solo, já que essas camadas podem apresentar perdas de C significativas e de difícil recuperação. A implantação dos SASPs acarretou diminuição dos estoques de COT das camadas

superficiais, sendo que o tempo necessário para a recuperação dos estoques originais está além do período de tempo máximo estudado. A fração mais sensível ao manejo adotado foi a MOL livre.

ABSTRACT

VERGÜTZ, Leonardus, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2007.
Changes in soil organic matter along a chronosequence of an agrossilvipastoral system of eucalypt cultivation Adviser: Roberto Ferreira de Novais. Co-advisers: Ivo Ribeiro da Silva and Nairam Félix de Barros.

Soil organic matter (SOM) is the main property that indicates the sustainability of a cropping system, especially in tropical soils. Additionally, SOM is the major global organic C pool, making this pool a very important sink or source of C to the atmosphere, depends on the soil management. Agrossilvipastoral (AGSP) systems known to improve diversity and sustainability of cropping systems. Furthermore, it is expected that this system maintain or increase C stocks in soil when compared with soils under native Cerrado (Brazilian savannah) vegetation. One simple way to compare cropping systems is through the C management index (CMI), proposed by Blair et al. (1995). It compares cropping systems to a reference area. This index is based in a measure of C lability (C oxidizable by potassium permanganate), which isn't very reliable. The objectives of the present work are to study the impact of eucalypt cultivation under agrossilvipastoral systems on C and N stocks of different SOM fractions in an AGSP chronosequence, and to compare these results with those from soils under native vegetation (Cerrado). Additionally, is proposed a modification in the CMI proposed by Blair et al. (1995). A chronosequence compound of six implantation times of an AGSP system was sampled. The zero time is represented by the soil under Cerrado, followed by 2, 3, 4, 7 and 10 year-old AGSP systems. The soil layers sampled in each area were from 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm deep, taken in the eucalypt planting line and

between lines. The soil samples were chemically and physically characterized. It was also determined the total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), C and N in the light organic matter fraction (LOM) and C oxidizable by potassium permanganate, hereafter called labile carbon (LC). Based on these data, the CMI proposed by Blair et al. (1995) was calculated (CMI_{LC}), as well as a modified CMI, which is based on the use of C in the LOM (CMI_{LOM}). The TOC stocks showed an initial decrease in the 0-10 and 10-20 cm soil layers in the planting line and in the 0-10 and 20-40 cm soil layer between the eucalypt planting line, with a trend to recover in the older stands (10 years). Deeper soil layers (60-100 cm) showed an initial increase in C stocks, more in the line than in between line, but this increase was not sustainable. Thus, the C losses would be greater for longer rotation cycles. The total C stock up to 100 cm deep, was similar to the initial TOC stock in the planting line, while in the between line the trend was to lose C without returning to the levels observed in the reference (Cerrado) at the end of the cycle. The main change in the N stocks occurred in deeper soil layers (20-40 and 60-100 cm). In these layers, N stocks showed a rapid initial decrease, followed by a great increase. But this last increase was not sustained and by the end of the cycle the N stocks were less than the original ones in the soil under native vegetation. The same trend was observed for the N stocks at 0-100 cm soil layer. The free LOM fraction presented the major changes, what confirms its great sensibility to management changes. The free LOM C and N losses were greater in soils to between planting lines than in the planting line. Labile C, as well as the CMI_{LC} , was not a good indicator of the changes that occurred after the implantation of the AGSP system. But the modified CMI, calculated based on the LOM C (CMI_{LOM}) fitted well for all soil layers analyzed. In addition, the CMI_{LOM} showed the best correlation with TOC, thus been more indicated to compare the cropping system studied. These results show the importance to study deeper soil layers; moreover, they can show relatively large losses of C, which are difficult to recover. The AGSP systems caused a decrease of the soil organic C in upper soil layers and the time that takes to it recover to the original stocks are beyond the time frame of the present study. The free light organic matter was the fraction more sensitive to the changes in soil use and management.

1. INTRODUÇÃO

O contínuo desenvolvimento dos países, aliado ao crescimento demográfico exponencial, se dá à custa do consumo dos recursos naturais do planeta. Com isso, a demanda por recursos minerais como carvão mineral, petróleo e água, e por matérias-primas de origem florestal é cada vez maior. Os recursos de origem florestal apresentam demanda bastante elevada devido aos seus mais variados usos: construção civil, indústria moveleira, produção de energia, celulose, etc. Isso se traduz num quadro de intensa degradação dos recursos florestais do planeta, com o desaparecimento de mais de 75 % das florestas primárias (EMBRAPA, 2007). Na Europa, por exemplo, mais de 99,7 % das florestas primárias deram lugar a cidades, cultivos agrícolas diversos, dentre outros fins. Embora o Brasil seja criticado por países desenvolvidos quanto às suas taxas de desmatamento, o País apresenta, ainda, quase 70 % de suas florestas primárias. Mantidas as taxas atuais de desmatamento mundial, o Brasil deterá, em pouco tempo, metade das florestas primárias do planeta (Embrapa, 2007).

Embora encontre resistência por parte de grupos ambientalistas, em particular, o uso de florestas plantadas no País mostra-se excelente alternativa ao suprimento de matéria-prima diversa e a preservação ambiental. Por apresentarem produtividade muito superior às das florestas nativas, as florestas plantadas atendem à crescente demanda mundial por produtos florestais, assim como diminuem a pressão sobre as áreas nativas. Segundo dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), as florestas plantadas no Brasil ocupam, aproximadamente, 5,6 milhões de hectares, área relativamente pequena se comparada à de outras culturas

como soja, milho e pastagem (23, 12 e 115 milhões de hectares, respectivamente) (SBS, 2006). Desses 5,6 milhões de hectares de florestas plantadas, aproximadamente 61 % são cultivados com eucalipto. Essa cultura adaptou-se muito bem às condições edafoclimáticas deste País, sendo encontrados cultivos comerciais em todas as suas regiões.

O Brasil é hoje o maior produtor mundial de celulose de fibra curta, produzida a partir do eucalipto (Sixta, 2006). As empresas de celulose e papel localizadas no País são auto-suficientes na produção de matéria-prima, sendo 100 % da madeira consumida para esse fim oriunda de florestas plantadas. Graças aos investimentos em pesquisa, o eucalipto produzido nessas condições apresenta o menor ciclo dentre todas as espécies cultivadas no mundo, o que resulta em produtividades elevadas (Sixta, 2006). Enquanto o eucalipto cultivado no País apresenta produtividade média de $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de madeira, florestas norte-americanas apresentam produção média de $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Apesar de alguma resistência ao cultivo do eucalipto, a perspectiva é de grande expansão da área plantada no País. Para que os possíveis efeitos ambientais causados pelo cultivo do eucalipto sejam avaliados, precisa-se de estudos aprofundados. O avanço das pesquisas contribui para a melhoria das técnicas de manejo adotadas e, conseqüentemente, para um sistema de cultivo com menor impacto ambiental e maior sustentabilidade. A matéria orgânica dos solos (MOS) é a principal característica indicadora da sustentabilidade de um sistema de cultivo (Stevenson, 1994; Canellas & Santos, 2005; Conceição et al., 2005), principalmente em solos sob condições tropicais (Solomon et al., 2002). Nessas condições, onde os fatores climáticos atuam intensamente e os solos são bastante intemperizados, a MOS é a principal responsável pela capacidade de troca catiônica (CTC), retenção de água, e estruturação do solo (Canellas & Santos, 2005). Ainda que a quantidade de estudos que abordam os aspectos quantitativos e qualitativos da MOS seja crescente, percebe-se a falta de informações sobre esse assunto, principalmente em solos cultivados com eucalipto.

A MOS é o maior compartimento de C orgânico no ciclo global deste elemento (Lal et al., 2004a), conseqüentemente, os fluxos de entrada e saída de C desse compartimento são extremamente importantes para a manutenção dos seus estoques no ambiente. O seqüestro de C no solo só pode ocorrer se determinadas

práticas de manejo que acarretem melhoria na estrutura do solo, aumento da deposição de material orgânico, revolvimento mínimo do solo, dentre outras, forem adotadas. O aumento do conteúdo de C orgânico do solo (COS) é visto como ganho ambiental e estratégia de manutenção da capacidade produtiva dos solos, dada a melhoria da qualidade do solo (Lal et al., 2004b). Adicionalmente, Kong et al. (2005) também afirmam que mudanças nos teores de C orgânico total (COT) estão diretamente relacionadas com a quantidade de resíduo depositado no solo, e que a qualidade do material depositado também determina a taxa de seqüestro de C na forma de MOS. Práticas de manejo em longo prazo que aumentem o depósito de resíduos no solo contribuirão para o aumento da estabilidade dos agregados e para o aumento dos teores de C dentro dos agregados, acarretando maior seqüestro de C. Para que os estoques de COS sejam mantidos ou para que haja o seqüestro efetivo de C na forma de MOS, é preciso que o balanço para a razão formação/decomposição do COS seja positivo (Six et al., 2002; Jandl et al., 2007).

Sistemas agrossilvopastoris (SASPs) representam práticas agroflorestais de uso do solo que implicam o uso simultâneo da terra para fins de produção agrícola, florestal e pecuária. Em comparação com sistemas convencionais de uso do solo, técnicas agroflorestais têm como principal objetivo permitir maior diversidade do sistema, visando proporcionar produção florestal sustentável (Lima, 1993). Para Lal (2004b), a biodiversidade tem impacto positivo sobre o COS, sendo que ecossistemas com maior biodiversidade apresentam seqüestro de C mais elevado. É fato conhecido que solos sob pastagens bem manejadas apresentam potencial elevado de acúmulo e estabilização de C no solo (Cerri et al., 2007). Isto se dá devido à grande quantidade de material orgânico depositado sobre e sob o solo pelas gramíneas (Stevenson, 1994), uma vez que a produção de biomassa vegetal, tanto na forma de folhas (parte aérea) quanto na forma de raízes, é bastante elevada. Com isso, espera-se que os SASPs, por consorciarem espécies florestais e pastagem, apresentem elevada taxa de seqüestro de C no solo, mantendo os estoques de C encontrados na área de referência (vegetação nativa), ou até mesmo elevando-os. Porém, quando ocorre a substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas com culturas, percebe-se o declínio no conteúdo de COS, decorrente da redução no aporte de C e do aumento da decomposição da MOS (Rosa et al., 2003).

A MOS é o principal atributo indicador da qualidade do solo, principalmente em condições tropicais, como já citado. Entretanto, em algumas situações,

principalmente naquelas onde mudanças de uso do solo ou alterações no sistema de manejo foram recentemente adotadas, a MOS pode não ser um eficiente discriminador das alterações na qualidade do solo (Conceição et al., 2005). Nesse caso, o fracionamento da MOS em diferentes compartimentos pode aumentar essa sensibilidade. Acreditando ser o compartimento de labilidade do C um indicador sensível da qualidade do solo, Blair et al. (1995) propuseram o cálculo de um índice de manejo do C (IMC) para comparar diferentes manejos. Por apresentar boa sensibilidade e simplicidade de cálculos, este índice foi amplamente difundido e utilizado em diversos trabalhos (Naklang et al., 1998; Shrestha et al., 2002; Leite et al., 2003). Entretanto, trabalhos como os de Mendham et al. (2002) e Tirol-Padre & Ladha (2004) questionam tanto a sensibilidade do compartimento do C lábil em detectar mudanças na MOS, como os resultados analíticos deste fracionamento. Para esses autores, a solução de permanganato de potássio pode oxidar compostos não prontamente disponíveis para os microrganismos do solo, como a lignina, por exemplo. Baseados nestes questionamentos, o presente trabalho propõe uma modificação no IMC proposto por Blair et al. (1995). O IMC modificado se baseia em uma medida do fracionamento físico da MOS, a matéria orgânica leve livre, que é bastante sensível ao manejo.

Os objetivos deste trabalho foram estudar o impacto do sistema agrossilvopastoril de cultivo do eucalipto nas diferentes frações de C e de N da MOS estudadas, como variável do tempo de implantação dos SASPs.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para atender os objetivos deste trabalho, foi realizada amostragem de solo de uma cronoseqüência de cultivo de eucalipto em um sistema agrossilvopastoril (SASP). Essa amostragem foi realizada no ano de 2004 na fazenda Bom Sucesso, município de Vazante (latitude 17° 36' 09", longitude 46° 42' 02"), região noroeste do Estado de Minas Gerais, propriedade do Grupo Votorantim Metais. O relevo da área estudada é plano e encontra-se sob domínio do bioma Cerrado, com solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (Dubê, 1999). A altitude média da região é de 550 m e o clima predominante é o subtropical úmido de savana do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média máxima de 32 °C e média mínima de 16 °C. As precipitações médias anuais são de aproximadamente 1450 mm sendo a estação chuvosa bem definida, com aproximadamente sete meses de seca entre os meses de abril a outubro.

A cronoseqüência estudada nesse trabalho é composta por seis talhões com diferentes tempos de implantação dos SASPs, sendo eles: Tempo zero (Cerrado, *stritu senso*), dois, três, quatro, sete e dez anos de implantação dos SASPs (Quadro 1). O SASP estudado apresentava espaçamento de 10 m entre as linhas de plantio do eucalipto por 4 m entre plantas (10 x 4 m), o que possibilitou o consórcio com as demais culturas na entre-linha. As espécies de eucalipto cultivadas foram clones de híbridos de *Eucalyptus camaldulensis*.

O preparo prévio da área, no tempo zero, depois da retirada da vegetação nativa (Cerrado), consistiu de calagem com a incorporação de 4 t ha⁻¹ de calcário (PRNT = 85 %), utilizando-se para isso de uma gradagem aradora e duas gradagens niveladoras. O plantio do arroz (*Oryza sativa* cv. Guarani) foi feito no espaçamento

de 0,45 m entre-linhas com 80 sementes por metro, mantendo-se um metro de distância da linha de plantio do eucalipto. A adubação mineral foi de 200 kg ha⁻¹ de uma formulação NPK 05-25-15.

As mudas de eucalipto foram plantadas no sentido leste-oeste para proporcionar maior disponibilidade de radiação solar para as culturas consorciadas. A adubação das linhas de plantio do eucalipto consistiu de uma mistura de 240 kg de fosfato natural, 120 kg de gesso agrícola e 48 kg de óxido de magnésio, totalizando 408 kg ha⁻¹. Após o plantio das mudas foram aplicados, ainda, 150 g de uma formulação NPK 06-30-06 por muda, em cobertura.

Quadro 1. Identificação dos tratamentos quanto ao tempo e ao uso do solo

Tempo	Uso do solo
Zero	Cerrado.
Um	Plantio de eucalipto no espaçamento 10 x 4 m, com arroz na entre-linha, em sucessão ao Cerrado.
Dois	Plantio de soja na entre-linha de cultivo do eucalipto.
Três	Plantio da pastagem na entre-linha de cultivo do eucalipto.
Quatro	Início do pastejo (0,5 animal por hectare). A partir deste momento, com a entrada do gado na área, o manejo não é mais alterado.
Cinco	Manutenção da pastagem na entre-linha de cultivo do eucalipto.
Seis	Idem ao anterior.
Sete	Idem ao anterior.
Oito	Idem ao anterior.
Nove	Idem ao anterior.
Dez	Idem ao anterior.

No segundo ano, antes do cultivo da soja, a área recebeu nova calagem com a incorporação de 3 t ha⁻¹ de calcário (PRNT = 85 %) (uma gradagem aradora seguida de duas gradagens niveladoras). Nesse processo, todo o resíduo da cultura do arroz foi incorporado ao solo. A semeadura da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Doko, Conquista e, ou, Vitória) deu-se novamente a um metro de distância da linha de plantio do eucalipto, a fim de se evitar danos ao sistema radicular do mesmo. Foram utilizadas 24 sementes por metro linear, em espaçamento de 0,45 m entre-

linhas. A adubação dessa cultura consistiu da aplicação de 300 kg ha⁻¹ de uma formulação NPK 02-20-20.

No terceiro ano, por ocasião do plantio da pastagem, 1 t ha⁻¹ de calcário (PRNT = 85 %), juntamente com o resíduo da cultura da soja, foi novamente incorporado ao solo (uma gradagem aradora seguida de duas gradagens niveladoras). A semeadura do capim (*Brachiaria brizantha*) foi feita a lanço, sendo 10 kg de sementes misturadas com 400 kg de fosfato natural e 100 kg de superfosfato simples por hectare. Para a manutenção da pastagem, de três em três anos foi feita adubação de manutenção, composta por 1 t ha⁻¹ de calcário (PRNT = 85 %), 300 kg ha⁻¹ de fosfato natural, 200 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 80 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, aplicados em cobertura.

Como houve o plantio de três culturas diferentes durante o ciclo do eucalipto, a linha e a entre-linha de plantio representavam duas situações distintas. Assim, foram realizadas amostragens na linha e na entre-linha de cultivo do eucalipto. As amostras destinadas às análises das diferentes frações de C e N da matéria orgânica do solo (MOS) foram obtidas por meio de tradagens, num total de quatro repetições, cada uma composta de quatro amostras simples. Para as análises físicas, foram abertas duas trincheiras em cada talhão, uma na linha e outra na entre-linha de plantio do eucalipto, onde foram coletadas amostras indeformadas (anel volumétrico). Em ambas as amostragens (tradagens e perfis), foram coletadas amostras de solo das camadas 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm. Todas as amostras de solo foram secas ao ar e passadas por peneira de 2 mm (TFSA).

Para a caracterização física dos solos estudados, amostras indeformadas retiradas dos perfis foram utilizadas para determinar a densidade do solo e, posteriormente, o equivalente de umidade e a granulometria dos solos em todas as profundidades (Quadro 2). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Para a caracterização química dos solos estudados, foram combinadas amostras de solo (TFSA) das camadas de 0-10 e 10-20 cm de todas as repetições, perfazendo uma amostra composta por talhão estudado (0-20 cm). Essas amostras foram submetidas à análise química de rotina no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (Quadro 3).

Quadro 2. Características físicas (textura, densidade (Dens.) e equivalente de umidade (E. U.)) das diferentes camadas de solo dos talhões estudados

Talhão	Prof.	Classe Textural	Dens. ⁽¹⁾	E. U. ⁽²⁾	Areia Grossa ⁽³⁾	Areia Fina ⁽³⁾	Silte ⁽⁴⁾	Argila ⁽⁴⁾
	cm		g cm ⁻³	kg kg ⁻¹	g kg ⁻¹			
Cerrado	0-10	Muito argilosa	0,84	0,307	50	60	180	710
	10-20		0,95	0,288	50	60	170	720
	20-40		1,16	0,278	40	50	160	750
	40-60		1,14	0,293	30	40	150	780
	60-100		1,05	0,289	30	40	120	810
SASP 2 anos linha	0-10	Muito argilosa	1,07	0,282	90	60	230	620
	10-20		1,15	0,279	80	80	210	630
	20-40		1,13	0,277	70	70	150	710
	40-60		1,02	0,273	80	60	150	710
	60-100		0,96	0,284	80	60	150	710
SASP 2 anos entre-linha	0-10	Muito argilosa	1,14	0,264	90	90	210	610
	10-20		1,19	0,277	80	70	180	670
	20-40		1,14	0,271	70	60	150	720
	40-60		1,05	0,276	70	60	170	700
	60-100		0,96	0,278	70	50	150	730
SASP 3 anos linha	0-10	Muito argilosa	0,88	0,301	30	40	140	790
	10-20		0,88	0,304	30	40	160	770
	20-40		0,90	0,297	30	40	150	780
	40-60		0,89	0,305	30	40	150	780
	60-100		0,88	0,302	50	30	130	790
SASP 3 anos entre-linha	0-10	Muito argilosa	0,96	0,302	30	40	160	770
	10-20		0,97	0,297	30	40	160	770
	20-40		0,97	0,302	30	40	140	790
	40-60		0,89	0,304	20	40	120	820
	60-100		0,85	0,306	20	40	130	810
SASP 4 anos linha	0-10	Muito argilosa	0,89	0,294	20	70	160	750
	10-20		0,90	0,294	20	70	160	750
	20-40		0,93	0,292	20	60	160	760
	40-60		0,95	0,295	10	60	140	790
	60-100		0,92	0,292	10	60	150	780
SASP 4 anos entre-linha	0-10	Muito argilosa	0,95	0,296	20	80	170	730
	10-20		0,98	0,294	20	70	150	760
	20-40		0,99	0,292	20	60	140	780
	40-60		0,94	0,296	20	60	140	780
	60-100		0,89	0,296	20	50	140	790
SASP 7 anos linha	0-10	Muito argilosa	1,06	0,284	40	110	150	700
	10-20		0,99	0,275	40	120	150	690
	20-40		1,00	0,258	40	110	140	710
	40-60		0,99	0,256	40	110	140	710
	60-100		0,96	0,262	40	100	140	720
SASP 7 anos entre-linha	0-10	Muito argilosa	1,12	0,278	40	110	140	710
	10-20		1,09	0,271	40	100	140	720
	20-40		1,06	0,273	40	110	120	730
	40-60		0,99	0,278	40	110	130	720
	60-100		0,96	0,268	40	90	110	760
SASP 10 anos linha	0-10	Muito argilosa	0,96	0,301	30	50	150	770
	10-20		0,92	0,289	20	40	160	780
	20-40		0,88	0,288	20	40	140	800
	40-60		0,85	0,293	20	40	150	790
	60-100		0,84	0,296	20	40	170	770
SASP 10 anos entre-linha	0-10	Muito argilosa	0,99	0,303	20	60	200	720
	10-20		0,97	0,296	20	40	180	760
	20-40		0,92	0,304	20	40	180	760
	40-60		0,85	0,296	20	40	170	770
	60-100		0,84	0,337	20	40	170	770

⁽¹⁾ Método do anel volumétrico. ⁽²⁾ Quantidade de água retida em amostras de TFSA previamente saturadas com água e centrifugadas a uma força equivalente a um valor de potencial de -33 kPa (Métodos de análises físicas do solo, Lab. de Física do Solo, Depto de Solos, UFV). ⁽³⁾ Peneiramento (Ruiz, 2005). ⁽⁴⁾ Método da pipeta utilizado na análise de rotina, com aplicação da Lei de Stokes para o cálculo do tempo de sedimentação (Ruiz, 2005).

Quadro 3. Características químicas da camada de 0-20 cm das amostras do solo da linha (L) e entre-linha (EL) de plantio do eucalipto

Talhão	pH H ₂ O ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	K ⁽²⁾	Ca ²⁺ ⁽³⁾	Mg ²⁺ ⁽³⁾	Al ³⁺ ⁽³⁾	H+Al ⁽⁴⁾	SB ⁽⁵⁾	t ⁽⁶⁾	T ⁽⁷⁾	V ⁽⁸⁾	m ⁽⁹⁾	P-rem ⁽¹⁰⁾
		mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³							%		mg L ⁻¹
Cerrado	5,82	1,2	167	0,87	0,53	0,29	2,5	1,83	2,12	4,33	42,3	13,7	18,0
SASP 2 anos (L)	6,23	41,9	63	2,11	1,06	0,00	0,6	3,33	3,33	3,93	84,7	0,0	18,8
SASP 2 anos (EL)	6,74	6,1	69	1,78	1,09	0,00	0,6	3,05	3,05	3,65	83,6	0,0	19,1
SASP 3 anos (L)	6,15	1,7	72	1,15	0,91	0,00	1,4	2,24	2,24	3,64	61,5	0,0	16,3
SASP 3 anos (EL)	6,25	3,6	94	1,18	0,89	0,00	1,3	2,31	2,31	3,61	64,0	0,0	19,3
SASP 4 anos (L)	5,54	13,4	92	0,86	0,85	0,10	1,9	1,95	2,05	3,85	50,6	4,9	20,4
SASP 4 anos (EL)	5,56	2,6	98	0,96	0,78	0,10	1,7	1,99	2,09	3,69	53,9	4,8	20,3
SASP 7 anos (L)	5,80	6,3	47	0,69	0,79	0,05	1,7	1,60	1,65	3,30	48,5	3,0	22,8
SASP 7 anos (EL)	5,72	1,0	60	0,50	0,52	0,05	1,9	1,17	1,22	3,07	38,1	4,1	20,1
SASP 10 anos (L)	5,85	3,6	63	0,97	0,79	0,00	1,9	1,92	1,92	3,82	50,3	0,0	21,7
SASP 10 anos (EL)	6,05	2,0	44	0,92	0,72	0,00	1,9	1,75	1,75	3,65	47,9	0,0	18,4

⁽¹⁾ Relação solo:água 1:2,5; ⁽²⁾ Extrator Mehlich 1; ⁽³⁾ Extrator KCl 1 mol L⁻¹; ⁽⁴⁾ Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; ⁽⁵⁾ Soma de bases trocáveis; ⁽⁶⁾ Capacidade de troca catiônica efetiva; ⁽⁷⁾ Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; ⁽⁸⁾ Índice de saturação por bases; ⁽⁹⁾ Índice de saturação por alumínio; ⁽¹⁰⁾ Fósforo remanescente (Alvarez et al., 2000).

A determinação do C orgânico total (COT) foi feita segundo o método descrito por Yeomans & Bremner (1988), com dicromato de potássio em meio ácido como agente oxidante, e uma fonte externa de calor. Para a determinação do N total (NT) utilizou-se o método Kjeldahl. A matéria orgânica leve (MOL) livre foi quantificada pelo método densimétrico, em que 50 mL de uma de solução de iodeto de sódio com densidade 1,8 kg L⁻¹ foram agitados, manualmente (número igual de movimentos para todas as amostras), com 15 g de TFSA. Após agitação, a suspensão foi centrifugada a 2500 g. A MOL livre no sobrenadante foi separada por peneiramento, utilizando-se uma peneira de 0,250 mm de abertura. Esse material foi lavado extensivamente com água destilada, seco em estufa por 72 h a 65 °C, moído

em alfomaz de ágata e, posteriormente, analisados os teores de C e N por combustão via seco em analisador elementar (CHNS). Foi analisada a fração do C oxidado em solução de permanganato de potássio $0,033 \text{ mol L}^{-1}$, de acordo com Blair et al. (1995), tida como fração lábil do C (CL). Essa última análise foi realizada somente para as três camadas superiores (0-10, 10-20 e 20-40 cm), pelo fato dessa fração tida como lábil ocorrer em teores muito baixos em maiores profundidades, onde a deposição de material é bastante reduzida. Foram calculados os estoques de C e N dessas frações, utilizando-se para isto a densidade do solo sob Cerrado (referência), evitando-se assim qualquer efeito de aumento nos estoques de COS devido a compactação do mesmo.

Foi calculado também o índice de manejo do C (IMC) proposto por Blair et al. (1995), de acordo com a equação:

$$\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100 \quad (1)$$

Para se chegar ao IMC, outros índices devem ser previamente calculados. O ICC é o índice do compartimento do COT ($\text{ICC} = \text{COT}_{\text{AMOSTRA}}/\text{COT}_{\text{REFERÊNCIA}}$) e IL é o índice de labilidade do C ($\text{IL} = \text{L}_{\text{AMOSTRA}}/\text{L}_{\text{REFERÊNCIA}}$). Essa variável L, por sua vez, representa a labilidade do C, e é calculada pela fórmula: $\text{L} = \text{C}_L/\text{C}_{\text{NL}}$, em que C_{NL} (carbono não-lábil) é a diferença entre o COT e o CL. Além disso, calculou-se um IMC modificado que, de maneira distinta do IMC originalmente proposto por Blair et al. (1995), substitui o IL da Eq. 1 pelo índice do compartimento do C da MOL (ICMOL), o qual é calculado de forma semelhante ao ICC, em que $\text{ICMOL} = \text{CMOL}_{\text{AMOSTRA}}/\text{CMOL}_{\text{REFERÊNCIA}}$. Portanto, a fórmula modificada do IMC, calculada a partir do CMOL é:

$$\text{IMC}_{\text{CMOL}} = \text{ICC} \times \text{ICMOL} \times 100 \quad (2)$$

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, sendo o tempo a parcela principal e as profundidades as subparcelas. Para a análise estatística dos resultados, utilizou-se como ferramenta o software SAEG 9.0, procedendo-se a análise de variância (ANOVA), regressões para cada fator estudado como variável do tempo de adoção do sistema agrossilvopastoril e correlação de Pearson entre todos os dados. A partir da derivada primeira das

equações ajustadas, foi possível determinar os pontos de máxima e de mínima, que são os pontos de inflexão das curvas e indicam os pontos de máximo acúmulo e máxima perda de C e N nas frações estudadas, respectivamente. Adicionalmente, essas equações matemáticas também foram utilizadas como modelos para extrapolação dos dados além do período máximo estudado (dez anos), com o intuito de se determinar o tempo necessário para que os estoques retornassem aos níveis originais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total

É fato sabido que mudanças de uso do solo, principalmente quando este se encontra sob vegetação nativa, acarretam perdas de COS. Essas perdas são mais intensas em condições tropicais, onde fatores como temperatura e umidade proporcionam condições ótimas para a microbiota do solo (Stevenson, 1994). Embora condições tropicais favoreçam a mineralização da MOS, elas também proporcionam maior produção de biomassa vegetal, o que, aliado a práticas que favoreçam a estabilização do COS, possibilita recuperação mais rápida dos conteúdos originais da MOS (Lal, 2004a). O mesmo não acontece em florestas boreais, por exemplo, onde a restauração do COS pode levar até 2000 anos (Swift, 2001).

As amostras de solo coletadas na linha de plantio do eucalipto apresentaram alterações acentuadas nos estoques de COT (Figura 1); aos 3,14 anos a camada de 0-10 cm atingiu sua perda máxima de C, com diminuição de 44,70 % em relação ao estoque original de C nessa camada. A partir dessa época, o estoque de COT apresentou recuperação, porém sem alcançar os valores originais no décimo ano de introdução dos SASPs, período máximo estudado (17,19 % menor que o da referência). Utilizando a equação ajustada aos dados dessa camada verifica-se que o estoque original de COT seria atingido somente aos 12,56 anos. Para a camada de 10-20 cm, a máxima perda de C foi de 41,39 % em relação ao estoque da área de referência. Ao décimo ano de introdução dos SASPs essa camada apresentou apenas 66,51 % dos valores originais do estoque de C.

Embora as perdas iniciais de C para essas duas profundidades sejam parecidas, a recuperação do estoque original da camada de 10-20 cm deverá ocorrer, apesar dos riscos da extrapolação do período de tempo estudado (dez anos), aos 19,37 anos, o que está de acordo com Turner & Lambert (2000). Esses autores observaram a diminuição do estoque de C na camada de 0-10 cm após distúrbio inicial do solo, porém essa perda de C cessa e se estabiliza dentro do período de rotação estudado (35 anos). Ainda segundo esses autores, essa resposta é mais demorada para camadas mais profundas (0-50 cm) e a recuperação para os níveis originais não ocorreu dentro do período estudado (35 anos).

A camada mais profunda da linha de plantio, 60-100 cm, apresentou acúmulo inicial de C (Figura 1), 80,26 % maior que o estoque de COT da área de referência aos 3,33 anos após a implantação dos SASPs. A partir desse ponto os estoques de C começam a decair, atingindo um valor ainda 37,16 % superior à área de referência, no décimo ano. Porém, se mantidas as taxas atuais de entrada e de saída de C no sistema, a partir dos 13,32 anos o estoque de C nessa camada já será inferior àquele do Cerrado.

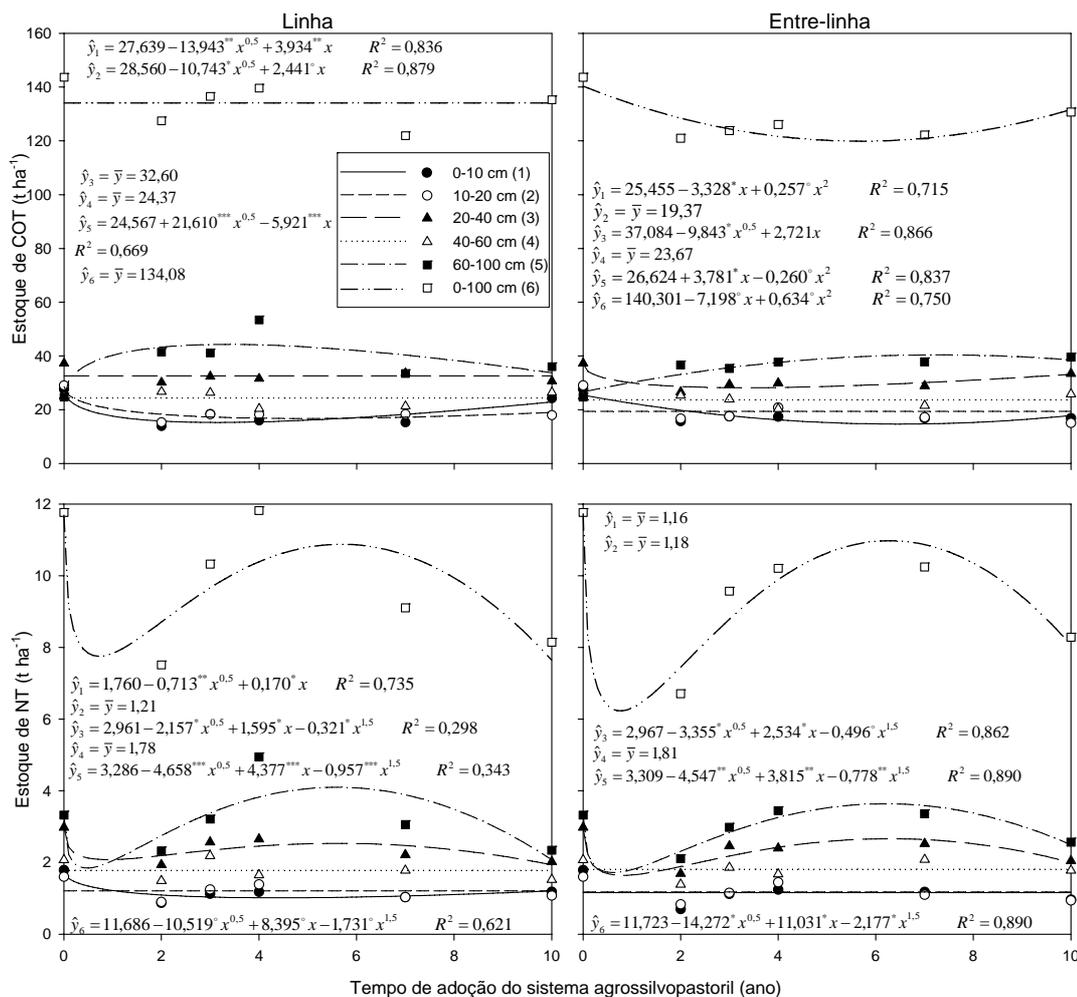


Figura 1. Estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) como variável do tempo de adoção do sistema agrossilvopastoril, para as cinco profundidades estudadas, na linha e na entre-linha de cultivo do eucalipto. ***, **, * e °: significativos a 0,1; 1; 5 e 10 %, respectivamente.

Para as amostras da entre-linha de plantio do eucalipto, as alterações ocorridas no compartimento do COT para as diferentes camadas estudadas foram mais uniformemente distribuídas ao longo do tempo (Figura 1). A camada de 0-10 cm apresentou perdas máximas de 42,35 % em relação ao estoque de COT encontrado na área de referência. A partir desse ponto, o estoque de C voltou a se recuperar, atingindo, aos dez anos de implantação dos SASPs, 70,16 % do estoque original. Apenas aos 12,96 anos é que os valores originais seriam atingidos. Esses números são semelhantes àqueles encontrados para as amostras da linha de plantio, porém o tempo necessário para que a perda máxima de C na entre-linha ocorra é de 6,48 anos, mais que o dobro do necessário para as amostras da linha de plantio. Isso

se deve, provavelmente, à grande deposição de resíduos vegetais proporcionada pelas culturas anuais (Spagnollo, 2004).

Para a camada de 20-40 cm na entre-linha de plantio do eucalipto, as perdas de C foram pequenas. Ainda que tenha perdido apenas 24,01 % de seu C já aos 3,27 anos, sua recuperação foi lenta, diminuindo essa perda para 10,57 % ao final do décimo ano, sendo necessários 13,09 anos para que os valores originais sejam recuperados. À semelhança do que ocorreu para a linha de plantio, a camada de 60-100 cm da entre-linha também apresentou acúmulo de C, porém em menor magnitude e mais uniformemente distribuída ao longo do tempo. O acúmulo máximo deu-se aos 7,28 anos e foi 51,70 % superior ao estoque original. A partir desse ponto o estoque de C diminui, porém aos dez anos de implantação dos SASPs o estoque de C dessa camada ainda era 44,49 % superior ao original. Somente após 14,56 anos esses valores serão menores que os originais.

Esse aumento inicial do estoque de COT em profundidade (Figura 1) não foi devido à incorporação de material não humificado por ocasião do preparo do solo, uma vez que o estoque de CMOL não se elevou (Figura 2). Porém, o intenso revolvimento do solo, com a quebra de estruturas de macro e de microagregados, leva à perda da proteção física da MOS, bastante significativa em solos muito argilosos e oxídicos (Wilcke & Lilienfein, 2004; Jandl et al., 2007) como os deste estudo. Com essa quebra de agregados, colóides orgânicos (solúveis na solução do solo ou não) antes incorporados à estrutura do solo podem estar se eluviando em profundidade no perfil do solo. Isso, somado à deposição pela morte de raízes, estaria acarretando esse aumento do estoque de COT em profundidade, o que também foi observado por Neu (2005), sendo que esta autora cita, ainda, a possível contribuição de exsudatos radiculares para esse aumento de C em profundidade.

Como já citado, mudanças de uso do solo, principalmente quando este se encontra sob vegetação nativa, levam à perda de COS (Stevenson, 1994; Turner et al., 2005). Isso ocorre, pelo menos inicialmente, devido às práticas de manejo adotadas. Essas práticas, que consistem na retirada da vegetação, preparo intensivo do solo, controle de plantas invasoras dentre outras, quebram o equilíbrio do sistema, ocasionando redução de deposição de material e exposição da MOS, antes protegida. Com isso, percebe-se a importância de se adotarem práticas de manejo favoráveis ao acúmulo e à estabilização de C no solo. Para que um manejo seja sustentável, ao final de cada ciclo ele deve promover o seqüestro de C em tal magnitude que compense a

perda inicial causada pela implantação da cultura (Turner & Lambert, 2000). Portanto, ao final de cada ciclo os estoques de C deverão ser os mesmos que os da área de referência, caso contrário os estoques serão cada vez menores, o que pode levar ao aparecimento de áreas degradadas. Para um sistema nessas condições, ele deverá ter o seu ciclo aumentado (Jandl et al., 2007), de modo que a recuperação da MOS ocorra dentro do período de cada ciclo, ou o manejo nas condições de um ciclo menor deverá ser melhorado.

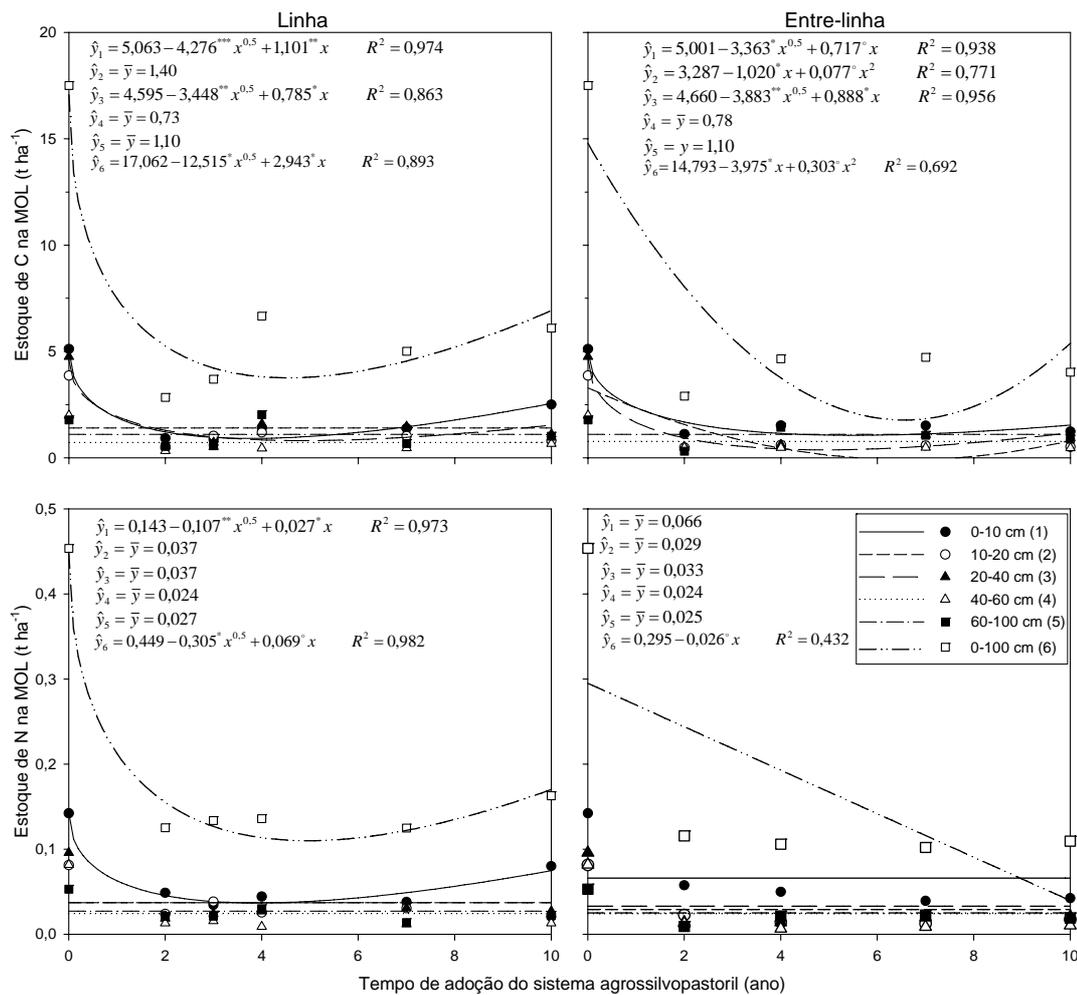


Figura 2. Estoques de carbono e de nitrogênio na matéria orgânica leve (MOL) livre com o tempo de adoção do sistema agrossilvopastoril, para as cinco camadas de solo estudadas, na linha e na entre-linha de cultivo do eucalipto. Equações sem os valores de significância foram não-significativas a 10 % de probabilidade, mas devido aos altos valores de R^2 dos ajustes e de CV dos resultados, foram aceitas a até 35 % de probabilidade. ***, **, * e °: significativos a 0,1; 1; 5 e 10 % respectivamente.

É interessante notar que essa perda inicial de C após mudanças de uso do solo é fato difundido na literatura. Quando se pensa em sustentabilidade do sistema ou em seqüestro de C no solo com o intuito de mitigar o efeito estufa, esforços são concentrados em diminuir essas perdas iniciais e na adoção de práticas que promovam a recuperação mais rápida dos teores originais de C no solo. Porém, muitos desses estudos levam em consideração apenas camadas superficiais do solo. Turner & Lambert (2000) e Turner et al. (2005), por exemplo, levam em consideração apenas as camadas de 0-10 e 0-50 cm de profundidade. Para essas camadas, eles encontraram padrões semelhantes aos das camadas superficiais deste estudo, com perda inicial de C e tendência de recuperação ao longo do tempo. Em estudo desenvolvido nessa mesma área, Wendling (2007) avaliou as camadas de 0-10 e 10-20 cm e concluiu que esse SASP promove redução inicial nos teores de C e N, porém com potencial de recuperação ao final do ciclo. Todavia, quando camadas mais profundas são levadas em consideração, como no presente estudo, percebe-se que a recuperação dos estoques originais de C é dificultada. Isso ocorre devido às perdas de C que estão ocorrendo nessas camadas e à dificuldade de elevar a deposição de material vegetal (raízes) nas mesmas.

O balanço total de C nesse SASP estudado, para a camada de 0-100 cm, foi de que na linha de plantio do eucalipto o estoque de COT não sofreu alterações ao longo do tempo. Por outro lado, a entre-linha apresentou diminuição de 14,56 % no estoque total de C aos 5,68 anos, com relação à área de referência (Cerrado), chegando ao décimo e último ano da cronosequência estudada sem retomar os estoques originais de C do solo sob Cerrado (93,89 %).

Os estoques de N, assim como os de C, variaram de forma semelhante na linha e na entre-linha de cultivo do eucalipto (Figura 1). As maiores alterações nos estoques de N ocorreram nas camadas mais profundas, principalmente de 60-100 cm de profundidade. Na linha de plantio, a camada de 0-10 cm apresentou perda máxima de 42,43 % do estoque de N original aos 4,39 anos, chegando ao décimo ano com 68,55 % do estoque original, sendo necessários, teoricamente, 17,58 anos para que a recuperação atingisse 100 %. A camada de 20-40 cm apresentou uma perda brusca de 29,76 % do estoque de N no primeiro ano (aos 0,90 ano), seguida de uma fase de recuperação que durou até os 5,57 anos e elevou o estoque de N a 85,43 % do estoque original. A partir desse ponto, a tendência foi de decréscimo, atingindo 65,17 % do estoque inicial de N no décimo ano de implantação dos SASPs. Para a

camada de 60-100 cm a perda inicial foi de 43,96 % aos 0,47 ano, chegando a um acúmulo de N 24,67 % maior que o estoque original; porém esse incremento não foi sustentável, chegando a 63,10 % do estoque inicial no décimo ano.

Para a entre-linha de plantio, a camada de 20-40 cm perdeu 44,79 % do seu estoque de N aos 0,81 ano (Figura 1). Posteriormente, o incremento que ocorreu até os 6,26 anos elevou esse estoque para valores de 89,67 % do estoque original. Entretanto, esse incremento não se manteve e aos dez anos de implantação dos SASPs o estoque de N já havia diminuído novamente, representando 67,40 % do estoque inicial de N. Já a camada de 60-100 cm teve um decréscimo de 48,19 % no seu estoque inicial aos 0,61 ano. Após esse período, os estoques de N voltaram a aumentar, ultrapassando em 9,87 % os estoques originais de N aos 6,18 anos. Porém, ao final do décimo ano, o estoque de N dessa camada equivale a 75,27 % dos valores originais. Essa característica de elevação dos estoques de N com posterior diminuição pode ser devido às características dos próprios vegetais utilizados nesse SASP. Os resíduos da soja cultivada no segundo ano de implantação do SASP levariam ao aumento da quantidade de N no solo. Como após esse período são cultivados somente eucalipto e braquiária na área, plantas que apresentam elevada relação C/N, a quantidade de N no solo também tende a diminuir, até encontrar um novo equilíbrio que é imposto pela qualidade do novo material vegetal depositado no solo.

A redução inicial dos teores de N no solo em ambas as posições (linha e entre-linha) também foi encontrada por Andrade et al. (2005), que explicaram isso como consequência da mineralização do N contido na MOS e sua posterior perda por erosão e lixiviação, aliado ao baixo aporte de resíduos vegetais e à grande demanda por N na fase inicial de crescimento das culturas. Possivelmente, a maior exigência e exportação de N pelas culturas anuais tenha proporcionado a diminuição mais brusca do estoque desse elemento na camada de 20-40 cm da entre-linha. Porém, estes três cultivos também propiciaram maiores aportes de resíduo ao solo, o que resulta no maior e mais rápido acúmulo de N, uma vez que a principal fonte desse elemento, segundo Neu (2005), é via deposição de resíduos orgânicos.

Os resultados de Binkley et al. (2004) mostraram que os fluxos e as formas de N no solo (orgânica ou inorgânica), e sua influência sobre o acúmulo de C no solo, variaram substancialmente entre sítios e estudos, indicando que não existe um

modelo simples para descrever todas as situações. Para esses autores, a maior influência do N sobre o solo se dá devido seus efeitos sobre a microbiota do solo.

Levando-se em consideração o estoque total de N na camada de 0-100 cm, a perda inicial de N foi maior na entre-linha que na linha de plantio do eucalipto (redução de 43,61 e 33,68 %, respectivamente). Porém o acúmulo de N ao longo do tempo de adoção do SASP foi maior para a entre-linha que para a linha, chegando a um máximo de recuperação em relação ao N do solo sob Cerrado de 99,46 % aos 6,25 anos e 91,56 % aos 5,66 anos, para a entre-linha e linha respectivamente. Adicionalmente, ao final do período estudado (10 anos), o estoque de N na camada total de solo foi maior para a entre-linha que para a linha de plantio.

3.2 – Estoques de carbono e nitrogênio na matéria orgânica leve (MOL)

O coeficiente de variação (CV) dos dados referentes às variáveis relacionadas à MOL (CMOL e NMOL) apresentou valores elevados, entre 49 e 59 %, o que é característica inerente dessa fração da MOS. Marin et al. (2006) verificaram maior variabilidade espacial e sazonal da MOL em relação a outras frações da MOS em sistemas agroflorestais. Segundo esses autores, os teores de MOL variaram tanto com a época de amostragem quanto com a distância de amostragem em relação à linha de plantio da espécie florestal. Com isso, as equações de regressão dessas frações para algumas camadas, mesmo apresentando ajustes com valores de R^2 próximos a 0,99, tiveram seus modelos rejeitados a 10 % de significância.

Neste estudo, a fração da MOL foi a que apresentou as maiores reduções em relação aos estoques originais (Figura 2). Essas alterações estão de acordo com o encontrado na literatura, onde tem sido reportado que a MOL é um compartimento que apresenta tempo de ciclagem relativamente curto e é bastante sensível a mudanças de manejo (Stevenson, 1994; Diekow, 2003; Leite et al., 2003; Tirol-Padre & Ladha, 2004; Bongiovanni & Lobartini, 2006; Xavier et al., 2006).

A fração CMOL da linha de plantio apresentou valores semelhantes de reduções nos estoques originais para as camadas estudadas (Figura 2). As perdas máximas ocorridas nas camadas de 0-10 e 20-40 cm foram de 82,01 e 82,44 %, aos 3,77 e 4,82 anos, respectivamente, em relação ao solo sob Cerrado. A camada de 0-10 cm chegou ao décimo ano com estoque de CMOL na linha de plantio equivalente a 50,39 % do original, necessitando de um tempo de rotação estimado de

15,08 anos para que os estoques dessa camada retornassem aos valores encontrados no solo sob Cerrado. A camada de 20-40 cm apresentou valor de recuperação do estoque de CMOL menor que o da camada de 0-10 cm no décimo ano de implantação dos SASPs, sendo que esta camada atingiu, nessa época, 33,48 % do estoque original. O tempo necessário para que ela atingisse 100 % do estoque original seria de 19,31 anos.

Para o CMOL das amostras oriundas da entre-linha de plantio (Figura 2), a redução máxima do estoque da camada de 0-10 cm foi de 78,82 % aos 5,50 anos, com a elevação do estoque de CMOL dessa camada para 30,78 % do original no décimo ano dos SASPs. O tempo necessário para que esse valor atingisse 100 % seria de 21,98 anos. A camada de 10-20 cm chegou ao décimo ano com estoque bastante baixo, 24,62 % do original, porém o tempo necessário para a recuperação é menor, 13,21 anos para se atingirem os valores das áreas sob Cerrado. Para a camada de 20-40 cm a redução máxima foi de 91,08 % e se deu aos 4,78 anos, sendo necessários 19,12 anos para se atingir os valores originais.

Considerando o estoque total de CMOL na camada de 0-100 cm, as amostras da entre-linha tiveram perda mais acentuada do que na linha, sendo essa perda máxima de 88,13 e 77,98 %, respectivamente.

Com relação ao estoque de N na MOL (Figura 2), a amostra da linha de plantio da camada de 0-10 cm apresentou perda de 74,27 % aos 3,92 anos. No décimo ano de implantação dos SASPs, o estoque de NMOL era de 52,22 % do estoque original. Para que recuperasse 100 % do estoque de NMOL do solo sob Cerrado seriam necessários 15,68 anos. Já para as amostras da entre-linha, apenas o estoque total de NMOL da camada de 0-100 cm possibilitou o ajuste de um modelo. Esse modelo é linear e de acordo com ele o NMOL das amostras da entre-linha de plantio apresentou, ao final do décimo e último ano estudado, redução de 88,14 % com relação ao estoque inicial de NMOL no solo sob Cerrado.

Como a fração MOL foi a mais negativamente afetada pela introdução dos SASPs, percebe-se que, se mantidas as taxas atuais de deposição de resíduos no solo, a recuperação dos teores originais de CMOL e NMOL será muito demorada. Devido à complexidade do manejo dos SASPs, percebeu-se que no décimo ano da cronoseqüência estudada a pastagem apresentava-se com visível aspecto de degradação. Andrade et al. (2001), que também conduziram experimento nos mesmos SASPs aqui estudados, porém dando ênfase à pastagem, concluíram que a

baixa produtividade das pastagens com o passar dos anos deve-se, além do sombreamento causado pelo eucalipto, à baixa disponibilidade de N no solo. Somando-se essa baixa produção de biomassa vegetal pela pastagem à baixa produção de biomassa pela floresta, devido ao elevado espaçamento das plantas de eucalipto, o tempo necessário para que a fração da MOL recupere seus valores originais pode ser ainda maior, uma vez que a deposição de resíduos é bastante diminuída nessas condições.

3.3 – Estoque de carbono lábil (CL) e índices de manejo do carbono (IMC)

Apesar do seqüestro de C no solo estar particularmente associado às frações mais estáveis da MOS, compartimentos com ciclagem rápida como o CL e a MOL são muito responsivos a mudanças na taxa de depósito de C no solo (Stevenson, 1994; Leite et al., 2003; Tirol-Padre & Ladha, 2004). Com isso, têm sido recomendados seus usos como indicadores precoces das mudanças na MOS e da sustentabilidade dos sistemas. Com base nessa sensibilidade, Blair et al. (1995) propuseram o cálculo do IMC (Índice de Manejo do C), utilizando-se os compartimentos de COT e CL. Todavia, trabalhos como o de Mendham et al. (2002) relatam a baixa eficiência desse compartimento de CL em detectar mudanças no estoque total de C. Segundo esses autores, o compartimento do CL teve a mesma eficácia que o estoque total de C do solo em detectar mudanças induzidas por diferenças de manejo. A partir de resultados como esse, Tirol-Padre & Ladha (2004) estudaram a natureza do C orgânico oxidado pelo permanganato de potássio, determinando a reatividade (poder oxidante) deste reagente com diversos compostos orgânicos do solo. Para esses autores, a fração do COS oxidada por permanganato de potássio não pode ser tomada como medida confiável de labilidade, já que esta solução oxidou mais rapidamente compostos menos acessíveis à microbiota, como a lignina, em comparação a outros prontamente disponíveis, como os carboidratos solúveis na solução do solo.

Por encontrar dificuldades de remover o excesso de permanganato de potássio da amostra após o término da análise da fração lábil do C, Diekow (2003) indica esse fato como uma limitação desse método de fracionamento do C. Para contornar esse problema no cálculo do IMC, ele assume que a matéria orgânica particulada (MOP),

obtida pelo fracionamento físico, é proporcional à fração lábil do C, já que esta é uma fração relativamente sensível às práticas de manejo.

A MOL apresenta tempo de ciclagem curto e é bastante sensível quanto a alterações no manejo adotado (Diekow, 2003; Leite et al., 2003; Tirol-Padre & Ladha, 2004; Bongiovanni & Lobartini, 2006; Xavier et al., 2006; Wendling, 2007), além de ser um compartimento que reflete a quantidade de material depositado no solo. Essas características fazem com que ela seja um fator muito importante para o cálculo de qualquer índice de manejo do C. Com isso, a idéia de Diekow (2003) de substituir a medida de CL do cálculo do IMC proposto por Blair et al. (1995), por uma medida de fracionamento físico equivalente à MOL, é bastante compreensível. Porém ao fazer essa modificação, Diekow (2003) simplesmente tomou o resultado do fracionamento físico como medida de labilidade do C, dando seqüência aos cálculos do IMC conforme Blair et al. (1995) havia proposto. Ao fazer isso, dá-se peso maior para esse compartimento de C, o qual é utilizado para calcular os fatores L e IL da Eq. 1. Assim, no presente estudo foi feita uma modificação no IMC originalmente proposto por Blair et al. (1995), que consiste na substituição desse IL pelo ICMOL (Eq. 2).

O C oxidável por permanganato, tido como medida de labilidade do C (CL), não apresentou tendências claras para identificar variações na cronoseqüência estudada, o que influenciou também o IMC calculado a partir do CL (IMC_{CL}) (Figura 3). A máxima redução do estoque de CL para a camada superficial de 0-10 cm na linha de plantio foi de 51,13 %, o que se deu aos 3,60 anos de introdução dos SASPs. Para o estoque total da camada de 0-40 cm essa redução foi de 33,94 % e se deu aos 4,54 anos. Para Wendling (2007), em trabalho desenvolvido nessa mesma área, também encontrou que essa fração do C oxidada por permanganato de potássio não é adequada para o cálculo do IMC, sendo que esse índice expressa melhor as mudanças de uso e manejo do solo quando calculado a partir de uma fração do C oxidada por diferentes concentrações de H₂SO₄.

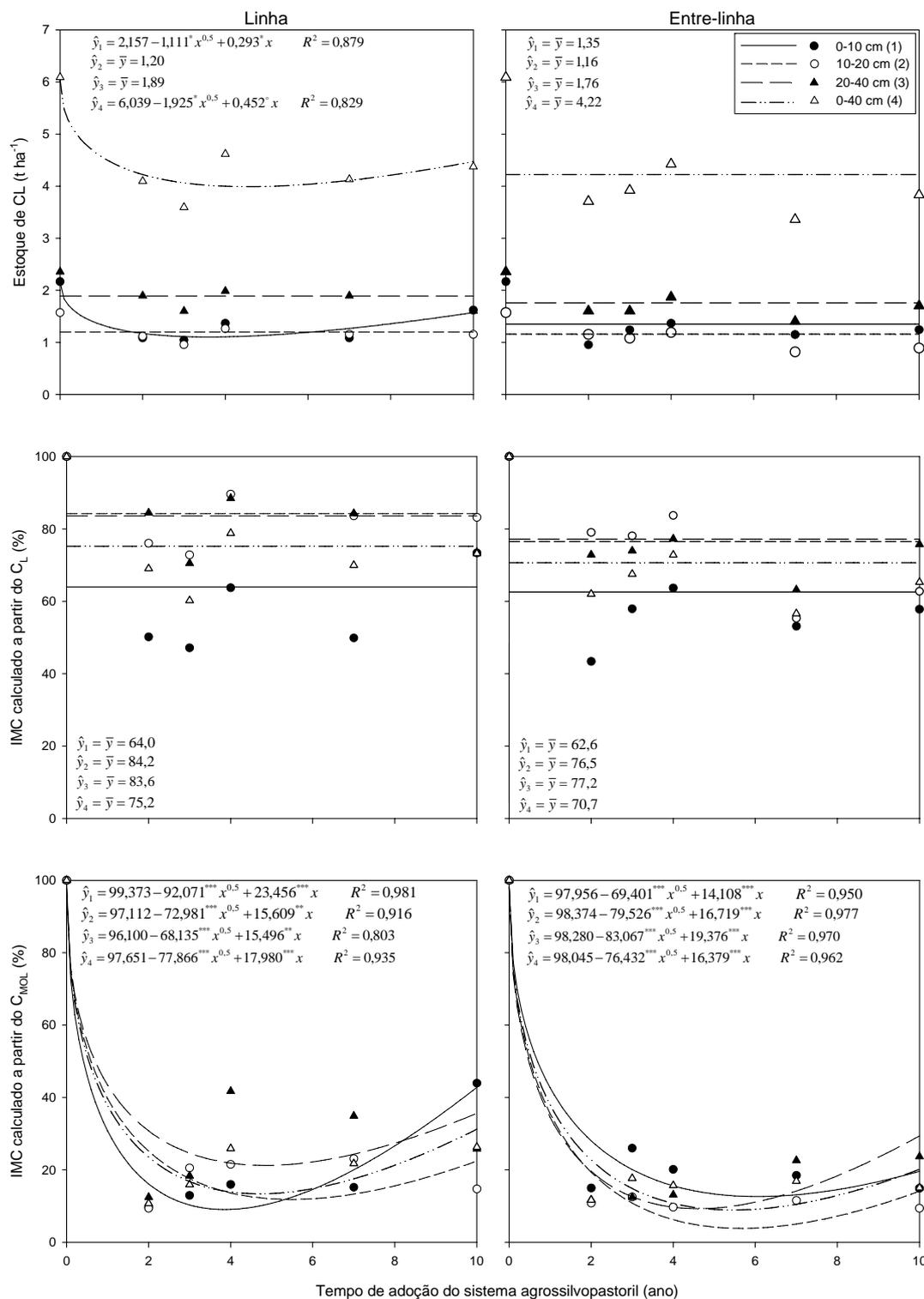


Figura 3. Estoques de carbono lábil (CL) e índices de manejo do carbono (IMC) calculados a partir do CL e do carbono da MOL (CMOL) como variável do tempo de adoção do sistema agrossilvopastoril, para as cinco profundidades de solo estudadas na linha e na entre-linha de cultivo do eucalipto. ***, **, * e °: significativos a 0,1; 1; 5 e 10 % respectivamente.

Embora não seja possível ajustar um modelo que explique as alterações nos estoques de CL ao longo do tempo para as demais camadas, é interessante notar que esses dados variam de maneira semelhante dentro de cada fração do tempo estudada, sempre seguindo um mesmo padrão para cada uma das profundidades. Ao contrário desta falta de ajuste dos dados de CL e IMC_{CL} , os modelos de IMC calculados a partir do CMOL (IMC_{CMOL}) apresentaram bons ajustes (Figura 3). É importante lembrar que não existe valor ótimo para este índice, sendo que o valor de 100 % indica um manejo semelhante ao da área de referência, com a manutenção dos estoques de C nos compartimentos COT e CMOL.

O IMC_{CMOL} da camada de 0-10 cm da linha de plantio do eucalipto apresentou seu menor valor (9,02 %) aos 3,85 anos, sendo necessários 15,41 anos para elevar esse índice a 100 %. A camada de 0-10 cm da entre-linha atingiu seu pior índice (12,61 %) aos 6,05 anos, sendo necessários 24,20 anos para elevá-lo a 100 %. Provavelmente, a maior deposição de resíduos sobre o solo proporcionado pelos cultivos anuais realizados na entre-linha de cultivo do eucalipto (arroz, soja e pastagem), proporcionou essa menor queda do índice na entre-linha, que ocorreu em um período de tempo maior do que para a linha de plantio. Porém, o estado de degradação da pastagem, como já comentado, parece estar dificultando a recuperação do IMC_{CMOL} da entre-linha de plantio, que é bem mais tardio.

Para as camadas subsuperficiais de 10-20 e 20-40 cm na entre-linha, o maior revolvimento do solo provocado pelo cultivo convencional, somado à perda de vigor da pastagem ao longo do tempo, parece estar influenciando negativamente os IMC_{CMOL} dessas camadas. Para a camada de 10-20 cm o IMC_{CMOL} mais baixo apresentado pela linha de plantio foi maior que o da entre-linha, 11,80 e 3,81 %, respectivamente, sendo atingidos praticamente ao mesmo tempo, aos 5,47 anos para a linha e aos 5,66 anos para a entre-linha, sendo necessário também praticamente o mesmo tempo para que esses índices retornem aos valores originais (100 %): 21,86 e 22,63 anos (linha e entre-linha). Do mesmo modo, para a camada de 20-40 cm, os menores índices alcançados pela linha de plantio foram maiores que os da entre-linha (21,20 % na linha contra 9,25 % na entre linha). Com isso, o IMC_{CMOL} da camada total de 0-40 cm apresentou melhores resultados para a linha de plantio que para a entre-linha. Na linha de plantio esse índice chegou a 13,35 % aos 4,69 anos, enquanto na entre-linha chegou a 8,88 % aos 5,44 anos. Ao final do décimo e último

ano do período estudado os valores de IMC_{CMOL} da linha de plantio já eram de 31,97 %, enquanto na entre-linha eram de apenas 20,54 %.

Mesmo o estoque de COT apresentando correlação mais elevada com o estoque de CL do que com o de CMOL (Quadro 4), tanto na linha quanto na entre-linha, a correlação do COT com o IMC_{CMOL} foi maior do que com o IMC_{CL} . Além disso, a correlação do COT com o CMOL e IMC_{CMOL} foi praticamente a mesma para as duas situações (linha e entre-linha), enquanto a correlação do COT com CL e IMC_{CL} variou entre as amostras da linha e entre-linha. Portanto, o IMC_{CMOL} mostrou-se melhor que o IMC_{CL} para comparar sistemas de manejo quanto à sustentabilidade da MOS, já que ele se correlacionou melhor com o COT, apresentou bons ajustes de equações desta variável com o tempo e mostrou maior reprodutibilidade que o IMC_{CL} , uma vez que a correlação com o COT, além de maior, foi bastante semelhante para as duas posições estudadas (linha e entre-linha).

Quadro 4. Correlações de Pearson para os estoques de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono da matéria orgânica leve (CMOL), nitrogênio da matéria orgânica leve (NMOL) e carbono lábil (CL) e; índices de manejo do carbono, IMC_{CL} e IMC_{CMOL} , das amostras retiradas das profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, na linha e na entre-linha de plantio do eucalipto

	COT	NT	CMOL	NMOL	CL	IMC_{CL}	IMC_{CMOL}
<i>Linha</i>							
COT	1,00	0,87 ***	0,43 ***	0,28 **	0,73 ***	0,36 ***	0,54 ***
NT		1,00	0,44 ***	0,25 *	0,73 ***	0,30 **	0,41 ***
CMOL			1,00	0,93 ***	0,64 ***	0,33 **	0,82 ***
NMOL				1,00	0,53 ***	0,25 *	0,75 ***
CL					1,00	0,60 ***	0,62 ***
IMC_{CL}						1,00	0,58 ***
IMC_{CMOL}							1,00
<i>Entre-linha</i>							
COT	1,00	0,83 ***	0,43 ***	0,24 *	0,69 ***	0,42 ***	0,53 ***
NT		1,00	0,42 ***	0,20 *	0,70 ***	0,35 ***	0,37 ***
CMOL			1,00	0,92 ***	0,58 ***	0,34 **	0,83 ***
NMOL				1,00	0,47 ***	0,23 *	0,76 ***
CL					1,00	0,64 ***	0,54 ***
IMC_{CL}						1,00	0,54 ***
IMC_{CMOL}							1,00

***; ** e * - significativos a 0,1; 1 e 5 % respectivamente.

4. CONCLUSÕES

1. A implantação do SASP apresentou impacto negativo na MOS, levando à diminuição dos estoques de COT das camadas superficiais, sendo que o período necessário para que ocorra o restabelecimento dos níveis originais está além do período máximo estudado (dez anos). Embora a camada subsuperficial de 60-100 cm tenha apresentado acúmulo de C, este efeito não foi sustentável.
2. A fração mais sensível ao manejo adotado foi a MOL livre, pois é pouco protegida e, portanto, apresentou as maiores reduções após a implantação dos SASPs, com tendência de recuperação nos SASPs mais antigos.
3. O CL e o IMC_{CL} não apresentaram tendências claras como variáveis do tempo de adoção dos SASPs, além de apresentarem valores diferentes de correlação com o COT na linha e na entre-linha de cultivo do eucalipto.
4. O IMC_{CMOL} possibilitou bom ajuste como variável do tempo de adoção dos SASPs, além de apresentar correlação com o COT bastante semelhante nos dois sítios estudados (linha e entre-linha). Isso, somado à simplicidade dos cálculos, o torna um bom índice para se comparar sistemas de manejo quanto à sustentabilidade da MOS.

5. LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, 25:27-32, 2000.
- ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; COUTO, L. & PEREIRA, O. G. Fatores limitantes ao crescimento do capim Tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos Cerrados de Minas Gerais. Rev. Bras. Zootec., 30:1178-1185, 2001.
- 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.
- BINKLEY, D.; KAYE, J.; BARRY, M. & RYAN, M. G. First-rotation changes in soil carbon and nitrogen in a *Eucalyptus* plantation in Hawaii. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:1713-1719, 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.
- BONGIOVANNI, M. D. & LOBARTINI, J. C. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. Geoderma, 136:660-665, 2006.

- BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. Desempenho do setor em 2006 e projeção para 2007. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em 07 mai. 2007.
- CANELLAS, L. P. & SANTOS, G. A. Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, Biblioteca do CCTA/UENF, 309 p., 2005.
- CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D. S.; BATJES, N.; MILNE, E. & CERRI, C. C. Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 122:46-57, 2007.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:777-788, 2005.
- DIEKOW, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 164 p. (Tese de Doutorado)
- DUBÈ, F. Estudos técnicos e econômicos de sistemas agroflorestais com *Eucalyptus* sp. no noroeste do estado de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 113 p. (Tese de Mestrado)
- EMBRAPA Monitoramento por satélite. A dinâmica das florestas no mundo: De 8000 BP até os dias de hoje. Disponível em: <<http://www.desmatamento.cnpem.embrapa.br/index.htm>>. Acesso em 15 jun. 2007.
- JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D. W.; MINKKINEN, K. & BYRNE, K. A. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137:253-268, 2007.
- KONG, A. Y. Y.; SIX, J.; BRYANT, D. C.; DENISON, R. F.; and KESSEL, C. V. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69:1078-1085, 2005.

- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304:1623-1627, 2004a.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123:1-22, 2004b.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A. & GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:821-832, 2003.
- LIMA, W. P. Impacto ambiental do eucalipto. 2. ed. São Paulo, Edusp, 1993. 301 p.
- MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, E. D. & SAMPAIO, E. V. de S. B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:555-564, 2006.
- MENDHAM, D. S.; SANKARAN, K. V.; O'CONNELL, A. M. & GROVE, T. S. *Eucalyptus globulus* harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. *Soil Biol. Biochem.*, 34:1903-1912, 2002.
- NAKLANG, K.; WHITBREAD, A.; LEFROY, R.; BLAIR, G.; WONPRASAID, S.; KONBOON, Y. & SURIYA-ARUNROJ, D. The management of rice straw, fertilizers and leaf litters in rice cropping systems in Northeast Thailand. *Plant Soil*, 209:21-28, 1999.
- NEU, V. Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus – AM. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2005, 93 p. (Tese de Mestrado)
- ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M. & CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:911-923, 2003.
- RUIZ, A. R. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:297-300, 2005.

- SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. Fatos e números do Brasil florestal. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em 17 jun. 2007.
- SHRESTHA, R. K.; LADHA, J. K. & LEFROY, R. D. B. Carbon management for sustainability of an intensively managed rice-based cropping system. *Biol. Fertil. Soils*, 36:215-223, 2002.
- SIX, J.; CALLEWAERT, P.; LENDERS, S.; DE GRYZE, S.; MORRIS, S. J. ; GREGORICH, E. G. ; PAUL, E. A. & PAUSTIAN, K. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1981-1987, 2002.
- SIXTA, H. Handbook of pulp. Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2006. 1316 p.
- STEVENSON, F. J. Humus chemistry: Genesis, compositions, reactions. 2nd edition. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1994. 496 p.
- 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.
- SPAGNOLLO, E. Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004, 186 p. (Tese de doutorado).
- SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166:858-871, 2001.
- TIROL-PADRE, A. & LADHA, K. J. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:969-978, 2004.
- TURNER, J. & LAMBERT, M. J. Change in organic carbon in forest plantation soils in Eastern Australia. *For. Ecol. Manage.*, 133:231-247, 2000.
- TURNER, J.; LAMBERT, M. J. & JOHNSON, D. W. Experience with patterns of change in soil carbon resulting from forest plantation establishment in eastern Australia. *For. Ecol. Managem.*, 220:259-269, 2005.

- XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S. & MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. R. Bras. Ci. Solo, 30:247-258, 2006.
- WENDLING, B. Carbono e nitrogênio no solo sob diferentes usos e manejos e sua modelagem pelo Century. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007, 122 p. (Tese de doutorado).
- 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.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, L. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communication in Soil Science Plant Analysis, 19:1467-1476, 1988.

APÊNDICE

Quadro 1A. ANOVA para os dados de COT, NT, CMOL e NMOL da amostragem realizada na linha de plantio e para os dados de COT e NT da amostragem realizada na entre-linha de plantio do eucalipto

FV	GL	QM					
		<i>Linha</i>				<i>Entre-linha</i>	
		COT	NT	CMOL	NMOL	COT	NT
Total	119						
Redução	47	217,99	2,173	4,660	0,00308	154,20	1,672
Tempo	5	51,33	2,665	22,976	0,01358	57,15	2,470
Erro (a)	18	13,63	0,325	2,619	0,00215	14,02	0,313
Prof.	4	1700,76	17,414	6,112	0,00618	1278,48	14,420
Prof. x Tempo	20	147,03	0,664	1,627	0,00066	79,77	0,147
Erro (b)	72	13,60	0,141	0,564	0,00044	10,24	0,089
Res. Comb. (Linha; Entre-linha)	COT (90; 88) NT (77; 62) CMOL (53) NMOL (51)	13,61	0,178	0,975	0,0008	10,99	0,134
CV (%)		13,75	19,21	53,91	55,72	12,51	15,74

Quadro 2A. ANOVA para os dados de CL, IMC_{CL} e IMC_{CMOL} das amostragens realizadas na linha e na entre-linha de plantio do eucalipto.

FV	GL	QM					
		<i>Linha</i>			<i>Entre-linha</i>		
		CL	IMC _{CL}	IMC _{CMOL}	CL	IMC _{CL}	IMC _{CMOL}
Total	71						
Redução	35	0,434	974,03	2076,40	0,460	924,60	2147,60
Tempo	5	0,980	1894,87	12899,75	1,273	2656,81	14341,39
Erro (a)	18	0,159	854,64	223,77	0,217	750,34	113,51
Prof.	2	3,023	3151,07	364,71	2,515	1613,56	293,63
Prof. x Tempo	10	0,138	293,09	341,80	0,0796	234,37	82,84
Erro (b)	36	0,0984	543,49	148,70	0,110	347,45	72,22
Res. Comb.	CL (51; 48)						
(Linha;	IMC _{CL} (51; 47)	0,1186	647,2	173,7	0,1454	481,75	85,98
Entre-linha)	IMC _{CMOL} (52; 51)						
CV (%)		20,99	30,17	35,42	23,54	25,86	28,77

Quadro 3A. ANOVA para os dados de CMOL e NMOL da amostragem realizada na entre-linha de plantio do eucalipto.

FV	GL	QM	
		CMOL	NMOL
Total	99		
Total da redução	39	5,41	0,00376
Tempo	4	29,29	0,01911
Erro (a)	15	3,05	0,00253
Prof.	4	5,11	0,00613
Prof. x Tempo	16	1,73	0,00050
Erro (b)	60	0,443	0,00044
Resíduo Combinado	CMOL = 35 NMOL = 41	0,964	0,0009
CV (%)		49,18	58,98