

## MUDANÇAS NO CARBONO E NITROGÊNIO EM DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA SOB SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL

### CARBON AND NITROGEN CHANGES IN DIFERENT COMPARTIMENTS OF THE ORGANIC MATTER UNDER AGRO-FORESTRY PASTURE SYSTEM

Beno Wendling<sup>1</sup> Ivo Jucksch<sup>2</sup> Eduardo de Sá Mendonça<sup>3</sup> Isabel Cristina Vinhal-Freitas<sup>4</sup>

#### RESUMO

Em um sistema agrossilvipastoril, que vem sendo implantado anualmente desde 1993, em Paracatu/MG, foi estudado o efeito de sua introdução sobre as mudanças nos teores de Carbono e Nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo. O sistema foi implantado em solo sob floresta de eucaliptos, abandonada após três cortes. No primeiro ano, além dos eucaliptos plantados em espaçamento de 10 x 4 m, nas entre linhas e entre linhas, respectivamente, foi realizado um cultivo com arroz (*Oryza sativum sp*), no segundo ano cultivou-se soja (*Glycyne max sp*) e no terceiro ano, a braquiária (*Brachiaria bizantina sp*). Após o terceiro ano, a prática de pastejo da braquiária por bovinos de corte foi iniciada, permanecendo na área até o final do ciclo do sistema, previsto para o 11º ano. Uma área de cerrado e outra área com eucaliptos em sistema de cultivo convencional foram usadas, como referência à condição natural e às condições existentes antes da implantação do sistema agrossilvipastoril, respectivamente. Foram coletadas amostras nas idades de 1, 2, 3, 6 e 10 anos do eucalipto. De acordo com os resultados, verificou-se que houve significativa diminuição nos teores e estoques de carbono e nitrogênio totais, bem como na biomassa microbiana. Com o avanço da idade do sistema, iniciou-se uma tendência para recuperação dos teores e estoques dessas frações. Entre as substâncias húmicas, a fração ácido fúlvico foi a menos afetada pela introdução do sistema. Verifica-se que o sistema agrossilvipastoril foi desfavorável a manutenção da matéria orgânica do solo nos primeiros anos, porém, apresenta potencial para recuperação da mesma com o avanço da idade.

**Palavras-chave:** braquiária; substâncias húmicas; eucaliptos; biomassa microbiana.

#### ABSTRACT

Since 1993, an agro-forestry pasture system has been annually implanted in Paracatu, Minas Gerais State. So, the effects from its introduction upon the changes in carbon and nitrogen at different compartments of the soil organic matter were studied. This system is implanted in soil under eucalypt forest that was abandoned after three removal cuts. In the first year, besides planting the eucalyptuses in interlines at spacing 10 x 4 m, the following crops are grown: rice in the first year; soybean in the second one; and the brachiaria in the third one. After the third year, the brachiaria pasture by meat cattle was begun and remaining in that area until the end of the system cycle, what is foreseen for the 11<sup>th</sup> year. A savannah area and another one with eucalypt planting under the conventional system were used as reference to natural condition and previous conditions to implantation of the agrosylvopasture system. Samples aged 1, 2, 3, 6, and 10 years were collected. The results show significant decrease in the contents and stocks of both total carbon and nitrogen, as well as in microbial biomass. As the system becomes older, it starts a tendency for the recuperation of the contents and stocks of those fractions. Among the humic substances, the fulvic acid fraction was less affected by the introduction of this system. Briefly, the results show the system is

1. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Av. Amazonas, s/n, Caixa Postal 593, CEP 38400-902, Uberlândia (MG). beno@iciag.ufu.br
2. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). Ivo@ufv.br
3. Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor Associado do Departamento de Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16, CEP 29500-000, Alegre (ES). esmjplia@gmail.com
4. Engenheira Agrônoma, Doutoranda da Universidade Federal de Uberlândia, Av. Amazonas, s/n, Caixa Postal 593, CEP 38400-902, Uberlândia (MG). isabelvinhal@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 19/05/2009 e aceito em 6/12/2010

unfavorable to the maintenance of the soil organic matter at the first years, but presents a potential for recovering as its age advances.

**Keywords:** brachiaria; organic carbon; eucalypts; humic substances.

## INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais vêm recebendo destaque devido a sua capacidade de melhorar a entrada de nutrientes no sistema, reduzir a perda de nutrientes e melhorar as propriedades físicas do solo. Neste sentido, visando melhorar características de solos degradados, sistemas agroflorestais têm sido sugeridos (MENDONÇA et al., 2001; FRANCO et al., 2003).

Sabe-se que solos de florestas, quando desflorestados e substituídos por pastagens ou cultivos anuais, têm o carbono orgânico reduzido, tanto qualitativa como quantitativamente (DALAL et al., 2005). Três décadas foram suficientes para que cerca de 60 % do carbono orgânico fossem perdidos, em um Espodossolo com textura arenosa em superfície convertido para área agrícola (JOLIVET et al., 2003).

Para estudos concernentes à dinâmica da matéria orgânica do solo, pesquisadores têm sugerido a divisão desta em compartimentos (STEVENSON, 1994), uma vez que estes podem representar melhor suas alterações do que o carbono orgânico total (COT). Uma primeira divisão separa as substâncias húmicas das não húmicas. As substâncias não húmicas apresentam maior biodisponibilidade, enquanto as substâncias húmicas são pouco biodisponíveis, ou seja, possuem uma estrutura química mais estável. O carbono (C) solúvel em água (CSA), a biomassa microbiana, a fração leve livre ou particulada inter ou intra-agregados, e o C oxidado com  $\text{KMnO}_4$  podem ser enquadrados nas substâncias não húmicas. Como frações mais estáveis tem-se a humina, ácidos fúlvicos e húmicos (SWIFT, 1996).

O CSA representa apenas uma pequena fração do carbono orgânico total, mas pode exercer um importante papel nos processos iônicos, no ciclo de nutrientes, na vida microbiana e no intemperismo mineral dos solos (EVANS Jr et al., 1988), podendo ser considerado uma fonte muito lábil de C no solo.

A biomassa microbiana é considerada como um compartimento muito ativo no solo (LEITE et al., 2004), sendo responsável pela transformação de todos os materiais orgânicos adicionados ao solo e servindo como reservatório de nutrientes de rápida

e fácil ciclagem. Por essa razão, sua importância vem sendo reconhecida, pois é considerada um indicador precoce da qualidade do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002), em razão de sua sensibilidade a alterações no manejo.

O estudo destes compartimentos da matéria orgânica pode contribuir para escolha de um manejo adequado, baseado na melhoria da qualidade do solo. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças nos teores e estoques de C e N total no solo e na biomassa microbiana, nas substâncias húmicas e no carbono solúvel em água, em área de bioma do tipo cerrado, em função dos diferentes estágios de desenvolvimento de um sistema agrossilvipastoril.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo e amostragem

A área de estudo pertence à CMM/Votorantim (Companhia Mineira de Metais) e está localizada no município de Paracatu/MG, Brasil (latitude 17°36'09", longitude 46°42'02" e altitude de 540 m). O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com relevo plano a suave ondulado. O clima da região é tipo subtropical úmido, classificado como Aw, segundo a classificação proposta por Köppen, sendo a temperatura média máxima de 32°C e mínima de 16°C, precipitação média anual variando entre 1300 e 1800 mm, concentrados quase totalmente no período quente (outubro a março). A vegetação nativa é do tipo cerrado denso.

As amostras foram coletadas em duas profundidades (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), durante o mês de dezembro de 2004. Em cada área, foi estabelecido um transecto virtual, ao longo do qual foram coletadas quatro amostras simples para determinação da densidade do solo, bem como quatro amostras compostas, formadas a partir de oito amostras simples, para as demais análises.

Para determinação da biomassa microbiana, as amostras foram passadas em peneira com 2,00 mm de abertura, resfriadas em caixas de isopor com gelo, sendo então mantidas em geladeira (4 a 6°C) até o momento da análise, que foi realizada na semana seguinte. Para as análises de caracterização e CSA, as amostras foram secas ao ar e passadas

em peneira de 2,00 mm (TFSA). Para as demais análises, a TFSA ainda foi triturada em almofariz.

### O sistema agrossilvipastoril

O sistema agrossilvipastoril (SASP) foi implantado sobre uma área de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*) plantada convencionalmente em 1970, após a derrubada do cerrado. Essa plantação convencional foi mantida durante três cortes (rebrote), sendo depois abandonada e ocupada naturalmente por braquiária, dando lugar à instalação do sistema agrossilvipastoril (SASP), iniciado em 1993. A partir deste momento, anualmente uma nova área foi iniciada com o mesmo sistema.

O preparo da área para receber o SASP consistiu dos seguintes procedimentos: retirada da madeira da parte aérea das plantas de eucaliptos provenientes de rebrota ou de germinação natural, destocamento da área, retirada das raízes, nivelamento da área, aração profunda e duas gradagens com grade pesada.

Estando a área limpa e preparada, o SASP foi implantado, adotando-se as fases descritas a seguir. No primeiro ano: incorporação tanto de calcário (em área total) para elevar a soma de bases até 50% (em torno de 3,5 a 4,5 mg ha<sup>-1</sup> de calcário) quanto de 150 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato reativo de Gafsa; demarcação das linhas de plantio do eucalipto no sentido leste-oeste (10 m entre linhas e 4 m entre plantas); incorporação de 240 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural na linha e 0,136 kg planta<sup>-1</sup> de adubo da fórmula 6-30-6 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) na cova; plantio das mudas de eucalipto em outubro; e semeadura de arroz nas entrelinhas do eucalipto com 300 kg ha<sup>-1</sup> de adubo da fórmula 5-25-15 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), no mês de outubro, respeitando um metro de distância das linhas de eucalipto, com população de 1.200.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No segundo ano: implantação da cultura da soja, em novembro, após preparo com grade aradora e duas gradagens de nivelamento, com a seguinte adubação: 450 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 2-30-15 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) + 0,3% Zn e, em cobertura, mais 10, 1, 2 e 1,0 kg ha<sup>-1</sup> em única aplicação de sulfato de zinco, ácido bórico, sulfato de cobalto e molibdato de sódio, respectivamente (sementes são tratadas com inoculante). No terceiro ano: semeadura da braquiária (*Brachiaria brizantha*) (a lanço e incorporada com grade pesada) recebendo 150, 200 e 1000 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples, fosfato reativo de Gafsa e calcário (PRNT 85 %) respectivamente. Nos sistemas estabelecidos a partir do ano de 2003, a adubação fosfatada constituiu-

se exclusivamente da aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato reativo de Gafsa. A partir do terceiro ano: as únicas intervenções no sistema foram pastejo do capim por bovinos e a desrama das plantas de eucaliptos, a fim de permitir maior entrada de radiação solar.

A produção média da cultura do arroz foi de 1150 kg ha<sup>-1</sup>. A soja produziu 1500 kg ha<sup>-1</sup>, em média. A lotação animal foi 1 e 2 UA ha<sup>-1</sup>, para a época de seca (inverno) e chuvosa (verão), respectivamente.

Desde a implantação do SASP (1993) na primeira área até o presente momento, anualmente uma nova área (em torno de 300 ha) foi iniciada com o mesmo sistema, seguindo os mesmos procedimentos acima descritos, com possibilidade de pequenas variações nas épocas de plantio do eucalipto ou semeadura das culturas, uma vez que as condições climáticas são dinâmicas.

### Tratamentos avaliados

Para este trabalho, além do cerrado nativo (CN), foram coletadas amostras nos seguintes estádios de desenvolvimento do sistema agrossilvipastoril (SASP), que constituíram os tratamentos:

- CN – condição natural, cerrado (sem intervenção humana);
- SASP<sub>0</sub> – área antes da implantação do SASP, na condição de plantação convencional de eucalipto abandonada, onde se estabeleceu, naturalmente, a braquiária (ano de 2004);
- SASP<sub>1</sub> - sistema com um ano de idade, após colheita da cultura do arroz (sistema iniciado em 2003);
- SASP<sub>2</sub> – sistema com dois anos de idade, após colheita da cultura da soja (sistema iniciado em 2002);
- SASP<sub>3</sub> – sistema com três anos de idade, primeiro ano sob pastejo de braquiária (sistema iniciado em 2001);
- SASP<sub>6</sub> – sistema com seis anos de idade, no quarto ano sob pastejo de braquiária (sistema iniciado em 1998); e,
- SASP<sub>10</sub> – sistema com dez anos de idade, no oitavo ano sob pastejo de braquiária (sistema iniciado em 1994).

### Análises físicas e químicas

A densidade do solo e de partículas foram determinadas por meio do método do anel e do balão volumétrico, respectivamente (EMBRAPA, 1997). O pH foi determinado em água (1:2,5)

por potenciometria, sendo a acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) extraída com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e quantificada por titulometria com hidróxido de sódio  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ , padronizado com biftalato de potássio (EMBRAPA, 1997). O fósforo e o potássio foram extraídos com solução Mehlich 1 (EMBRAPA, 1997) e determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. O cálcio e magnésio foram extraídos com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 1997).

O carbono orgânico total (COT) foi determinado via combustão úmida (YEOMANS e BREMNER, 1988). Para a quantificação do nitrogênio (N) total (NT), as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica com posterior destilação Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

As substâncias húmicas foram fracionadas, quimicamente, segundo a técnica da solubilidade diferencial, separando-se a fração ácidos fúlvicos (FAF), a fração ácidos húmicos (FAH) e as huminas (HUM), de acordo com os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996). Como extrator, utilizou-se  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . O C de cada fração foi quantificado via oxidação úmida (YEOMANS e BREMNER, 1988) e o N via digestão sulfúrica e posterior destilação Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

Para liberar o C e N da biomassa microbiana ( $\text{C}_{\text{BIO}}$  e  $\text{N}_{\text{BIO}}$ ) para a solução extratora de  $\text{K}_2\text{SO}_4$   $0,5 \text{ mol/L}$  utilizou-se o método de irradiação-extração (ISLAM e WEIL, 1998), usando um forno de micro-ondas com frequência de  $2450 \text{ MHz}$  e energia de  $900 \text{ W}$  durante  $180 \text{ segundos}$  (ISLAM e WEIL, 1998; FERREIRA et al., 1999). O C foi quantificado via oxidação úmida, enquanto o N foi quantificado por destilação Kjeldahl, após digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1995). Corrigida a umidade, o C microbiano ( $\text{C}_{\text{MIC}}$ ) e N microbiano ( $\text{N}_{\text{MIC}}$ ) foram calculados baseando-se na diferença das subamostras irradiadas e não irradiadas, utilizando-se um fator de conversão de fluxo (Kc) de  $0,33$  (SPARLING e WEST, 1988) e  $0,54$  (BROOKES et al., 1985) para C e N, respectivamente. Também foi calculado o quociente microbiano, ou seja, a proporção de  $\text{C}_{\text{MIC}}/\text{COT}$  e  $\text{N}_{\text{MIC}}/\text{NT}$ .

### Cálculo dos estoques e balanços

O cálculo dos estoques de C e N nos diferentes compartimentos foi feito multiplicando a densidade do solo pela espessura da camada em

questão e pelos teores obtidos em laboratório. O balanço de C e N foi calculado subtraindo os estoques dos diferentes tratamentos pelos encontrados no cerrado.

### Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA,  $P < 0,05$ ) em esquema de parcelas subdivididas, sendo os tratamentos considerados como parcelas e as profundidades como subparcelas. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização físico/química

Os teores de argila foram bastante homogêneos nas áreas de todos os tratamentos, exceto no tratamento  $\text{SASP}_2$ , que não se enquadra na classificação como muito argilosa (Tabela 1). Essa pequena variação não constituiu um efeito do tratamento, mas de variações na composição do material de origem. Os altos teores de argila possuem maior capacidade para armazenar C, devido à alta proteção química, que proporcionam aos compostos orgânicos (SIX et al., 2002).

A densidade do solo foi alterada pelos tratamentos (Figura 1). Na camada superficial do cerrado nativo (CN), onde a intervenção humana é nula, a densidade foi menor em relação aos demais tratamentos. No  $\text{SASP}_0$ , a densidade foi elevada, mas, após a instalação do sistema agrossilvipastoril ( $\text{SASP}_1$ ), ocorreu uma redução na densidade do solo, devido ao revolvimento do solo para preparo da área. No  $\text{SASP}_{10}$ , observou-se uma diminuição na densidade do solo, na camada de  $10$  a  $20 \text{ cm}$ , em relação aos três primeiros anos da implantação do SASP. Esse efeito ocorreu em razão do grande número de raízes das gramíneas, que é renovado constantemente, aliado ao não revolvimento do solo, favorecendo, assim, a estabilização dos agregados (TISDALL e OADES, 1979). Padrão semelhante foi observado na presença da gramínea Tifton 85 (*Cynodon dactylon*), para feno, em um Latossolo Vermelho no cerrado de Minas Gerais, após três anos da implantação (WENDLING et al., 2005).

Em relação ao valor do pH e ao teor de  $\text{Al}^{3+}$ , houve um aumento no primeiro, favorecendo a redução do segundo, após aplicação do calcário, o que pode ser observado no  $\text{SASP}_1$  (Tabela 1). Aos seis e dez anos de idade do sistema ( $\text{SASP}_6$  e  $\text{SASP}_{10}$ ), verificou-se o aparecimento de  $\text{Al}^{3+}$ , pois o

TABELA 1: Características físicas e químicas do solo de cerrado e diferentes estágios de desenvolvimento de um sistema agrossilvipastoril em Paracatu/MG, Brasil.

TABLE 1: Physical and chemical characteristics of savanna and different stages of an agro-forestry pasture system in Paracatu, MG state, Brazil.

Trat <sup>1</sup>	Prof. <sup>2</sup> (cm)	Características físicas <sup>3</sup>						Características químicas <sup>4</sup>							
		AG	AF	S	A	Dp	Ds	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	P-ren
		----- dag kg <sup>-1</sup> -----				-- g cm <sup>-3</sup> -		água		- mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			mg L <sup>-1</sup>
CN	0 a 10	3	6	19	72	2,72	0,82	5,14	2,0	135	1,38	1,66	0,67	9,89	18,9
	10 a 20	3	6	17	74	2,63	0,93	4,89	1,0	73	0,34	0,58	1,30	7,5	14,4
SASP <sub>0</sub>	0 a 10	4	10	17	69	2,70	1,23	4,98	0,6	105	0,77	0,75	0,96	6,2	18,4
	10 a 20	4	10	18	68	2,72	1,24	4,86	0,5	75	0,39	0,44	1,20	6,5	15,8
SASP <sub>1</sub>	0 a 10	4	12	23	61	2,72	1,04	6,16	1,4	157	3,22	2,32	0,00	3,9	21,4
	10 a 20	4	11	22	63	2,94	1,17	5,68	1,1	103	2,55	1,96	0,00	4,8	18,5
SASP <sub>2</sub>	0 a 10	11	18	20	51	2,82	1,04	6,59	2,6	93	3,47	2,38	0,00	2,1	20,2
	10 a 20	9	19	15	57	2,79	1,21	5,71	1,1	61	1,75	1,44	0,00	3,0	17,4
SASP <sub>3</sub>	0 a 10	6	17	16	61	2,72	1,05	5,99	4,1	61	2,40	1,89	0,00	3,3	20,5
	10 a 20	6	17	16	61	2,76	1,20	6,12	1,5	37	2,30	1,89	0,00	2,9	18,7
SASP <sub>7</sub>	0 a 10	4	9	17	70	2,61	1,18	5,84	1,9	57	2,53	1,94	0,00	3,8	20,6
	10 a 20	5	9	16	70	2,58	1,14	5,51	0,6	49	1,58	1,11	0,29	3,8	17,7
SASP <sub>10</sub>	0 a 10	4	4	19	73	2,81	1,09	5,6	5,4	85	1,77	1,55	0,05	3,6	18,3
	10 a 20	4	6	18	72	2,70	1,03	5,66	0,6	31	1,42	1,41	0,05	3,9	14,4

Em que: <sup>1</sup> Tratamentos: CN = cerrado; SASP<sub>0</sub> = antes da implantação do sistema agrossilvipastoril; SASP<sub>(1, 2, 3, 6, 10)</sub> idade do sistema agrossilvipastoril, <sup>2</sup> profundidades, <sup>3</sup> AG = areia grossa; AF = areia fina; S = silte; A = argila; Dp = densidade de partículas e Ds = densidade do solo, <sup>4</sup> pH em água (relação 1:2,5); P e K extraídos com Mehlich 1; Ca, Mg e Al extraídos com KCl 1 mol/L, H+Al extraído com acetato de cálcio 0,5 mol/L em pH 7,0 e P-ren = fósforo remanescente.

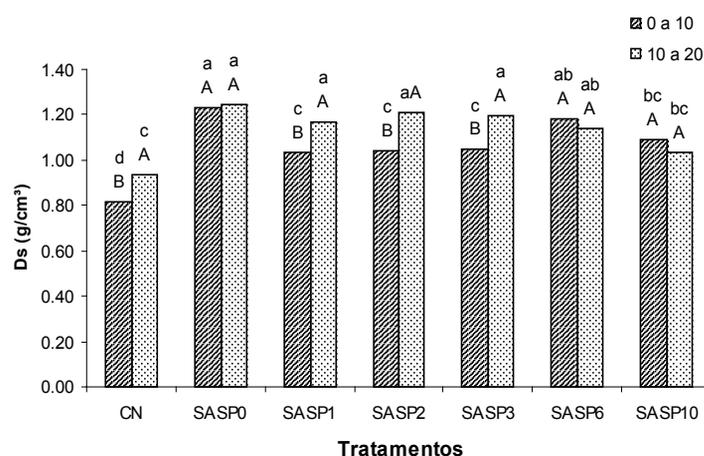


FIGURA 1: Densidade do solo de cerrado e de diferentes estágios de um sistema agrossilvipastoril em Paracatu/MG, Brasil. CN: cerrado; SASP<sub>0</sub>: antes da implantação do sistema agrossilvipastoril; SASP<sub>(1, 2, 3, 6, 10)</sub>: idades do sistema agrossilvipastoril. Médias das barras com letras iguais minúsculas e maiúsculas não diferem entre si para tratamentos e profundidades, respectivamente, pelo teste de Tukey (P < 0,05).

FIGURE 1: Bulk density of savanna and different stages of an agro-forestry pasture system in Paracatu, MG state, Brazil. CN: savannah; SASP<sub>0</sub>: before implantation of the agro-forestry pasture system; SASP<sub>(1, 2, 3, 6, 10)</sub>: age of the agro-forestry pasture system. Average bars with equal upper and lower case letters do not differ for treatments and depths, respectively, by the Tukey test (P < 0.05).

efeito da calagem não se prolonga por muitos anos. O Ca e Mg, seguem a mesma tendência do pH. Os teores de K, que em cerrado eram altos, foram reduzidos após o SASP<sub>1</sub> e permaneceram baixos até o SASP<sub>10</sub>. As demais características químicas não apresentaram grandes modificações com a implantação do SASP.

### Teores e estoques totais de C e N

Os teores de COT e NT apresentaram variações em função dos diferentes tratamentos e profundidades (Tabela 2). O teor de COT no solo foi reduzido em 33,6 e 19,1%, devido à conversão do cerrado para floresta de eucalipto, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente. Após o primeiro ano de instalação do sistema (SASP<sub>1</sub>), não houve redução no teor de COT, devido à incorporação dos resíduos de material vegetal (serapilheira) deixados na área após a limpeza da madeira. Embora as raízes e toda parte lenhosa

tenha sido retirada, grande quantidade de material ainda permaneceu, pois, tratava-se de uma plantação de eucalipto abandonada, em que a braquiária se estabeleceu, produzindo grande quantidade de material vegetal, o qual foi incorporado ao solo pela ação dos implementos de preparo da área. Aliada a esta incorporação de resíduo vegetal, a cultura do arroz também produz material vegetal de relação C/N mais alta, contribuindo para a manutenção dos teores de COT.

No final do segundo ano do sistema (SASP<sub>2</sub>), houve uma redução de 38,3 e 32,2 % no COT do solo nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente. No momento do preparo do solo para implantação do SASP, procedeu-se a calagem, adubação e várias operações com revolvimento do solo, que após o segundo ano (SASP<sub>2</sub>) contribuíram para essa significativa redução do teor de COT no solo. Outro motivo que colaborou para isso foi a cultura da soja, que, além de fixar N e devolvê-lo ao

TABELA 2: Teores totais e estoque de C e N, relação C/N e balanço de C do solo de cerrado e nos diferentes estágios de desenvolvimento de um sistema agrossilvipastoril em Paracatu/MG, Brasil.

TABLE 2: Total contents and stocks of C and N, C/N ratio and C balance of savannah and different stages of an agro-forestry pasture system in Paracatu, MG state, Brazil.

Trat. <sup>1</sup>	----- COT -----			----- NT -----			---- Relação COT/NT ----		
	Prof. <sup>2</sup>		média	Prof. <sup>2</sup>		média	Prof. <sup>2</sup>		média
	0 a 10	10 a 20		0 a 10	10 a 20		0 a 10	10 a 20	
Teores (g kg <sup>-1</sup> )									
CN	36,6 aA	25,1 aB	30,8	2,77 aA	1,84 aB	2,31	13,2	13,6	13,4
SASP <sub>0</sub>	24,3 bcA	20,3 bcB	22,3	1,65 bcA	1,45 bcB	1,55	15,1	14,2	14,6
SASP <sub>1</sub>	26,9 bA	23,9 abB	25,4	1,77 bA	1,67 abB	1,72	15,3	14,4	14,8
SAST <sub>2</sub>	16,6 eA	16,2 dA	16,4	1,11 dA	1,08 dA	1,10	14,9	15,1	15,0
SASP <sub>3</sub>	17,7 deA	16,0 dA	16,8	1,21 dA	1,11 dA	1,16	14,7	14,6	14,6
SASP <sub>6</sub>	17,5 deA	15,1 dB	16,3	1,32 dA	1,18 cdB	1,25	13,3	12,8	13,0
SASP <sub>10</sub>	20,9 cdA	17,4 cdB	19,2	1,37 cdA	1,23 cdB	1,30	15,4	14,2	14,8
média	22,9	19,1	21,0	1,60	1,36	1,48	14,5	14,1	14,3
Estoques (t ha <sup>-1</sup> )									
CN	29,893	23,326	26,609	2,268	1,714	1,99	-- Balanço COT <sup>3</sup> (t ha <sup>-1</sup> ) --		
SASP <sub>0</sub>	29,964	25,273	27,618	2,033	1,797	1,92	CN – ASP (0,1,2,3,6,10)		
SASP <sub>1</sub>	28,056	27,877	27,967	1,845	1,947	1,90	0,07	1,95	1,01
SAST <sub>2</sub>	17,280	19,641	18,461	1,158	1,305	1,23	-1,84	4,55	1,36
SASP <sub>3</sub>	18,540	19,306	18,923	1,267	1,321	1,29	-12,61	-3,68	-8,15
SASP <sub>6</sub>	20,574	17,227	18,901	1,549	1,352	1,45	-11,35	-4,02	-7,69
SASP <sub>10</sub>	22,856	17,899	20,378	1,490	1,265	1,38	-9,32	-6,10	-7,71
média	23,880	21,507	22,694	1,659	1,529	1,594	-7,04	-5,43	-6,23
							-7,01	-2,12	-4,57

Em que: <sup>1</sup> Tratamentos: CN = cerrado; SASP<sub>0</sub> = antes da implantação do sistema agrossilvipastoril; SASP<sub>(1, 2, 3, 6, 10)</sub> idade do sistema agrossilvipastoril, <sup>2</sup> profundidades, <sup>3</sup> ganho (+) ou perda (-) de COT dos SASP<sub>(0,1,2,3,6,10)</sub> em relação ao CN. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

solo, tem baixa relação C/N, fato este que pode ter contribuído para a melhoria da atividade microbiana durante o período e acelerado a decomposição do material incorporado no início da implantação do sistema. Perda de C de 16% nos primeiros dois anos e de 22% até o 15º ano da implantação de um sistema agroflorestal sob condições tropicais, foi observada no oeste da África (ISAAC et al., 2005).

Após o segundo ano, o SASP novamente apresentou padrão no sentido de recuperar parte do COT perdido, embora o efeito tenha sido significativo apenas na camada superior do solo do SASP<sub>10</sub>. Para o NT, o sistema mostrou não ter efeito na restituição do nutriente até o SASP<sub>10</sub>. É provável que os resíduos vegetais produzidos pelas plantas de eucaliptos e braquiárias, permitiram uma recuperação dos teores de COT e não de NT, em razão de possuírem alta relação C/N. No oeste da África, 25 anos após a instalação de um sistema agroflorestal, apenas 3,3% dos 22% do C perdidos foram restituídos (ISAAC et al., 2005). O fato de o solo não ser mais revolvido, após o SASP<sub>3</sub>, constituiu outro motivo que colabora para a melhoria dos teores de COT, pois, o solo não foi mais desagregado e não recebeu aeração proporcionada pelo revolvimento.

A relação C/N do solo não apresentou grandes alterações, pois variou de 12,3 até 15,4. Estas relações são semelhantes àquelas encontradas em floresta natural, na Zona da Mata mineira (LEITE et al., 2003). Para a região do cerrado brasileiro, valores na faixa de 14,74 e 13,86 foram encontrados para Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro, respectivamente (TOGNON et al., 1998). Tais valores ligeiramente elevados no SASP sugerem que o C encontrava-se em estágio mais avançado de humificação, uma vez que valores entre 10 e 12 são normalmente encontrados para solos cultivados.

Os valores para estoque de C e N não foram submetidos à análise estatística, pois foram obtidos mediante a multiplicação dos teores destes nutrientes pela densidade do solo. Entretanto, merece discussão o fato de a redução observada nos teores não ser igual àquela nos estoques. Reduções nos teores em 33,6 e 19,1 % observadas nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm para C e N, respectivamente, após a conversão do cerrado para plantação de eucalipto, não ocorreram para os estoques (Tabela 2). Observando o balanço de C, um ganho de 0,07 e 1,95 Mg ha<sup>-1</sup> ocorreu para o SASP<sub>0</sub> em relação ao CN, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente. Entretanto, na

camada de 10 a 20 cm no SASP<sub>1</sub>, houve um ganho de 4,55 Mg ha<sup>-1</sup> em relação ao CN. Por isso, dados de estoque podem não ser adequados para discutir a qualidade dos solos, pois, no momento em que houve aumento da densidade, ocorreram também ganhos nos estoques, dando uma falsa impressão de melhoria da qualidade do solo.

Na Figura 1, observa-se uma diminuição na densidade do solo no SASP<sub>10</sub>, em relação aos SASP<sub>(0,1,2 e 3)</sub>, na camada de 10 a 20 cm, razão pela qual os estoques de COT e NT não aumentaram, enquanto os teores aumentaram. Portanto, é preciso ter cuidado quando se discute sobre os estoques de COT e NT em solos, onde a densidade do solo é também afetada pelo manejo. Se por um lado o aumento no teor de COT proporciona uma melhor agregação do solo (SIX et al., 2002), diminuindo a densidade, o que é característica desejável e que contribui para uma melhor aeração do solo, infiltração de água e disponibilidade de nutrientes, e se este teor for transformado em estoque, corre-se o risco de afirmar que o sistema perdeu carbono ou nitrogênio, quando, na verdade, pode ter ocorrido somente uma mudança na densidade do solo.

### C e N nas substâncias húmicas

Conforme se observa na Tabela 3, os teores de C da humina (HUM), apresentaram padrão semelhante ao COT, ou seja, diminuição com a derrubada do cerrado e a plantação de eucaliptos após 30 anos (SASP<sub>0</sub>). Na literatura, há relatos de redução nos teores de C da HUM após derrubada da vegetação nativa, para diferentes situações (MARCHIORI JÚNIOR e MELO, 2000; LEITE et al., 2003).

Do SASP<sub>0</sub> até o SASP<sub>1</sub>, houve um aumento no teor de C da HUM nas duas camadas do solo, diferentemente do COT que não aumentou. Tal fato pode ter ocorrido devido tanto à incorporação de resíduo vegetal (serapelheira) da antiga plantação de eucaliptos quanto à cultura de arroz, que produziram materiais com relação C/N mais elevada, impossibilitando, assim, a transformação de grande parte deste material em ácidos húmicos e fúlvicos. Como comprovante, a fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) não apresentaram elevação durante esse período.

Após dois anos do início do sistema (SASP<sub>2</sub>), os teores de C da HUM apresentaram nova redução (67,8 e 49,2 %) em relação aos valores observados no cerrado. O revolvimento do solo aliado à calagem para a cultura do arroz e posterior

TABELA 3: Teores e estoque de C na humina (HUM), fração ácidos húmicos (FAH), fração ácidos fúlvicos (FAF), relação FAH/FAF e proporção do COT recuperado pelo fracionamento das substâncias húmicas em solo de cerrado e de diferentes estágios de desenvolvimento de um sistema agrossilvipastoril em Paracatu/MG, Brasil.

TABLE 3: Total contents and stocks of C in humin (HUM), humic acid fraction (FAH), fulvic acid fraction (FAF), relationship FAH/FAF and proportion of TOC recovered by fractionation of humic substances in savannah and different stages of an agro-forestry pasture system in Paracatu, MG state, Brazil.

Trat	HUM		FAH		FAF		Proporções	
	Prof. (cm)		Prof. (cm)		Prof. (cm)		Prof. (cm)	
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
	----- Teores (g kg <sup>-1</sup> ) -----						---- FAH/FAF ----	
CN	25,84 aA	17,22 aB	5,43 aA	3,38 aB	3,96 aA	3,46 aB	1,37	0,98
SASP <sub>0</sub>	14,82 cA	12,33 bB	3,83 bA	3,11 aB	3,31 bcA	2,98 abcB	1,15	1,04
SASP <sub>1</sub>	17,95 bA	15,69 aB	3,62 bcA	3,21 aB	3,08 bcA	3,12 abcA	1,17	1,03
SASP <sub>2</sub>	9,71 dA	8,47 dB	1,74 eA	1,77 bA	2,51 dA	2,69 cA	0,69	0,65
SASP <sub>3</sub>	10,22 dA	9,05 cdB	2,08 deA	1,94 bA	2,88 cdA	2,83 bcA	0,72	0,68
SASP <sub>6</sub>	11,06 dA	9,99 cdA	2,74 cdA	2,12 bB	3,15 bcA	2,99 abcA	0,87	0,71
SASP <sub>10</sub>	13,35 cA	10,98 bcB	2,60 deA	1,94 bB	3,54 abA	3,30 abB	0,73	0,58
<i>média</i>	<i>14,71</i>	<i>11,96</i>	<i>3,15</i>	<i>2,50</i>	<i>3,20</i>	<i>3,05</i>	<i>0,96</i>	<i>0,81</i>
	----- Estoque (t ha <sup>-1</sup> ) -----						---- (Σ C-SH)/COT <sup>2</sup> ----	
CN	21,13	16,05	4,44	3,15	3,24	3,22	0,96	0,96
SASP <sub>0</sub>	18,24	15,33	4,73	3,87	4,08	3,71	0,90	0,91
SASP <sub>1</sub>	18,66	18,30	3,76	3,74	3,19	3,65	0,92	0,92
SASP <sub>2</sub>	10,11	10,24	1,80	2,13	2,62	3,26	0,84	0,80
SASP <sub>3</sub>	10,71	10,85	2,18	2,30	3,01	3,39	0,87	0,87
SASP <sub>6</sub>	13,01	11,38	3,22	2,43	3,70	3,41	0,97	1,00
SASP <sub>10</sub>	14,58	11,31	2,83	2,00	3,86	3,40	0,93	0,94
<i>média</i>	<i>15,21</i>	<i>13,35</i>	<i>3,28</i>	<i>2,80</i>	<i>3,37</i>	<i>3,43</i>	<i>0,91</i>	<i>0,91</i>

Em que: <sup>1</sup> Tratamentos: CN = cerrado; SASP<sub>0</sub> = antes da implantação do sistema agrossilvipastoril; SASP<sub>(1,2,3,6,10)</sub> anos de idade do sistema agrossilvipastoril. <sup>2</sup> [(Σ C-SH)/COT] proporção de C nas SH e COT. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

introdução da cultura da soja causou esta redução. O revolvimento do solo causa ruptura nos agregados, expondo o C intra-agregados, tornando o C mais disponível ao ataque microbiano (STEVENSON, 1994; SIX et al., 2002). Aliado ao revolvimento do solo, a calagem favorece a atividade microbiana (SANOMIYA e NAHAS, 2003), intensificando a decomposição dos compostos contendo C.

No SASP<sub>2</sub> foram encontrados os menores valores de C para todas as camadas e frações. A partir desse período, os teores de todas as frações tornaram a aumentar, pois, a HUM já havia aumentado no ano seguinte na camada de 10 a 20 cm, nos SASP<sub>3</sub> e SASP<sub>4</sub> e no SASP<sub>10</sub> nas duas camadas. A FAH aumentou apenas para a camada de 0 a 10 cm, a partir do sexto ano (SASP<sub>6</sub>). A FAF foi a fração que teve melhor restituição de C pelo sistema, pois, no

SASP<sub>10</sub> voltou a ter valores iguais, estatisticamente, ao cerrado e plantação de eucalipto.

A restituição dos teores de C nas substâncias húmicas (HUM, FAH e FAF) esteve intimamente ligada ao não revolvimento do solo a partir do SASP<sub>3</sub>, proporcionando condições mais favoráveis à formação de novos compostos moleculares. Como a FAF é constituída por compostos orgânicos de peso molecular mais baixo (STEVENSON, 1994; MOREIRA e SIQUEIRA, 2002), a melhor recuperação desta fração é explicada em relação à FAH, que é composta por cadeias orgânicas mais pesadas, razão pela qual, o tempo necessário à restituição, seja mais longo.

A relação FAH/FAF para C foi mais alta no cerrado, SASP<sub>0</sub> e SASP<sub>1</sub>. A partir do SASP<sub>2</sub>, esta relação passou a valores muito baixos, mostrando

a perda de FAH e uma melhor recuperação da FAF. Valores semelhantes para áreas cultivadas e inferiores para floresta atlântica foram observados na região da Zona da Mata/MG (LEITE et al., 2003).

A recuperação do C nas SH (HUM+FAH+FAF) foi de 91 % em relação ao COT (Tabela 3), dos quais 63, 13 e 15 % em média, foram constituídos pela HUM, FAH e FAF, respectivamente. No cerrado, essas relações foram, na média das duas profundidades, de 70, 14 e 12% para HUM, FAH e FAF, nesta ordem (96 % de recuperação). Entretanto, no SASP<sub>10</sub>, os valores foram 64, 12 e 18% para essas mesmas frações (94 % de recuperação), mostrando que, com a derrubada do cerrado, houve considerável perda da HUM em relação ao COT e uma inversão nas percentagens da FAH e FAF. Portanto, a FAF é a fração com mais fácil recuperação, após uma intervenção em determinado sistema.

Os estoques de C nas substâncias húmicas não foram analisados estatisticamente, uma vez que se trata de mera multiplicação dos valores de teores pela densidade do solo. Mas, a redução dos valores destas variáveis no solo de cerrado para SASP<sub>0</sub> não indicou a mesma diminuição do que foi constatada para os teores da HUM. Para FAH e FAF, não houve redução, mas, foram encontrados valores maiores para SASP<sub>0</sub>, em relação ao cerrado. Esses valores, novamente, reforçam a afirmação anterior de que o uso de estoque para diferenciar tratamentos pode não ser adequado, pois, trata-se de um sistema em que são feitas intervenções no solo, tais como o revolvimento, que causa alteração na densidade do solo. Em sistemas em que não há intervenção na estrutura do solo, o uso de estoque pode ser adequado para comparar tratamentos. No entanto, já se verificou também uma tendência de maiores estoques, principalmente para HUM a partir dos SASP<sub>2</sub>. Para o SASP<sub>10</sub>, o aumento do estoque foi 4,47 Mg ha<sup>-1</sup> em relação ao SASP<sub>2</sub>, na camada superficial.

Os teores de N nas substâncias húmicas também foram afetados pelos diferentes tratamentos (Tabela 4). Para a HUM, na camada superior, os teores de N foram reduzidos com a derrubada do cerrado, após 30 anos de uma plantação de eucalipto em monocultura (SASP<sub>0</sub>). No SASP<sub>1</sub>, não ocorreu redução devido à incorporação dos restos culturais da braquiária e eucalipto, realizada no momento do preparo do solo para implantação do sistema SASP. No entanto, na camada superior, após o segundo ano (SASP<sub>2</sub>), os teores de N foram reduzidos e não foram

recuperados até o SASP<sub>10</sub>. Já na camada inferior, o SASP<sub>6</sub> apresentou uma recuperação significativa em relação ao SASP<sub>2</sub> e SASP<sub>3</sub>. Estes resultados mostram que o N é de mais difícil recuperação do que o C na HUM, talvez devido à alta relação C/N dos resíduos produzidos pelo sistema, após o segundo ano (SASP<sub>2</sub>). Para FAH e FAF, os padrões foram semelhantes, porém, a recuperação da FAF foi mais efetiva, sendo que no SASP<sub>10</sub>, os teores tornaram a ser iguais àqueles na plantação de eucalipto (SASP<sub>0</sub>) nas duas camadas e iguais ao CN na camada inferior. Estes resultados comprovam a facilidade de formação de compostos presentes na FAF, em relação à HUM e FAH.

No solo do CN, o estoque de N na HUM foi de 1,62 e 1,12 Mg ha<sup>-1</sup>, já no SASP<sub>10</sub>, esses estoques reduziram para 0,88 e 0,75 Mg ha<sup>-1</sup>, representando uma perda de 46 e 33% nas camadas superiores e inferiores, respectivamente (Tabela 4). No entanto, no SASP<sub>2</sub> essa perda representava 60 e 43 % em relação ao CN, mostrando que parte do N perdido voltou a ser fixado até o décimo ano do sistema. Na FAH, a recuperação foi mais eficiente em relação a HUM. Os valores de estoque de N que eram de 0,31 Mg ha<sup>-1</sup> em CN, passaram para 0,34 Mg ha<sup>-1</sup>, mostrando que todo N perdido na camada superior voltou ao sistema.

O N recuperado nas substâncias húmicas foi, em média, de 102 e 100 % nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente (Tabela 4), mostrando que o N é totalmente quantificado pelo fracionamento.

### C e N na biomassa microbiana

Os teores de C e N na biomassa microbiana do solo foram modificados pelo uso e pelos diferentes estádios de desenvolvimento do SASP (Tabela 5). O C da biomassa microbiana (C<sub>BIO</sub>), que no cerrado era de 884 e 673 mg kg<sup>-1</sup>, foi reduzido na plantação de eucaliptos (SASP<sub>0</sub>), nas camadas superior e inferior, respectivamente. Esta redução foi devida, supostamente, à perda do equilíbrio de biodiversidade que o cerrado se encontrava, haja vista que uma quantidade variada de espécies foi substituída pelo monocultivo de eucaliptos.

Após um ano de funcionamento do sistema (SASP<sub>1</sub>), os teores de C<sub>BIO</sub> não diferiram em relação ao cultivo de eucaliptos, devido à grande quantidade de material incorporado ao solo no momento do preparo para implantação do SASP, além da adição de calcário. O aumento do valor de pH (Tabela 1), proporcionado pela calagem, leva a

TABELA 4: Teores e estoque de N na humina (HUM), fração ácidos húmicos (FAH), fração ácidos fúlvicos (FAF) e relação FAH/FAF e proporção do NT recuperado pelo fracionamento das substâncias húmicas em solo de cerrado e de diferentes estágios de desenvolvimento de um sistema agrossilvipastoril em Paracatu/MG, Brasil.

TABLE 4: Total contents and stocks of N in the humin (HUM), humic acid fraction (FAH), fulvic acid fraction (FAF) relationship FAH/FAF and proportion of NT recovered by fractionation of humic substances in savannah and different stages of an agro-forestry pasture system in Paracatu, MG state, Brazil.

Trat	HUM		FAH		FAF		Proporções	
	Prof. (cm)		Prof. (cm)		Prof. (cm)		Prof. (cm)	
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
	----- Teores (g kg <sup>-1</sup> ) -----						---- FAH/FAF ----	
CN	1,97 aA	1,20 aB	0,60 aA	0,39 aB	0,38 aA	0,33 aB	1,57	1,21
SASP <sub>0</sub>	1,15 bA	0,98 abB	0,39 bA	0,34 abB	0,27 bcA	0,26 bA	1,45	1,31
SASP <sub>1</sub>	1,17 bA	1,11 aA	0,37 bA	0,32 bB	0,29 bcA	0,29 abA	1,32	1,13
SAST <sub>2</sub>	0,62 cA	0,53 dA	0,19 dA	0,19 cA	0,24 cA	0,24 bA	0,79	0,78
SASP <sub>3</sub>	0,65 cA	0,52 dA	0,23 cdA	0,21 cA	0,27 bcA	0,26 bA	0,86	0,83
SASP <sub>6</sub>	0,82 cA	0,77 bcA	0,25 cA	0,22 cB	0,27 bcA	0,27 abA	0,93	0,82
SASP <sub>10</sub>	0,80 cA	0,73 cdA	0,27 cA	0,22 cB	0,31 bA	0,29 abA	0,88	0,76
média	1,03	0,83	0,33	0,27	0,29	0,28	1,11	0,98
	----- Estoque (t ha <sup>-1</sup> ) -----						---- (Σ N-SH)/NT <sup>2</sup> ----	
CN	1,62	1,12	0,49	0,37	0,31	0,31	1,07	1,05
SASP <sub>0</sub>	1,42	1,22	0,48	0,42	0,33	0,32	1,11	1,10
SASP <sub>1</sub>	1,22	1,29	0,39	0,38	0,30	0,33	1,04	1,03
SAST <sub>2</sub>	0,65	0,64	0,20	0,23	0,25	0,29	0,95	0,89
SASP <sub>3</sub>	0,68	0,62	0,24	0,25	0,28	0,31	0,95	0,89
SASP <sub>6</sub>	0,97	0,89	0,30	0,25	0,33	0,30	1,03	1,06
SASP <sub>10</sub>	0,88	0,75	0,30	0,23	0,34	0,30	1,02	1,01
média	1,06	0,93	0,34	0,30	0,30	0,31	1,02	1,00

Em que: <sup>1</sup> Tratamentos: CN = cerrado; SASP<sub>0</sub> = antes da implantação do sistema agrossilvipastoril; SASP<sub>(1, 2, 3, 6, 10)</sub> anos de idade do sistema agrossilvipastoril. <sup>2</sup> [(Σ N-SH)/NT] proporção de N nas SH e NT. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

um aumento na população de fungos e bactérias do solo (SANOMIYA e NAHAS, 2003). Este suposto aumento na população microbiana durante esse período (Tabela 5) pode ter favorecido a diminuição do COT no SASP<sub>2</sub> (Tabela 2), pois, grande parte do material foi degradado através da ação dos micro-organismos. Como grande parte do material foi degradada, houve redução do substrato orgânico para os micro-organismos, o que levou à diminuição do C<sub>BIO</sub> no SASP<sub>2</sub>. A partir do SASP<sub>2</sub>, verificou-se uma tendência de aumento do C<sub>BIO</sub>, o que não pode ser constatado nos procedimentos estatísticos, adotados neste trabalho. É evidente que, à medida que o sistema evolui para um novo equilíbrio, esta fração de C também tendeu a aproximar-se dos valores encontrados antes da segunda intervenção (SASP<sub>0</sub>) na camada de 0 a 10 cm. Na camada de 10

a 20, os teores já se igualaram.

Para o N<sub>BIO</sub>, houve uma redução em razão da substituição do cerrado pelo SASP<sub>0</sub>, nas duas camadas, mas não do SASP<sub>0</sub> para o SASP<sub>1</sub> para a camada de 10 a 20 cm, devido à incorporação do material vegetal do eucalipto e da braquiária, que liberaram N para o sistema. Para N<sub>BIO</sub>, ao contrário do C<sub>BIO</sub>, o SASP não mais apresentou a capacidade de recuperação até o SASP<sub>10</sub>. Assim, calculando-se a relação C/N da biomassa microbiana, pode-se constatar que esta aumentou à medida que o sistema evolui, pois, os teores de C<sub>BIO</sub> aumentaram e os de N<sub>BIO</sub> estabilizaram-se. Este padrão pode ser atribuído ao tipo de material que é adicionado ao sistema a partir do SASP<sub>3</sub>, pois trata-se de materiais com relação C/N mais elevada, favorecendo o aparecimento de micro-organismos também

TABELA 5: Teores e estoque de C ( $C_{BIO}$ ) e N ( $N_{BIO}$ ) na Biomassa Microbiana e percentagem de  $C_{BIO}$  e  $N_{BIO}$  em relação ao COT em cerrado e nos diferentes estágios de desenvolvimento de um sistema agrossilvipastoril em Paracatu/MG, Brasil.TABLE 5: Total contents and stocks of C ( $C_{BIO}$ ) and ( $N_{BIO}$ ) on microbial biomass and percentages of  $C_{BIO}$  and  $N_{BIO}$  to the TOC in savannah and different stages of an agro-forestry pasture system in Paracatú, MG state, Brazil.

Trat	----- $C_{BIO}$ -----			----- $N_{BIO}$ -----		
	mg kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	% <sup>2</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	% <sup>3</sup>
----- Profundidade de 0 a 10 cm -----						
CN	884 aA	724	2,41	131 aA	107	4,73
SASP <sub>0</sub>	502 bA	618	2,07	77 bA	95	4,83
SASP <sub>1</sub>	360 bcA	373	1,34	51 cdA	53	2,92
SAST <sub>2</sub>	309 cA	323	1,87	66 bcA	69	5,96
SASP <sub>3</sub>	309 cA	324	1,76	53 cdA	56	4,49
SASP <sub>6</sub>	359 bcA	423	2,09	39 dA	46	2,97
SASP <sub>10</sub>	418 bcA	456	1,99	41 dA	44	2,99
média	449	463	1,93	65	67	4,13
----- Profundidade de 10 a 20 cm -----						
CN	673 aB	623	2,68	107 aB	99	5,8
SASP <sub>0</sub>	335 bB	419	1,66	61 bB	76	4,26
SASP <sub>1</sub>	342 bA	400	1,43	49 bcA	57	2,92
SAST <sub>2</sub>	289 bA	349	1,78	62 bA	75	5,71
SASP <sub>3</sub>	285 bA	343	1,76	41 cdB	49	3,71
SASP <sub>6</sub>	302 bA	344	2,01	33 dA	37	2,79
SASP <sub>10</sub>	422 bA	438	2,46	43 cdA	45	3,55
média	378	463	1,97	57	63	4,11

Em que: <sup>1</sup> Tratamentos: CN = cerrado; SASP<sub>0</sub> = antes da implantação do sistema agrossilvipastoril; SASP<sub>(1,2,3,6,10)</sub> anos de idade do sistema agrossilvipastoril. <sup>2</sup> Percentagem em relação ao carbono orgânico total (COT). <sup>3</sup> Percentagem em relação ao nitrogênio total (NT). Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

adaptados a essa nova condição.

Nos estoques de  $C_{BIO}$  e  $N_{BIO}$ , observa-se que o sistema perde grande parte dos estoques em razão da derrubada do cerrado e sua substituição por plantação de eucaliptos no sistema convencional (Tabela 5). Outra parte do estoque foi perdida devido à implantação do SASP, sendo que para  $C_{BIO}$  houve tendência de recuperação, a qual não foi verificada para  $N_{BIO}$ .

O quociente metabólico (%  $C_{BIO}/COT$ ) evidenciou que maiores valores foram encontrados para o CN, ou seja, de 2,41 na camada de 0 a 10 cm e de 2,68 na camada de 10 a 20 cm (Tabela 5). Estes quocientes foram semelhantes aos encontrados para floresta atlântica na Zona da Mata mineira (LEITE et al., 2003), indicando que uma grande quantidade de C presente nesta condição encontra-se imobilizada pelos micro-organismos. Pode-se considerar que estes valores representam uma condição ideal, pois,

o CN, ou seja, o cerrado natural é o ambiente de maior equilíbrio biológico neste local. No SASP<sub>1</sub>, menores valores foram encontrados, indicando que nesta situação, o sistema estava em desequilíbrio ou instável. À medida que o sistema tendeu novamente a um novo equilíbrio, o quociente aumentou, chegando a valores próximos aos encontrados para o cerrado. Para a percentagem de  $N_{BIO}/NT$ , os menores valores foram encontrados para o SASP<sub>1</sub>, novamente indicando situação instável. No SASP<sub>1</sub>, o sistema apresentou maior disturbância, pois coincidiu com a época do preparo do solo para implantação do SASP. A partir deste momento, as operações de preparo foram reduzidas a simples gradagens para incorporação das sementes de braquiária e semeadura da soja. Os valores das relações  $N_{BIO}/NT$  foram maiores do que os observados para  $C_{BIO}/COT$ , indicando que a relação C/N dos micro-organismos é menor que a do solo.

## CONCLUSÕES

Todos os compartimentos de carbono e nitrogênio no solo são reduzidos pela derrubada do cerrado para implantação de floresta convencional de eucalipto bem como sua derrubada para a introdução de sistema agrossilvipastoris.

O sistema agrossilvipastoril, na forma como é introduzido no cerrado, promove uma redução nos teores de carbono e nitrogênio no solo logo nos primeiros anos, mas, após dez anos de condução do sistema, ele apresenta potencial para restituição de carbono e nitrogênio ao solo.

Entre as substâncias húmicas, o ácido fúlvico é a fração menos modificada pela derrubada do cerrado e pela implantação e condução de sistema agrossilvipastoril.

O carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana são reduzidos pela derrubada do cerrado, mas somente o carbono da biomassa apresenta potencial para retornar aos valores originais, após dez anos de condução do sistema.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradem a CMM/Votorantim/SA, pela concessão da área para efetuar este estudo; à FAPEMIG, à CAPES e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROOKES, P. C. et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure soil microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 17, n. 6, p. 837-842, Nov./Dec. 1985.

DALAL, R. C. et al. Total soil organic matter and its labile pools following mulga (*Acacia aneura*) clearing for pasture development and cropping 1. Total and labile carbon. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 43, n. 1, p. 13-20, Jan./Feb. 2005.

EMBRAPA, E. B. D. P. A. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EVANS JR, A. et al. Solution parameters influencing dissolved organic carbon levels in tree forest soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 52, n. 6 p. 1789-1792, Nov./Dec. 1988.

FERREIRA, A. S. et al. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista**

**Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 991-996, abr./jun. 1999.

FRANCO, F. S. et al. Experimentação participativa com sistemas agroflorestais: uma contribuição para a conservação do solo da Zona da Mata de Minas Gerais. **Agricultura Biodinâmica**, Botucatu, v. 88, n. 1, p. 20-24, jan./jun. 2003.

ISAAC, M. E. et al. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 65, n. 1, p. 23-31, Jan./Mar. 2005.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 27, n. 4, p. 408-416, Oct./Dec. 1998.

JOLIVET, C. et al. Organic carbon dynamics in soil particle-size separates of sandy spodosols when forest is cleared for maize cropping. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, n. 2, p. 257-268, Apr./June 2003.

LEITE, L. F. C. et al. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 41, n. 4 p. 717-730, 2003.

LEITE, L. F. C. et al. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 347-358, mar./abr. 2004.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. D. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, jun. 2000.

MENDONÇA, E. D. S. et al. Cultivo do Café em Sistema Agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 5, p. 375-383, set./out. 2001.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. Ufla, 2002. 626 p.

SANOMIYA, L. T.; NAHAS, E. Microorganismos produtores de hidrolases envolvidos nas transformações dos compostos de carbono e do nitrogênio do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 5, p. 835-842, set./out. 2003.

SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 241, n. 2, p. 155-176, Feb.

2002.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial and  $^{14}\text{C}$  labelled cells. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 20, n. 3, p. 337-343, May/June 1988.

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

SWIFT, R. S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. In: D.L.S.E. AL. (Editor), Organic matter characterization. Part 3. Chemical Methods. **Soil Science Society of American Journal**, p. 1018-1020, 1996.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas, e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil

aggregates by the root system of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 17, n. 3, p. 429-441, Sept./Dec. 1979.

TOGNON, A. A. et al. Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil Central. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 343-354, set./dez. 1998.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, maio 2005.

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**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, Oct. 1988.