

CRISTIANE PEREIRA DE ASSIS

**CARBONO E NITROGÊNIO EM FRAÇÕES DA MATÉRIA
ORGÂNICA DE AMOSTRAS DE SOLO E AGREGADOS
DE UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO
A DIFERENTES USOS E MANEJOS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2004

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

T

A848c
2004

Assis, Cristiane Pereira de, 1979-
Carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de
amostras de solo e agregados de um Latossolo Vermelho
submetido a diferentes usos e manejos. / Cristiane Pereira
de Assis. – Viçosa : UFV, 2004.
xi, 56f. : il. ; 29cm.

Viçosa.

Orientador: Ivo Jucksch.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de

Inclui bibliografia.

1. Solos - Manejo - Capinópolis (MG). 2. Solos - Uso -
Capinópolis (MG). 3. Solos - Matéria orgânica - Frações. 4.
Solos - Agregados - Matéria orgânica. 5. Latossolo - Agre-
gados. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 20.ed. 631.43

Aos meus pais, *Vandor* e *Luzenir*, por terem me recebido neste mundo com sabedoria e amor.

Aos meus irmãos, *Vaniscley* e *Keila*, pelo sincero e constante partilhar e aos meus sobrinhos queridos, *Leonora* e *Lukas*, pela força do continuar prosseguindo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Poder Divino pela dádiva da vida.

Aos brasileiros que por meio do trabalho permitiram o financiamento de meus estudos.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq – pela concessão da bolsa de estudo.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial aos professores do curso de agronomia, pelos valiosos ensinamentos acadêmicos.

Ao Departamento de Solos (DPS) pelos estágios concedidos, pelas bolsas de iniciação científica e pela possibilidade da realização desta tese de mestrado.

Ao professor, orientador e amigo Ivo Jucksch pelos ensinamentos e pela orientação sempre dentro de uma amizade fraterna e incondicional, desde os primórdios de minha caminhada acadêmica.

Ao professor Julio César Lima Neves pelo constante apoio, incentivo, pelos ensinamentos e pela gratificante amizade em todos os momentos.

Ao professor Eduardo Sá Mendonça pelos valiosos conselhos, pelo clima sempre positivo na resolução de problemas e pela constante amizade.

Aos professores Raphael Bragança e Paulo Berger pelo empenho, disposição, apoio e amizade.

Ao professor e amigo Walter Abrahão por ter facilitado minha moradia durante o curso de mestrado e pelos auxílios prestados sempre que precisei, sempre no clima de harmonia.

Ao professor Liovando Marciano da Costa pelo apoio desde a iniciação científica, o meu agradecimento pelo incentivo profissional e pelo bom exemplo.

Ao professor Luis Henrique Mendes da Silva pela atenção dispensada, pela qual foi possível a confecção dos espectros de infravermelho, e ao Márcio, técnico do Departamento de Química da UFV, pela dedicação na confecção dos mesmos.

A todos funcionários do DPS pela assistência, disposição e amizade.

A todos colegas e amigo(a)s do Programa Solos e Nutrição de Plantas pela agradável convivência, em especial Benoit por ter me auxiliado nos trabalhos sempre com muita atenção e carisma.

A todos os meus tios, primos, cunhados e amigos de infância que construíram o meu passado, e hoje fazem parte deste presente, em especial Sainy Martins Ribeiro que contribuiu para realização desta tese.

Aos Amigos: Antônio Cláudio, Pedro Ivo, Remi, Jaci, Sabrina, Ronelza, Adriana, Dani, Danilo, Natalia, Alessandra, Juliana, Ermelinda, Gualter e (Vinicius), e todos os demais que também contribuíram com as alegrias.

Aos amigos Isabella e Júlio pela doce acolhida e fraterna convivência, sempre dentro do clima de harmonia e carinho, juntamente com os alegres e estimados Lupi e Luna. Contem sempre comigo.

Ao querido e inestimável casal, Ivo e Madu, sou grata pelo “clima familiar”, pousadas, almoços e pelos momentos de crescimento. A amizade de vocês me foi, e sempre será, muito preciosa.

À amiga Ximena por ter me levado ao caminho da Luz.

Aos amigos e irmãos do Recanto das Flores pelo “um tanto” de momentos felizes, sempre será “bem legal” estar com vocês. Em especial sou grata a José Gabriel da Costa, Mestre na Universidade da Vida, pelos ensinamentos e a paz de espírito proporcionada em minha vida.

Ao Flávio pelo companheirismo nos momentos alegres e difíceis e pela oportunidade de amar.

A todos aqueles que embora não tenham sido citados foram importantes coadjuvantes para a realização dessa alegria.

BIOGRAFIA

CRISTIANE PEREIRA DE ASSIS, filha de Vador Francisco de Assis e Luzenir Pereira de Assis, nascida aos 30 dias do mês setembro de 1979, na cidade de Alto Araguaia, Estado do Mato Grosso.

Cursou o 1º e 2º graus em Alto Garças - MT. Em 1997, ingressou no curso de Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa. Graduou-se em maio de 2002.

Em maio de 2002, iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas vinculado ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese no dia 20 de fevereiro de 2004.

CONTEÚDO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Carbono e Nitrogênio do solo.....	3
2.2. Fracionamento químico e físico da Matéria Orgânica do Solo	7
2.3. Matéria orgânica na formação e estabilização dos agregados no solo ..	7
2.4. Influência do manejo nos teores de C e N do solo	9
2.5. Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF) nos estudos de MOS	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Localização e descrição das áreas de estudo	12
3.2. Amostragem, preparo e caracterização das amostras de solo	14
3.3. Distribuição dos agregados estáveis em água	16
3.4. Extração e fracionamento das substâncias húmicas	16
3.5. Determinação do carbono orgânico das frações húmicas	17

3.6. Determinação do Nitrogênio total.....	17
3.7. Extração das frações leves e pesadas da Matéria Orgânica do Solo.....	18
3.8. Caracterização Espectroscópica das Frações Leve da Matéria Orgânica do Solo.....	20
3.9. Análise Estatística.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	
4.1. Características químicas do solo.....	22
4.2. Teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo	22
4.3. Carbono orgânico total das substâncias húmicas.....	25
4.4. Nitrogênio total (NT) e relação C/N	31
4.5. Frações leve (livre e oclusa) e pesada (organomineral).....	
4.6. Teores de Carbono e Nitrogênio das frações leve e pesada	37
4.7. Características espectroscópicas na região do IV-TF das frações leve .	44
5. CONCLUSÕES.....	50
BIBLIOGRAFIA.....	51

RESUMO

ASSIS, Cristiane Pereira de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2004. **Carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de amostras de solo e agregados de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos e manejos.** Orientador: Ivo Jucksch. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Liovando Marciano da Costa.

Este estudo teve por objetivo avaliar as mudanças nas formas de carbono e nitrogênio em agregados e compartimentos orgânicos de um Latossolo Vermelho de textura média, submetido a diferentes usos e manejos em Capinópolis – MG. Amostras de solo foram coletadas em diferentes camadas (0–5, 5–10 e 10–20 cm). Os tratamentos avaliados foram os seguintes: PDs – plantio direto (PD) por 4 anos com sucessão milho (silagem)/soja; PDg – PD por 4 anos com a sucessão milho/milho/milho/soja; PDtf – PD com 3 anos seguidos com tifton (feno) e soja no último ano; SC – cerca de 30 anos com sistema de cultivo convencional (milho/soja), sendo apenas soja nos últimos 4 anos; e MN – mata nativa. Foram selecionadas três classes de agregados por via úmida (4,00–2,00; 2,00–0,25 e 0,25–0,105 mm de diâmetro Ø) nas quais foram extraídas frações húmicas (ácidos fúlvicos; ácidos húmicos e huminas), com posterior determinação dos teores de carbono (C) e nitrogênio (N). Nas amostras de solo seco ao ar (< 2,00 mm de Ø) realizou-se fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS) em fração leve livre (FL-livre), fração leve oclusa (FL-oclusa) e fração pesada (areia, silte e

argila) (FP). A identificação dos grupos funcionais das FL-livre e FL-oclusa foi realizada por meio da técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF). Os resultados indicaram tendência de os maiores teores de substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas) estarem associados aos agregados maiores (4,00–2,00 mm de Ø). O cultivo do solo reduziu os teores de C e N para todas frações húmicas. O teores de C e N da fração leve (FL) nas áreas sob sistema plantio direto (PD) não superaram aqueles da área com revolvimento do solo. A gramínea tifton foi eficiente em aumentar os teores de C da fração leve em profundidade. A FP contribui com 75–98% do C total (FP + FL) e 94–99% do N total (FP + FL), sinalizando que a maior parte do C e N do solo está associada à fração mineral, sendo essa fundamental para a manutenção dos estoques dos mesmos. A FL mostrou-se sensível ao cultivo do solo, podendo ser considerada indicadora da degradação do mesmo. Não foram observadas alterações na estrutura química da fração leve livre sob os diferentes usos e manejos do solo. A fração leve oclusa apresentou-se mais recalcitrante e condensada que a fração leve livre.

ABSTRACT

ASSIS, Cristiane Pereira de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2004. **Carbon e nitrogen in organic matter fractions of soil samples and aggregates of an Oxisol submitted to different uses and management practices.** Adviser: Ivo Jucksch. Committee Members: Júlio César Lima Neves e Liovando Marciano da Costa.

This study aimed to evaluate the changes in the forms of carbon and nitrogen in aggregates and organic compartments of an Oxisol with loam texture, submitted to different uses and managements in Capinópolis – MG. Soil samples were collected from different layers (0–5, 5–10 e 10–20 cm). The evaluated treatments were the following: PDs – no tillage by four years with the succession corn(ensilage)/soybean; PDg – no tillage by four years under the succession corn/corn/corn/soybean; PDtf – no tillage with three years followed by tifton (hay) and soybean in the last year; SC – about of 30 years with convectional crop system (corn/soybean), being soybean in the last four years; and MN – native forest. Three aggregate classes were selected through wet way (4,00–2,00; 2,00–0,25 e 0,25–0,105 mm of diameter) in which humic fractions were extracted (fulvic acids, humic acids and humins). The component of levels carbon and nitrogen (N) were measured. In air-dried soils samples (< 2,00 mm) it was made physical fractionation of the soil organic matter (MOS) in light free fraction (FL-free), light closed fraction (FL-ocluse) and heavy fraction (sand, silt and clay)(FP). Infra

red spectroscopy was used to measure the functional group of FL-free and FL-ocluse. The results indicated that highest levels of humic substances (fulvic acids, humic acids and huminas) were associated to the largest aggregates (4,00–2,00 mm). The soil cultivation reduced the C and N content of the all humic fractions. The C and N content of the light fraction in areas under no till (PD) didn't overcome those from the area under conventional soil management. The grass tifton was effective in increasing the C content of the light fraction with the depht. The FP contributed to 75-98% of the total C (FP+FL) and 94-99% of the total N (FP+FL), showing that the soil largest part of the C and N is associated to the mineral fraction, which is important to maintenance of stocks. The FL was shown to be sensitive to the soil cultivation changes, and it can be considered indicatory of the soil degradation. Change in the chemical structure of the light free fraction under different uses and management weren't observed. The light ocluse fraction was shown to be more recalcitrant and more condensed than the light free fraction.

1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo e o manejo inadequado do solo podem afetar de forma acentuada os estoques de matéria orgânica do solo (MOS) ao propiciarem perdas consideráveis da mesma. O preparo do solo, por exemplo, favorece a mineralização mais rápida da MOS. Essa mineralização atua indiretamente na estrutura desse solo, uma vez que a MOS apresenta papel fundamental na formação e estabilização dos agregados. As técnicas de manejos, como o plantio direto, que não revolvem o solo e mantêm os restos culturais na área, mostram-se promissoras no sentido da manutenção da MOS. Neste sentido, o uso e manejo do solo são de extrema importância e os estudos que avaliam as interações da matéria orgânica com o sistema solo se tornam fundamentais, para a manutenção do potencial de produção de alimentos.

A manutenção da capacidade produtiva do solo é fundamental na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas. No estabelecimento de um sistema sustentável devem ser levados em consideração, entre outros fatores, aspectos relacionados à MOS, que representa a maior fonte de carbono terrestre, excedendo o conteúdo da atmosfera e da biomassa terrestre (STEVENSON, 1994). Segundo JANZEN et al. (1998), as mudanças ocorridas no solo provenientes de práticas inadequadas, podem levar a um rápido declínio desses estoques de C, podendo a vir colaborar com o aumento das emissões de gás carbônico (CO₂) à atmosfera. Assim, o carbono do solo tem também uma importância ambiental, uma vez que o seu “seqüestro” em ambientes terrestres vem sendo apontado como uma

alternativa mitigadora das mudanças climáticas, sendo contemplada em acordos internacionais como o Protocolo de Kyoto.

A MOS é formada por toda fração orgânica localizada abaixo da superfície do solo, sendo constituída de matéria morta (98% do total de C orgânico do solo) e matéria viva, ambas provenientes de plantas, microrganismos, meso e macrofauna e resíduos de animais e microrganismos do solo (Zech et al., 1997). Quanto à sua reatividade, a MOS inclui componentes lábeis e componentes estáveis. A denominada matéria orgânica lábil engloba a matéria orgânica leve (resíduos frescos de plantas e animais de menor tamanho), a biomassa microbiana e o carbono solúvel (THENG et al., 1989). Os constituintes estáveis incluem as substâncias húmicas e outras macromoléculas, extremamente resistentes ao ataque de microrganismos.

O cultivo conservacionista do solo, por meio da manutenção ou recuperação dos teores iniciais da MOS, visa um processo produtivo sustentável. Isto ocorre de acordo com o tipo, quantidade e qualidade do material adicionado à superfície, com a seqüência de culturas adotada e com a forma de cultivar o solo e o tempo de adoção destas práticas (MENGEL, 1996). Esses resíduos provindos das culturas em manejo liberam carbono e nitrogênio e outros componentes durante o processo de decomposição, dos quais parte retorna à atmosfera na forma de gás, outra parte é imobilizada pelos microrganismos decompositores, pequena parte permanece na forma prontamente disponível para as plantas e, o restante é perdido por lixiviação ou direcionado à produção de substâncias húmicas (STEVENSON, 1994). Portanto, o equilíbrio na distribuição da MOS é mantido quando se adotam técnicas conservacionistas que levam em consideração o balanceamento entre as taxas de adição e decomposição dos resíduos. Dessa forma, as práticas de manejo controlam em conjunto com os fatores ambientais a dinâmica da MOS, alterando sua síntese e decomposição, principalmente na região dos cerrados, onde as altas temperaturas podem contribuir para um declínio mais acentuado da MOS.

As hipóteses deste estudo são que as formas de carbono (C) e nitrogênio (N) nos agregados, assim como a distribuição e a qualidade das frações orgânicas, são afetadas por pelo uso e manejo e, que essas diferenças interferem nos estoques de C e N do solo. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar as mudanças nas formas de C e N em agregados e a distribuição e qualidade das frações (leve e pesada) em amostras de Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos e manejos em Capinópolis, MG.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Carbono e nitrogênio do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é todo o carbono (C) orgânico presente no solo na forma de resíduos frescos ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral. Para THENG et al. (1989), a constituição da MOS engloba os componentes vivos e não-vivos. Os componentes vivos são representados por raízes de plantas, fauna e microrganismos, estes últimos na faixa de 60 a 80% do total. Os componentes não-vivos são formados pela matéria macrororgânica, que é constituída pelos resíduos de plantas em variado estágio de decomposição, as substâncias humificadas e as não-humificadas. Estas últimas incluem os carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucleicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos. Já as substâncias humificadas, que constituem de 70 a 80% da matéria orgânica da maioria dos solos minerais, convencionalmente são divididas em três categorias ou frações principais, de acordo com sua solubilidade em função da reação do meio: ácidos fúlvicos solúveis em ácidos e em álcalis; ácidos húmicos solúveis em álcalis; e huminas insolúveis em ácidos e em álcalis.

O conteúdo de MOS é extremamente variável, desde $< 0,1\%$ em condições áridas a 100% em solos orgânicos (STEVENSON, 1994), e pode ser alterado de acordo com o manejo empregado.

O C corresponde de 45 a 58% da massa da MOS (BENDFELDT, 1999). A decomposição e ressíntese do C são mediadas pela atividade microbiana, as quais utilizam os resíduos culturais, contribuindo para a reciclagem dos nutrientes. Os resíduos culturais adicionados ao solo são precursores fundamentais para o conteúdo de C no solo. MARSCHNER (1995) relata que 28 a 59% do carbono fotossintetizado está localizado nas raízes. Assim o aporte via raízes se torna fundamental para o estoque de C no solo.

A presença de nitrogênio (N) nos solos e na biota é insignificante, comparativamente às quantidades na atmosfera e nas rochas sedimentares (OADES, 1989). Entretanto, este elemento ocupa uma posição de destaque entre os nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas. A baixa disponibilidade de N somada à sua grande necessidade por parte dos vegetais, faz com que o mesmo seja um dos nutrientes mais limitantes da produtividade na maioria das culturas. Essa baixa disponibilidade decorre do fato de que 95% ou mais do N do solo encontra-se na forma orgânica, sendo somente uma pequena parte mineralizada pela microbiota do solo durante o cultivo, disponibilizando N mineral às culturas (CAMARGO et al., 1999).

O N é fixado biologicamente por bactérias do solo, que transformam a forma gasosa presente na atmosfera para amônio, íon assimilável pelas plantas. Entre os compostos orgânicos nitrogenados identificados em maior proporção no solo encontram-se os aminoácidos e os açúcares aminados. Entretanto, somente 40 a 50% do N orgânico nos solos podem ser identificados como componentes com classes químicas definidas (DUXBURY et al., 1989). Além dessas formas, uma porção significativa do N do solo ocorre como componente estrutural dos ácidos húmicos (SCHULTEN & SCHNITZER, 1997). Para RAIJ (1991), o N no solo está sujeito a vários processos, que resultam em transformações de formas orgânicas em inorgânicas e vice-versa, o que podem resultar em ganhos ou perdas do elemento no sistema como um todo.

2.2. Fracionamento químico e físico da Matéria Orgânica do Solo

Devido a sua complexidade e diversidade estrutural e às possibilidades de interação com a matriz mineral (HASSINK & WHITMORE, 1997), a MOS não é um componente simples e homogêneo no solo. Os diversos procedimentos de fracionamento da MOS visam a redução dessa heterogeneidade, procurando separar frações homogêneas quanto a natureza, dinâmica e função (CHRISTENSEN, 1992).

O fracionamento químico em estudos da MOS é um procedimento bem conhecido, e consiste na extração de substâncias húmicas do solo e posterior obtenção de três principais componentes (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas) com base em diferenças de solubilidade das substâncias húmicas em soluções ácidas ou alcalinas (STEVENSON & COLE, 1999). Os estudos da matéria orgânica do solo por meio da extração e fracionamento de substâncias húmicas têm sido conduzidos para o entendimento da pedogênese, das propriedades físicas do solo, das interações organo-minerais e do impacto da agricultura na qualidade do solo (ROSCOE & MACHADO, 2002).

A extração de substâncias húmicas pode ser feita por vários métodos. STEVENSON (1994) considera o método de extração ideal aquele que possibilita o isolamento do material inalterado; que promove a extração das substâncias húmicas livres de contaminantes inorgânicos, como argilas e cátions polivalentes; que permite uma extração completa, garantindo assim a representação integral das frações de peso molecular variado; e, que pode ser universalmente aplicado a todos os solos. Entre os extratores, o NaOH tem sido o mais utilizado, por extrair maior percentagem de substâncias húmicas do que qualquer outro extrator disponível (GUERRA & SANTOS, 1999). A determinação do C orgânico presente nas diferentes frações húmicas, por oxidação com dicromato de potássio, permite avaliar a capacidade de recuperação do C orgânico das frações, em relação àquele presente na amostra do solo.

Os métodos físicos são considerados menos destrutivos e mais relacionados com a função e estrutura da MOS *in situ*, do que os métodos químicos. Os métodos físicos podem ser densimétricos ou granulométricos, ou uma combinação de ambos. Tais métodos vêm sendo amplamente utilizados em estudos de MOS, visando a separação de reservatórios funcionais e dinâmicos, assim como o isolamento de complexos organominerais, nos mais diversos ecossistemas

(CHRISTENSEN, 1992). Para tanto, distinguem-se dois grupos de métodos: os baseados na diferença de densidade entre os compartimentos (métodos densimétricos) e os que levam em consideração diferenças no tamanho de partículas (métodos granulométricos). Vale ressaltar que, muitas vezes, tais métodos são usados em combinação. Esses métodos físicos permitem a separação de três frações: fração leve livre (FL-livre); fração leve oclusa (FL-oclusa) e fração pesada (FP). A FL-livre corresponderia aos resíduos animais e vegetais, a FL-oclusa representa o compartimento da MOS fisicamente protegido no interior dos agregados e a FP inclui a matéria orgânica mais humificada, fortemente ligada aos constituintes minerais do solo (CHRISTENSEN, 1992).

O método densimétrico baseia-se na diferença de densidade entre a fração orgânica e a fração mineral. A densidade dos minerais do solo geralmente excede 2 g cm^{-3} , enquanto a de compostos orgânicos é inferior a $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ (GREGORICH & ELLERT, 1993). Durante a humificação parte da MOS associa-se fortemente a partículas minerais do solo, acumulando-se em frações de maior densidade (BARRIOS et al., 1996). Segundo DALAL & MAYER (1984), o sucesso na obtenção da FL é altamente dependente da densidade da solução. SOHI et al. (2001) demonstraram que uma quantidade maior de FL-livre de um solo arenoso foi obtida com solução de NaI, a uma densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, em comparação com outras de $1,6$ ou $1,7 \text{ g cm}^{-3}$.

A FL-livre é constituída por materiais orgânicos derivados principalmente de restos vegetais (GOLCHIN et al., 1994). A composição química da FL-livre é comparável àquela de materiais vegetais e da liteira (FREIXO et al., 2002a). A FL-livre representa apenas uma pequena parte da massa total dos solos minerais, mas pode armazenar parte significativa do C e N total podendo ser influenciada pelo tipo de vegetação, em geral acumulando-se nos horizontes superficiais. Em sistemas dominados pela deposição superficial de liteira, como florestas e savanas densas, este acúmulo é mais acentuado do que em sistemas onde predomina a deposição de liteira subterrânea (resíduos de raízes), como pastagens nativas e cultivadas (ROSCOE & MACHADO, 2002).

A FL-oclusa compreende um diversificado conjunto de compostos orgânicos, com um tamanho reduzido e um grau de decomposição mais avançado em comparação à fração livre (GOLCHIN et al., 1994). Em estudo conduzido em amostras de Latossolos das regiões do Cerrado e do Sul do Brasil, FREIXO et al.

(2002a) verificaram, mediante espectroscopia de infravermelho, que o material orgânico da FL-oclusa é mais humificado que os da FL-livre.

A FP é constituída por materiais orgânicos de difícil decomposição. Esta fração é formada por compostos orgânicos de elevada recalcitrância, como remanescentes de cutina e suberina, assim como materiais resistentes, sintetizados pela microbiota durante o processo de decomposição. A fração pesada concentra a maior parte do carbono orgânico do solo, sendo responsável, na maioria das vezes, por mais de 90% do carbono total (CHRISTENSEN, 1992). FREIXO et al. (2002b) também constataram que 60 a 90% do carbono orgânico total estava localizado na fração pesada de granulometria mais fina. A fração pesada é considerada a mais estável das frações densimétricas, sendo caracterizada por baixa taxa de ciclagem (CHRISTENSEN, 1992).

2.3. Matéria orgânica na formação e estabilização dos agregados no solo

Os agregados são componentes da estrutura do solo, sendo importantes para a manutenção da porosidade e aeração, favoráveis ao crescimento das plantas e dos microrganismos, para a infiltração de água e, para a estabilidade necessária à prevenção da erosão (TISDALL & OADES, 1982; OADES, 1984).

Os solos são formados de agregados de vários tamanhos, estabilizados por diferentes materiais orgânicos e inorgânicos. De acordo com TISDALL & OADES (1982), a estabilidade dos macroagregados ($> 0,25$ mm de $\varnothing$) depende sobretudo das raízes e hifas, sendo, portanto, influenciada pelo manejo do solo. Já a estabilidade dos microagregados ($< 0,25$ mm de $\varnothing$) está relacionada aos agentes ligantes orgânicos mais persistentes, independentemente do sistema de manejo utilizado. A natureza química da matéria orgânica adicionada ao solo pode influenciar a persistência de mecanismos de ligação, promovendo ou não a formação de agregados estáveis. TISDALL & OADES (1982) propuseram três grupos de agentes ligantes orgânicos envolvidos na formação de agregados: transitórios, temporários e persistentes. Os agentes ligantes transitórios são materiais orgânicos (principalmente os polissacarídeos) rapidamente decompostos por microrganismos e estão associados à formação dos macroagregados (com diâmetro $> 0,25$ mm). As hifas dos fungos e as raízes que permanecem no solo por

vários meses e até por alguns anos são considerados agentes ligantes temporários e estão associados à formação de macroagregados jovens. Os agentes ligantes orgânicos persistentes são constituídos pelas substâncias húmicas que, ao se ligarem aos cátions polivalentes presentes na fração mineral, como Al^{3+} , Fe^{3+} e Ca^{2+} , constituem importante mecanismo de formação de microagregados (com diâmetro $< 0,25$ mm).

CONTEH & BLAIR (1998) afirmam que a fração lábil da MOS é determinada ou pela estrutura química ou pela proteção dos agregados dos solos, sendo que a agregação do solo pode vir a prevenir a decomposição dessa fração. Além disso, esses autores observaram que a matéria orgânica decomposta está nos microagregados, e que grande parte da matéria orgânica dos macroagregados é parcialmente decomposta.

CASTRO FILHO et al. (1998), estudando a estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos e preparo das amostras verificaram que, o aumento do teor de C orgânico resultou em maior índice de estabilidade de agregados em virtude da diminuição de agregados das classes com diâmetro $< 0,25$ mm e do aumento das classes de maior diâmetro.

FELLER & BEARE (1997), mostraram que o conteúdo de argila ou de argila + silte são aspectos importantes para ditar o conteúdo de carbono em solos tropicais, o que pode estar relacionado com a proteção física dada pelos agregados, diminuindo a acessibilidade dos microrganismos a essa matéria orgânica. Segundo esses autores, a associação da matéria orgânica com os constituintes minerais do solo é um importante regulador da mineralização e do estoque de C no solo, assim a dinâmica de C está intimamente associada com a textura e estrutura do solo, as quais podem influenciar os processos de decomposição dessa matéria orgânica. O tempo de residência deste C é maior nos microagregados, sendo que, em alguns solos, os macroagregados possuem mais C que os microagregados. Isto pode estar relacionado com a formação dos macroagregados pela união de microagregados por compostos orgânicos.

Em muitos modelos que descrevem a ciclagem de C e N no solo, a proteção física da matéria orgânica tem sido tratada empiricamente. A proposição é de que a argila dos solos tem grande capacidade para preservar ou proteger a biomassa microbiana. Essa relação resulta em grande proporção de C e N da biomassa

microbiana decomponível protegida fisicamente em decorrência das argilas (van VEEN et al., 1985). Para FORTUN et al. (1990) os ácidos húmicos e fúlvicos são mais efetivos no incremento da agregação, principalmente, de solos com menores teores de argila, influenciando a forma e o tamanho dos agregados.

2.4. Influência do manejo nos teores de C e N do solo

A qualidade do material orgânico adicionado ao solo exerce grande influência na mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, na liberação de CO₂. Elevadas quantidades de compostos com moléculas simples e relação C/N estreita tendem a ser mineralizadas mais rapidamente do que materiais que apresentam elevado grau de aromaticidade e altos teores de C de radicais alquil (ZECH et al., 1997). Contudo, quando ocorre a substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas com culturas, percebe-se o declínio no conteúdo de C e N do solo, decorrentes da redução no aporte e do aumento da decomposição da matéria orgânica. No entanto, em alguns sistemas manejados, o aumento no conteúdo de matéria orgânica tem ocorrido, em face da maximização da produtividade das culturas e conseqüente aumento nos aportes da parte aérea e do sistema radicular ao solo.

Uma das etapas mais importantes da ciclagem de nutrientes é a decomposição da serapilheira. Segundo CORREIA & ANDRADE (1999), o acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas (*litter*) e por sua taxa de decomposição, sendo importante o entendimento dos mecanismos que regulam esse processo dinâmico. Neste processo a entrada de material, por meio da deposição, e a saída ou transformação, via decomposição, acontecem quase que simultaneamente, tornando-se necessário a manutenção do equilíbrio dessas taxas de adição e decomposição em sistemas agrícolas manejados.

A localização da matéria orgânica na matriz do solo é considerada o fator mais determinante para sua decomposição. A fração lábil, quando localizada na parte externa dos agregados, está mais sujeita à decomposição do que a matéria orgânica oclusa no interior dos microagregados. Isto pode ser creditado à natureza química recalcitrante da matéria orgânica oclusa ou à proteção física no interior dos microagregados (BESNARD et al., 1996).

O cultivo e o manejo dos solos podem promover alterações nas substâncias húmicas. VEGA-COREA (1998) observou diminuição de todos os componentes húmicos (frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas) em solo cultivado com milho, durante 20 anos, por sistema convencional de preparo, em comparação com uma área sob vegetação natural. O autor verificou maiores conteúdos de C orgânico nas frações húmicas nas amostras de área sob plantio direto de milho, comparativamente à área sob vegetação natural, indicando a importância do manejo na dinâmica dos componentes húmicos.

A relação C/N dos resíduos de culturas incorporados ao solo influencia a taxa de decomposição da matéria orgânica. Materiais com relações C/N menores do que 20 decompõem-se rapidamente, acarretando a mineralização do nitrogênio, ao passo que materiais com relações C/N maiores se decompõem lentamente e podem imobilizar o nitrogênio. Além da relação C/N, os teores de lignina e polifenóis também se constituem em indicadores da qualidade da matéria orgânica (SANCHEZ et al., 1989). Assim, o nitrogênio tende a ser mineralizado rapidamente em áreas cultivadas com leguminosas, que têm relações C/N mais estreitas do que outras culturas (gramíneas), quando os resíduos são incorporados ao solo (FERNANDES et al., 1997).

2.5. Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF) nos estudos de MOS

A espectroscopia IV se baseia no fato de que os diversos tipos de ligações químicas e de estruturas moleculares existentes numa molécula absorvem radiação eletromagnética na região do infravermelho, em comprimentos de ondas característicos e, como consequência, os átomos envolvidos entram em vibração (CERETTA et al., 1999). Cada molécula responde de forma diferente à radiação, o que proporciona diferentes bandas de absorção. Os espectros obtidos fornecem informações sobre a estrutura dos grupos funcionais na MOS, bem como a natureza de suas ligações químicas e sua reatividade, podendo assim, viabilizar a análise qualitativa de grupos reativos (COOH, OH-fenólico, OH-alcoólico, OH-enólico, C = O, -NH₂, etc) e de componentes estruturais aromáticos e alifáticos (STEVENSON, 1994). Os espectrofotômetros mais modernos dispõem de um

interferômetro não-dispersivo multiplex e são chamados de Espectrofotômetros de Infravermelho com Transformada de Fourier (IV-TF), fato esse que aumentou a possibilidade de aplicação quantitativa dessa técnica (CERETTA et al., 1999). DAVIS et al., 1999, citados por FREIXO et al., 2002b, consideram ser possível a obtenção de determinações quantitativas através do IV-TF com algumas vantagens em relação a outros métodos, em virtude do menor tempo de aquisição dos espectros e das menores quantidades de amostras.

A espectroscopia IV-TF pode ser aplicada em amostras gasosa, líquidas e sólidas (TAN, 1996). Para a análise de amostras no estado sólido (método utilizado neste trabalho), a utilização de discos transparentes de KBr (Brometo de Potássio), é o procedimento mais comum. Para tanto, as amostras e o KBr são prensados sob altas pressões, obtendo-se discos de, aproximadamente, 10 mm de diâmetro e 1 a 2 mm de espessura (STEVENSON, 1994). O KBr é um material que não absorve energia na região do infravermelho. As amostras a serem utilizadas devem estar purificadas adequadamente de modo que a presença de grupos funcionais inorgânicos, como os presentes em minerais da fração argila, não apresentam bandas de interferências. Segundo TAN (1996) e STEVENSON (1994), os principais grupos interferentes seriam as vibrações do OH dos octaedros de silicatos; O-Al-OH de óxidos, caolinita e octaedros; -OH de água adsorvida; vibrações Si-O e Al-OH. No caso de amostras provenientes da extração da fração leve do solo, deve se tomar o máximo de cuidado em se separar todos os resíduos de solo, assim como manter as amostras secas.

Na literatura, a maioria dos espectros obtidos com IV-TF são amostras de substâncias húmicas aonde varre-se a região de radiação infravermelha de 4.000 a 400 cm^{-1} .

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e descrição das áreas de estudo

Foram selecionadas cinco áreas sob diferentes usos e manejos, quatro pertencentes à Central de Experimentação Pesquisa e Extensão do Triângulo Mineiro da Universidade Federal de Viçosa (CEPET/UFV) e uma outra pertencente a um produtor adjacente, no município de Capinópolis – MG, situado a 16,68° de latitude e 46,57° de longitude oeste, com 621,5 m de altitude.

O clima da região é Aw segundo Köppen, caracterizado por apresentar inverno seco e verão quente e úmido. A temperatura média anual é de aproximadamente 23°C com precipitação média anual de 1.300 mm (medidos de 1992 a 2002) (Figura 1).

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho, com relevo suave ondulado e vegetação nativa fase floresta subcaducifólia.

Os usos, manejos e respectivos históricos das áreas amostradas, as quais representam os tratamentos, estão descritos no Quadro 1.

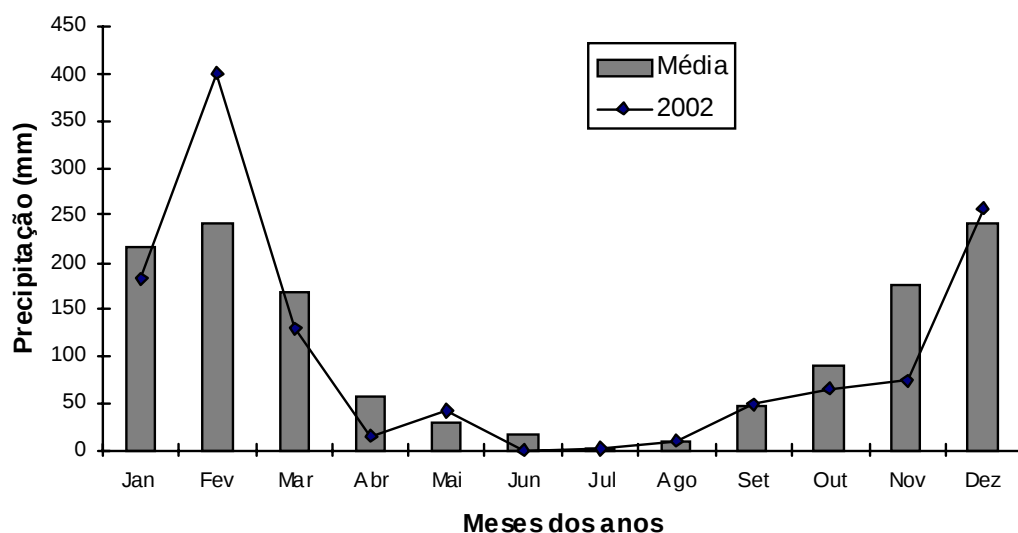


Figura 1. Precipitação média mensal de 1992 a 2002 e precipitação total mensal de 2002 medidos na estação meteorologia do CEPET/UFV de Capinópolis, MG. Fonte: WENDLING (2003).

Quadro 1. Descrição e histórico das áreas estudadas

Tratamentos	Épocas	Histórico de uso das áreas			
		1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002
PDs ⁽¹⁾	Águas	Milho (silagem)	Soja	Milho (silagem)	Soja
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
PDg ⁽¹⁾	Águas	Milho (grão)	Milho (grão)	Milho (grão)	Soja
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
PDtf ⁽¹⁾	Águas	Tifton (feno)	Tifton (feno)	Tifton (feno)	Soja
	Seca	Tifton	Tifton	Tifton	Pousio
SC ⁽²⁾	Águas	Soja	Soja	Soja	Soja
	Seca	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
MN ⁽³⁾	Contínuo	Mata Nativa	Mata Nativa	Mata Nativa	Mata Nativa

⁽¹⁾ Cultivados sob sistema de plantio direto (PD).

⁽²⁾ Cultivados sob sistema convencional de preparo (SC).

⁽³⁾ Sob mata nativa, nunca cultivado (MN).

Os tratamentos PDs (Plantio Direto silagem) PDg (Plantio Direto grão) e PDtf (Plantio Direto tifton) não sofreram revolvimento do solo a partir de 1998, sendo as culturas implantadas em sistema de plantio direto. Nos anos anteriores aos descritos no Quadro 1 (em torno de 30 anos), as áreas vinham sendo submetidas ao sistema convencional de preparo do solo (com uma aração e duas gradagens de nivelamento), com cultivos alternados de milho e soja. Nos últimos dois anos (2000–2002), o arado foi substituído pela grade aradora, que limitou o revolvimento do solo até uma profundidade de 10 cm na área sob SC. A mata nativa (MN) foi considerada como testemunha, ou seja, indicadora de como todos os demais tratamentos se apresentavam antes do desmatamento e início da agricultura intensiva. O tratamento SC foi considerado como base transitória, ou seja, para indicar como os tratamentos com PD eram antes da adoção desta prática.

De 1997 a 2002 as áreas sob milho receberam 200 kg ha^{-1} do adubo comercial 4–30–16 (N-P-K) contendo zinco, e 150 kg ha^{-1} de sulfato de amônio como adubação de cobertura. Para as áreas com soja foram realizadas apenas adubações de 240 kg ha^{-1} da fórmula comercial 0–30–20. Dois anos antes da amostragem foi feita calagem com 1.000 kg ha^{-1} de calcário dolomítico.

3.2. Amostragem, preparo e caracterização das amostras de solo

A amostragem foi realizada em agosto de 2002, final da época seca (WENDLING, 2003). Cada área que representou um determinado tratamento foi dividida em quatro quadrantes, nos quais foram feitas amostragens em três camadas (0–5; 5–10 e 10–20 cm). Para cada camada foram coletadas dez amostras simples para compor uma amostra composta. A caracterização física das amostras de solo as classifica como de textura franca-argilo-arenosa, à exceção do tratamento SC, que se enquadra como argilosa-arenosa (Quadro 2). Para o SC houve essa diferenciação devido a uma ligeira inclinação do terreno que levou a um acúmulo de partículas mais finas, como as da fração argila.

A caracterização química está apresentada no Quadro 3.

Quadro 2. Características físicas do Latossolo Vermelho (CEPET/UFV)

Camada (cm)	Frações texturais (kg kg ⁻¹)				Densidade ⁽²⁾ (g cm ⁻³)
	Tratamento ⁽¹⁾	Areia	Silte	Argila	
0–5	PDs	0,642	0,071	0,287	1,59
	PDg	0,700	0,050	0,250	1,56
	PDtf	0,698	0,050	0,252	1,55
	SC	0,569	0,081	0,350	1,71
	MN	0,678	0,054	0,268	1,17
5–10	PDs	0,623	0,063	0,314	1,67
	PDg	0,687	0,048	0,265	1,66
	PDtf	0,687	0,045	0,268	1,53
	SC	0,574	0,080	0,346	1,75
	MN	0,673	0,054	0,273	1,30
10–20	PDs	0,625	0,061	0,314	1,65
	PDg	0,688	0,040	0,272	1,60
	PDtf	0,680	0,049	0,271	1,56
	SC	0,548	0,076	0,376	1,68
	MN	0,668	0,055	0,277	1,28

⁽¹⁾ PDs = Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem) / soja; PDg = milho /milho /milho/soja; PDtf = 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = 4 anos seguidos com soja; MN = mata nativa; ⁽²⁾ Densidade do solo – método do anel.

Fonte: WENDLING (2003).

Quadro 3. Caracterização química das amostras superficiais do Latossolo Vermelho

Camada	Sistema	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	M	P-rem
cm			mg dm ⁻³										%	mg L ⁻¹
0–5	PDs	5,8	11,8	96	1,8	1,3	0,0	2,0	3,3	3,3	5,3	62,1	0	36,0
	PDg	5,9	13,1	110	2,1	1,2	0,0	1,7	3,5	3,5	5,2	67,2	0	38,1
	PDtf	4,8	2,8	63	0,5	0,4	0,4	4,6	1,0	1,4	5,6	18,1	28,2	30,5
	SC	5,6	8,5	195	1,5	0,9	0,0	4,1	3,0	3,0	7,1	41,9	0	24,9
	MN	6,4	8,4	109	4,9	2,3	0,0	5,6	7,5	7,5	13,1	57,3	0	30,8
5–10	PDs	5,2	8,4	19	0,9	0,5	0,1	3,1	1,5	1,6	4,6	32,5	6,3	31,0
	PDg	5,2	10,6	47	1,1	0,6	0,1	3,0	1,8	1,9	4,8	37,8	5,2	33,2
	PDtf	4,8	2,1	38	0,6	0,4	0,4	4,3	1,0	1,3	5,3	19,3	28,0	30,6
	SC	5,1	7,8	50	1,2	0,5	0,2	4,9	1,9	2,1	6,8	27,6	9,7	24,7
	MN	5,8	2,6	47	2,5	1,5	0,0	5,5	4,1	4,1	9,6	42,9	0	29,2
10–20	PDs	5,5	3,5	11	0,9	0,5	0,0	2,4	1,5	1,5	3,9	38,3	0	31,5
	PDg	5,0	5,7	49	0,6	0,4	0,2	3,0	1,2	1,4	4,2	27,9	14,7	30,9
	PDtf	4,9	2,4	42	6,1	0,4	0,2	4,0	6,5	6,7	10,5	62,1	3,0	29,2
	SC	5,0	4,1	42	1,0	0,6	0,2	4,5	1,7	1,9	6,2	27,5	10,5	22,2
	MN	5,2	1,1	29	1,3	1,1	0,1	5,0	2,5	2,6	7,5	33,2	3,9	26,6

pH em água – Relação 1:2,5; P-K- Extrator Mehlich 1; Ca-Mg-Al : Extrator KCl 1 mol L⁻¹-pH 7,0; SB: Soma de Bases Trocáveis; (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m: Índice de Saturação de Alumínio; P-rem: Fósforo Remanescente; nd: não detectado; PDs: Plantio Direto (milho silagem); PDg: Plantio Direto (milho grão); PDtf: Plantio Direto Tifton; SC: Sistema Convencional e MN: Mata Nativa.

3.3. Distribuição dos agregados estáveis em água

Os agregados utilizados neste trabalho foram separados por tamisamento via úmida, distribuídos nas seguintes classes: 4,00–2,00; 2,00–1,00; 1,00–0,50; 0,50–0,25; 0,25–0,105 e menor que 0,105 mm de $\varnothing$ (WENDLING, 2003). A partir dessas classes foram obtidos os intervalos de agregados utilizados para este trabalho, sendo: 4,00–2,00 (macroagregados maiores); 2,00–0,25 (macroagregados menores) e 0,25–0,105 mm de $\varnothing$ (microagregados).

3.4. Extração e fracionamento das substâncias húmicas

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado com base nas características de solubilidade diferencial, obtendo como produtos as seguintes frações: ácidos fúlvicos (AF) solúveis em ácido e em álcali; ácidos húmicos (AH) solúveis em álcali e insolúveis em ácido; e huminas (HN) – insolúveis em ácido e em álcali (SCHNITZER, 1982).

Na extração, 2,5 g do material de cada classe de agregados, triturados em almofariz de ágata e passados em peneira de 0,210 mm de $\varnothing$, foram colocados em tubos de centrífuga de 115 mL, onde receberam a adição de 25 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, agitados por quinze minutos, em agitador horizontal e deixado em repouso por 24 horas. Após o repouso, o conjunto de extração foi centrifugado a 754 x g (FCR_{média}) por 15 minutos, transferindo-se o sobrenadante para tubos de centrífuga de mesma capacidade (115 mL) e reservando-o. Os tubos de centrífuga de 115 mL receberam 10 mL da solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, ressuspensando-se o precipitado, sendo agitados por 15 minutos. Após este período, as suspensões foram novamente centrifugadas a 754 x g (FCR_{média}) por 15 minutos. Esse procedimento foi repetido, seqüencialmente, por mais duas vezes. Todos os sobrenadantes foram misturados, totalizando 45 mL.

O sedimento remanescente nos tubos de centrífuga, incluindo a fração huminas (FHN) e a fase mineral do solo, foi seco em estufa a 50°C e triturado em almofariz para posterior análise de carbono orgânico total.

Os sobrenadantes, contendo as frações ácidos fúlvicos (FAF) e ácidos húmicos (FAH) dissolvidas, tiveram o pH ajustado para valor inferior a 2 com

solução de H_2SO_4 (20%), possibilitando a precipitação da FAH. Após a precipitação, a FAH foi separada da fração solúvel por centrifugação a 754 x g por 10 minutos.

A porção solúvel do extrato acidificado, correspondente à FAF, foi transferida para balão volumétrico de 50 mL tendo o seu volume completado com água destilada. O precipitado (FAH) recebeu aproximadamente 15 mL de solução de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Após total redissolução, o volume foi completado para 50 mL com a mesma solução de NaOH .

3.5. Determinação do carbono orgânico das frações húmicas

A determinação do C orgânico das FAF e FAH foi feita utilizando-se o processo de dicromatometria com aquecimento externo (YEOMANS e BREMNER, 1988). O método consistiu na transferência de uma alíquota de 5 mL de cada fração para tubos de digestão, adicionando-se 5 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,0167 \text{ mol L}^{-1}$ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado. Após breve agitação, os tubos foram colocados em bloco digestor, pré-aquecido a 170°C , por 30 minutos.

Os extratos digeridos e resfriados foram transferidos, quantitativamente, para erlenmeyers de 125 mL, utilizando água deionizada suficiente para um volume final de aproximadamente 50 mL. Em seguida, foram adicionados duas a três gotas do indicador ferroin. A titulação foi feita com solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ $0,03 \text{ mol L}^{-1}$. Para esse processo, foram utilizados seis provas em brancos, sendo três com aquecimento e três sem aquecimento.

Para a fração FHN, o material seco em estufa a 50°C foi pesado e transferido para tubos de digestão onde recebeu 5 mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,0418 \text{ mol L}^{-1}$ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado. A partir deste passo, o procedimento foi o mesmo descrito para as FAH e FAF, utilizando-se, contudo, solução mais concentrada de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ na titulação ($0,08 \text{ mol L}^{-1}$).

3.6. Determinação do nitrogênio total

A determinação do nitrogênio total (NT) foi feita pelo método de Kjeldahl, descrito por TEDESCO et al. (1985) que se fundamenta na conversão do N orgânico contido na amostra em amônio por meio de digestão sulfúrica e na

dosagem deste por meio da quantificação da amônia liberada pela destilação do digerido em meio alcalino. Para isso foram tomadas alíquotas das frações húmicas (FAH e FAF) e pesados aproximadamente 1,00 g da FHN das classes de agregados em estudo. Esse material foi colocado em tubo de digestão, adicionando-se 5 mL de H₂SO₄ concentrado e aproximadamente 0,7 g de mistura digestora em tubo de digestão. Esta mistura foi preparada em almofariz com 100 g de Na₂SO₄, 1 g de CuSO₄ e 10 g de selênio metálico.

Após a adição das frações e dos reagentes, os tubos foram levados a bloco digestor, aumentando-se a temperatura gradualmente, até atingir entre 360°C e 410°C. Após resfriamento, as amostras foram submetidas ao processo de destilação, adaptando-se o tubo de digestão ao destilador. Na saída do condensador do destilador foi colocado um erlenmeyer de 125 mL contendo 25 mL da solução indicadora em ácido bórico. Nos tubos com material digerido foram adicionados 25 mL de NaOH 10 mol L⁻¹, processando-se a destilação até se obter um volume de aproximadamente 50 mL.

A solução indicadora em ácido bórico foi preparada dissolvendo-se 40 g de H₃BO₃ em 1.400 mL de água destilada quente. Após resfriada, foram adicionados 400 mL de etanol 95% (produto técnico) e 40 mL de solução indicadora mista (0,660 g de verde de bromocresol e 0,330 g de vermelho de metila em 1.000 mL de etanol 95%), completando-se o volume para 2.000 mL. A solução indicadora mista foi preparada dissolvendo-se 0,066 g de verde-de-bromocresol e 0,033 g de vermelho-de-metila em 100 mL de etanol 95%. A solução, de coloração azul, obtida na destilação foi titulada com HCl 0,02 mol L⁻¹.

3.7. Extração das frações leves e pesadas da Matéria Orgânica do Solo

As frações leves e pesadas da matéria orgânica foram obtidas pelo procedimento proposto por SOHI et al. (2001). Esse procedimento extrai e fraciona fisicamente as frações leves pelo método densimétrico, o qual baseia-se na diferença de densidade entre a fração orgânica e a mineral.

Adicionou-se 50g de TFSA (< 2,00 mm de Ø) e 100 mL de Iodeto de Sódio (NaI, densidade 1,80 g cm⁻³) em tubos de centrífuga de 250 mL. Em seguida agitou-se brevemente por 30 segundos. O solo com a solução de NaI foi

centrifugado a 630 x g ($FCR_{média}$) por 5 minutos, de modo a acelerar a deposição de partículas minerais do solo. Após a centrifugação, a fração orgânica leve livre (FL-livre) presente na superfície da solução de NaI foi separada por filtração à vácuo em cadinhos de golch.. A solução de NaI coletada na filtração foi retornada para o frasco de centrífuga com a amostra de solo remanescente. De forma a eliminar o excesso de NaI, as FL-livres retidas nos filtros foram cuidadosamente lavadas com água destilada.

Para separação da FL-oclusa, o solo remanescente, juntamente com a solução de NaI obtida com a separação da FL-livre, foi agitado durante 16 horas em agitador vertical, para obtenção da fração orgânica leve oclusa (FL-oclusa), ou seja, a fração orgânica do solo não associada com partículas minerais, mas retida internamente nos agregados. Para a FL-oclusa foram feitas a centrifugação, filtração e lavagem cuidadosa com água deionizada da mesma maneira descrita para a obtenção da FL-livre.

As FL-livre e FL-oclusa foram, juntamente com os cadinhos de golch, secas à 50°C por 48 horas, pesadas e moídas.

A determinação de carbono, nitrogênio e hidrogênio foi realizada pelo processo de combustão seca em um analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400.

Após a extração das frações leves do material de solo, na mesma amostra, a fração organomineral (fração pesada) foi separada por granulometria, de acordo com GAVINELLI et al. (1995). Adicionou-se às amostras residuais 1,5 g de hexametáfosfato de sódio e aproximadamente 300 mL de água deionizada, deixando-se agitar verticalmente (42 rpm) por 16 horas. A matéria orgânica associada à areia ($> 53 \mu m$) foi obtida por peneiramento úmido e a associada a silte ($2-53 \mu m$) e argila ($0-2 \mu m$) foi determinada a partir do tempo de sedimentação seguido da pipetagem das alíquotas. Após secagem a 50°C, as frações granulométricas separadas foram pesadas e moídas, sendo que o teor de COT foi determinado utilizando-se o processo de dicromatometria com aquecimento externo proposto por YEOMANS e BREMNER (1988), e o teor de N total pelo método de Kjeldahl, descrito por TEDESCO et al. (1985).

Os estoques de C e N foram calculados considerando o volume e a densidade do solo na camada analisada e o teor de C e N determinado nas mesmas.

3.8. Caracterização Espectroscópica das Frações Leve da Matéria Orgânica do Solo

As FL-livre e FL-oclusa tiveram a identificação dos seus diferentes grupos funcionais por meio da técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF). As amostras foram moídas em almofariz de ágata sendo posteriormente secas em estufa, em temperatura de 55 °C por 48 horas. Em seguida, foram acondicionadas em dessecadores. Utilizou-se a medida de 1 mg de cada fração para a confecção de pastilhas com 100 mg de KBr (Brometo de Potássio). O espectro obtido para cada tratamento e profundidade foi resultado da junção de quatro repetições das amostras de trabalho, sendo obtidos na faixa correspondente a 500 cm⁻¹ a 4000 cm⁻¹, num aparelho Perkin-Elmer FT-IR 1000. A caracterização das frações leves foi baseada nas principais bandas de absorção encontradas, sendo estas correspondentes às vibrações de estiramento (ν) ou deformação angular (δ).

As diferenças entre as FL-livre e FL-oclusa e, as alterações ocorridas nas mesmas, decorrentes dos diferentes sistemas de manejo, foram estudadas por meio da análise dos espectros e dos índices de hidrofobicidade (IH) e condensação (IC). A relação entre a absorbância da banda de absorção em 2929 e 1035 cm⁻¹ é chamada de IH (3.1), o qual expressa a relação de grupos apolares (CH₃) e polares (-OH, C-O).

$$IH = \frac{Abs_{2929 \text{ cm}^{-1}}}{Abs_{1035 \text{ cm}^{-1}}} \quad (3.1)$$

O IC (3.2) é obtido por meio da relação entre 1633 e 2929 cm⁻¹, o qual expressa a participação de grupos conjugados (grupamentos aromáticos, quinonas e/ou carboxilatos) e grupamentos alifáticos (-CH₃).

$$IC = \frac{Abs_{1633 \text{ cm}^{-1}}}{Abs_{2929 \text{ cm}^{-1}}} \quad (3.2)$$

Sendo assim, para uma determinada molécula um maior IH indicará uma maior resistência à degradação microbiana e, o IC indicará uma análise indireta do grau de condensação/humificação da mesma.

3.9. Análise estatística

Os tratamentos foram constituídos pelos diferentes usos e manejos, considerando o delineamento inteiramente casualizado.

As análises de variância foram realizadas para cada camada, com o auxílio do sistema computacional SAEG (FUNARBE, 1993).

Os graus de liberdade para tratamento foram decompostos em quatro contrastes ortogonais entre si, dentro de cada camada, conforme Quadro 4.

A significância dos contrastes foi testada pelo teste F até o nível de 10% de probabilidade.

O efeito cultivo (contraste C1) estabelece uma comparação entre os tratamentos cultivados e mata nativa. O efeito plantio direto (contraste C2) compara este sistema com o preparo convencional. O efeito tifton (contraste C3) compara esta gramínea com outros tratamentos (com as culturas de milho e soja sob plantio direto), também sem revolvimento do solo. O efeito silagem (contraste C4) foi estabelecido para comparar os impactos sobre o solo desta área com outra onde não se realizou esta prática.

Quadro 4. Nome, coeficientes e efeitos dos contrastes estabelecidos

Nome	Tratamentos ⁽¹⁾					Efeito do contraste
	PDs	PDg	PDtf	SC	MN	
C1	1	1	1	1	-4	Cultivo
C2	1	1	1	-3	0	Plantio direto (PD)
C3	1	1	-2	0	0	Tifton fenado
C4	1	-1	0	0	0	Silagem

⁽¹⁾ PDs = Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem) / soja; PDg = milho /milho /milho/soja; PDtf = 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = 4 anos seguidos com soja; MN = mata nativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características químicas do solo

Em relação aos demais tratamentos, a MN tendeu a apresentar maiores valores de pH, o que significa um aumento de cargas no solo e, conseqüentemente aumento na dispersão de argilas. ROSA et al. (2003) avaliando aspectos químicos de um Latossolo Vermelho Eutroférico, sob diferentes condições de uso, também observaram maiores valores de pH em solo sob floresta nativa. No geral, os maiores teores de P e K na camada de 0–5 cm são decorrentes da adubação NPK utilizada na área. O solo sob PDg tendeu a apresentar maiores teores de P, K e Ca quando comparado ao PDs, o que pode ser resultado da prática de silagem. Os teores de Ca do solo sob PDtf tenderam a aumentar com a profundidade, possivelmente devido ao dreno desse elemento em conseqüência da atividade de raízes nas camadas mais superficiais. A característica mais argilosa do solo sob SC pode ter influenciado nos menores valores de P remanescente para esse tratamento.

4.2. Teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo

Todos os sistemas de cultivo apresentaram redução nos estoques de carbono orgânico total (COT) comparado à mata nativa (MN) (Quadro 5) menor do que o

percentual de 40% estimado para solos tropicais (SCHOLLES et al., 1997). Já para Nitrogênio Total (NT), o cultivo do solo promoveu diminuição de aproximadamente 59, 54 e 42% nas camadas de 0–5, 5–10 e 10–20 respectivamente.

Os maiores teores de COT e nitrogênio total (NT) na MN estão relacionados ao maior aporte de resíduos vegetais retornados ao solo. Após cerca de 30 anos de cultivo, a utilização do solo com o sistema convencional de cultivo (SC) resultou em redução nos estoques de COT e NT em relação à MN, indicando maior oxidação da matéria orgânica do solo (MOS) quando exposta à agricultura convencional.

Tanto no solo sob MN, como nos cultivados, houve tendência de diminuição nos teores de C e N totais com o aumento da profundidade. A acentuada redução na MN pode estar refletindo uma maior taxa de adição de material orgânico defronte a uma lenta taxa de decomposição na camada superficial, o que poderia corroborar para um acúmulo da matéria orgânica em superfície.

Houve aumento nos estoques de C e N na camada de 10–20 cm do solo cultivado com tifton comparativamente aos PDs e PDg (Quadro 5), possivelmente devido ao aporte de raízes. Esse efeito torna-se evidente quando se considera a camada de 0–20 cm. Nessa mesma camada, o uso do solo conferiu redução nos estoques de C e N. Todavia quando se avalia o sistema plantio direto (contraste C2) não se observa aumento nos estoques de C e N, possivelmente devido ao curto tempo de adoção dessa prática (4 anos). Por sua vez o SC apresentou maiores estoques de C em todas as camadas, e de N nas camadas de 5–10 e 10–20 cm, quando comparado ao plantio direto (PD). O revolvimento do solo no SC (incorporação de resíduos vegetais em profundidade) pode ter favorecido esse incremento de C e N. A realização da silagem reduziu os estoques de C (contraste C4), como consequência da exportação da parte aérea da cultura do milho.

A relação molar C/N variou de 21,85 (MN) a 44,06 (PDg), com média de 31,62. Essa relação tendeu a aumentar com a profundidade, o que indica menor decomposição em profundidade (Quadro 5).

Quadro 5. Teores e estoques totais de C e N e relação C/N em amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo

Camada	Sistema ⁽¹⁾	C ⁽³⁾	N	C/N	C	N
cm		g kg ⁻¹			Mg ha ⁻¹	
0–5	PDs	19,10	0,92	24,54	15,24	0,73
	PDg	22,75	0,92	28,98	17,76	0,72
	PDtf	23,56	0,93	29,83	18,23	0,72
	SC	22,55	0,89	29,84	19,27	0,76
	MN	41,24	2,23	21,85	24,07	1,30
	Contrastes ⁽²⁾					
	C1 (Cultivo)	-19,25**	-1,32**	6,44**	-6,45**	-0,57**
	C2 (Plantio Direto)	-0,74 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-2,06 ^{ns}	-2,20*	-0,04 ^{ns}
	C3 (Tifton)	-2,64 ^o	-0,005 ^{ns}	-3,07 ^{ns}	-1,73 ^{ns}	0,008 ^{ns}
	C4 (Silagem)	-3,66*	-0,01 ^{ns}	-4,44 ^{ns}	-2,52 ^o	0,013 ^{ns}
5–10	PDs	18,28	0,60	36,18	15,30	0,50
	PDg	22,55	0,60	44,06	18,71	0,50
	PDtf	23,36	0,87	31,35	17,83	0,67
	SC	22,55	0,76	35,14	19,67	0,66
	MN	32,10	1,53	24,50	20,80	0,99
	Contrastes					
	C1 (Cultivo)	-10,41**	-0,83**	12,18**	-2,92**	-0,41**
	C2 (Plantio Direto)	-1,15 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	2,06 ^{ns}	-2,39*	-0,11*
	C3 (Tifton)	-2,95**	-0,27**	8,77 ^o	-0,83 ^{ns}	-0,17**
	C4 (Silagem)	-4,26**	-0,01 ^{ns}	-7,88 ^{ns}	-3,41**	-0,004 ^{ns}
10–20	PDs	14,63	0,55	31,15	24,13	0,911
	PDg	19,71	0,60	39,15	31,66	0,95
	PDtf	22,55	0,84	31,49	35,30	1,31
	SC	22,14	0,71	37,19	37,14	1,18
	MN	29,04	1,17	29,09	37,23	1,50
	Contrastes					
	C1 (Cultivo)	-9,28**	-0,49**	5,65 ^o	-5,17*	-0,41**
	C2 (Plantio Direto)	-3,18*	-0,04 ^{ns}	-3,26 ^{ns}	-6,78**	-0,13 ^o
	C3 (Tifton)	-5,39**	-0,26**	3,66 ^{ns}	-7,40**	-0,38**
	C4 (Silagem)	-5,08**	-0,04 ^{ns}	-8,00*	-7,52**	-0,04 ^{ns}
0–20	PDs				54,67	2,14
	PDg				68,13	2,17
	PDtf				71,35	2,69
	SC				76,09	2,61
	MN				82,10	3,79
	Contrastes					
	C1 (Cultivo)				-14,54**	-1,38**
	C2 (Plantio Direto)				-11,37**	-1,27*
	C3 (Tifton)				-9,95**	-0,54**
	C4 (Silagem)				-13,45**	0,03 ^{ns}

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem)/ soja; PDg = Plantio Direto milho /milho/ milho/ soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$; $\bar{C}2 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$;

$\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; ^o, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

4.3. Carbono orgânico total das substâncias húmicas

De modo geral, para os teores médios de COT das frações analisadas (frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (FHN)), verificou-se que a FHN tendeu a suplantar as demais (Quadro 6). Esse resultado sugere uma possível característica humífera da matéria orgânica dessas amostras de solo. Diversos estudos conduzidos em solos sob clima tropical também apresentaram teores da FHN superiores aos das FAF e FAH (MENDONÇA, 1988; NASCIMENTO, 1992; COELHO, 1991) o que sugere elevada interação da fração mineral desses solos com a matéria orgânica. Segundo FELBECK (1965) e STEVENSON (1994), as huminas são substâncias altamente desenvolvidas e resistentes à degradação microbiana, constituídas por ácidos húmicos de natureza mais simples, fortemente combinadas à fração mineral do solo.

O comportamento do COT dessas frações (FAF, FAH e FHN) variou de acordo com a classe de agregados e com o manejo dado ao solo. Todas as frações húmicas tenderam a apresentar maiores valores de COT nos macroagregados (4,00–2,00 e 2,00–0,25 mm de Ø) em relação aos microagregados (0,25–0,105 mm de Ø). Essas frações podem estar contribuindo para a formação e estabilidade desses macroagregados. Vários autores demonstraram que os microagregados podem ser estabilizados por matéria orgânica mais persistente, antiga e resistente (PUGET et al., 1995; FORTUN et al., 1990). Os macroagregados contêm mais carbono orgânico que os microagregados, uma vez que, a formação desses macroagregados é resultado da união de vários microagregados (TISDALL & OADES, 1982).

Os teores de COT nas FAF, FAH e FHN tenderam a diminuir com a profundidade em todos os tratamentos e classes de agregados (Quadro 6). LONGO (1982) analisando um Latossolo Vermelho Amarelo, sob vegetação de capim-gordura, constatou que os teores totais de ácidos húmicos e fúlvicos decresceram com a profundidade de 1 a 60 cm.

Em geral, para a fração FHN, os agregados tenderam a apresentar valores maiores na camada de 0–5 cm em relação às camadas inferiores (Quadro 6). Segundo MENDONÇA (1988), esse comportamento deve estar relacionado com a maior aeração, com a maior variação do ciclo de umedecimento e secagem e, também com a alteração da microbiota dessa camada. Essas condições podem não só acarretar a perda de material orgânico mais instável para as camadas mais

profunda ou para fora do sistema, ocasionando aumento na percentagem da fração humina, como também intensificar a polimerização dos compostos orgânicos, favorecendo o acúmulo da fração humina.

No SC, a FAF manteve-se superior na classe de 0,25–0,105 mm de Ø (microagregados) em comparação com o PD, exceto para a camada de 10–20 cm (Quadro 6). Os microagregados são os primeiros a se formarem, principalmente quando existe uma perturbação no sistema devido ao revolvimento e desestruturação dos macroagregados. A exposição maior desses microagregados resulta numa maior transformação microbiana o que pode favorecer a formação, em primeira instância, da FAF. De acordo com KARLSSON et al. (1987), os ácidos fúlvicos associados com óxidos amorfos podem constituir um importante componente estrutural, fazendo com que estes fiquem mais estáveis. Para essa mesma classe de agregados (0,25–0,105 mm de Ø), nas três camadas, o sistema PD apresentou maior teor da FAH em comparação com o SC, indicando um possível processo de estabilização da fração húmica advinda de adoções de práticas conservacionistas. Os ácidos fúlvicos podem ser precursores dos ácidos húmicos, sendo compreendidos por substâncias de ressíntese microbiana e de substâncias aromáticas (TIESEN et al., 1984). As diferenças observadas nos teores das substâncias húmicas quando se comparou os sistemas de PD com o SC (contraste C2), podem ser advindas da movimentação do solo no preparo convencional do solo, tornando distinto o comportamento da matéria orgânica.

O efeito tifton (contraste C3) elevou os teores de COT da FAH em todas as camadas (Quadro 6), sendo que para a classe de 4,00–2,00 mm de Ø, esses valores tenderam a aumentar com a profundidade. Houve menor conteúdo da FHN em todas as camadas e classes de agregados pelo efeito tifton (Quadro 6). O tifton é uma gramínea perene e possui relação C/N alta, o que lhe confere maior tempo de decomposição.

Os teores encontrados para FHN tenderam a decrescer com o tamanho dos agregados (Quadro 6), podendo ser indicativo de que essa fração está sendo o principal agente orgânico responsável pela estabilização dos agregados maiores. Mesmo no solo cultivado por cerca de 30 anos (SC) os teores da FHN nos macroagregados tenderam a ser maiores que os demais (Quadro 6).

Quadro 6. Carbono orgânico total nas frações humificadas em três classes de agregados para os diferentes tratamentos e respectivas camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	Fração ácidos fúlvicos			Fração ácidos húmicos			Fração huminas		
	Classe 1 ⁽²⁾	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
g kg ⁻¹									
0–5 cm									
PDs	1,56	1,25	0,76	1,42	0,90	0,43	7,94	4,93	2,90
PDg	1,80	1,36	1,00	1,04	0,55	0,44	18,88	12,24	7,52
PDtf	1,97	1,45	0,84	2,01	3,73	3,27	7,09	4,60	2,86
SC	1,84	1,32	1,23	1,73	1,28	0,63	6,88	4,45	3,92
MN	3,64	3,05	0,58	5,60	4,81	0,45	18,49	14,22	7,56
Contrastes ⁽³⁾									
C1 (Cultivo)	-1,85**	-1,71**	0,38**	-4,05**	-3,19**	0,75**	-8,29**	-7,67**	-3,26**
C2 (P. Direto)	-0,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,37**	-0,24 ^{ns}	0,44*	0,76**	4,43**	2,81**	0,51 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,29°	-0,14 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,78**	-3,01**	-2,84**	6,32**	3,98**	2,34**
C4 (Silagem)	-0,24 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,24**	0,38 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-10,95**	-7,31**	-4,62**
5–10 cm									
PDs	1,41	1,16	0,74	0,82	0,73	0,52	4,63	2,93	1,81
PDg	1,71	1,08	0,88	1,41	0,82	0,64	13,16	7,51	10,68
PDtf	1,90	1,62	0,48	2,04	3,36	2,86	4,80	3,86	3,50
SC	1,63	1,52	1,16	2,24	1,25	0,73	5,51	4,84	4,31
MN	2,63	2,23	0,94	4,61	3,57	0,99	9,90	8,05	5,04
Contrastes									
C1 (Cultivo)	-0,96**	-0,88**	-0,12 ^{ns}	-2,98**	-2,03**	0,20 ^{ns}	-2,88**	-3,27**	0,03 ^{ns}
C2 (P. Direto)	0,04 ^{ns}	-0,23°	-0,46*	-0,81**	0,38*	0,61**	2,02*	-0,07 ^{ns}	1,03*
C3 (Tifton)	-0,34*	-0,50**	0,33 ^{ns}	-0,93**	-2,59**	-2,28**	4,10**	1,36**	2,75**
C4 (Silagem)	-0,30°	0,09 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,59**	-0,09 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	8,53**	-4,58**	-8,87**
10–20 cm									
PDs	1,36	1,06	0,88	0,76	0,59	0,41	4,45	3,21	2,29
PDg	1,36	1,12	0,84	0,93	0,64	0,48	10,38	6,94	11,04
PDtf	1,74	1,20	0,61	2,10	2,91	2,84	4,08	3,64	2,66
SC	1,60	1,15	1,02	1,97	1,58	0,61	6,85	4,11	3,50
MN	2,28	1,92	1,28	3,79	2,76	1,12	8,81	6,49	5,48
Contrastes									
C1 (Cultivo)	-0,76*	-0,79**	-0,45**	-2,35**	-1,33**	-0,04 ^{ns}	-2,37**	-2,02**	-0,61 ^{ns}
C2 (P. Direto)	-0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,71**	-0,21 ^{ns}	0,63**	-0,55 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,83*
C3 (Tifton)	-0,38 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-1,25**	-2,29**	-2,39**	3,34**	1,44*	4,01**
C4 (Silagem)	0,01 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-5,93**	-3,73**	-8,76**

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem)/ soja; PDg = Plantio Direto milho /milho/ milho/ soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ Classe 1= 4,00–2,00; Classe 2 = 2,00–0,25 e Classe 3 = 0,25–0,105 mm de Ø; e

⁽³⁾ $\overline{C1} = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$; $\overline{C2} = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$;

$\overline{C3} = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\overline{C4} = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

Para todas as frações, o cultivo do solo (contraste C1) causou redução nos teores de COT da FHN nos macroagregados ($> 0,25$ mm de $\emptyset$) e aumento nos teores das FAF e FAH nos microagregados ($< 0,25$ mm de $\emptyset$) na camada superficial (Quadro 6). Esse resultado pode estar revelando a relação existente entre o tamanho e a estabilidade dessas moléculas orgânicas responsáveis pela agregação. A presença em maior quantidade da FHN nos macroagregados sinaliza a importância dessa fração no processo de agregação.

A MN, quando comparada com os solos cultivados (contraste C1) apresentou maiores teores de FAF e FAH nos macroagregados ($> 0,25$ mm de $\emptyset$), sendo que o COT da FHN se manteve superior para todas as classes. As características pedoambientais mais estáveis neste tratamento pode estar favorecendo uma maior interação dessas substâncias húmicas com fração mineral do solo (STEVENSON, 1994), acarretando maior participação do COT na agregação.

Os teores de COT da FAF tenderam a serem maiores que os da FAH nos tratamentos PDs e PDg (Quadros 6). Nos tratamentos MN e PDtf, a quantidade da FAH tendeu a ser maior que a FAF (Quadro 7). Essa maior presença da FAH na MN pode estar contribuindo para aumento de cargas ocasionando maior CTC efetiva (t) na camada de 0–5 cm e, para o tratamento PDtf esse efeito só foi verificado na camada de 10–20 cm (Quadro 1). Incrementos nos valores de t, acompanhando as variações da MOS, também foram obtidos por MENDONÇA & ROWELL (1996). WENDLING (2003) trabalhando com esses mesmos tratamentos, encontrou maiores proporções de agregados $> 2,00$ mm de $\emptyset$ para a MN e o PDtf. A presença de agregados maiores é de grande importância, considerando a função que a matéria orgânica protegida desempenha na CTC do solo e, conseqüentemente, na dinâmica dos nutrientes. Para HATCHER et al. (1985), os ácidos húmicos possuem baixa mobilidade o que representa importante fonte de cargas para a capacidade de troca de cátions dos horizontes superficiais, sobretudo em solos tropicais.

O cultivo do solo (contraste C1) propiciou menor índice FAH/FAF nos agregados maiores da camada de 0–5 cm, nas camadas subseqüentes essa diminuição se manifestou apenas nos agregados de 4,00–2,00 mm de $\emptyset$ (Quadro 7). O PD apresentou maior índice FAH/FAF nos agregados 2,00–0,25 e 0,25–0,105 mm de $\emptyset$, na camada superficial, quando comparado ao SC (contraste C2). Esse mesmo comportamento se manteve para os microagregados (0,25–0,105 mm de $\emptyset$) nas camadas 5–10 e 10–20 cm. Quando não há perturbação do solo, há maior

polimerização de compostos húmicos, aumentando a proporção de FAH em relação à FAF. Além disto, o maior acúmulo de matéria orgânica nesses sistemas pode ter contribuído para aumento dos estoques de ácidos húmicos, por meio de processos de herança de compostos da matéria orgânica fresca da vegetação nativa.

Os valores do índice FAH/FAF variaram de 0,43 para a classe de agregados de 2,00–0,25 mm de ϕ do tratamento PDg, até 7,44 para a classe de agregados 0,25–0,105 mm de ϕ do tratamento PDtf. Em geral, observa-se predomínio de FAF em relação a FAH (Quadro 7); CARVALHO JÚNIOR (2000) trabalhando com diferentes Latossolos de Minas Gerais, encontrou resultados semelhantes. Os AF possuem maior capacidade de formar complexos argilo-húmicos tornando-os mais estáveis que os AH e, por consequência, mais importantes na formação dos agregados de solos com textura argilosa (MENDONÇA & ROWELL, 1996). A maior tendência de FAF em relação FAH nos agregados da camada superficial também pode ser consequência da realização da amostragem na época seca. A ausência de precipitação pluviométrica no período pode ter favorecido uma maior concentração dessa fração, a qual segundo LAZERTE & FINDES (1994) pode ser lixiviada no perfil, acumulando em horizontes inferiores. Para trabalhos futuros sugere-se continuar as determinações, procedendo-se a amostragem em diferentes épocas do ano, para um acompanhamento da dinâmica do processo de transformação dos componentes húmicos.

Para o índice FHN/(FAF + FAH) esses mesmos tratamentos (PDg e PDtf) apresentaram comportamentos opostos, onde a relação variou de 0,70 para a classe de 0,25–0,105 mm de ϕ do PDtf à 8,70 para a classe de 0,25–0,105 mm de ϕ do PDg (Quadro 7). Observou-se tendência dos agregados maiores apresentarem maior índice FHN/(FAF + FAH), o que pode estar indicando presença de material mais humificado nos macroagregados. CONTEH & BLAIR (1998) observaram que a predominância da humina sobre as outras frações húmicas, é maior nos agregados maiores, enquanto nos agregados menores, os compostos mais reativos (FAF e FAH), têm maior participação na agregação. Observou-se que para o PDtf (contraste C3), a FAH teve maior participação em todas as classes de agregados, tendendo ser maior para os agregados menores. Já para os demais tratamentos PDs e PDg, desse mesmo contraste, a FHN predominou em todas as classes de agregados. Portanto o material vegetal provindo do manejo com tifton pode estar favorecendo a formação de ácidos húmicos em detrimento às demais frações.

Quadro 7. Relações entre as Frações Ácidos Húmicos / Frações Ácidos Fúlvicos e Frações Huminas / (Fração Ácidos Fúlvicos + Fração Ácidos Húmicos) em material de classes de agregados para os diferentes tratamentos e respectivas camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	FAH/FAF			FHN/(FAF + FAH)		
	Classe 1 ⁽²⁾	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
0–5 cm						
PDs	0,92	0,72	0,57	2,65	2,31	2,45
PDg	0,57	0,43	0,47	6,87	6,48	5,26
PDtf	1,05	2,58	4,08	1,75	0,89	0,70
SC	0,95	0,97	0,51	1,94	1,71	2,11
MN	1,55	1,58	1,42	2,01	1,82	9,34
Contrastes ⁽³⁾						
C1 (Cultivo)	-0,68**	-0,40**	-0,02 ^{ns}	1,29**	1,03*	-6,71**
C2 (Plantio Direto)	-0,10 ^{ns}	0,27*	1,20**	1,81**	1,52**	0,70 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,30°	-2,01**	-3,56**	3,01**	3,50**	3,16*
C4 (Silagem)	0,35°	0,29*	0,10 ^{ns}	-4,22**	-4,17**	-2,81°
5–10 cm						
PDs	0,59	0,62	0,70	2,10	1,61	1,48
PDg	0,85	0,83	0,74	4,24	3,98	7,15
PDtf	1,07	2,08	7,44	1,22	0,78	1,04
SC	1,39	0,83	0,68	1,43	1,78	2,29
MN	1,77	1,61	1,28	1,37	1,39	2,79
Contrastes						
C1 (Cultivo)	-0,79**	-0,52 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,88**	0,65**	0,20 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	-0,55**	0,35 ^{ns}	2,28*	1,09**	0,35*	0,93*
C3 (Tifton)	-0,35*	-1,36*	-6,72**	1,95**	2,01**	3,27**
C4 (Silagem)	-0,26°	-0,21 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-2,15**	-2,38**	-5,67**
10–20 cm						
PDs	0,57	0,54	0,46	2,14	1,98	1,83
PDg	0,70	0,62	0,60	4,89	4,10	8,70
PDtf	1,31	2,42	5,01	1,06	0,88	0,77
SC	1,30	1,49	0,63	1,90	1,55	2,15
MN	1,72	1,44	0,94	1,45	1,39	2,35
Contrastes						
C1 (Cultivo)	-0,75**	-0,17 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,05*	0,74°	1,01 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	-0,44°	-0,30 ^{ns}	1,40**	0,79 ^{ns}	0,77°	1,62°
C3 (Tifton)	-0,67**	-1,84**	-4,48**	2,46**	2,16**	4,49**
C4 (Silagem)	-0,13 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-2,75**	-2,11**	-6,87**

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem)/ soja; PDg = Plantio Direto milho /milho/ milho/ soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ Classe 1= 4,00–2,00; Classe 2 = 2,00–0,25 e Classe 3 = 0,25–0,105 mm de Ø; e

⁽³⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$; $\bar{C}2 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$;

$\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

Entre os tratamentos PDs e PDg, os maiores valores do índice FHN/(FAF + FAH) foi apresentado pelo PDg (contraste C4), tendendo a uma participação mais efetiva para os agregados maiores em superfície e, para os agregados menores em profundidade. A manutenção da palhada de milho no PDg quando comparada à prática de silagem pode ter favorecido o incremento da FHN, possivelmente herança da lignina. Isso evidencia a importância da palhada em superfície quando se deseja incrementar o carbono no solo, fato evidenciado pelo contraste C4 no Quadro 5.

4.4. Nitrogênio Total (NT) e relação C/N

Observou-se tendência de diminuição dos teores de NT com a diminuição do tamanho dos agregados (Quadro 8), também verificado para o COT (Quadro 5), como já comentado. A presença de NT nas frações húmicas indica que parte do N do solo se encontra estabilizado nessas frações, com baixa taxa de reciclagem e disponibilidade para as plantas. Para as três frações húmicas estudadas, a FHN tendeu a apresentar maiores teores de NT. O processo de humificação que segue desde a FAF (FAF → FHN) pode estar indicando que esses maiores teores resultam da ligação e estabilidade entre as FAF com a fração mineral do solo.

A MN apresentou maiores teores de NT na FAF dos macroagregados (4,00–2,00 e 2,00–0,25 mm de $\varnothing$) das camadas de 0–5 e 5–10 cm, quando comparados aos demais usos do solo (contraste C1); na camada de 10–20 cm esse comportamento se manteve para todas as classes de agregados (Quadro 8). A tendência de maiores teores de NT nos macroagregados sob MN pode indicar recentes aportes de material orgânico na arquitetura desses agregados. Para essa mesma fração, o cultivo do solo (contraste C1) proporcionou aumento do NT nos microagregados (< 0,25 mm de $\varnothing$) na camada de 0–5 cm, semelhantemente ao observado para o COT (Quadro 6). O efeito plantio direto (contraste C2) propiciou aumento do NT somente nos agregados de 4,00–2,00 mm de $\varnothing$ da camada de 10–20 cm (Quadro 8). Houve tendência dos teores de NT da FAF na camada de 10–20 cm, para o efeito tifton (contraste C3), serem maiores em relação às demais camadas (Quadro 8), podendo ser consequência de baixa atividade microbológica em profundidade, garantindo assim uma maior proteção do NT.

Quadro 8. Teores de NT das frações humificadas em três classes de agregados para os diferentes tratamentos e respectivas camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	Fração ácidos fúlvicos			Fração ácidos húmicos			Fração huminas		
	Classe 1 ⁽²⁾	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
g kg ⁻¹									
0–5 cm									
PDs	0,21	0,18	0,16	0,14	0,10	0,11	0,60	0,36	0,21
PDg	0,34	0,28	0,84	0,30	0,22	0,18	0,97	0,58	0,39
PDtf	0,42	0,32	0,29	0,40	0,30	0,21	0,62	0,49	0,29
SC	0,35	0,28	0,29	0,38	0,40	0,21	0,74	0,56	0,41
MN	0,47	0,46	0,30	0,79	0,75	0,35	1,96	1,30	0,39
Contrastes									
C1 (Cultivo)	-0,14*	-0,19**	0,0022*	-0,45**	-0,50**	-0,17*	-1,22*	-0,80*	-0,06 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	-0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,19**	-0,05 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,11*
C3 (Tifton)	-0,14*	-0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,31**	-0,14°	-0,07 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,13°	-0,10 ^{ns}	-0,31**	-0,17*	-0,12 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,36*	-0,22**	-0,18**
5–10 cm									
PDs	0,22	0,14	0,12	0,15	0,14	0,13	0,34	0,24	0,18
PDg	0,30	0,22	0,32	0,39	0,29	0,28	0,67	0,43	0,34
PDtf	0,36	0,31	0,28	0,45	0,38	0,21	0,47	0,38	0,32
SC	0,23	0,18	0,27	0,36	0,34	0,27	0,68	0,49	0,44
MN	0,39	0,36	0,31	0,68	0,48	0,94	0,88	0,71	0,63
Contrastes									
C1 (Cultivo)	-0,11°	-0,14**	-0,06 ^{ns}	-0,34**	-0,19**	-0,72**	-0,34**	-0,32**	-0,31**
C2 (Plantio Direto)	0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,19**	-0,14**	-0,16*
C3 (Tifton)	-0,08 ^{ns}	-0,13*	-0,06 ^{ns}	-0,18*	-0,17**	-0,001 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,12 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,20°	-0,23**	-0,15*	-0,15 ^{ns}	-0,33**	-0,19**	-0,16**
10–20 cm									
PDs	0,23	0,19	0,13	0,07	0,10	0,08	0,37	0,23	0,17
PDg	0,32	0,04	0,13	0,31	0,23	0,27	0,54	0,34	0,32
PDtf	0,36	0,43	0,29	0,36	0,32	0,22	0,39	0,38	0,27
SC	0,23	0,26	0,23	0,38	0,28	0,19	0,73	0,45	0,39
MN	0,35	0,31	0,42	0,55	0,51	0,35	0,72	0,51	0,39
Contrastes									
C1 (Cultivo)	-0,06°	-0,08*	-0,23**	-0,27**	-0,28**	-0,16**	-0,21°	-0,16**	-0,10*
C2 (Plantio Direto)	0,07*	-0,04 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,13*	-0,06 ^{ns}	0,004 ^{ns}	-0,30*	-0,14**	-0,13**
C3 (Tifton)	-0,09*	-0,31**	-0,16*	-0,17**	-0,16**	-0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,09*	-0,02 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,08°	0,16**	0,003 ^{ns}	-0,24**	-0,13*	-0,19**	-0,18 ^{ns}	-0,11*	-0,15**

⁽¹⁾ PDs = Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem)/ soja; PDg = Plantio Direto milho /milho/ milho/ soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ Classe 1= 4,00–2,00; Classe 2 = 2,00–0,25 e Classe 3 = 0,25–

0,105 mm de Ø; e ⁽³⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$; $\bar{C}2 = (\overline{PDS} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$;

$\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

Os maiores teores de NT da FAH foram observados no solo sob MN, quando comparado com o solo cultivado. A MN também apresentou elevados teores de NT na FHN, exceto aos microagregados (0,25–0,105 mm de ϕ) da camada de 0–5 cm (Quadro 8). Para a FAH, o maior teor de COT encontrado nos microagregados (< 0,25 mm de ϕ) sob solo cultivado (Quadro 7), aliado aos baixos teores de NT (Quadro 8), na camada de 0–5 cm, acarretaram elevação da relação C/N nessa classe quando comparada com a MN (Quadro 9). Essa elevada relação C/N pode estar contribuindo para a manutenção do material orgânico dentro desses microagregados e, conseqüentemente conservação da matéria orgânica na camada superficial.

Para o efeito silagem (contraste C4) houve um aumento do NT da FAH: na classe de 4,00–2,00 mm de ϕ na camada de 0–5 cm; na classe de 4,00–2,00 e 2,00–0,25 mm de ϕ na camada de 5–10 cm; e em todas as classes de agregados da camada de 10–20 cm. Esse comportamento pode ser indicativo da dinâmica do NT dentro de cada classe de agregados. À medida que se aprofunda no perfil, os teores de NT da FAH nos agregados deste contraste tenderam a aumentar em função da diminuição do tamanho dos agregados. A prática de silagem pode estar contribuindo para a diminuição dos teores de NT da FAH nos microagregados nas camadas mais superficiais. A prática de silagem também não foi eficiente em aumentar os teores de NT da FHN, com exceção dos agregados de 4,00–2,00 mm de ϕ na camada de 10–20 cm aonde o efeito silagem (contraste C4) não foi significativo. A relação C/N da FHN foi reduzida com a prática de silagem, com exceção da classe de 4,00–2,00 mm de ϕ na camada de 5–10 cm. A utilização da cultura da soja como sucessão possivelmente influenciou na redução dessa relação.

Observou-se que NT da FHN tendeu a diminuir na medida em que se diminuiu o tamanho das classes de agregados (Quadro 8), sinalizando participação de compostos nitrogenados na formação de agregados. Entre as três frações estudadas, a FHN tendeu a apresentar maiores valores de relação C/N, indicando um maior grau de humificação.

Em comparação ao PD, o SC favoreceu um aumento nos teores de NT da FHN nos microagregados (0,25–0,105 mm de ϕ) da camada superficial (0–5 cm), e, nas camadas subseqüentes esse aumento ocorreu em todas as classes de

agregados. O aumento do NT em profundidade está relacionado à incorporação dos resíduos culturais com o revolvimento do solo. Aliado a este fato, existe a maior restrição à aeração com a profundidade promovida por uma possível compactação, o que compromete a decomposição da matéria orgânica. Para o PD houve uma elevação da relação C/N da FHN para todas as classes de agregados (Quadro 9), caracterizando baixa taxa de decomposição dessa fração sob esse sistema de cultivo.

O PDtf propiciou aumento significativo do NT na FHN apenas na classe de 2,00–0,25 mm de ϕ na camada de 10–20 cm. Para esta mesma fração, os PDs e PDg acarretaram aumentos significativos da relação C/N em comparação ao PDtf (Quadro 9).

4.5. Frações leve (livre e oclusa) e pesada (organomineral)

Visualmente, a fração leve se caracterizou por apresentar raízes semi-decompostas, sementes, pecíolos e algumas carapaças de pequenos artrópodes. As maiores quantidades e diferenças para as frações leves foram verificadas na camada de 0–5 cm (Quadro 10). Os maiores valores da fração leve livre (FL-livre) na MN em relação ao solo cultivado são explicados pelos maiores aportes de resíduos orgânicos. A FL-livre apresentou tendência de redução com a profundidade, o que torna a camada superficial do solo uma importante locação dessa fração.

Como mostrado pelo contraste C3, a gramínea tifton foi eficiente em aumentar em quantidade a FL-livre nas camadas de 5–10 e 10–20 cm, em relação aos demais tratamentos de plantio direto. A FL-livre é muito importante num sistema de manejo agrícola, uma vez que contribui com a ciclagem de nutrientes e formação de macroagregados. A proporção de raízes finas é muito importante para o incremento dessa fração e, embora a gramínea tifton é cultivada para feno, ela possui uma rápida rebrota, tornando-se importante fonte de FL-livre em profundidade. Segundo WENDLING (2003), o uso desta gramínea perene por três anos depois do plantio convencional, nessa mesma área experimental, apresentou-se como alternativa em potencial para a recuperação física de áreas degradadas.

Quadro 9. Relações entre o COT e o NT (relação molar C/N) nas frações humificadas em material de classes de agregados para os diferentes tratamentos com as estimativas dos contrastes médios para cada camada de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	Fração ácidos fúlvicos			Fração ácidos húmicos			Fração huminas		
	Classe 1 ⁽²⁾	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
0–5 cm									
PDs	9,26	9,63	6,00	13,24	12,34	6,68	15,22	15,96	15,98
PDg	6,59	7,46	2,01	4,10	3,31	3,11	22,82	24,65	22,94
PDtf	6,17	7,14	3,63	4,54	16,33	20,08	12,86	11,07	11,36
SC	6,24	5,79	5,35	5,82	4,08	5,16	10,83	9,50	11,31
MN	9,34	7,91	3,28	8,40	7,72	2,36	11,51	12,93	24,45
Contrastes ⁽³⁾									
C1 (Cultivo)	-2,28°	-0,41 ^{ns}	0,97 ^{ns}	-1,48 ^{ns}	1,30 ^{ns}	6,41*	3,92°	2,36 ^{ns}	-9,05**
C2 (Plantio Direto)	1,10 ^{ns}	2,29 ^{ns}	-1,47 ^{ns}	1,47 ^{ns}	6,58*	4,80°	6,13**	7,73**	5,46°
C3 (Tifton)	1,75 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,38 ^{ns}	4,13*	-8,50**	-15,18**	6,16**	9,23**	8,11*
C4 (Silagem)	2,67 ^{ns}	2,17 ^{ns}	3,99*	9,14**	9,03*	3,57 ^{ns}	-7,61**	-8,69**	-6,96*
5–10 cm									
PDs	8,79	10,19	12,26	6,71	6,22	6,50	16,38	14,28	11,49
PDg	7,29	6,99	3,41	4,58	3,61	2,86	23,36	20,51	36,85
PDtf	6,25	6,32	3,23	5,42	10,55	28,51	11,93	12,37	13,29
SC	8,58	15,48	5,64	9,15	4,91	3,96	9,77	11,47	11,60
MN	8,47	7,32	4,75	8,06	8,95	1,58	13,30	13,52	10,57
Contrastes									
C1 (Cultivo)	-0,75 ^{ns}	2,42 ^{ns}	1,38 ^{ns}	-1,59 ^{ns}	-2,63*	8,88 ^{ns}	2,07 ^{ns}	1,14 ^{ns}	7,73**
C2 (Plantio Direto)	-1,14 ^{ns}	-7,64 ^{ns}	0,66 ^{ns}	-3,58°	1,89°	8,66 ^{ns}	7,46**	4,25**	8,94**
C3 (Tifton)	1,79 ^{ns}	2,27 ^{ns}	4,60 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-5,64**	-23,83*	7,94**	5,03**	10,88**
C4 (Silagem)	1,51 ^{ns}	3,20 ^{ns}	8,85*	2,13 ^{ns}	2,61°	3,65 ^{ns}	-6,99**	-6,23**	-25,36**
10–20 cm									
PDs	6,96	6,39	12,37	12,84	6,84	15,84	15,42	16,22	15,63
PDg	5,41	36,85	11,05	3,60	3,04	2,05	24,10	23,85	40,18
PDtf	5,83	3,39	2,65	7,10	11,21	16,94	12,33	11,31	11,57
SC	8,62	5,46	5,25	6,33	7,53	4,35	11,80	10,85	11,37
MN	7,59	7,31	4,72	8,23	6,38	3,69	14,61	14,90	16,41
Contrastes									
C1 (Cultivo)	-0,88 ^{ns}	5,71°	3,11 ^{ns}	-0,76 ^{ns}	0,77 ^{ns}	6,10 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,66 ^{ns}	3,29 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	-2,56°	10,09**	3,44 ^{ns}	1,52 ^{ns}	-0,50 ^{ns}	7,26 ^{ns}	5,48°	6,28**	11,09**
C3 (Tifton)	0,35 ^{ns}	18,23**	9,06*	1,12 ^{ns}	-6,27**	-8,00 ^{ns}	7,44*	8,72**	16,34**
C4 (Silagem)	1,55 ^{ns}	-30,47**	1,32 ^{ns}	9,24**	3,80°	13,79°	-8,68*	-7,62**	-24,55**

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem)/ soja; PDg = Plantio Direto milho /milho/ milho/ soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ Classe 1= 4,00–2,00; Classe 2 = 2,00–0,25 e Classe 3 = 0,25–0,105 mm de Ø; e

⁽³⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$; $\bar{C}2 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$;

$\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

O efeito Tifton (contraste C3) contribuiu para um aumento da fração leve oclusa (FL-oclusa) na camada de 5–10 cm (Quadro 10) e, essa fração apresentou alta relação C/N, provavelmente herança dos resíduos vegetais da gramínea tifton que também possui uma elevada relação C/N. Essa característica é importante para garantir a manutenção do C no solo, devido ao maior tempo de ciclagem. O efeito tifton foi o único contraste que diferiu estatisticamente para relação C/N com um aumento para FL-livre e FL-oclusa nas camadas de 0–5 e 5–10, respectivamente.

O sistema PD acarretou aumento de 10% na FL-oclusa na camada de 0–5 cm quando comparado com o SC. Como o PD estava implantado a apenas 4 anos é de se esperar que esse aumento gradativamente se torne mais expressivo no decorrer dos anos, podendo acarretar num expressivo aumento do estoque de C no solo.

Quadro 10. Quantidades de Frações Leve (Livre e Oclusa) e as estimativas dos contrastes médios a diferentes camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	Fração leve					
	Livre	Oclusa	Livre	Oclusa	Livre	Oclusa
	0–5 cm		5–10 cm		10–20 cm	
	g kg ⁻¹					
PDs	4,92	1,07	1,79	0,43	1,54	0,72
PDg	3,69	0,36	1,58	0,46	1,33	0,39
PDtf	3,70	0,63	3,26	0,92	3,38	0,55
SC	4,86	0,62	2,95	0,56	2,16	0,49
MN	37,64	1,17	6,85	0,94	3,76	0,47
Contrastes ⁽²⁾						
C1 (Cultivo)	-33,35 ^{**}	-0,50 ^{**}	-4,45 ^{**}	-0,35 ^{**}	-1,65 ^{**}	0,07 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	-3,86 ^{ns}	0,07 [*]	-0,75 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}
C3 (Tifton)	0,61 ^{ns}	0,09 [*]	-1,57 [*]	-0,43 ^{**}	-1,94 ^{**}	0,003 ^{ns}
C4 (Silagem)	0,71 ^{ns}	0,71 ^{**}	0,21 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,32 [*]

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem) / soja; PDg = Plantio Direto milho/milho/milho/soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$;

$\bar{C}2 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$; $\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

4.6. Teores de carbono e nitrogênio das frações leve e pesada

Cabe ressaltar que para a extração da fração leve, as amostras foram intensamente manipuladas com NaI ($1,8 \text{ g dm}^{-3}$), sendo posteriormente dispersas para extração da fração pesada (areia, silte e argila). Foi utilizado para a determinação do COT o processo de dicromatometria com aquecimento externo e para NT o método de Kjeldahl. Quando da realização dessas determinações verificou-se a necessidade de aprimoramento de metodologias associadas à extração da fração pesada e a subsequente determinação dos teores de C e N, por vias comumente utilizadas nos laboratórios, uma vez que essa fração é de extrema importância para os estudos de estoques de C e N no solo. O que se recomenda em primeira instância para tal aprimoramento é a possível interferência do elemento I (iodo) na determinação do C, uma vez que o mesmo pode apresentar valências elevadas com diferentes números de oxidação (I^{+3} , I^{+5} e I^{+7}) sendo, portanto propício a ser oxidado pelo dicromato de potássio. Para esse estudo não foi possível avaliar a eficiência do método de determinação do COT e NT, pelas vias supra citadas, nas amostras submetidas a tratamento com iodeto.

Foram observados menores valores de C (Quadro 11) seguidos por aumento no teor de N (Quadro 12) para a FL-livre na camada superficial (0–5 cm), conseqüentemente a relação C/N apresentada no Quadro 10 mostrou-se menor. Esse resultado reflete maior labilidade da FL-livre, permitindo assim maior reciclagem do material orgânico nos primeiros 5 cm do solo.

O cultivo do solo (contraste C1) reduziu os teores de C e N da FL-livre para todas as camadas do solo, sendo essa redução mais expressiva na camada superficial. Nessa camada, a redução da FL-livre com o cultivo foi de 91%, enquanto que o COT sofreu redução de 47%, o que mostra maior sensibilidade da FL-livre às alterações no uso e manejo do solo quando comparada com o COT. Esses resultados estão de acordo com CAMBARDELLA & ELLIOT (1992) e SIX et al. (2000), os quais concluíram que essa fração mostrou-se sensível aos efeitos do cultivo do solo, uma vez que as mesmas apresentam rápida mineralização do C devido à natureza lábil de seus constituintes e a menor de proteção física por meio dos agregados.

Quadro 11. Carbono orgânico das frações leve (< 1,8 g cm⁻³) e pesada (> 1,8 g cm⁻³) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	Frão leve		Fração pesada		
	Livre	Oclusa	Argila	Silte + argila	Areia
g kg ⁻¹					
0–5 cm					
PDs	1,12	0,24	27,30	23,88	1,02
PDg	0,74	0,06	26,32	21,95	1,05
PDtf	0,73	0,11	23,53	21,75	0,67
SC	1,25	0,12	34,55	28,91	0,76
MN	10,78	0,37	23,41	28,25	5,56
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	-9,82**	-0,24**	4,51°	-4,13**	-4,69**
C2 (Plantio Direto)	-0,38 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-8,84**	-6,39**	0,15 ^{ns}
C3 (Tifton)	0,20 ^{ns}	0,043 ^{ns}	3,28 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,36 ^{ns}
C4 (Silagem)	0,38 ^{ns}	0,17**	0,97 ^{ns}	1,93 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
5–10 cm					
PDs	3,53	0,85	27,84	26,28	0,405
PDg	3,85	0,90	26,25	21,48	0,402
PDtf	6,38	1,85	22,85	22,60	0,60
SC	7,48	1,00	33,76	26,39	0,66
MN	19,43	2,50	25,96	27,01	1,73
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	-1,41**	-0,13**	1,72 ^{ns}	-2,82 ^{ns}	-1,21**
C2 (Plantio Direto)	-0,29 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-8,10**	-2,93 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,27 ^{ns}	-0,10**	4,16*	1,28 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,03 ^{ns}	-0,005 ^{ns}	1,59 ^{ns}	4,79°	0,003 ^{ns}
10–20 cm					
PDs	3,35	1,18	30,68	21,02	0,28
PDg	3,17	0,57	24,68	22,58	0,44
PDtf	6,58	0,83	26,56	24,04	0,55
SC	5,28	0,76	40,67	25,53	0,48
MN	10,00	1,00	23,79	26,64	0,78
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	-0,54**	-0,02 ^{ns}	6,89**	-3,35°	-0,34*
C2 (Plantio Direto)	-0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-13,37**	-2,98 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,33**	0,005 ^{ns}	1,12 ^{ns}	-2,23 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
C4 (Silagem)	0,02 ^{ns}	0,06*	6,00**	-1,56 ^{ns}	-0,16 ^{ns}

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem) / soja; PDg = Plantio Direto milho/milho/milho/soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$;

$\bar{C}2 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$; $\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

Quadro 12. Nitrogênio total (NT) das frações leve (< 1,8 g cm⁻³) e pesada (> 1,8 g cm⁻³) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	Frão leve		Fração pesada		
	Livre	Oclusa	Argila	Silte + argila	Areia
g kg ⁻¹					
0–5 cm					
PDs	0,072	0,015	1,56	3,17	0,99
PDg	0,042	0,004	1,12	3,12	0,78
PDtf	0,031	0,004	1,04	3,37	0,61
SC	0,067	0,005	1,33	3,90	0,51
MN	0,561	0,018	1,31	6,35	3,93
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	-0,508**	-0,0110*	-0,05 ^{ns}	-2,96**	-3,21**
C2 (Plantio Direto)	-0,019 ^{ns}	-0,0023 ^{ns}	-0,10*	-0,68 ^{ns}	0,28 ^{ns}
C3 (Tifton)	0,026 ^{ns}	0,0050*	0,30**	-0,22 ^{ns}	0,28 ^{ns}
C4 (Silagem)	0,030 ^{ns}	0,0110**	0,44**	0,05 ^{ns}	0,21 ^{ns}
5–10 cm					
PDs	0,015	0,0043	1,41	2,68	0,39
PDg	0,017	0,0042	1,05	2,83	0,40
PDtf	0,023	0,0051	1,28	3,32	0,45
SC	0,036	0,0039	1,04	3,50	0,47
MN	0,087	0,0100	1,41	6,02	1,31
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	-0,064**	-0,0060**	-0,22 ^{ns}	-2,94**	-0,88**
C2 (Plantio Direto)	-0,017*	0,0010 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,055 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,007 ^{ns}	-0,0020 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,56 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,002 ^{ns}	0,0010 ^{ns}	0,36°	-0,14 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
10–20 cm					
PDs	0,015	0,005	1,34	2,61	0,35
PDg	0,012	0,003	1,08	2,52	0,36
PDtf	0,024	0,003	0,94	3,40	0,40
SC	0,022	0,003	1,25	3,27	0,37
MN	0,046	0,004	1,43	5,07	0,76
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	-0,028**	-0,0005 ^{ns}	-0,28°	-2,12**	-0,39**
C2 (Plantio Direto)	-0,005 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,003 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,010*	0,0007 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,83°	-0,04 ^{ns}
C4 (Silagem)	0,003 ^{ns}	0,0021 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,003 ^{ns}

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem) / soja; PDg = Plantio Direto milho/milho/milho/soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$;

$\bar{C}2 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$; $\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

A prática de silagem promoveu um incremento dos teores de C e N da FL-oclusa na camada de 0–5 cm (Quadros 11 e 12). Possivelmente o aumento no teor de N dessa fração seja em função da presença da soja como cultura sucessora (Quadro 3). Esse fato pode ter contribuído também para a estimativa positiva do contraste de efeito tifton (contraste C3), nessa camada, quanto ao teor de N da FL-oclusa (Quadro 12).

Na fração argila foram observados maiores teores de COT (Quadro 11), sendo que associação do COT diminuiu com o aumento da partícula mineral. O maior número de cargas presentes na fração argila confere ao C maior proteção coloidal. MENDONÇA & ROWELL (1996) trabalhando com Latossolos Vermelho Amarelos, encontraram maiores conteúdos de C e de substâncias húmicas em amostras de textura argilosa do que nas de textura grosseira.

Os tratamentos PDs, PDg e PDtf, pouco influenciaram os teores de COT da fração argila na camada de 0–5 cm (Quadro 11), indicando que os 4 anos de manejo com plantio direto pouco influenciaram este compartimento passivo (recalcitrante). Todavia, para o NT, obteve-se diferenças significativas com os manejos. Os tratamentos PDs e PDg tiveram aumentos do NT quando comparados ao PDtf (Quadro 12), sendo que o PDs obteve maiores valores que o PDg (contraste C4). Os resíduos provenientes da soja no tratamento PDs podem ter favorecido o maior teor de NT das camadas de 0–5 e 5–10 cm (Quadro 12).

A substituição da MN pelos cultivos agrícolas favoreceu a degradação do C e N associado à fração areia (Quadros 11 e 12), possivelmente devido a esse material orgânico ser mais fracamente protegido por essa fração textural (FELLER & BEARE (1997); MENDONÇA & ROWELL (1996) e CHRISTENSEN (1992)).

A fração silte + argila tendeu a apresentar maiores teores de NT quando comparada às demais (Quadro 12). Pelo fato do NT da fração argila não ser tão expressivo, o NT de silte + argila possivelmente está mais associado à fração silte. O cultivo do solo (contraste C1) ocasionou queda no teor de NT dessa fração em todas as camadas (Quadro 12).

Os maiores valores de relação C/N apresentados pela fração argila (Quadro 13), indicam presença de material orgânico mais resistente à decomposição associado a essa fração. Observou-se também que a relação C/N diminuiu com o aumento da partícula mineral (Quadro 13). Diminuições na relação C/N com a redução do tamanho da partícula mineral foram observadas por FREIXO et al. (2002a), FELLER & BEARE (1997) e CHRISTENSEN (1992).

Quadro 13. Relações molares entre carbono e nitrogênio totais (C/N) da fração leve (< 1,8 g cm⁻³) e pesada (> 1,8 g cm⁻³) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	Frão leve		Fração pesada		
	Livre	Oclusa	Argila	Silte + argila	Areia
0–5 cm					
PDs	18,10	18,73	21,24	8,84	1,20
PDg	21,03	21,05	27,40	8,30	1,53
PDtf	27,87	31,35	26,93	7,67	1,27
SC	21,84	34,60	30,30	8,74	1,79
MN	23,47	25,40	20,95	5,54	1,71
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	-1,08 ^{ns}	1,03 ^{ns}	5,51 ^o	2,85 ^{**}	-0,26 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	0,42 ^{ns}	-10,89 ^{ns}	-5,11 ^o	-0,47 ^{ns}	-0,46 [*]
C3 (Tifton)	-7,12 ^{**}	-11,46 ^{ns}	-2,61 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,09 ^{ns}
C4 (Silagem)	-2,51 ^{ns}	-2,31 ^{ns}	-6,17 ^{ns}	0,54 ^{ns}	-0,33 ^{ns}
5–10 cm					
PDs	28,21	22,90	23,15	11,52	1,12
PDg	26,91	24,56	31,05	9,24	1,16
PDtf	31,03	53,55	21,40	8,08	1,58
SC	24,89	30,19	40,40	8,89	1,59
MN	26,85	30,58	21,76	5,29	1,55
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	0,91 ^{ns}	2,22 ^{ns}	7,24 ^{ns}	4,15 ^{**}	-0,19 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	3,82 ^{ns}	3,48 ^{ns}	-15,20 ^{**}	0,73 ^{ns}	-0,31 ^{ns}
C3 (Tifton)	-3,47 ^{ns}	-29,82 [*]	5,70 ^{ns}	2,30 [*]	-0,43 ^{ns}
C4 (Silagem)	1,30 ^{ns}	-1,66 ^{ns}	-7,89 ^{ns}	2,28 ^o	-0,04 ^{ns}
10–20 cm					
PDs	27,07	33,83	26,80	9,45	0,82
PDg	29,92	25,60	27,97	11,30	1,49
PDtf	32,96	32,20	46,41	8,64	1,68
SC	27,02	29,97	38,54	9,23	1,52
MN	25,96	29,07	19,96	6,37	1,20
Contrastes ⁽²⁾					
C1 (Cultivo)	3,28 ^{ns}	1,33 ^{ns}	14,97 ^{ns}	3,28 [*]	0,18 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	2,96 ^{ns}	0,58 ^{ns}	-4,81 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,20 ^{ns}
C3 (Tifton)	-4,46 ^{ns}	-2,49 ^{ns}	-19,03 ^o	1,73 ^{ns}	-0,53 ^o
C4 (Silagem)	-2,85 ^{ns}	8,22 ^{ns}	-1,16 ^{ns}	-1,86 ^{ns}	-0,67 ^o

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem) / soja; PDg = Plantio Direto milho/milho/milho/soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$; $\bar{C}2 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$; $\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ns significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

A Figura 2 mostra a distribuição dos teores de C e N nas amostras de solo. No geral observou-se que os teores de C e N da fração leve (FL) apresentaram maior contribuição nos primeiros 5 cm de profundidade em relação à fração pesada (FP). O solo sob mata tendeu a apresentar maior concentração da FL, em relação aos demais tratamentos, em superfície (0–5 cm). À medida que se aprofundou no perfil percebeu-se uma maior contribuição da FP tanto para C e N, indicando participação efetiva da fração mineral do solo na manutenção dos teores desses elementos. Segundo HASSINK & WHITMORE (1997), as frações pesadas são mais preservadas nos agroecossistemas devido à sua maior estabilidade. Nas camadas de 5–10 e 10–20 cm, os teores de C e N da FP apresentaram distribuição mais uniforme, havendo pouca alteração com a profundidade. Quando se estuda o estoque de C e/ou N é fundamental considerar a FL em superfície, assim como a FP em profundidade.

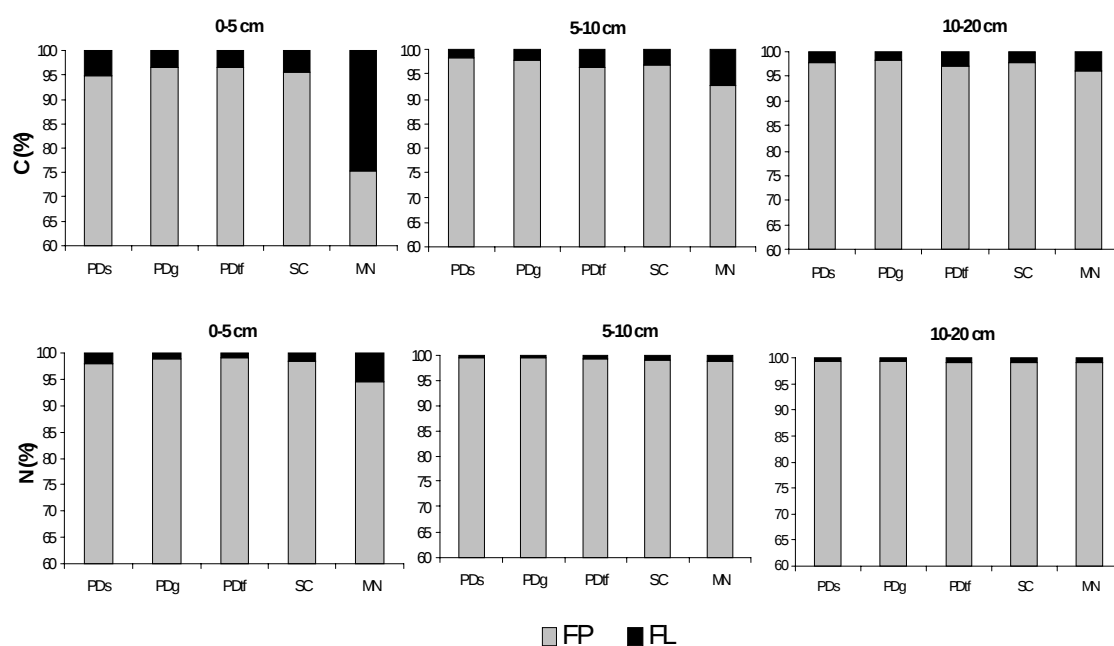


Figura 2. Distribuição dos teores de C e N nas frações leve (FL) e pesada (FP) em amostras de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo.

4.6.1. Relação C/H das frações leve

As relações C/H são indicativas do grau de aromaticidade do material orgânico (Quadro 14) Quanto maior a relação C/H maior é o indicativo de aromaticidade do material orgânico. Houve tendência das FL-livre e FL-oclusa apresentarem valores semelhantes, indicando pouca diferença no caráter aromático das mesmas. A MN quando comparada com o solo cultivado apresentou maior grau de aromaticidade na camada superficial do solo em ambas frações. Essa característica mais aromática da MN pode estar relacionada à variabilidade de unidades aromáticas disponíveis providas não somente da vegetação da MN, mas também dos macro e microorganismos. Nos sistemas manejados com plantio direto a liberação de compostos alifáticos está sendo comandada pelos tratamentos PDs e PDg, enquanto que os resíduos provindos do PDtf são de características mais aromáticas. A maior aromaticidade está associada a uma maior recalcitrância química do material orgânico à decomposição microbiana.

Quadro 14. Relações molares entre os teores de carbono e hidrogênio totais (C/H) nas frações leve ($< 1,8 \text{ g cm}^{-3}$) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	Fração leve					
	Livre	Oclusa	Livre	Oclusa	Livre	Oclusa
	0–5 cm		5–10 cm		10–20 cm	
	g kg ⁻¹					
PDs	0,60	0,61	0,70	0,65	0,72	0,73
PDg	0,63	0,64	0,75	0,69	0,80	0,72
PDtf	0,66	0,64	0,67	0,68	0,67	0,65
SC	0,66	0,70	0,73	0,77	0,74	0,73
MN	0,78	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77
Contrastes ⁽²⁾						
C1 (Cultivo)	-0,14**	-0,15**	-0,08 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
C2 (Plantio Direto)	-0,03 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,09°	-0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
C3 (Tifton)	-0,05 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,09°	0,07 ^{ns}
C4 (Silagem)	-0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem) / soja; PDg = Plantio Direto milho/milho/milho/soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional

4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa; ⁽²⁾ $\bar{C}1 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} + \overline{SC} - 4\overline{MN})$;

$\bar{C}2 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} + \overline{PDtf} - 3\overline{SC})$; $\bar{C}3 = (\overline{PDs} + \overline{PDg} - 2\overline{PDtf})$; $\bar{C}4 = (\overline{PDs} - \overline{PDg})$; °, *, ** e ^{ns} significativos a 10, 5 e 1% e não significativo pelo teste “F”, respectivamente.

4.7. Características espectroscópicas na região do IV-TF das frações leve

Os espectros obtidos da análise de infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF) foram avaliados no sentido da identificação de grupamentos funcionais da fração leve da MOS. O Quadro 15 apresenta as principais e, possíveis atribuições das bandas de absorção observadas nos espectros das amostras de trabalho.

Quadro 15. Grupos funcionais encontrados nos espectros de FL-livre e FL-oclusa e suas possíveis atribuições

Nº de ondas (cm ⁻¹)	Possíveis Grupos Funcionais
3.690–3.619	Estiramentos O–H livre; mineral OH ^(1,2)
3.400–3.300	Estiramentos O-H e N-H inter e intra-molecular ^(1,2) ; N-H de amida, e O-H de fenol ⁽³⁾
2.929	Estiramentos C-H em grupo CH ₃ alifático; CH ₂ assimétrico ^(1,2,3)
2.854	Estiramento CH ₂ simétrico ⁽¹⁾
1.660–1.630	Estiramentos C = O de amida, C=O de quinona e/ou C=O ligados ao H de cetonas conjugadas ^(1,2) ; C = C de aromáticos ⁽³⁾
1.558–1.540	Deformação N-H e estiramento C=N ^(1,3)
1.507	Anel aromático; amida ^(1,3)
1.456	Estiramentos CH ₃ assimétricos, CH ^(1,2)
1.374	COO ⁻ estiramento simétrico CH ₃
1.260–1.240	C, COOH, COC, OH de fenol ^(1,2,3) , estiramentos =C-O-C e estiramentos OH-livre ⁽¹⁾
1.190–1.127	OH alifático, alcoólico ^(1,2,3)
1.037–1.031	Estiramentos C-O de álcool primário em polissacarídeos (α -ramificado), éter aromático, Si-O (impurezas inorgânicas) ^(1,2,3)
918–912	OH, COOH, estiramentos C-H de aromáticos, Al-OH ^(1,2)
779	CH-aromático ou fora do plano, pico mineral ^(1,2)
750	Pico de mineral ⁽³⁾
539–467	Estiramentos C-H de aromáticos ⁽¹⁾

⁽¹⁾ STEVENSON (1994); ⁽²⁾ TAN, (1996); ⁽³⁾ INBAR et al., 1989.

Os espectros da FL-livre dos solos cultivados apresentaram feições semelhantes, sendo que a MN diferenciou-se dos mesmos, provavelmente, devido à natureza dos resíduos presentes nesses diferentes sistemas de uso do solo.

As Figuras 3 e 4 apresentam os espectros obtidos para cada tratamento nas diferentes profundidades. A região de absorção de $3.700\text{--}3.000\text{ cm}^{-1}$ corresponde às vibrações de estiramento dos grupamentos --OH e --NH (STEVENSON, 1994; TAN, 1996). A FL-livre apresentou bandas de absorção mais nítidas nessa região quando comparada à FL-oclusa, indicando a presença de funções nitrogenadas. A presença de funções nitrogenadas na FL-livre confirma os resultados obtidos no Quadro 12, onde os maiores teores de NT tendem a ser da FL-livre quando comparada à FL-oclusa. Os espectros das FL-livre do SC apresentaram bandas mais nítidas e intensas na região de 3.440 cm^{-1} (estiramentos --OH) quando comparados aos da MN, caracterizando uma configuração mais rígida das ligações O-H. No geral, os espectros da FL-oclusa apresentaram bandas de absorção na região 3.440 cm^{-1} forte e alargada quando comparados com a FL-livre, o que pode estar indicando vibrações em vários níveis energéticos de grupamentos --OH em pontes de hidrogênio inter e intra-moleculares. As variações observadas entre as frações podendo ser resultante das diferenças na natureza das ligações químicas em função do ambiente, seguidos pelo processo de humificação. A FL-livre e FL-oclusa apresentaram feições semelhantes entre as diferentes camadas, sendo que para PDtf e MN, a camada de 10–20 cm apresentou sobreposição de bandas nessa região. Os espectros de FL-livre do PDs apresentaram bandas de absorção N-H (3.646 cm^{-1}) estreitas e com maior energia de vibração, quando comparados aos da FL-oclusa. Nesse sistema de PDs os resíduos provenientes da rotação com soja podem ter contribuído com o aporte de nitrogênio por meio dessa fração, onde se observa uma perda das funções nitrogenadas com o processo de humificação.

A presença de estiramentos assimétricos C-H de cadeias alifáticas (--CH_2 , --CH_3) corresponde à região de absorção de $3.000\text{ a }2.000\text{ cm}^{-1}$ (STEVENSON, 1994; WANDER & TRAINA, 1996). Essa região espectral, que caracteriza os compostos orgânicos alquílicos, pode ser utilizada como indicadora de transformações ocorridas na MOS decorrentes do processo de humificação nos distintos sistemas de preparo do solo. Para a MN, essa região apresentou diferenciação entre as frações e camadas. Para os demais tratamentos a FL-oclusa apresentou bandas de absorção menos intensa e alargada, sendo geralmente pouco

definida para a camada de 10–20 cm. Essa característica aponta um material orgânico de caráter mais alifático nas camadas superficiais. Quando comparada à FI-oclusa, a FI-livre apresentou bandas de absorção mais definidas, principalmente nos primeiros 5 cm de profundidade.

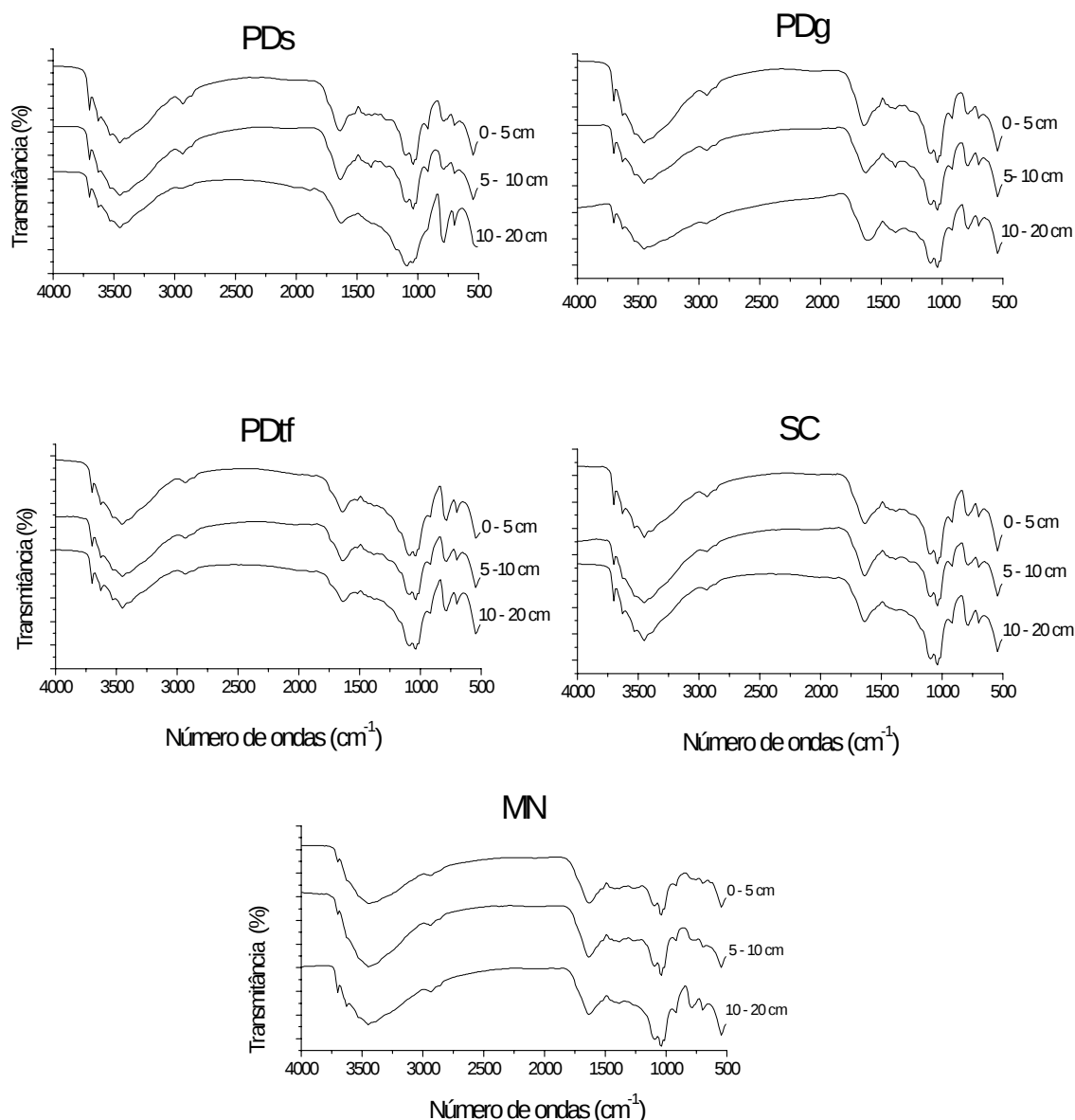


Figura 3. Espectros de infravermelho da fração leve livre de um Latossolo Vermelho. PDs = Plantio Direto milho (silagem)/soja/milho(silagem)/soja; PDg = Plantio Direto milho/milho/milho/soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno)/soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa.

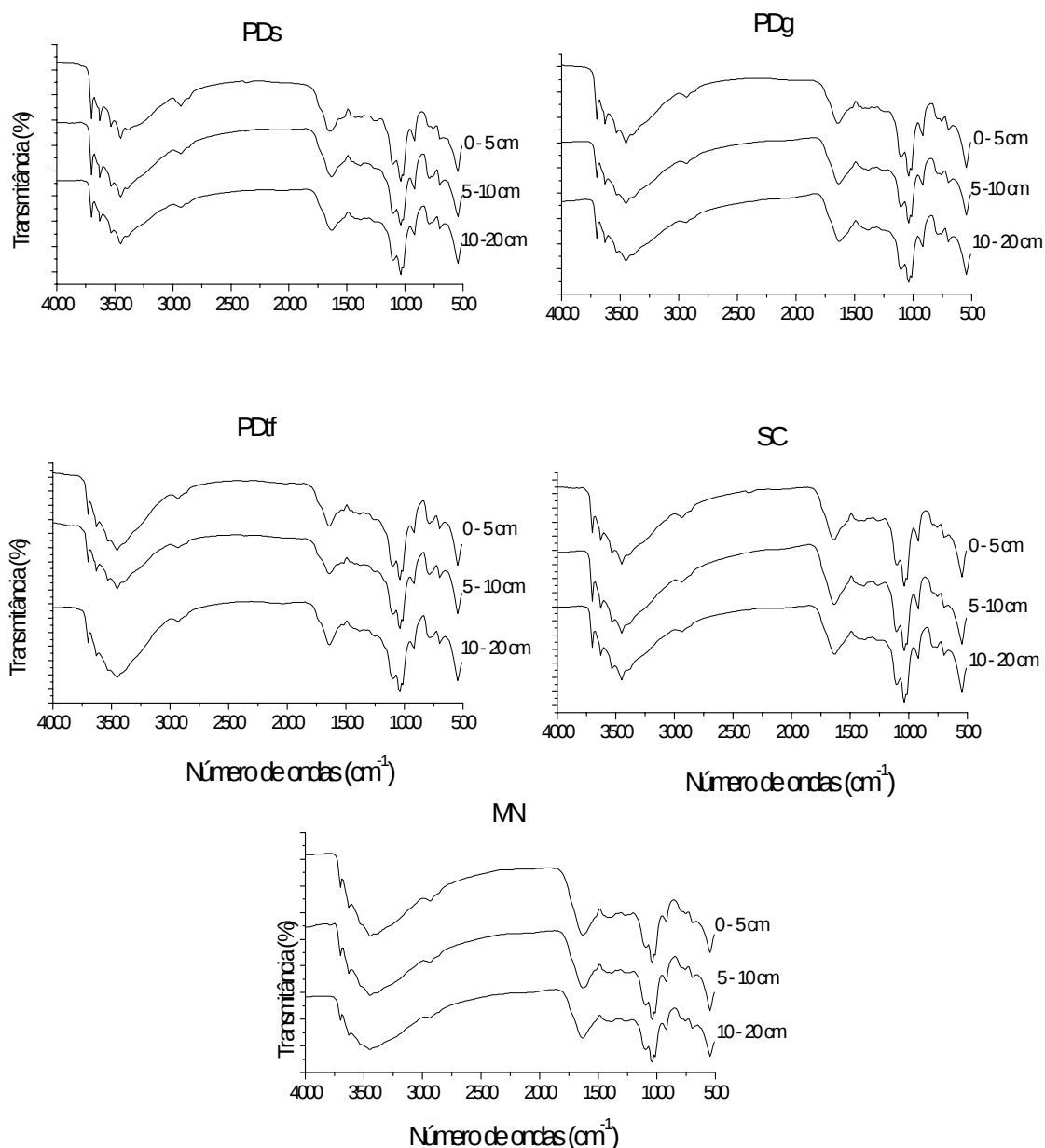


Figura 4. Espectros de infravermelho da fração leve oclusa de um Latossolo Vermelho. PDs = Plantio Direto milho (silagem)/soja/milho(silagem)/soja; PDg = Plantio Direto milho/milho/milho/soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno)/soja; SC=Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa.

A região de absorção de 2.000 a 1.300 cm^{-1} , corresponde as vibrações C = C de aromáticos e C = O carboxilatos, quinonas e/ou cetonas conjugadas (STEVENSON, 1994; WANDER & TRAINA, 1996). As FL-livres dos tratamentos apresentaram bandas pouco pronunciadas nessa região, o qual é uma característica

inerente às frações lábeis. O SC apresentou um maior número de bandas na região de 1.635 a 1.456 cm^{-1} , sendo que para a FL-livre a camada de 0–5 cm apresentou mais bandas de absorção que as demais, mostrando ser de característica mais aromática e condensada. No entanto para PDtf, a camada de 10–20 cm, apresentou espectros da FL-livre com absorção mais intensa e nítida na região de 1.630 cm^{-1} , indicando caráter mais humificado. Para PDs também foram observadas bandas de absorção mais pronunciadas na região de 1.630 cm^{-1} , para as camadas de 5–10 e 10–20 cm da FL-livre. No geral, a FL-oclusa apresentou feições mais nítidas e intensas na região de 2.000 a 1.300 cm^{-1} quando comparadas a FL-livre.

Absorções na região de 1.300 a 1.000 cm^{-1} são atribuídas aos estiramentos C-O de éster e O-H alcoólico de polissacarídeos. Foram observadas diferenças entre as FL-livre e FL-oclusa para todos os tratamentos e profundidades. A FL-livre apresentou bandas de absorção de maior intensidade, principalmente nas camadas superficiais, o que pode ser atribuído à presença de polissacarídeos. Resultados semelhantes foram encontrados por FREIXO et al. (2002b); segundo esses autores o processo de agregação do solo e o envolvimento da FL-oclusa pelas partículas minerais do solo podem estar promovendo alterações estruturais nesta fração. Entre os tratamentos não foram visualizadas diferenças pronunciadas nas feições dos espectros.

A região de 1.000–650 cm^{-1} é descrita como sendo a região de estiramentos C-H de grupamentos aromáticos. Nessa região não foram observadas diferenças nas feições dos espectros entre a FL-livre e FL-oclusa. Contudo a FL-oclusa do SC apresentou absorções mais pronunciadas nessa região. As feições dos espectros da FL-livre apresentadas pelo SC, também foram mais nítidas do que os demais tratamentos, indicando que as frações obtidas no SC sofreram alterações em sua natureza química. No geral, as camadas superficiais apresentaram bandas menos intensas em relação às camadas mais profundas.

4.7.1. Índices de hidrofobicidade e condensação

O Quadro 16 traz os valores obtidos para os índices de hidrofobicidade (IH) e de condensação (IC). Esses índices foram obtidos a partir de relações obtidas entre as bandas de absorção correspondentes a alifáticos (2.929 cm^{-1}), grupamentos conjugados (1.633 cm^{-1}) e polissacarídeos (1.035 cm^{-1}). Quanto maior o IH de uma

fração, maior será a sua recalcitrância e; quanto maior o IC maior será o grau de humificação da fração.

Os valores de índices obtidos para os distintos tratamentos tenderam a ser muito próximos. Contudo, a FL-oclusa tendeu a apresentar valores maiores aos observados para FL-livre, análise essa que permite sugerir que a FL-oclusa seja mais humificada. Segundo LADD et al. (1993) e GOLCHIN et al. (1994) a FL-oclusa durante o processo de agregação e de decomposição da MOS preserva em sua estrutura um material mais recalcitrante, sendo mais difícil de ser decomponível pelos microrganismos do solo. A FL-livre da MN tendeu a apresentar valores maiores, indicando característica mais hidrofóbica do material orgânico adicionado. A maior tendência aromática apresentada pela FL-livre sob MN (Quadro 14) confirmam os resultados de IH para essa fração.

Quadro 16. Índices de hidrofobicidade (IH) e de condensação (IC) para as frações leve (livre e oclusa) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho

Tratamentos ⁽¹⁾	IH		IC	
	FL-livre	FL-oclusa	FL-livre	FL-oclusa
0–5 cm				
PDs	0,37	0,54	1,23	1,36
PDg	0,28	0,36	1,49	1,64
PDtf	0,25	0,24	1,56	1,65
SC	0,35	0,32	1,40	1,44
MN	0,52	0,50	1,50	1,64
5–10 cm				
PDs	0,33	0,41	1,33	1,58
PDg	0,35	0,35	1,53	1,52
PDtf	0,24	0,30	1,37	1,52
SC	0,39	0,38	1,37	1,61
MN	0,49	0,47	1,39	1,58
10–20 cm				
PDs	0,32	0,21	1,38	1,83
PDg	0,35	0,38	1,44	1,57
PDtf	0,27	0,22	1,49	1,52
SC	0,33	0,29	1,39	1,53
MN	0,48	0,39	1,53	1,45

⁽¹⁾ PDs= Plantio Direto milho (silagem) /soja/ milho (silagem) / soja; PDg = Plantio Direto milho/milho/milho/soja; PDtf = Plantio Direto 3 anos com tifton (feno) / soja; SC = Sistema Convencional 4 anos seguidos com soja; MN = Mata Nativa.

5. CONCLUSÕES

O comportamento das substâncias húmicas variou com a classe de agregados e foi alterado pelo manejo do solo, sendo que os agregados maiores apresentaram maiores teores de C e N.

Os teores de C e N do sistema plantio direto não superaram aqueles da área com revolvimento do solo.

A fração leve livre mostrou-se sensível ao cultivo do solo, podendo ser considerada um indicador da degradação do mesmo.

Não foram observadas alterações na estrutura química da fração leve livre sob os diferentes usos e manejos do solo.

A fração leve oclusa apresentou-se mais recalcitrante e condensada que a fração leve livre.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, J.M.; FLANAGAN, P.W. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project. p.97-123, 1989.
- BARRIOS, E.; BURESH, R.J.; SPRENT, J.I. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, p.185-193, 1996.
- BESNARD, E.; CHENU, C.; BALESSENT, J.; PUGET, P.; ARROUAYS, D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. **European Journal of Soil Science**, v.47, n.4, p.495-503, 1996.
- BENDFELDT, E.S. **Dynamics and Characterization of soil organic matter on mine soils 16 years after amendment with topsoil, Sawdust, and Sewage sludge**. Thesis. Blacksburg, Virginia, 1999.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis. p.117-137, 1999.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.3, p.777-783, 1992.

- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos e preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3, p.527-538, 1998.
- CARVALHO JÚNIOR, I.A. **Influência da mineralogia e da matéria orgânica na agregação, cor e radiometria de solos altamente intemperizados do estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 197p. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- CERETTA, C.A.; BAYER, C.; DICK, D.P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis. p.117-137, 1999.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Sciences**, New York, v.20, p.1-90, 1992.
- COELHO, R.M. **Influência da vinhaça, da fertilidade mineal e do cultivo em características químicas da matéria orgânica e da fração mineral de um Latossolo Vermelho-Escuro**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 84p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- CONTEH, A. & BLAIR, G.J. The distribution and relative losses of soil organic carbon fractions in aggregate size fractions from cracking clay soils (Vertisols) under cotton production. **Australian Journal of Soil Research**, 36:257-271, 1998.
- CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 508p. 1999.
- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density functions. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.24, p.301-309, 1984.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project. p.33-67, 1989.
- FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C.; MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, v.79, p.49-67, 1997.

- FELBECK, G.T. Structural chemistry of soil humic substances. **Advanced Agronomy**, 17:327-368, 1965.
- FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, 79:69-116, 1997.
- FORTUN, A.; BENAYAS, J.; FORTUN, C. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: a micromorphological study. **Journal of Soil Science**, 41:563-572, 1990.
- FREIXO, A.A.; CANELLAS, L.P.; MACHADO, P.L.O.A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.445-453, 2002a.
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.425-434, 2002b.
- FUNARBE. SAEG – Sistema para análise estatística v.5.0. Viçosa-MG, 1993.
- GAVINELLI, E.; FELLER, C.; LARRÉ-LARROUY, M.C. & BACYE, B. A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 26:1749-1760, 1995.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.32, p.1043-1068, 1994.
- GREGORICH, E.G.; ELLERT, R.H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: CARTER, M.R. (Ed.). **Soil sampling and methods of analysis**. Canadian Society of Soil Science, Boca Raton, Lewis Publ., p.397-407, 1993.
- GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis. p.267-291, 1999.
- HASSINK, J.; WHITMORE, A.P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.61, p.131-139, 1997.
- HATCHER, P.G.; BREGER, I.A.; MACIEL, G.E.; SZEVEVERENYI, N.M. Geochemistry of humin. In: AIKEN, R.L.; HATCHER, P.G. (Eds.). **Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization**. New York: John Wiley. p.275-302, 1985.

- INBAR, Y.; CHEN, Y.; HADAR, Y. Solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter. **Soil Science Society American Journal**. 56:135-140, 1986.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. **Soil & Tillage Research**, v.47, p.181-195, 1998.
- KARLSSON, S.; KAKANSSON, K.; ALLARD, B. Simultaneous dissolution of organic acids in sequential leaching of sediment bound trace metals. **Journal Environment Science**, A22:549-562, 1987.
- LAZERTE, B.; FINDEIS, J. Acidic leaching of podzol B_f horizon from the Precambrian shield, Ontario, Canada. **Canadian Journal Soil Science**, v.74. n.3, p.321-333, 1994.
- LADD, J.N.; FOSTER, R.C.; SKJEMSTAD, J.O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. **Geoderma**, v.56, p.401-434, 1993.
- LONGO, J.V. **Fracionamento e caracterização de substâncias húmicas em materiais de solo**. Viçosa, MG: UFV, 1982. 66p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2.ed. Academic Press, NewYork, 1995.
- MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica e características químicas de agregados de um latossolo vermelho-amarelo sob mata natural, seringueira e pastagem**. Viçosa, MG, 1988. 78p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D.L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.60, p.188-192, 1996.
- MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant Soil**, 181:83-93, 1996.
- NASCIMENTO, V.M.; ALMENDROS, G.; FERNANDES, F.M. Soil húmus characteristics in virgin and cleared areas of the Parana river basin in Brazil. **Geoderma**, v.54, n.1/4, p.137-150, 1992.
- OADES, J.M. An introduction to organic matter in mineral soils. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Eds.). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: **Soil Science Society of America**. p.89-160, 1989.

- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v.76, n.1/3, p.319-337, 1984.
- PUGET, P.; CHENU, C.; BALESDENT, J. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. **European Journal of Soil Science**. 46: 449-459, 1995.
- ROSA, M.E.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M.; CORREIA, J.R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférrico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.911-923, 2003.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudo da matéria orgânica. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 88p. Dourados-MS, 2002.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres/POTAFOS. 343p, 1991.
- SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; SZOTT, L.T.; CUEVAS, E.; LAL, R.; FOWNES, J.H.; HENDRIX, P.; IKAWA, H.; JONES, S.; NOORDWIJK, M. van, UEHARA, G. Organic input management in tropical agroecosystems. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project, p.125-152, 1989.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v.32, p.2099-2103, 2000.
- STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2.ed. New York: J. Wiley, 427p. 1999.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry, genesis, composition, reactions**. New York: 2ª ed. John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. p.581-594. (Agronomy Series, 9).
- SCHOLES, M.C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, 79:25-47, 1997
- SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. Chemical model structures for soil organic matter and soils. **Soil Science**, v.162, n.2, p.115-130, 1997.

- SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.; MADARI, B.; GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modelling. **Soil Science Society American Journal**, 65:1121-1128, 2001.
- TAN, K.H. **Soil sampling, preparation, and analysis**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. p.278-298.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHEN, H. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS. 186p. (Boletim Técnico de Solos, 5), 1985.
- THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project. p.5-32, 1989.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; HURT, H.W. Concepts of soil organic matter transformation in relation to organo-mineral particle size fractions. **Plant Soil**, 76:287-285, 1984.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, n.2, p.141-163, 1982.
- van VEEN, J.A.; LADD, J.N.; AMATO, M. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with ¹⁴C(U)glucose and [¹⁵N](NH₄)₂SO₄ under different moisture regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, n.6, p.747-756, 1985.
- VEGA-COREA, E.J. **Avaliação do carbono orgânico do solo sob diferentes condições de manejo**. Viçosa: UFV, 1998. 77p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.
- WANDER, M.M.; TRAINA, S.J. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: II. Characterization of composition. **Soil Science American Journal**, 60:1087-1094, 1996.
- WENDLING, B. **Efeitos do Uso e manejo nas propriedades físicas e no carbono orgânico de um latossolo vermelho no Triângulo Mineiro**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 197p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, n.1/4, p.117-161, 1997.