

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP CÂMPUS DE
JABOTICABAL

**TRANSFORMAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM
LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM ESTERCO
BOVINO**

Daily Soraya Aquino Duarte

Engenheira Agrônoma

1310011365



2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP CÂMPUS DE
JABOTICABAL

**TRANSFORMAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM
LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM ESTERCO
BOVINO**

Daily Soraya Aquino Duarte

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Co-orientador: Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias
e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal,
como parte das exigências para a obtenção do título
de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

2013

631.86(043)=690
CLAS. { D 812t
TOMBO 11365

D812t Duarte, Daily Soraya Aquino
Transformações da matéria orgânica em latossolo vermelho
tratado com esterco bovino / Daily Soraya Aquino Duarte. --
Jaboticabal, 2013
iii, 48 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

Banca examinadora: Wanderley José de Melo, José Carlos
Barbosa, Jose Ricardo Mantovani, Renato Yagi

Bibliografia

1. Carbono orgânico total do solo. 2. Nitrogênio total 3.
Substâncias húmicas. 4. Ácidos húmicos. 5. Ácidos fúlvicos. 6.
Humina. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.86

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação - Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

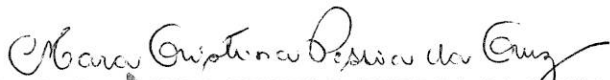
TÍTULO: TRANSFORMAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LATOSSOLO VERMELHO
TRATADO COM ESTERCO BOVINO

AUTORA: DAILY SORAYA AQUINO DUARTE

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:

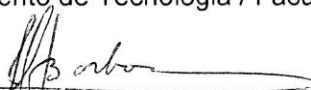


Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

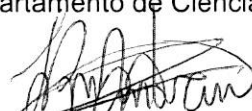
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. WANDERLEY JOSE DE MELO

Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JOSE CARLOS BARBOSA

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JOSÉ RICARDO MANTOVANI

Universidade José do Rosário Vellano / Alfenas/MG


Prof. Dr. RENATO YAGI

Instituto Agrônomo do Paraná / Ponta Grossa/PR

Data da realização: 19 de dezembro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DAILY SORAYA AQUINO DUARTE – nascida em 29 de dezembro de 1980, na cidade Pedro Juan Cabaleiro – Paraguai, graduou-se em Engenharia Agrônômica em abril de 2005 pela Universidade Nacional de Assunção, na Faculdade de Ciências Agrárias, Câmpus de Pedro Juan Cabaleiro. Em março de 2006 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) na Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, período em que foi bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Em março de 2010, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, na faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, período em que foi bolsista do PEC-PG (Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação). Atualmente professora da Universidade Nacional de Assunção, na Faculdade de Ciências Agrárias, Câmpus de Pedro Juan Cabaleiro.

Aos meus amados pais,

Napoleón Aquino Benitez e Ninfa Martins Duarte *(in memoriam)*

Aos meus queridos irmãos,

Riuston Martins, Liz Maria Aquino e Aida Luz.

A minha linda princesa,

Laurenn Gabriella.

Ofereço e Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e por guiar e iluminar o meu caminho todos os dias.

Aos Professores Mara Cristina Pessoa da Cruz e Manoel Evaristo Ferreira, pela orientação, confiança, apoio e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, sua comissão de coordenação, seus professores, pelas oportunidades, ensinamentos e ajuda.

A Universidade Nacional de Assunção, Faculdade de Ciências Agrárias, por conceder a possibilidade de realizar o curso, e meus sinceros agradecimentos aos professores Miguel Angel Ruiz Dias, José Quinto Paredes, Ramón Martinez Ojeda e Lorenzo Mesa López, pela confiança e apoio.

Ao amigo, professor e grande colega Nestor Kawata pelo apoio incondicional ao longo de todo o curso de doutorado, meus sinceros agradecimento.

Ao Programa de Estudantes-Corvênio de Pós-Graduação (PEC-PG) pela concessão da bolsa de estudo para o curso de doutorado.

A técnica Selma Guimarães Figueiredo e Kely, pela ajuda nas análises no Laboratório de Fertilidade do Solo, fundamental para a realização deste trabalho.

A minha amiga que ganhei ao longo destes anos Viviane Modesto, que esteve a meu lado nos momentos de alegria e tristeza, muito obrigada.

Aos colegas do Laboratório Marina, Samira, Aline, Felipe, Fernando e Lucas, por tornarem esta etapa mais agradável.

A todos, que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Matéria orgânica do solo	3
2.1.1 Conceito e importância	3
2.1.2 Substâncias húmicas	5
2.2 Atributos químicos em solos adubados com esterco	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Amostras de solo	11
3.2 Carbono solúvel em água (C-SA)	13
3.3 Substâncias húmicas (C-SH)	14
3.4 Frações ácidos húmicos (C-AH) e ácidos fúlvicos (C-AF)	14
3.5 Fração humina (C-H)	15
3.6 Análise de dados	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1 Carbono orgânico total	16
4.2 Carbono orgânico nas frações da matéria orgânica	20
4.2.1 Carbono na fração solúvel em água	21
4.2.2 Carbono orgânico nas frações substâncias húmicas	23
4.2.3 Carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos	26
4.2.4 Carbono orgânico na fração substâncias húmicos	28
4.2.5 Carbono orgânico na fração humina	31
4.3 Nitrogênio total do solo	34
4.4 CTC a pH 7,0	35
5 CONCLUSÕES	40
6 REFERÊNCIAS	41

TRANSFORMAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM ESTERCO BOVINO

RESUMO – A matéria orgânica do solo é fonte primária de nutrientes às plantas e é considerada um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade do solo, de modo que é importante o conhecimento do teor de C orgânico total, das suas frações e das alterações que ocorrem quando há mudança no manejo. Com base nisso, foi objetivo do presente trabalho avaliar os efeitos da adubação com esterco bovino nos teores de carbono orgânico total, nitrogênio total e capacidade de troca de cátions do solo, bem como as transformações de curto prazo das substâncias húmicas. Foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho tratadas com seis doses de esterco bovino (0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹), as quais foram umedecidas a 60% da capacidade de retenção de água, embaladas em sacos de polietileno, seladas, enterradas no campo a 10 cm de profundidade. Nos tempos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias os sacos foram desenterrados ao acaso e levados para o laboratório. Nas amostras foram determinados o nitrogênio total do solo (Nt), a capacidade de troca de cátions (CTC), o carbono orgânico (CO) total e as frações. No fracionamento foi determinado o teor de carbono nas frações: solúvel em água (C-SA), substâncias húmicas (C-SH), ácidos húmicos (C-AH), ácidos fúlvicos (C-AF) e humina (C-H), pelo método clássico de fracionamento químico. O esterco bovino proporcionou maiores teores de CO total já nas amostras coletadas aos 30 dias a maior parte do C-SH estava presente na forma de humina, seguida por C-AH, e C-AF. Os menores teores de CO ocorreram na fração C-SA. O Nt avaliado aos 180 dias aumentou 0,35 g kg⁻¹ com aplicação de 80 t ha⁻¹ de esterco e a taxa de aumento foi de 0,0043 g kg⁻¹ de N para cada tonelada de esterco aplicada. A CTC aumentou aproximadamente 8 mmol_c dm⁻³ com aplicação de 40 t ha⁻¹ aos 180 dias de incubação.

Palavras-chave: carbono orgânico total do solo, nitrogênio total, substâncias húmicas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, humina.



TRANSFORMATIONS OF ORGANIC MATTER IN AN OXISOL TREATED WITH CATTLE MANURE

ABSTRACT - Soil organic matter is a primary source of plant nutrients and is considered one of the main indicators of soil sustainability and quality, therefore it is important to know the total organic C (TOC) content, its fractions and the transformations that take place when there is change in soil management. Based on that, this study aimed assessing the effects of fertilization with cattle manure on the contents of total organic carbon, total nitrogen and the cation-exchange capacity of the soil, as well as the short-term transformations of humic substances. Samples of an Haplidoz were treated with six doses of cattle manure (0, 5, 10, 20, 40 and 80 t ha⁻¹ dry basis), wetted moisture to 60% of water holding capacity, packaged in polyethylene bags, sealed, buried in the field at 10 cm depth. At 0, 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days the bags were randomly unearthed and taken to the laboratory. The samples were analyzed for total soil nitrogen (TSN), cation-exchange capacity (CEC), total organic carbon (TOC) and their fractions. Upon fractioning, the carbon content in the fractions were determined: water-soluble (WS-C), humic substances (HS-C), humic acids (HA-C), fulvic acids (FA-C) and humin (H-C), through the classical chemical fractioning method. The cattle manure provided higher TOC contents already in the samples collected after 30 days the C-HS was present in the humin, followed by C-HA, and C-FA. The lowest content of C was found in the C-WS fraction. The Nt was assessed at 180 days the increase observed was 0,35 g kg⁻¹ compared to control. The CEC increased approximately 8 mmol_c dm⁻³ with the application of 40 t ha⁻¹ after 180 days.

Keywords: total organic carbon content in soil, total nitrogen, humic substances, humic acids, fulvic acids, humin.

1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da fertilidade do solo, a aplicação de adubos orgânicos tem por finalidades principais a manutenção ou o aumento dos teores de matéria orgânica (MO) e o fornecimento de nutrientes para as plantas. O aumento do teor de MO, particularmente em solos de regiões tropicais, tem sido associado muito frequentemente a melhoria da qualidade do solo. Qualidade do solo é um termo amplo, de difícil conceituação, mas no caso, está sendo usado no sentido de capacidade do solo para funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a sanidade vegetal e animal (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1997).

A melhora da qualidade do solo, quando há aumento do teor de MO decorre dos seus efeitos em vários atributos físicos do solo, como agregação, estabilidade de agregados, porosidade e capacidade de retenção de água. Do ponto de vista químico, o aumento do teor de MO resulta em aumento nos teores totais da maior parte dos nutrientes, particularmente de N e S, mas o principal atributo químico do solo que é favorecido pela MO é a capacidade de troca de cátions (CTC).

No Brasil, de modo geral, tem sido dada maior ênfase aos estudos da MO em sistemas de manejo que envolvem plantio direto e sistemas convencionais de cultivo. Muitas vezes, são feitas comparações entre ecossistemas naturais e áreas de cultivo de pastagens e de culturas de grãos. Quando são feitos estudos sobre aplicação de resíduos orgânicos, a maior ênfase, nos últimos anos tem sido dada para lodo de esgoto, mas existem muitas outras possibilidades de entrada de carbono orgânico no solo, entre elas os esterco bovino, suíno e avícola.

O esterco bovino é um adubo orgânico de uso milenar, o mais recomendado e utilizado em áreas de cultivo de hortaliças e com bom potencial para uso em áreas de agricultura orgânica. As pesquisas feitas no Brasil com aplicação de esterco bovino normalmente limitam-se à avaliação de respostas de produtividade de algumas culturas. É oportuno, no entanto, conhecer os processos de formação e distribuição das substâncias húmicas em solos adubados com esterco e suas consequências nos reservatórios de nutrientes, particularmente N, e na CTC de solo. Deste modo, foi objetivo com o presente trabalho, avaliar os efeitos de adubação

com esterco bovino nos teores de carbono orgânico total, nitrogênio total e CTC do solo, bem como as transformações de curto prazo das substâncias húmicas. A hipótese de trabalho é: a aplicação do esterco bovino resulta em aumento dos teores de carbono orgânico do solo e suas frações e, com o tempo, há migração do carbono entre as frações.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matéria orgânica do solo

2.1.1 Conceito e importância

Existem muitas formas de conceituar a matéria orgânica do solo, com semelhanças em sua abordagem. A seguir são apresentados conceitos aceitos, sob o ponto de vista de diferentes autores.

Segundo Stevenson (1994), a matéria orgânica do solo é todo material orgânico existente no solo, incluindo a liteira, a fração leve (constituída principalmente por resíduos de plantas em vários estágios de decomposição e que existem dentro do próprio solo), a biomassa microbiana, os compostos orgânicos solúveis em água e a fração estabilizada ou húmus.

De acordo com Meurer (2006), a matéria orgânica do solo refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas.

No presente trabalho, o termo matéria orgânica do solo será usado no sentido atribuído a ele pela Soil Science Society of America (1997), ou seja, a fração orgânica do solo, exclusive resíduos de plantas e de animais não decompostos. Deste modo, ficam incluídos no termo matéria orgânica os resíduos vegetais e animais que sofreram decomposição a uma extensão em que a fonte não é reconhecível, os resíduos microbianos e o húmus (CURI et al., 1993). Os compostos húmicos são, na verdade, produtos sintetizados a partir de substâncias não húmicas (TAN, 2000) e, assim, a matéria orgânica resulta de processos de decomposição e síntese dos resíduos orgânicos.

Substâncias não húmicas são compostos orgânicos que se encontram no solo e que pertencem a classes bioquímicas conhecidas, como carboidratos, aminoácidos, lipídios, resinas e ácidos orgânicos de baixo peso molecular e que representam 5 a 25% da MO (SILVA et al., 2000). As substâncias húmicas (SH) ou húmus são compostos orgânicos de cor castanha a preta, formados por reações

secundárias de síntese e que representam a quase totalidade da MO do solo (SPARKS, 1996). Elas apresentam peso molecular maior do que as substâncias não húmicas apresentam

A matéria orgânica do solo é um sistema dinâmico, que está sujeito a mudanças contínuas durante o processo de formação e decomposição de seus constituintes. Essas mudanças podem ocorrer pelo uso intensivo e o manejo inadequado do solo, podendo propiciar perdas consideráveis de matéria orgânica do solo, por mineralização e erosão hídrica. A manutenção ou a recuperação dos teores iniciais de MO do solo depende do tipo, da quantidade e da qualidade do material orgânico adicionado à superfície, da sequência de culturas adotada, do sistema de manejo do solo e do tempo de adoção dos sistemas de manejo (MENDEL, 1996).

A fração orgânica é um componente essencial dos solos produtivos, que melhora suas características químicas e físicas, e que contém nutrientes de plantas que são liberados durante a decomposição (HASSETT; BANWART, 1992). A sua influência nas características do solo e a sua sensibilidade às práticas de manejo determinam que ela seja considerada um dos principais atributos na avaliação da qualidade do solo, particularmente em regiões tropicais e subtropicais (AMADO et al., 2001; CONCEIÇÃO et al., 2005). De acordo com os autores citados, a maioria dos atributos do solo e do ambiente, relacionados às funções básicas do solo, tem estreita relação com a matéria orgânica. Quando há aumento no teor de matéria orgânica há aumento na agregação e na estabilidade dos agregados e, por consequência, melhora na infiltração, na retenção de água e no aumento da resistência à erosão; a atividade biológica aumenta e isso tem reflexos na disponibilidade de nutrientes para as plantas e na liberação de CO₂ e de outros gases para a atmosfera; há aumento na CTC do solo, o que aumenta a capacidade de armazenamento de nutrientes na fase sólida e diminui o potencial para perdas por lixiviação.

A maior parte da CTC dos solos em cuja fração argila predominam principalmente de argila do tipo 1:1 (grupo da caulinita) e óxidos de ferro e alumínio é originada da MO e isso faz a manutenção e, ou aumento da MO em solos de regiões tropicais, ser mais importante do que em solos de regiões temperadas (ZECH et al., 1997).

2.1.2 Substâncias húmicas

As principais transformações que ocorrem durante a decomposição dos resíduos orgânicos e a humificação são: perda de polissacarídeos e componentes fenólicos, modificação das estruturas da lignina, e enriquecimento em estruturas aromáticas que não fazem parte do grupo das ligninas, mas que são resistentes à decomposição (ZECH et al., 1997). Do processo de decomposição e síntese resultam as substâncias húmicas, já conceituadas no item anterior, e que representam de 85 a 90% da MO do solo (COLEMAN et al., 1989). Elas originam-se de celulose, lignina, proteínas, lipídios e outras substâncias provenientes da degradação química e biológica e diferenciam-se umas das outras pela massa molecular, grau de polimerização e teor de carbono, oxigênio, hidrogênio e nitrogênio. As SH são consideradas o estágio final da evolução dos compostos de carbono no solo (STEVENSON, 1994), representam o principal reservatório de C no solo e ainda interagem com a atmosfera, assim como as outras frações, modificando a quantidade de CO_2 , dependendo do uso e manejo adotados (PICOLLO, 1999).

Normalmente, as avaliações dos teores de carbono orgânico (CO) total ou nitrogênio total (Nt) são suficientes para a compreensão da dinâmica da MO nos sistemas de exploração agrícola. No entanto, em períodos curtos, de 1 a 3 anos, as variações nos conteúdos de carbono orgânico total (COT) ou nitrogênio total (Nt) não são suficientemente grandes para permitir a diferenciação dos tipos de manejo aplicados ao solo, da qualidade dos resíduos depositados e seus efeitos. Neste sentido, o fracionamento da MO pode ser uma ferramenta para melhorar a sensibilidade das avaliações do carbono orgânico total do solo (COT), nitrogênio total (Nt) e capacidade de troca de cátions (CTC) (BAYER et al., 2004; CONCEIÇÃO et al., 2005).

No método de fracionamento químico mais comumente empregado o extrator é a solução de NaOH ($0,1$ ou $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) (SWFIT, 1996; DICK; MARTINAZZO, 2006). Este procedimento é o recomendado pela International Humic Substances Society (IHSS) e destaca-se por extrair substâncias húmicas do solo com rendimento de até $2/3$ do total da MO, quando usado de forma sequencial (CANELLAS; SANTOS, 2005).



Das SH separam-se, de modo geral, três frações: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (H). A primeira é constituída por compostos orgânicos de cor amarelada, que permanecem em solução após remoção dos ácidos húmicos por acidificação (SPARKS, 1996). Os AH são compostos orgânicos de coloração escura que podem ser extraídos do solo com solução alcalina diluída e outros reagentes, e que precipita por acidificação em valores de pH 1 a 2 (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1997). A humina, por sua vez, é a fração das SH que é insolúvel em solução aquosa, em qualquer valor de pH (RICE, 2001). Há tendência dos AH apresentarem maior teor de C, menor de O e teor similar de H em relação aos AF. Estes dados são comumente utilizados na diferenciação do grau de humificação nos solos. Solos que apresentam maior concentração de AH e humina podem ser considerados como mais humificados (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Considerando a escala evolutiva das frações nas substâncias húmicas, Varadachari e Gosh (1984) relatam que a fração C-AF é precursora da C-AH, pois a perda de grupamentos carboxila em contrapartida ao aumento de peso molecular dos compostos orgânicos formados é típica do processo de polimerização orgânica. Ainda, segundo os mesmos autores, os compostos da fração C-AF não podem ser produzidos pela degradação microbiana das moléculas da fração C-AH, pois este tipo de degradação não resulta no aumento dos grupamentos carboxila. Para Tate (1987) a despolimerização da lignina a oligômeros produz compostos solúveis em meios básico e ácido, que apresentam as características dos AF em relação ao peso molecular e ao estado de oxidação, e que podem ser precursores dos AH, pelo fato de poderem ser incorporados às suas estruturas.

Por outro lado, os AF também podem ser produtos da oxidação biológica dos C-AH (TATE, 1995; HAYES; MALCOLM, 2001) e, por possuírem maior quantidade de cargas negativas, podem associar-se aos próprios C-AH e aos colóides minerais, o que propicia o seu acúmulo no solo (HAYES; MALCOLM, 2001).

Os AF e AH apresentam grupamentos reativos que se dissociam gerando cargas, dependendo do pH e do grupo funcional presente. A diferença de concentração de cargas geradas entre os AH e AF está relacionada principalmente com a presença e o tipo de grupos funcionais. Nas SH, a fração com maior representatividade na geração de cargas é a dos AF, seguida dos AH e da humina

(ALVAREZ-PUEBLA et al., 2005). Deste modo, à medida que a MO do solo se forma e passa pelas reações de estabilização, as frações das SH podem interferir de diferentes maneiras na CTC. Em Latossolo Vermelho adubado com vermicomposto de esterco bovino e mantido em avaliação por 180 dias, foi observada relação inversa entre a CTC e teores de carbono da fração ácidos húmicos (C-AH), porque com a aplicação do adubo os teores de C-AH diminuíram e a CTC a pH 7,0 aumentou. Nas condições do experimento, o aumento da CTC acompanhou apenas o aumento nos teores de carbono da fração humina. Embora fosse esperada correlação da CTC com a fração C-AF, porque nos AF tem-se a maior concentração de grupos funcionais geradores de cargas, ela não ocorreu devido à variabilidade alta dos dados obtidos (YAGI et al., 2003).

A identificação dos componentes da MO é de grande importância para o entendimento de sua dinâmica em determinado sistema e a distribuição do carbono orgânico nas três frações depende do tipo de solo, do tipo de vegetação e do tempo que ficam no solo, do uso e do manejo empregados (STEVENSON, 1994; DICK; MARTINAZZO, 2006). Diversos autores têm usado as características químicas da fração AH para avaliar indiretamente alterações na qualidade da MO, de acordo com formas de manejo e tipos de solo (NOVOTNY; MARTIN-NETO, 2002; DICK et al., 2005; DOBBD et al., 2009).

Na extração alcalina, a fração remanescente, a C-H, possui peso molecular elevado, densidade relativamente baixa de cargas e, potencialmente, maior quantidade de ligações altamente cruzadas (HAYES; HIMES, 1986). Benites et al. (2003), relataram que a humina, apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do C humificado do solo.

A humina representa a fração mais heterogênea da MO do solo, formada por compostos organominerais, carvão, componentes apolares e restos vegetais não decompostos (BREEMEN; BUURMAN, 2002). O fato de a fração humina apresentar maior percentagem de C orgânico pode ser justificado pelas frações de ácidos fulvicos e de ácidos húmicos apresentarem menor estabilidade, sofrerem processos de polimerização, ou mineralização, diminuindo sua composição percentual no solo (LEITE et al., 2003). Teores altos de humina podem estar relacionados ao tamanho

das moléculas e ao maior grau de estabilidade dessa fração (FONTANA et al., 2006).

Longo e Espinola (2000) afirmam que a maior permanência da humina no solo deve-se a sua insolubilidade e resistência a biodegradação, ocasionada pela formação de complexos metálicos estáveis ou complexos argilo-húmicos. A maior parte do C orgânico total no solo é composto basicamente pelas huminas, por serem a fração que se encontra intimamente associada à fração mineral do solo (CANELLAS et al., 2001). Guerra e Santos (1999) destacam os ácidos fúlvicos, húmicos e humina como as três frações principais do carbono total do solo, sendo a humina cerca de 30 a 80% das SH.

2.2. Atributos químicos em solos adubados com esterco

Os benefícios com o uso dos esterco animais podem ser assim relacionados: melhorias nas propriedades físicas, biológicas e bioquímicas do solo e no fornecimento de nutrientes (N e S); aumento no teor de MO e da CTC (HOFFMAN, 2001); aumento na atividade biológica do solo, com efeitos na bioquímica do solo.

Quando há adição de esterco aos solos, a decomposição é neossíntese promovida pela biomassa microbiana faz com que ocorra mineralização do carbono e dos nutrientes de plantas. Se o resíduo for de difícil decomposição, nutrientes como N, P e S podem permanecer em formas orgânicas. Esse acúmulo também pode ocorrer quando os esterco bovinos contêm teor médio acima de 14% de lignina, substância de lenta decomposição e precursora das substâncias húmicas (VANLAUWE et al., 2005). Kautz et al. (2006), na Espanha, constataram que a adubação orgânica com esterco aumentou os teores de carbono e de nitrogênio do solo.

O carbono é um dos principais componentes da MO do solo e seus teores irão variar em função do tipo, da quantidade de resíduos orgânicos e do tempo que estes permanecerão no solo (SOUZA et al., 2009). Ernani e Gianello (1982) constataram que esterco de suínos e cama de frango aplicados ao solo não afetaram o teor de MO do solo. Vidigal et al. (1995) afirmaram que adubos orgânicos

como esterco bovino, suíno e de aves adicionados ao solo, de acordo com o grau de decomposição, podem ter efeito imediato no solo e/ou efeito residual. Brito et al. (2005), trabalhando com doses de resíduos orgânicos, concluiu que o esterco de ovino foi o resíduo que determinou as principais alterações das propriedades químicas do solo, uma vez que em relação à testemunha, promoveu os maiores aumentos nos teores de MO e na CTC. Souza et al. (2006), trabalhando com esterco bovino, de codorna e suíno, concluíram que com a aplicação desses resíduos ao solo houve aumento médio nos teores de CO de 21% ($2,1 \text{ g dm}^{-3}$) quando comparados ao testemunha e ao solo que recebeu adubação mineral.

Leite et al. (2003), com o objetivo de quantificar teores totais de C e N e dos compartimentos de CO da MO do solo, Após aplicação de composto orgânico, esterco bovino e adubo mineral em Argissolo Vermelho-Amarelo com . Os sistemas nos quais o composto orgânico foi adicionado apresentaram maiores teores de CO total e Nt comparado aos sistemas sem adubação ou apenas com adubação mineral. Reddy et al. (2003) e Hati et al. (2007) relataram aumento significativo no CO em longo prazo (28 e 30 anos) com aplicação de esterco bovino.

A adubação orgânica com 15 t ha^{-1} de esterco bovino aumentou os teores de CO de 6,0 para $7,3 \text{ g dm}^{-3}$, após seis anos de adubação, em relação a testemunha, que não recebeu adubação (MENEZES; SILVA, 2008), tal como foi observado após aplicação de esterco bovino por dois anos (MELLEK, 2009).

De modo geral, a aplicação do esterco bovino resulta em aumento do teor de MO do solo, mas Nyiraneza et al. (2009), com aplicação anual de esterco bovino (0 e 20 t ha^{-1}) demonstraram, após 28 anos, diminuição do CO do solo.

O esterco bovino é um material orgânico que apresenta grau elevado de humificação (ANTONIOELLI et al., 1996). Com a aplicação de 70 t ha^{-1} de esterco bovino (base seca), a CTC a pH 7,0 de um Latossolo Vermelho aumentou em $13 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, após 180 dias de avaliação em condição controlada, como consequência de aumento de $3,5 \text{ g dm}^{-3}$ de CO (YAGI et al., 2003) .

Maia e Cantarutti (2004) obtiveram aumentos no Nt e na disponibilidade de N com uso contínuo de esterco bovino por 13 anos, sendo essas características pouco influenciadas no tratamento com adubação química.

As vantagens da adubação orgânica são indiscutíveis, trazendo benefícios de ordem física, química e biológica. Os estercos de animais são os adubos orgânicos mais importantes, pela sua composição, disponibilidade relativamente grande e benefícios da aplicação (VITTI et al., 1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostras de solo

Em abril de 2011 foi feita coleta de amostra de Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 cm de profundidade, no município de Jaboticabal-SP, localizado a 21°15'17" S e 48°19'20" W, em altitude de 605 m. Os dados climáticos médios mensais de temperatura do ar, precipitação pluvial e temperatura do solo a 10 cm de profundidade, do ano de 2011 (Figuras 1 e 2), foram extraídos do conjunto de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas, da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal.

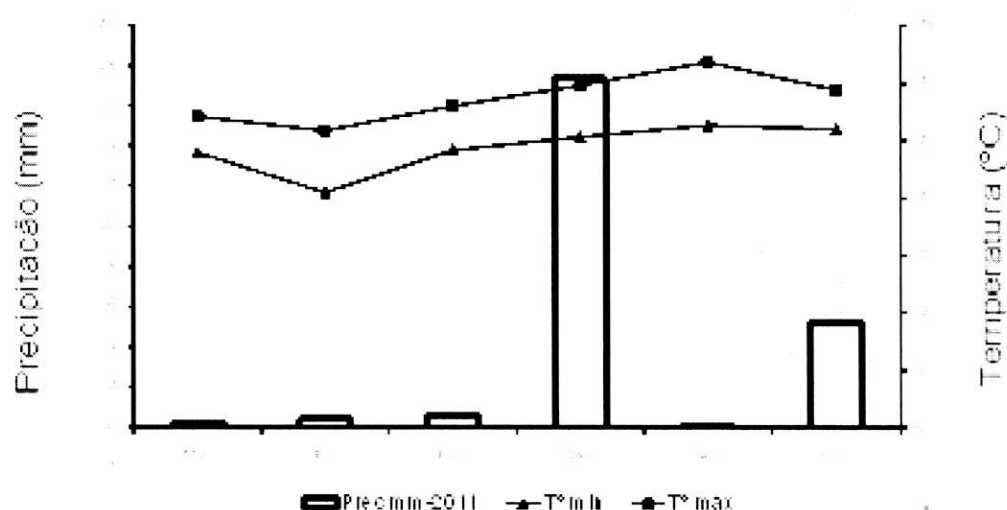


Figura 1. Temperatura do ar (°C) e precipitação pluvial total (mm) média mensal no período de condução do experimento a campo (dados da Estação Agroclimatológica da FCAV-Unesp, Jaboticabal-SP).



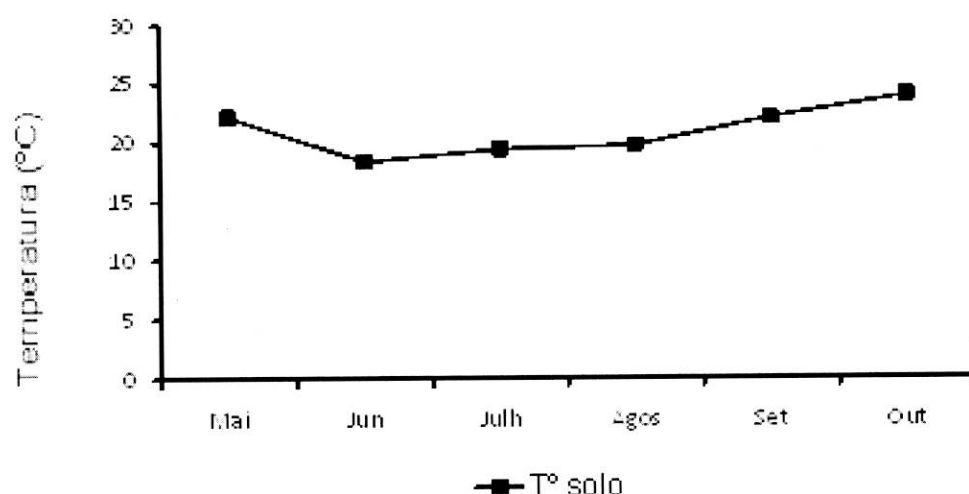


Figura 2. Temperatura (°C) média mensal do solo, medida a 10 cm de profundidade, no período de condução do experimento a campo (dados da Estação Agroclimatológica da FCAV-Unesp, Jaboticabal-SP).

O volume total coletado foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira de 4 mm de abertura de malha e homogeneizado. Na caracterização química do solo, feita conforme métodos descritos em Raij et al. (2001), foram obtidos: P resina, 205 mg dm⁻³; MO, 18 g dm⁻³; pH CaCl₂, 5,8; K⁺, 1,4 mmol₅ dm⁻³; Ca²⁺, 49 mmol₅ dm⁻³; Mg, 9 mmol₅ dm⁻³; H+Al, 20 mmol₅ dm⁻³; Al³⁺, 0 mmol₅ dm⁻³; CTC, 79 mmol₅ dm⁻³; V, 75%; S-SO₄²⁻, 3 mg dm⁻³; B, 0,30 mg dm⁻³; Cu, 1,3 mg dm⁻³; Fe, 30 mg dm⁻³; Mn, 8,7 mg dm⁻³; Zn, 3,7 mg dm⁻³. Na análise granulométrica, feita de acordo com Camargo et al. (2009), solo de textura média e os teores de argila, silte e areia foram 340 g kg⁻¹; 20 g kg⁻¹; e 640 g kg⁻¹, respectivamente.

O esterco utilizado havia passado por processo de estabilização por mais de 6 meses, em local descoberto e sem revestimento. Na amostra coletada, as características químicas obtidas, empregando os métodos descritos pelos autores citados entre parêntesis, foram pH CaCl₂, 6,9, C orgânico, 260 g kg⁻¹ e matéria mineral insolúvel, 350 g kg⁻¹ (KIEHL, 1985); N total, 11,0 g kg⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); C/N, 24; N-NH₄⁺, 61,3 mg kg⁻¹ e N-NO₃⁻, 18,8 mg kg⁻¹ (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001); P, 1,1 g kg⁻¹, K, 5,8 g kg⁻¹, Ca, 3,3 g kg⁻¹, Mg, 1,6 g kg⁻¹ e S, 0,9 g kg⁻¹ (CARMO et al., 2000). A determinação do valor de pH foi feita em amostra úmida e os demais resultados estão expressos em base seca.

A 0,2 dm³ de solo foram misturadas quantidades de esterco equivalentes a 0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹ (base seca). Após a mistura a seco, as amostras foram umedecidas com água deionizada a 60% da capacidade de retenção de água e colocadas em sacos de polietileno com 14 x 20 cm e com fechamento hermético. No campo, foram preparados quatro canteiros (blocos) com 1,2 m de largura e 0,2 m de altura. Em cada bloco foram delimitadas seis parcelas (seis doses de esterco) de 2,5 m de comprimento, resultando em área total de 3,0 m² por parcela. Em cada parcela foram enterrados 18 sacos com a mistura solo-esterco, a 10 cm de profundidade. O experimento foi conduzido de maio a outubro de 2011 e, nos tempos 30, 60, 90, 120, 150, e 180 dias de incubação, três sacos, ao acaso, foram desenterrados, correspondendo a três amostras simples, e a mistura destas amostras resultou em uma amostra composta. O método utilizado foi adaptado do que foi proposto por Eno (1960) para avaliação da taxa de mineralização de nitrogênio em campo.

As amostras compostas obtidas em cada coleta foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm e usadas no fracionamento da MO e nas determinações de carbono orgânico total (COT), por meio do método Walkley e Black (1934) descrito em Cantarella, Quaggio e Raij (2001); dos teores do nitrogênio total, de acordo com Tedesco et al. (1995); e da CTC do solo a pH 7,0, seguindo método de determinação descrito em Camargo et al. (2009).

As frações da MO no solo foram determinadas conforme esquema proposto por Stevenson (1986). Os procedimentos adotados estão descritos a seguir.

3.2 Carbono solúvel em água (C-SA)

Para tubo de centrífuga (250 mL) foram transferidos 10 cm³ de amostra de solo e 50 mL de água desionizada e a suspensão foi agitada por 30 min a 150 rpm, em agitador horizontal. Em seguida, a suspensão foi centrifugada por 18 min a 10.000 rpm, o sobrenadante foi filtrado através de papel de filtro Whatman nº 1 e o sedimento foi utilizado na extração das substâncias húmicas. Para quantificar o carbono (C-SA), 20 mL do filtrado, 2 mL de solução de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) 0,5 mol L⁻¹ e 4 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado foram transferidos para erlenmeyer de 125 mL. O conteúdo do erlenmeyer foi

homogeneizado e aquecido a 140°C, durante 30 min em chapa aquecedora. No bocal do erlenmeyer, foi colocado funil de vidro para restringir as perdas por evaporação. Após o resfriamento, foram adicionados 20 mL de água deionizada. A quantificação foi feita por titulometria, após adição de 2 mL de ácido ortofosfórico (H_3PO_4) concentrado e 3 gotas de difenilamina (1%). A titulação foi feita com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 0,1 mol L^{-1} .

3.3 Substâncias húmicas (C-SH)

O sedimento remanescente no tubo de centrífuga foi ressuspensionado com 50 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L^{-1} . A suspensão foi agitada por 60 min a 150 rpm e centrifugada por 12 min a 8.000 rpm. O sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 100 mL. O procedimento foi repetido na mesma amostra, empregando 25 mL da solução de NaOH 0,1 mol L^{-1} , 30 min de agitação a 150 rpm e 12 min de centrifugação a 8.000 rpm. O sedimento foi empregado para extração da fração húmica e o sobrenadante foi transferido para o mesmo balão volumétrico com o extrato da primeira extração alcalina e o volume foi completado com água deionizada. Parte do volume obtido foi utilizado (50 mL) para separação das frações ácido húmico (C-AH) e ácido fúlvico (C-AF), e o restante foi utilizado para determinar o teor de C-SH.

O carbono na fração C-SH foi determinado seguindo o procedimento descrito para a fração C-SA, empregando 10 mL do extrato, 6 mL de solução de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1,0 mol L^{-1} + 12 mL de H_2SO_4 concentrado e, na titulação, solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,4 mol L^{-1} .

3.4 Frações ácidos húmicos (C-AH) e ácidos fúlvicos (C-AF)

Para tubo de centrífuga foram transferidos 50 mL de extrato alcalino (SH) e 0,4 mL de H_2SO_4 concentrado, de modo a diminuir o valor de pH a aproximadamente 2,0. O extrato acidificado foi agitado manualmente e submetido à centrifugação por 10 min, a 5.000 rpm. O sobrenadante, a fração C-AF, foi descartado. Ao tubo de centrífuga contendo os ácidos húmicos precipitados foram adicionados 25 mL da solução de NaOH 0,1 mol L^{-1} e o conteúdo foi agitado manualmente por 1 min. A

fração foi quantitativamente transferida para balão volumétrico de 50 mL e o volume completado com água deionizada. A quantificação do carbono foi feita como descrito em 3.3. O teor de C na fração AF foi obtido por diferença: C-SH – C-AH.

3.5 Fração humina (C-H)

O sedimento que ficou no tubo de centrifuga após a extração das substâncias húmicas foi transferido para placa de petri e seco em estufa a 65°C. Após a secagem a massa do resíduo foi moída em almofariz e, para determinação do carbono nesta fração foi empregado o método de Walkley e Black (1934), descrito em Cantarella e Quaggio (2001), empregando 1,0 g de resíduo.

3.6 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, segundo delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, em parcelas subdivididas, com seis tratamentos principais (0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹ doses de esterco bovino) e seis tratamentos secundários (30, 60, 90, 120, 150, e 180 dias de avaliação). Os efeitos das doses de esterco e dos tempos de avaliação no carbono orgânico total e frações, e na CTC, quando significativos pelo teste F, foram avaliados empregando análise de regressão polinomial. No caso do nitrogênio total a avaliação foi feita apenas em função de doses de esterco, nas amostras coletadas aos 180 dias, portanto em delineamento em blocos com seis tratamentos (doses de esterco) e quatro repetições, também empregando teste F e regressão polinomial. As análises foram realizadas com o uso do programa AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da aplicação de doses de esterco bovino e tempos de incubação, nos teores de CO total e nas frações solúvel em água (C-SA), nas substâncias húmicas (C-SH), nos ácidos fúlvicos (C-AF), nos ácidos húmicos (C-AH) e na humina (C-H) estão na Tabela 1. Observa-se efeito significativo para doses de esterco bovino, tempos de avaliação e interação das doses e tempos de avaliação para os teores de CO total e para todas as frações.

4.1. Carbono orgânico total

Na média dos tempos de incubação, os aumentos nos teores de CO do solo em relação ao tratamento testemunha, calculados com base no que está apresentado na Tabela 1, foram $3,7 \text{ g dm}^{-3}$ (33%), $5,2 \text{ g dm}^{-3}$ (47%), $5,8 \text{ g dm}^{-3}$ (53%), $7,2 \text{ g dm}^{-3}$ (65%) e $7,6 \text{ g dm}^{-3}$ (68%), com aplicação de 5, 10, 20, 40 e 80 t ha^{-1} de esterco, respectivamente. Deste modo, dobrar a dose de 40 para 80 t ha^{-1} representou ganho inexpressivo no conjunto de dados obtido ($0,4 \text{ g dm}^{-3}$). O C é o principal componente da MO do solo e seus teores variam em função da qualidade, das quantidades de resíduos orgânicos e do tempo que eles permanecerão no solo (SOUZA et al., 2009), mas, de qualquer modo, os aumentos obtidos são muito grandes, difíceis de obter em condições de campo. Mesmo para condições de laboratório, o aumento médio está acima do esperado, uma vez que, em avaliação em vasos, também por 180 dias, Yagi et al. (2003) determinaram aumento de aproximadamente $3,5 \text{ g dm}^{-3}$ de C com aplicação de 70 t ha^{-1} de esterco bovino em amostras de Latossolo Vermelho de textura média. Usando vermicomposto do mesmo esterco, os autores obtiveram aumento de $6,5 \text{ g dm}^{-3}$ de CO e, também com vermicomposto de esterco, Souza et al. (2006) relataram aumento de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de CO com aplicação de 12 t ha^{-1} . De modo geral, o aumento do teor de MO dos solos pela aplicação de estercos é obtido, no campo, com repetição das aplicações por vários anos (VIAUD et al., 2010). Nestas condições, em solo barro-arenoso de região temperada, após 90 anos de aplicação de esterco, o carbono orgânico total aumentou em $3,2 \text{ g kg}^{-1}$ (SCHJØNNING; CHRISTENSEN; CARSTENSEN, 1994) e após 100 anos de aplicação de esterco o C total do solo aumentou em $3,5 \text{ g kg}^{-1}$

(CHRISTENSEN, 1988). Com aplicação combinada de fertilizante NPK e esterco bovino por 30 anos, Reddy et al. (2003) relataram aumento de $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ de CO em relação ao tratamento controle e Manna et al. (2007), também em 30 anos de aplicação de fertilizante NPK+ esterco, obtiveram aumento de $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ de CO. Em 22 áreas do Nordeste do Brasil que receberam esterco por períodos que variaram de 15 a 40 anos, foi obtido aumento de 3,9 para $8,5 \text{ g kg}^{-1}$ de CO na camada de 0 a 20 cm (GALVÃO; SALCEDO; OLIVEIRA, 2008). Neste trabalho, após 180 dias de aplicação de esterco bovino o carbono orgânico total aumentou até $7,6 \text{ g dm}^{-3}$.

Tabela 1. Carbono orgânico total e frações do carbono orgânico do solo incubado por até 180 dias com esterco bovino.

Doses de esterco	CO total	C-SA	C-SH	C-AF	C-AH	C-H
(t ha^{-1} , base seca)	C (g dm^{-3})					
0	11,08	0,0067	0,76	0,15	0,58	8,07
5	14,77	0,0040	1,67	0,47	1,19	14,33
10	16,31	0,0069	2,29	0,97	1,32	16,93
20	16,91	0,0068	2,22	0,72	1,50	17,10
40	18,26	0,0064	2,75	1,03	1,72	18,31
80	18,64	0,0058	2,58	0,71	1,87	19,42
Teste F (Doses)	2.721,78**	23,40**	491,38**	92,42**	6.072,87**	4.369,51**
Dms (5%)	0,2450	0,0010	0,15	0,15	0,02	0,28
Tempo (dias)						
30	14,98	0,0079	2,03	0,71	1,32	14,97
60	15,00	0,0054	1,92	0,58	1,34	14,89
90	15,58	0,0058	1,95	0,57	1,38	15,42
120	16,63	0,0061	2,02	0,68	1,34	15,98
150	16,82	0,0055	2,09	0,71	1,38	16,34
180	16,95	0,0057	2,23	0,81	1,42	16,62
Teste F (Tempos)	274,89**	7,32**	5,34**	3,53**	38,77**	149,14**
Dms (5%)	0,2273	0,0014	0,20	0,20	0,02	0,24
D x T	7,77**	2,70**	2,99**	4,08**	41,32**	13,59**
D x T	1,63	17,99	7,98	24,42	2,10	1,93
CV (esterco) %	1,69	27,49	11,65	35,34	2,16	1,84
CV (tempo) %						

** significativo a 1% de probabilidade. CO: carbono orgânico. C-SA: carbono solúvel em água. S-: fração substâncias húmicas. A-: fração ácidos húmicos. AF: fração ácidos húmicos + fração húmica. CV: Coeficiente de variação %. Dms: Diferença mínima significativa.

Um fator que pode explicar, em parte, os aumentos obtidos, que estão acima da maior parte dos que foram relatados, está no método de avaliação em sacos de

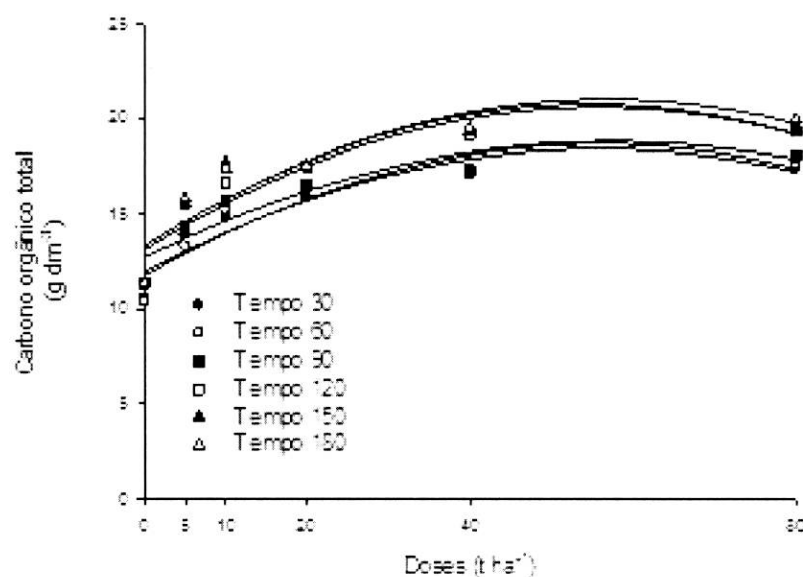


polietileno. A permeabilidade do polietileno às trocas gasosas é colocada como uma limitação do método de avaliação em sacos enterrados, porque os processos que envolvem o uso de oxigênio podem ser afetados pela diminuição do oxigênio decorrente da própria atividade microbiana (ABRIL et al., 2001). No entanto, Gordon et al. (1987) testaram sacos com espessuras de 0,015, 0,020 e 0,032 mm a 5, 15 e 25°C por períodos de até 28 dias de avaliação e concluíram que os sacos, independentemente da espessura, foram permeáveis ao CO₂ e impermeáveis à perda de água e, mesmo quando tratado com ureia, que estimula a produção de CO₂, o solo contido nos sacos permaneceu bem oxigenado.

De qualquer modo, é possível admitir que, quando grandes quantidades de CO são adicionadas ao solo pode ocorrer, temporariamente, diminuição da concentração de O₂ e aumento de CO₂, devido ao aumento da atividade microbiana, estimulada pela fonte adicional de CO e demais nutrientes, o que pode retardar o processo de decomposição. Quando as taxas de decomposição diminuem, há maior probabilidade de formar MO (ZECH et al., 1997).

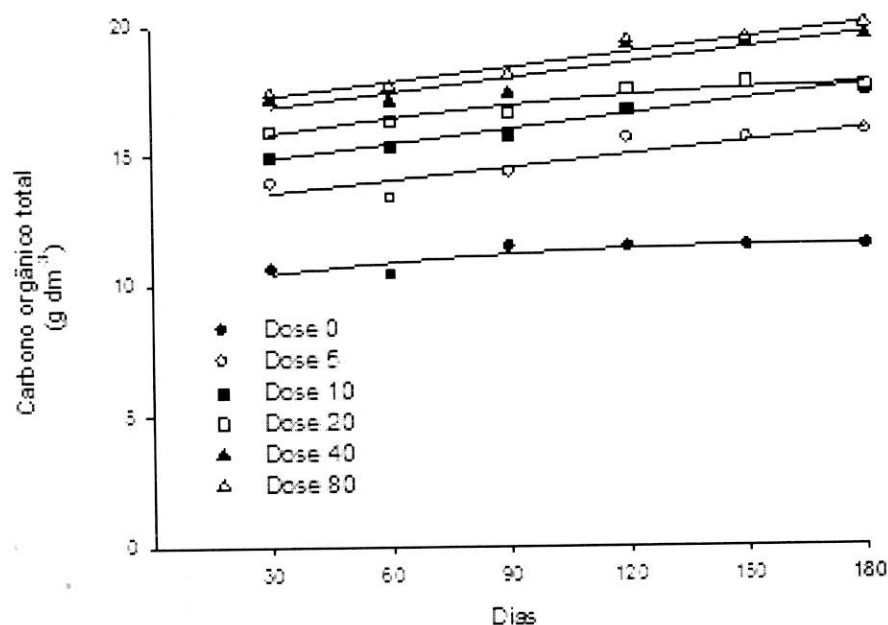
Houve aumento dos teores de CO total com o aumento das doses de esterco em todos os tempos de avaliação (Figura 3) e, em todos os casos, os ajustes foram quadráticos. Os pontos de máximo das curvas ocorreram com doses de esterco entre 55 e 58 t ha⁻¹ e os teores de CO atingidos com estas doses ficaram entre 18,4 e 21,0 g dm⁻³. As curvas referentes aos tempos 30, 60 e 90 dias estão praticamente sobrepostas, e o mesmo ocorreu nos tempos 120, 150 e 180 dias. Foi no intervalo entre 90 e 120 dias que ocorreu o aumento de cerca de 2,5 g dm⁻³ de CO no solo.

Nas avaliações em função do tempo, o modelo que se ajustou aos dados foi quadrático nas doses 0 e 20 t ha⁻¹ de esterco e, nas demais, o aumento foi linear (Figura 3), o que indica que os processos de formação da MO do solo, em praticamente todas as doses, ainda estavam em curso.



T 30	$y = 11,94 + 0,232x - 0,00206x^2$	$R^2 = 0,87$	$F = 501,19^{**}$
T 60	$y = 11,75 + 0,247x - 0,00219x^2$	$R^2 = 0,86$	$F = 565,89^{**}$
T 90	$y = 12,73 + 0,211x - 0,001821x^2$	$R^2 = 0,85$	$F = 393,32^{**}$
T 120	$y = 13,13 + 0,267x - 0,00239x^2$	$R^2 = 0,85$	$F = 673,38^{**}$
T 150	$y = 13,35 + 0,269x - 0,00245x^2$	$R^2 = 0,79$	$F = 704,90^{**}$
T 180	$y = 13,36 + 0,268x - 0,00235x^2$	$R^2 = 0,82$	$F = 649,94^{**}$

Figura 3. Carbono orgânico total do solo em função de doses de esterco bovino em cada tempo de avaliação.



D 0	$y=9,87+0,019x-0,00006x^2$	$R^2=0,73$	$F=6,01^*$
D 5	$y=13,01+0,017x$	$R^2=0,81$	$F=242,04^{**}$
D 10	$y=14,22+0,0199x$	$R^2=0,92$	$F=340,18^{**}$
D 20	$y=15,19+0,023x-0,00005x^2$	$R^2=0,93$	$F=4,58^*$
D 40	$y=16,23+0,019x$	$R^2=0,84$	$F=320,74^{**}$
D 80	$y=16,68+0,019x$	$R^2=0,94$	$F=296,97^{**}$

Figura 4. Carbono orgânico total do solo em função do tempo de avaliação, dentro de cada dose.

4.2 Carbono orgânico nas frações da matéria orgânica

A fração solúvel em água (C-SA) representou menos de 1% do C orgânico do solo para todas as doses (0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹) de esterco bovino. Os teores totais de C nas substâncias húmicas (C-SH), ácidos fúlvicos (C-AF), ácidos húmicos (C-AH) e humina (C-H) representaram de 9 a 11%; de 2 a 5%; de 5 a 8% e de 78 a 82% do COT, respectivamente. Os maiores teores de C estão, deste modo, na fração humina (C-H), indicando maior grau de humificação do C do solo (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

As frações C-AH e C-AF participaram com percentuais bem maiores quando comparadas à fração C-SA, sendo que a proporção entre as frações C-AH e C-AF

foi variável, mas de modo geral a fração C-AH predominou sobre a fração C-AF. Os compostos da fração C-AF são menos polimerizados, possuem peso molecular menor e, principalmente, reatividade maior que os compostos da fração C-AH, devido à maior quantidade de grupamentos carboxílicos existentes em suas estruturas (STEVENSON, 1994), favorecendo a complexação com sesquióxidos e silicatos e, conseqüentemente, a proteção contra o ataque microbiano e a manutenção no sistema (MENDONÇA; ROWELL, 1994; YAGI et al., 2003).

A humina, apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos de região de clima tropical, representa boa parte do C humificado do solo. Estima-se que 65% a 75% da MO de grande parte dos solos minerais sejam substâncias húmicas (ROSCOE; MACHADO, 2002) e, dentro das substâncias húmicas, a humina representa cerca de 30 a 80% (GUERRA; SANTOS, 1999). Nos Latossolos brasileiros, de textura argilosa, a maior parte da MO é constituída da fração humina (VOLKOFF et al., 1978; NASCIMENTO et al., 1991; MENDONÇA; ROWELL, 1994).

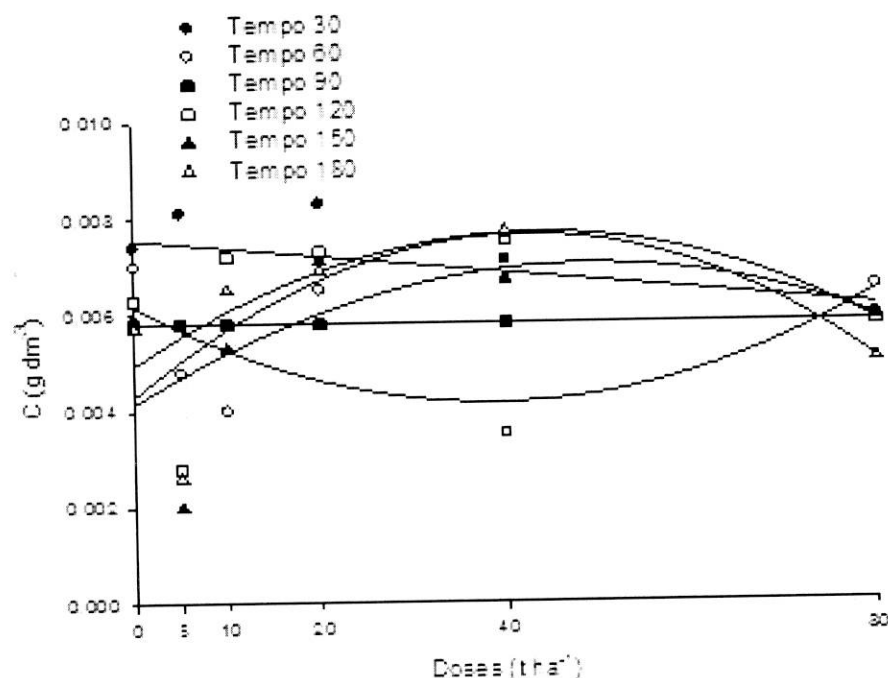
4.2.1 Carbono na fração solúvel em água

Os teores de carbono da fração solúvel em água (C-SA) foram muito baixos, com diminuição linear no tempo 30 dias, apesar do aumento das doses. Nos tempos 60, 120, 150 e 180 dias o ajuste foi quadrático. Para tempo 90 dias não houve efeito com as doses de esterco, com valor médio de $0,00582 \text{ g dm}^{-3}$ (Figura 5). A variação do C-SA reflete o estágio inicial de degradação dos resíduos orgânicos incorporados ao solo, em que materiais insolúveis sofrem hidrólise, dando origem a produtos intermediários solúveis em água, como aminoácidos, mono e dissacarídeos, dentre outros.

Nas avaliações em função do tempo, o modelo que se ajustou aos dados foi quadrático na dose 5 t ha^{-1} de esterco, e linear nas doses 10 e 40 t ha^{-1} , crescente no primeiro e decrescente no segundo caso. Para as doses 0 , 20 e 80 t ha^{-1} de esterco bovino não houve efeito dos tempos de avaliação, com valores médios de $0,0066$; $0,00688$ e $0,00575 \text{ g dm}^{-3}$, respectivamente (Figura 6).

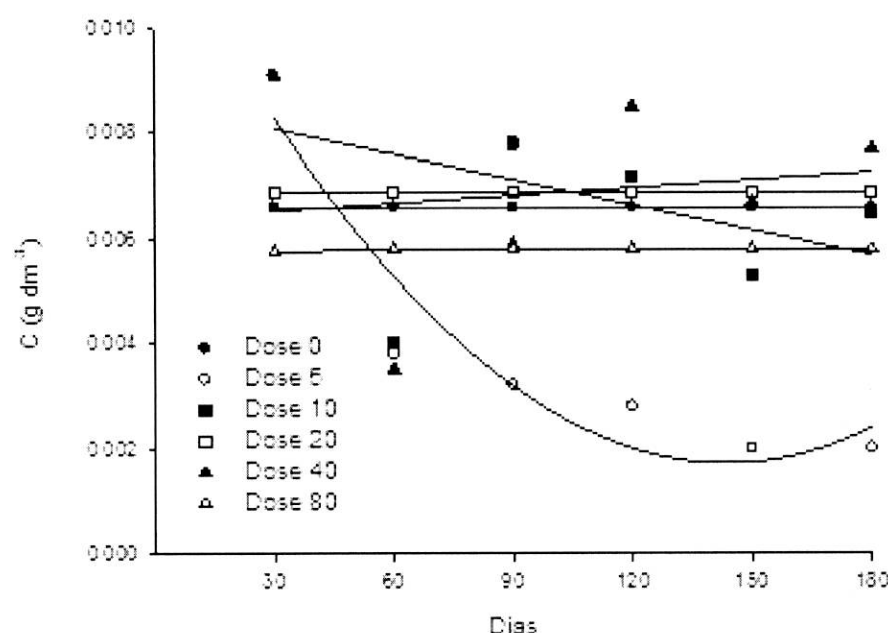
Nos processos de compostagem de resíduos orgânicos, o C-SA tende a diminuir com o tempo (HUE; LIU, 1995; BERNAL et al., 1998) e, após a adição de

materiais orgânicos ao solo, o comportamento deve ser semelhante, o que justifica as tendências observadas nas doses 5 e 10 t ha⁻¹ nas quais houve diminuição com o tempo. Essa diminuição também pode ser explicada pela instabilidade desta fração (C-AS). Ainda, a concentração do C-SA no solo é regulada por atributos como qualidade e teor da MO, disponibilidade de nutrientes, mineralogia e fatores ligados à comunidade microbiana (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2008).



$$\begin{aligned}
 T\ 30 \quad & y=0,00877-0,000003x \quad R^2=0,45 \quad F=8,18^{**} \\
 T\ 60 \quad & y=0,00618-0,00010x+0,00001x^2 \quad R^2=0,36 \quad F=6,01^{**} \\
 T\ 90 \quad & y=0,00582 \\
 T\ 120 \quad & y=0,00495+0,0013x-0,00001x^2 \quad R^2=0,31 \quad F=7,14^{**} \\
 T\ 150 \quad & y=0,00422+0,00011x-0,00001x^2 \quad R^2=0,29 \quad F=4,32^{**} \\
 T\ 180 \quad & y=0,00431+0,00015x-0,00001x^2 \quad R^2=0,47 \quad F=11,35^{**}
 \end{aligned}$$

Figura 5. Carbono na fração solúvel em água em função de doses de esterco bovino em cada tempo de avaliação.

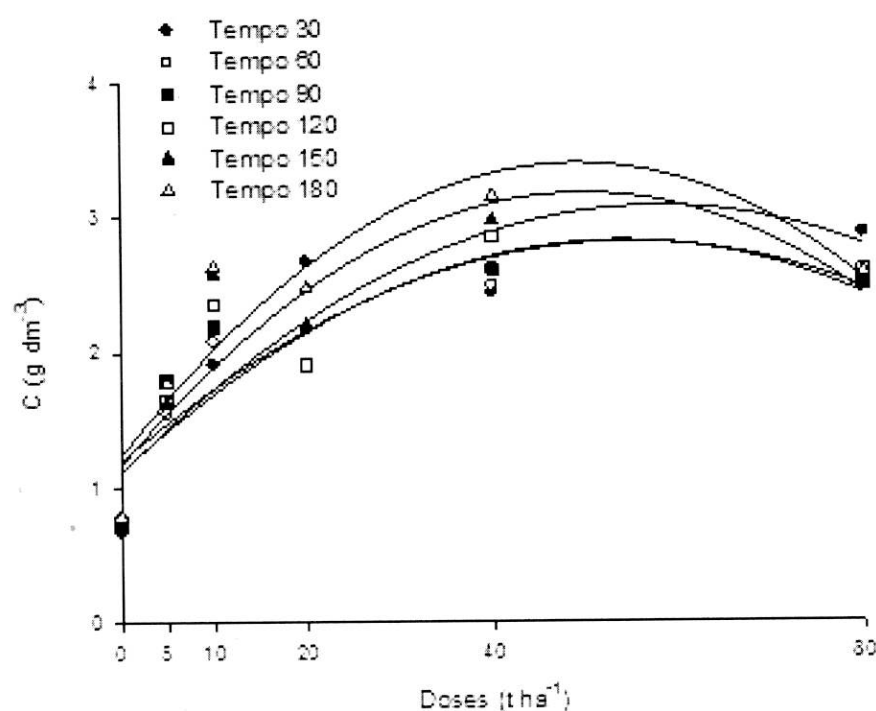


D 0	$y=0,0066$	
D 5	$y=0,01-0,00012x-0,00004x^2$	$R^2=0,81$ $F=242,04^{**}$
D 10	$y=0,00854-0,00001x$	$R^2=0,15$ $F=5,49^*$
D 20	$y=0,00688$	
D 40	$y=0,00501+0,00001x$	$R^2=0,24$ $F=4,05^*$
D 80	$y=0,00575$	

Figura 6. Carbono na fração solúvel em água em função do tempo de avaliação dentro de cada dose.

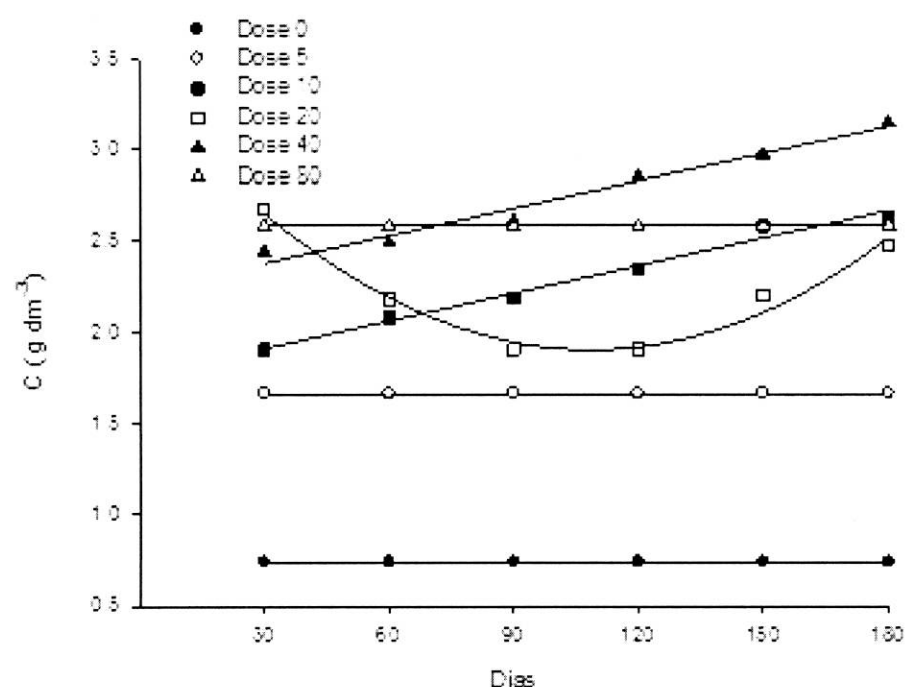
4.2.2 Carbono orgânico nas frações substâncias húmicas

Os teores de C-SH aumentaram de forma significativa com as doses de esterco bovino em cada tempo de avaliação e, os dados foram ajustados a modelos quadráticos, em todos os tempos (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias) de avaliação (Figura 7). Os maiores teores de C-SH foram obtidos com 50 a 58 t ha⁻¹ de esterco, dependendo do tempo de avaliação e, com 80 t ha⁻¹ os teores diminuíram entre 0,4 e 0,8 g dm⁻³ de C em relação ao ponto de máximo. Esse comportamento normalmente indica migração para outra fração, mas como os teores são muito pequenos, o C pode não ser detectado, sobretudo se houve distribuição entre mais de uma fração.



T 30 $y = 1,10 + 0,0682x - 0,00059x^2$ $R^2 = 0,80$ $F = 57,26^{**}$
 T 60 $y = 1,124 + 0,06343x - 0,00058x^2$ $R^2 = 0,84$ $F = 56,94^{**}$
 T 90 $y = 1,19 + 0,0594x - 0,00054x^2$ $R^2 = 0,74$ $F = 48,59^{**}$
 T 120 $y = 1,15 + 0,06834x - 0,00063x^2$ $R^2 = 0,77$ $F = 65,35^{**}$
 T 150 $y = 1,17 + 0,08065x - 0,00081x^2$ $R^2 = 0,82$ $F = 108,10^{**}$
 T 180 $y = 1,23 + 0,08819x - 0,00089x^2$ $R^2 = 0,82$ $F = 132,77^{**}$

Figura 7. Carbono na fração substâncias húmicas em função de doses de esterco bovino em cada tempo de avaliação.



D 0 $y=0,73833$

D 5 $y=1,66833$

D 10 $y=1,76283+0,00502x$ $R^2=0,98$ $F=28,09^{**}$

D 20 $y=3,32425-0,02609x+0,00012x^2$ $R^2=0,97$ $F=30,76^{**}$

D 40 $y=2,22866+0,00498x$ $R^2=0,97$ $F=27,56^{**}$

D 80 $y=2,58166$

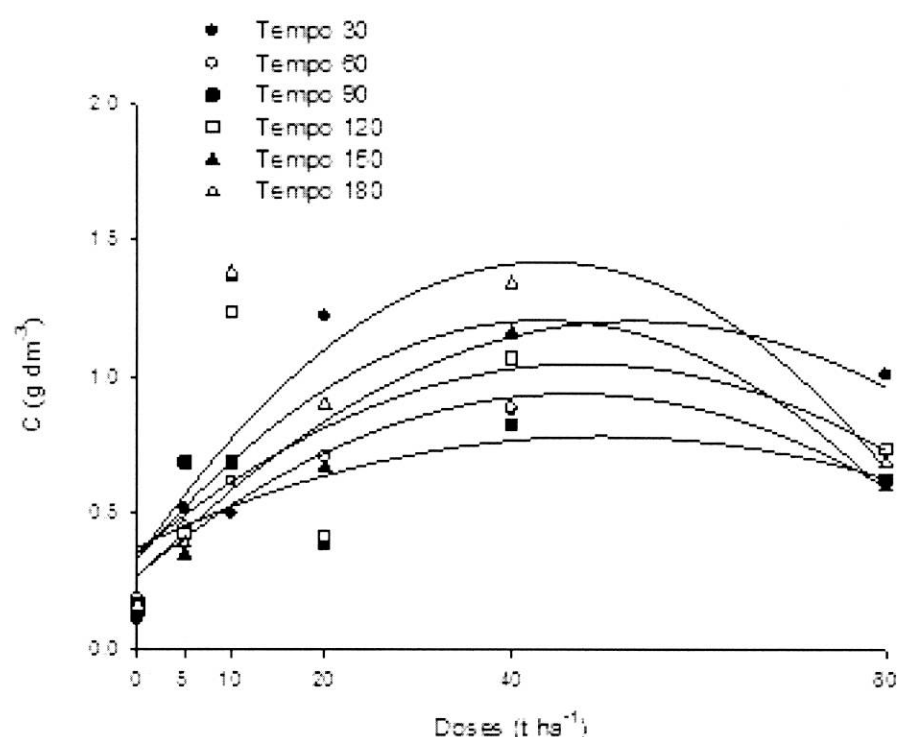
Figura 8. Carbono na fração substâncias húmicas em função do tempo de avaliação dentro de cada dose.

Quando os teores de C-SH foram avaliadas em função do tempo, não variaram de forma significativa durante os 180 dias de avaliação nos tratamentos que não receberam esterco bovino, ou que receberam 5 e 80 t ha⁻¹ (Figura 8), com médias de 0,74, 1,7 e 2,6 g dm⁻³, respectivamente. Na dose 20 t ha⁻¹ de esterco bovino os teores de C-SH ajustaram-se ao modelo quadrático e, com aplicação de 10 e 40 t ha⁻¹, o aumento foi linear.

4.2.3 Carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos

Na fração AF observam-se ajustes quadráticos dos teores de carbono para todos os tempos de avaliação em função das doses de esterco. O máximo foi alcançado com aplicação de 44 a 53 t ha⁻¹ de esterco, e aos 180 dias de avaliação foi de 1,4 g dm⁻³ de C com aplicação de 44 t ha⁻¹ de esterco. Do mesmo modo como ocorreu com a fração SH, houve diminuição nos teores da fração C-AF com aplicação de 80 t ha⁻¹ (Figura 9).

Ajuste quadrático dos teores de carbono observa-se apenas para a dose 20 t ha⁻¹ de esterco bovino em função do tempo, com maiores teores de C aos 30 dias e depois o teor diminuiu até os 121 dias. Quando o esterco não foi aplicado e nas doses 5 e 80 t ha⁻¹ não houve efeito do tempo no C-AF, com valores médios de 0,15; 0,47, e 0,71 g dm⁻³, respectivamente. Nas doses 10 e 40 t ha⁻¹ os ajuste foram lineares crescente (Figura 10). A variabilidade alta em função do tempo pode ser explicada pela natureza dos ácidos fúlvicos, que contêm compostos facilmente degradáveis. A redução na fração C-AF ao longo do tempo indica que durante o processo há transformação de substâncias, gerando estruturas mais complexas e polimerizadas, fenômeno desejado do ponto de vista da fertilidade do solo (GARCIA-GOMEZ et al., 2005).



$$T\ 30\ y=0,26+0,03519x-0,00033x^2\ R^2=0,68\ F=17,90^{**}$$

$$T\ 60\ y=0,27+0,02858x-0,00030x^2\ R^2=0,93\ F=15,00^{**}$$

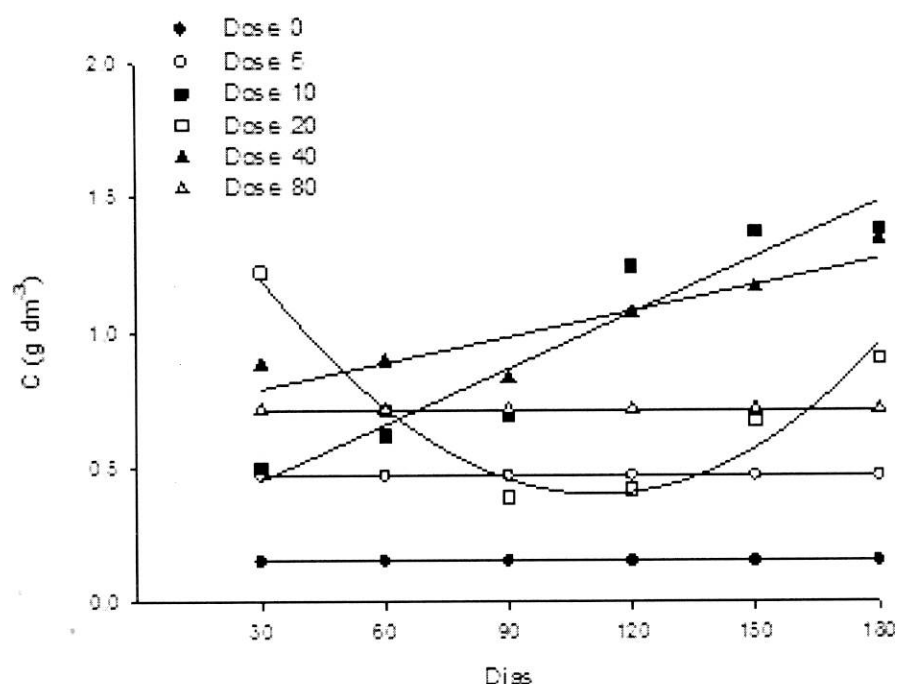
$$T\ 90\ y=0,38+0,01620x-0,00030x^2\ R^2=0,34\ F=4,30^*$$

$$T\ 120\ y=0,36+0,02896x-0,00030x^2\ R^2=0,33\ F=14,94^{**}$$

$$T\ 150\ y=0,33+0,04027x-0,00046x^2\ R^2=0,45\ F=35,26^{**}$$

$$T\ 180\ y=0,34+0,04964x-0,00056x^2\ R^2=0,61\ F=52,81^{**}$$

Figura 9. Carbono na fração ácidos fúlvicos em função de doses de esterco bovino em cada tempo de avaliação.



D 0	y=0,15333	
D 5	y=0,47166	
D 10	y=0,24666+0,00686x	R ² =0,90 F=51,91**
D 20	y=1,89275-0,02671x+0,00011x ²	R ² =0,96 F=30,32**
D 40	y=0,69250+0,00319x	R ² =0,82 F=30,32**
D 80	y=0,71333	

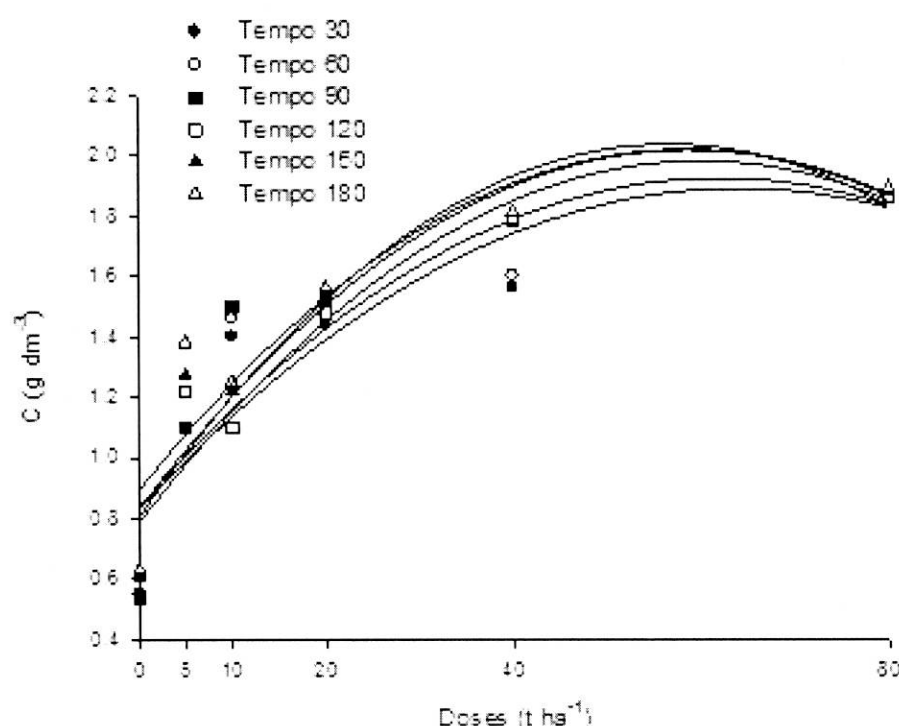
Figura 10. Carbono na fração ácidos fúlvicos em função do tempo de avaliação dentro de cada dose.

4.2.4 Carbono orgânico na fração ácidos húmicos

Na fração C-AH, em função das doses de esterco, ajustou-se ao modelo quadrático. Apesar do ajuste, não houve diminuição nos teores de carbono, e sim, estabilização com aplicação de doses entre 40 t ha⁻¹ e 80 t ha⁻¹ (Figura 11). Os teores de carbono desta fração foram maiores em relação ao C-AF.

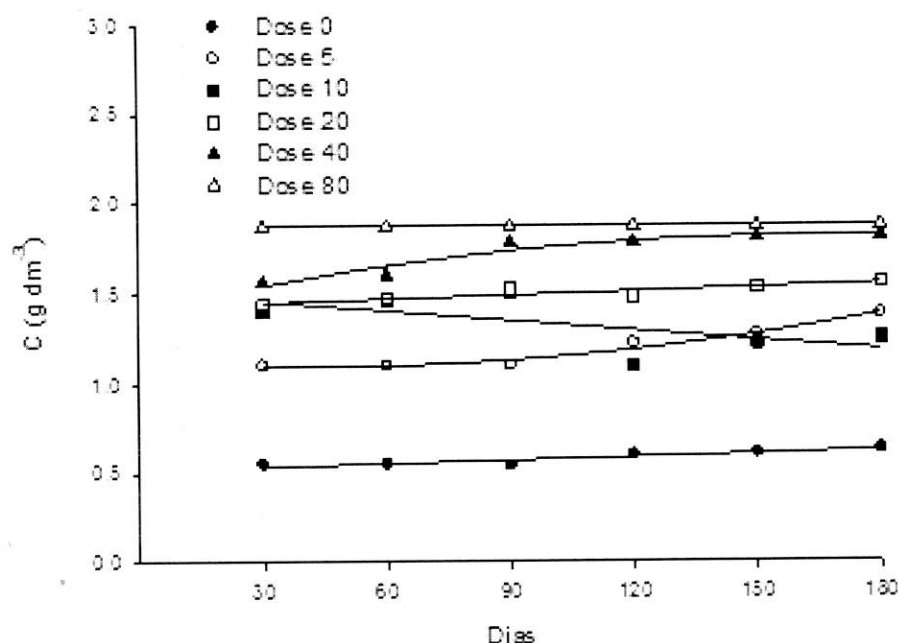
Quando os teores de C-AH foram avaliados em função do tempo, no tratamento que não recebeu esterco, e que nos que receberam 10 e 20 t ha⁻¹ de esterco, o ajuste foi linear crescente. Para as doses 5 e 40 t ha⁻¹, o ajuste foi quadrático e, quando 80 t ha⁻¹ de esterco foram aplicadas não houve efeito do tempo

de avaliação (Figura 12). Houve aumento do carbono das frações SH, AF e AH no tempo 30 dias, com a aplicação de esterco e o aumento foi, de modo geral, proporcional à dose aplicada (Figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13). São mais evidentes as alterações observadas para a fração de C-AH do que para a C-AF. Estes resultados indicam que a fração de C-AH é mais sensível ao processo de decomposição do que a fração de C-AF, sendo assim, os AH podem ser considerados melhor indicadores da evolução e estabilidade alcançada com aplicação do resíduo orgânico, durante e no final do processo (HUANG et al, 2006; PLAZA et al, 2005; PLAZA et al, 2006).



T 30	$y=0,83+0,03306x-0,00025x^2$	$R^2=0,80$	$F=659,86^{**}$
T 60	$y=0,84+0,03485x-0,00028x^2$	$R^2=0,79$	$F=780,65^{**}$
T 90	$y=0,81+0,04322x-0,00038x^2$	$R^2=0,84$	$F=1430,83^*$
T 120	$y=0,78+0,03943x-0,00032x^2$	$R^2=0,91$	$F=1057,89^{**}$
T 150	$y=0,83+0,04048x-0,00035x^2$	$R^2=0,89$	$F=1186,92^{**}$
T 180	$y=0,89+0,03857x-0,00033x^2$	$R^2=0,83$	$F=1071,54^{**}$

Figura 11. Carbono na fração ácidos húmicos em função de doses de esterco bovino em cada tempo de avaliação.



D 0 $y=0,51966+0,00060x$ $R^2=0,79$ $F=26,24^{**}$
 D 5 $y=1,12150-0,00121x+0,00001x^2$ $R^2=0,97$ $F=30,74^{**}$
 D 10 $y=1,51166+0,00178x$ $R^2=0,41$ $F=230,56^{**}$
 D 20 $y=1,42816+0,00071x$ $R^2=0,79$ $F=36,64^{**}$
 D 40 $y=1,40950+0,00495x-0,00001x^2$ $R^2=0,92$ $F=31,64^{**}$
 D 80 $y=1,86833$

Figura 12. Carbono na fração ácidos húmicos em função do tempo de avaliação dentro de cada dose.

A variação nos teores observada já aos 30 dias de avaliação em cada dose de esterco, tanto para substâncias húmicas como para os ácidos fúlvicos e os ácidos húmicos pode significar também que houve extração destas frações de carbono do esterco aplicado juntamente com as frações preexistentes no solo. Melo et al. (2008) determinaram 9,0 e 4,7 g kg⁻¹ de carbono nas frações AF e AH, respectivamente, em amostras de esterco bovino, usando solução de NaOH como extrator, a mesma que é utilizada no fracionamento da MO do solo. Deste modo, pode-se admitir que, pelo menos na fase inicial das avaliações, parte do C extraído das amostras de solo incubadas, era do próprio esterco.

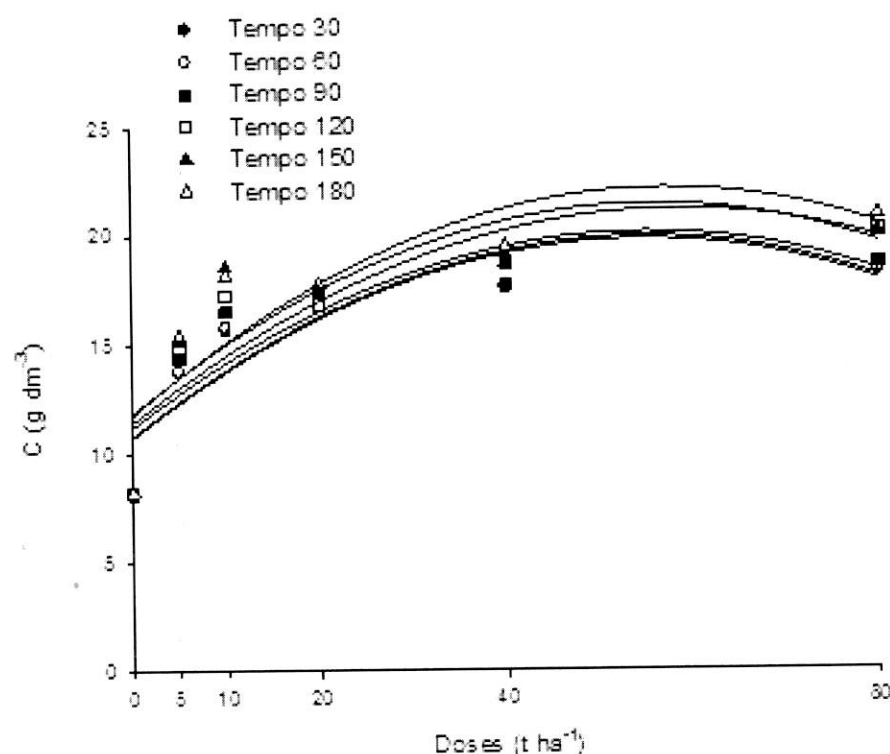
O aumento observado na fração ácidos húmicos (C-AH) nas doses estudadas são reflexo da degradação de compostos como lignina, celulose e proteínas e

implicam em aumentos na complexidade das estruturas formadoras dos ácidos húmicos e, portanto no aumento no grau de estabilização da matéria orgânica. A predominância dos ácidos húmicos sobre os fúlvicos é também um indicativo de humificação adequada do esterco bovino. Quanto maior o teor de C na fração ácidos húmicos, mais elevada é a capacidade de adsorver cátions dos resíduos orgânicos. A elevação no teor de C na fração C-AH pode ser uma indicação de melhoria da qualidade do húmus, ou do incremento da atividade biológica que promove a síntese de substâncias húmicas mais condensadas (CANELLAS et al., 2001).

4.2.5 Carbono orgânico na fração húmica

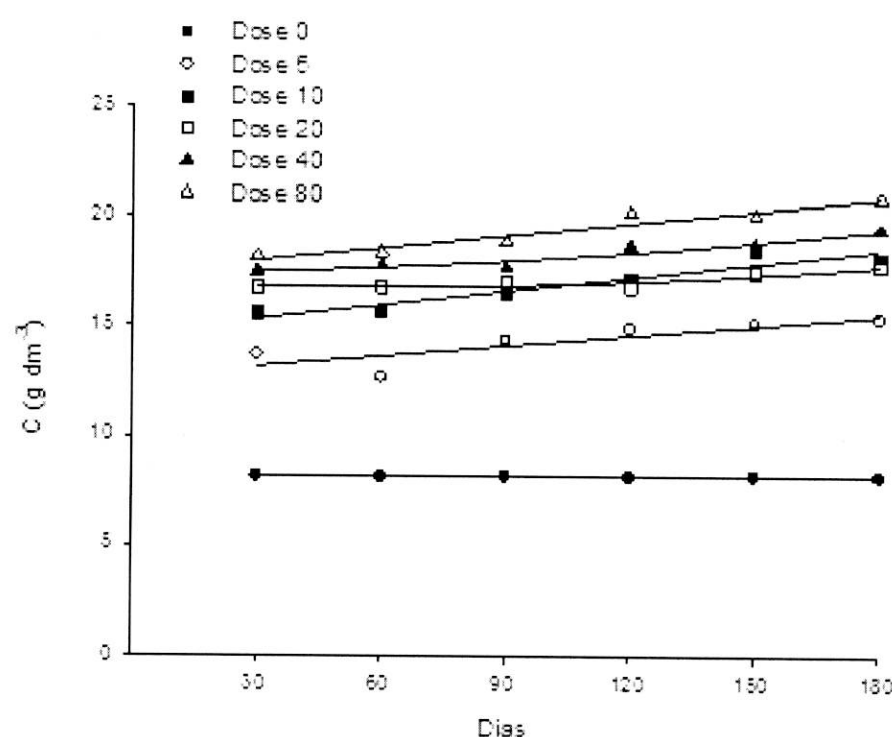
Houve aumento dos teores de C-H com o aumento das doses de esterco em todos os tempos de avaliação (Figura 13) e, em todos os casos, os ajustes foram quadráticos. As curvas referentes aos tempos 30, 60 e 90 dias estão praticamente sobrepostas, e o mesmo ocorreu nos tempos 120 e 150 dias. Aos 180 dias houve pequena variação em relação às outras doses, com teor máximo de $21,5 \text{ g dm}^{-3}$ de carbono (Figura 13).





T 30	$y=10,69+0,33262x-0,00303x^2$	$R^2=0,77$	$F=4,43^{**}$
T 60	$y=11,79+0,03367x-0,00007x^2$	$R^2=0,85$	$F=19,52^{**}$
T 90	$y=11,98+0,07682x-0,00024x^2$	$R^2=0,89$	$F=188,49^{**}$
T 120	$y=12,44+0,08506x-0,00033x^2$	$R^2=0,74$	$F=360,13^{**}$
T 150	$y=12,45+0,10220x-0,00037x^2$	$R^2=0,79$	$F=467,80^{**}$
T 180	$y=13,49+0,09877x-0,00034x^2$	$R^2=0,85$	$F=384,05^{**}$

Figura 13. Carbono na fração humina em função de doses de esterco bovino em cada tempo de avaliação.



$$D\ 0 \quad y=8,13000$$

$$D\ 5 \quad y=12,72+0,01536x$$

$$R^2=0,72 \quad F=177,56^{**}$$

$$D\ 10 \quad y=14,71+0,02108x$$

$$R^2=0,89 \quad F=334,98^{**}$$

$$D\ 20 \quad y=16,95-0,00669x+0,00006x^2$$

$$R^2=0,87 \quad F=5,59^*$$

$$D\ 40 \quad y=17,40+0,00169x+0,00005x^2$$

$$R^2=0,92 \quad F=4,14^*$$

$$D\ 80 \quad y=17,46+0,01871x$$

$$R^2=0,92 \quad F=264,06^{**}$$

Figura 14. Carbono na fração humina em função do tempo de avaliação dentro de cada dose.

Em função do tempo de avaliação, observou-se comportamento muito semelhante ao CO total, ou seja, não houve efeito do tempo de avaliação no tratamento sem aplicação do esterco, ajuste linear para as doses 5, 10 e 80 t ha⁻¹ de esterco e quadrático para as doses 20 e 40 t ha⁻¹. Os maiores teores de C associados a esta fração foram observados com aplicação de 80 t ha⁻¹ de esterco, no período final de incubação, 180 dias (Figura 14). Quando comparado às demais frações, a fração humina predomina, em todas as doses aplicadas e em todos os tempos de avaliação, o que está associado à sua insolubilidade e resistência a biodegradação, ocasionada pela formação de complexos metálicos estáveis ou

complexos argilo-húmicos. Esta condição pode interferir na transformação da matéria orgânica e favorecer o seu acúmulo na forma de frações húmicas mais estáveis, neste caso a humina. Segundo Canellas et al. (2001), a maior parte do C orgânico total no solo é composto basicamente pelas huminas, por ser a fração que se encontra intimamente associada à fração mineral do solo. Do mesmo modo como ocorreu com as frações C-AF e C-AH, o aumento do teor de humina aos 30 dias com o aumento da dose de esterco pode indicar que parte esta forma já existia no material incorporado ao solo. A rigor isso não deveria acontecer, tendo em vista que humina é a fração fortemente associada à matéria mineral do solo. No entanto, na amostra de esterco foram determinados 350 g kg^{-1} de matéria mineral por causa da maneira como o adubo foi estabilizado, em pátio sem revestimento, e também por causa do grau avançado de estabilização do material.

4.3 Nitrogênio total do solo

Na Tabela 2 estão os teores de N_t do solo em função das doses de esterco e dos tempos de incubação. Neste caso, optou-se por avaliar estatisticamente apenas os resultados obtidos com 180 dias de incubação, pelo fato de admitir que, na fase inicial das avaliações, parte do nitrogênio extraído das amostras de solo incubado, era do próprio esterco.

Os teores de N_t aos 180 dias ajustaram-se ao modelo linear (Figura 15) e aumentaram 37% (de $0,95$ na testemunha a $1,3 \text{ g kg}^{-1}$ com aplicação de 80 t ha^{-1} de esterco). A taxa de aumento do N-total do solo, com base na equação da Figura 10, foi de $0,0043 \text{ g kg}^{-1}$ de N para cada tonelada de esterco aplicada. Com aplicação de 15 t ha^{-1} de esterco bovino durante seis anos, Menezes et al. (2007), obtiveram teores de nitrogênio total do solo que variaram de $0,55 \text{ g dm}^{-3}$ no tratamento que não recebeu esterco bovino para $0,80 \text{ g dm}^{-3}$. Resultados semelhantes foram obtidos por Galvão et al. (2008), com teores de nitrogênio total do solo $0,33 \text{ g dm}^{-3}$ no tratamento sem aplicação do esterco bovino e aumento para $0,87 \text{ g dm}^{-3}$ quando foram aplicadas 20 t ha^{-1} de esterco bovino.

Tabela 2 Médias dos teores de nitrogênio total do solo em Latossolo Vermelho incubado por 180 dias com esterco bovino.

Tempo dias	Esterco (t ha ⁻¹ , base seca)					
	0	5	10	20	40	80
	----- N total (g kg ⁻¹) -----					
30	0,77	1,17	1,18	1,15	1,02	1,27
60	0,79	1,13	1,21	1,09	0,98	1,31
90	0,82	0,99	1,14	1,13	1,06	1,29
120	0,77	1,12	1,08	0,98	1,13	1,26
150	0,92	1,19	1,04	1,02	1,04	1,23
180	0,92	0,93	0,94	1,07	1,16	1,34

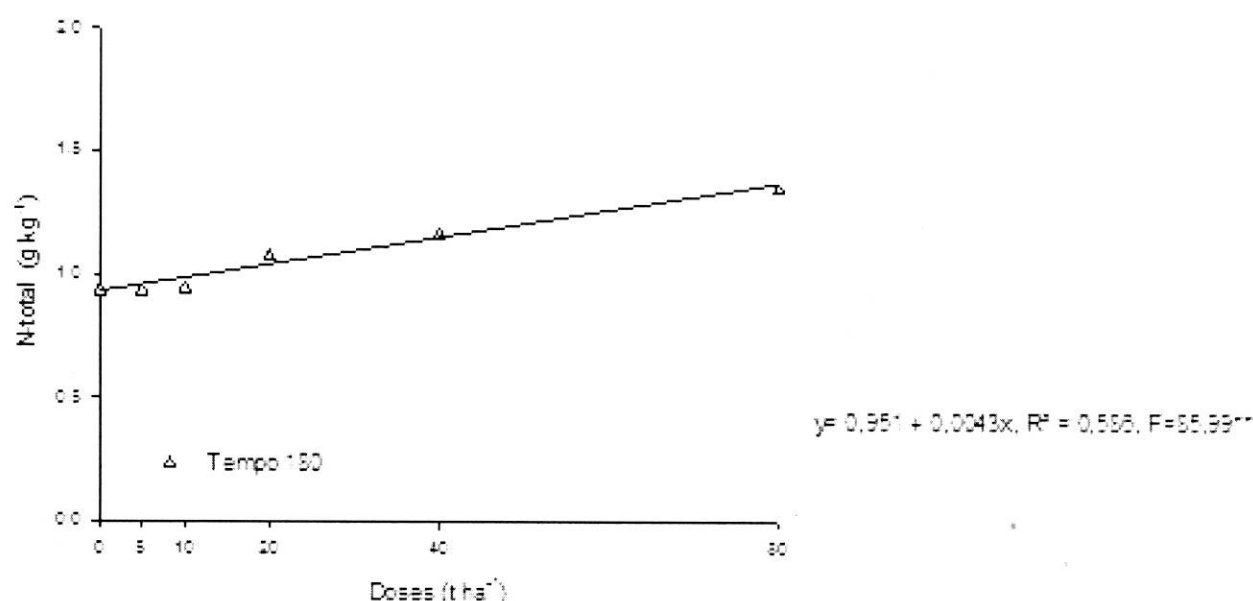


Figura 15. Nitrogênio total do solo aos 180 dias de avaliação com esterco bovino.

4.4 CTC a pH 7,0

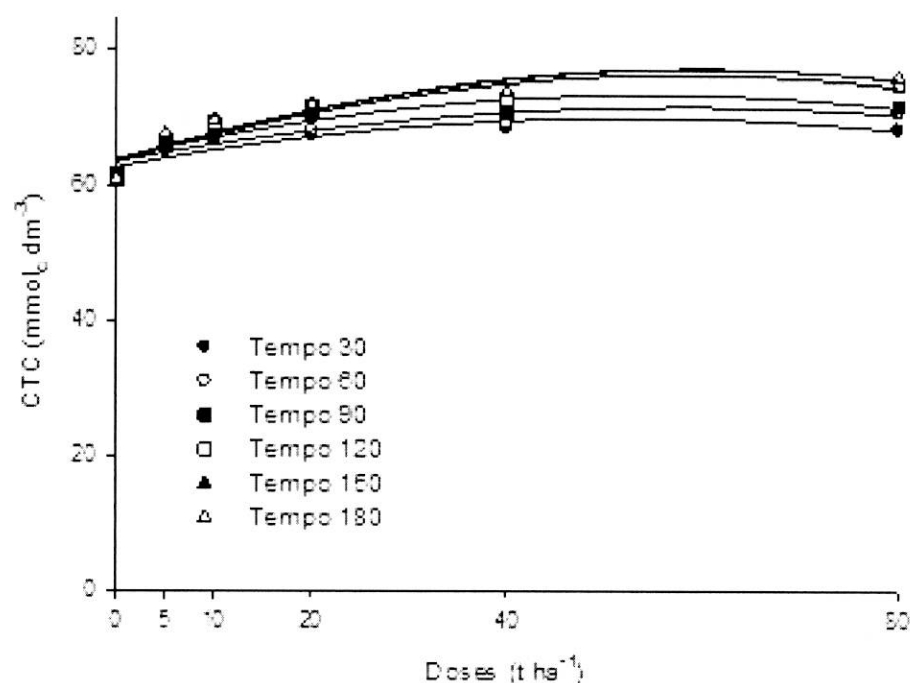
O efeito da aplicação de doses de esterco bovino e tempos de incubação, nos valores da CTC a pH 7,0 estão na Tabela 3. Observa-se efeito significativo para doses de esterco bovino, tempos de avaliação e interação das doses e tempos de avaliação para os valores de CTC do solo.

Tabela 3. CTC do solo a pH 7,0 em Latossolo Vermelho incubado por até 180 dias com esterco bovino.

Tempo dias	Esterco (t ha ⁻¹ , base seca)					
	0	5	10	20	40	80
	----- mmol _e dm ⁻³ -----					
30	62	63	67	67	68	69
60	61	65	69	70	71	71
90	61	66	69	70	70	70
120	61	65	67	71	70	71
150	62	63	65	69	71	72
180	61	61	68	71	71	72
Teste F						
Esterco						
Tempo						
E x T						
CV (esterco) %						
CV (tempo) %						

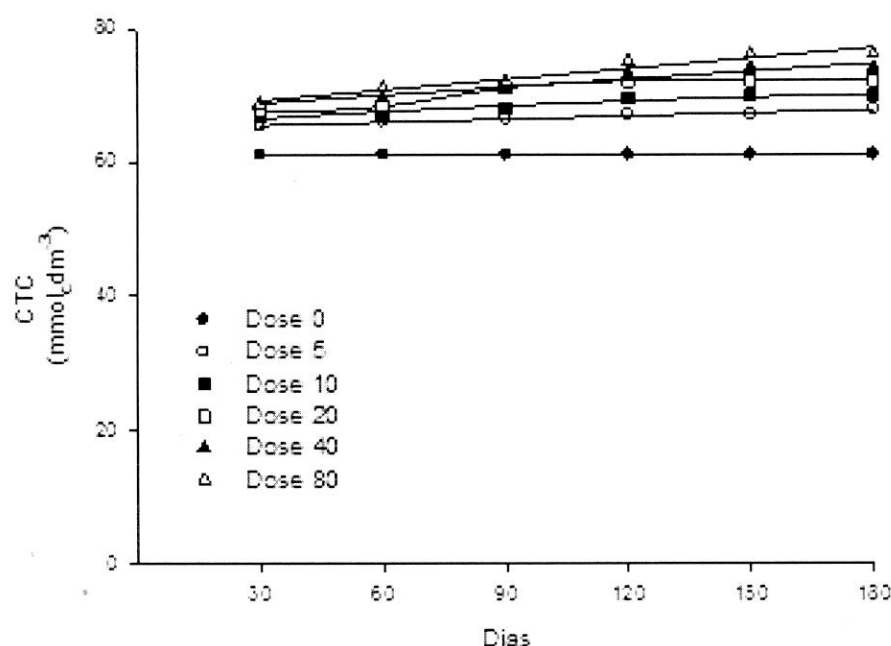
: significativo a 1% de probabilidade; CV: Coeficiente de variação %.

Os dados de valores da CTC do solo ajustaram-se ao modelo quadrático em todos os tempos de avaliação em função das doses de esterco bovino (Figura 16). Os menores valores de CTC ocorreram aos 30 dias de avaliação no tratamento que não recebeu esterco bovino e, os maiores valores de CTC foram obtidos aos 150 e 180 dias de incubação, quando atingiram valores próximos de 74 mmol_e dm⁻³ com aplicação de 52 e 49 t ha⁻¹ de esterco, respectivamente. No entanto, com aplicação de 40 t ha⁻¹ o valor de CTC é de 72 mmol_e dm⁻³ aos 180 dias de incubação. A CTC é bastante influenciada pelo conteúdo de matéria orgânica do solo, principalmente pelas frações AH e AF. A alta CTC da matéria orgânica é originada pela quantidade elevada de carga negativa dos grupos carboxílicos e fenólicos presentes nos ácidos húmicos e fúlvicos (OADES, 1989).



T 30 $y=62,98+0,26815x-0,00252x^2$ $R^2=0,83$ $F=88,91^{**}$
 T 60 $y=63,63+0,28521x-0,000257x^2$ $R^2=0,70$ $F=92,99^{**}$
 T 90 $y=63,68+0,31364x-0,00298x^2$ $R^2=0,71$ $F=124,90^{**}$
 T 120 $y=63,99+0,33891x-0,00328x^2$ $R^2=0,66$ $F=150,91^{**}$
 T 150 $y=64,27+0,35548x-0,00360x^2$ $R^2=0,72$ $F=181,58^{**}$
 T 180 $y=64,17+0,37629x-0,00362x^2$ $R^2=0,73$ $F=183,27^{**}$

Figura 16. CTC do solo em função de doses de esterco bovino em cada tempo de avaliação.



$$D\ 0\ y=61,08333$$

$$D\ 5\ y=64,90+0,01642x$$

$$D\ 10\ y=65,47+0,05961x-0,00020\ x^2\ R^2=0,95\ F=37,67^{**}$$

$$D\ 20\ y=66,93+0,02404x\ R^2=0,89\ F=11,08^{**}$$

$$D\ 40\ y=68,25+0,01785x\ R^2=0,97\ F=80,71^{**}$$

$$D\ 80\ y=68,65+0,01404x\ R^2=0,98\ F=44,51^*$$

$$R^2=0,66\ F=27,54^{**}$$

Figura 17. CTC do solo em função do tempo de avaliação dentro de cada dose.

Em função do tempo de avaliação, não houve efeito no valor da CTC do solo, no tratamento sem aplicação do esterco, ajuste quadrático apenas quando 10 t ha⁻¹ de esterco foram aplicadas e linear nas doses 5, 20, 40 e 80 t ha⁻¹ de esterco (Figura 17).

Os maiores valores de CTC foram observados com aplicação de 80 t ha⁻¹ de esterco, seguidos das doses 40, 20, 10 e 5 t ha⁻¹. Relação direta entre aumento da MO e CTC do solo tem sido verificada (CANELLAS et al., 2003; FALLEIRO et al., 2003), indicando que parte da variação da CTC é devido à MO. Aumentos nos valores da CTC também foram obtidos por Moreti et al. (2007), que variaram de 75 mmol_c dm⁻³ no tratamento testemunha para 98 mmol_c dm⁻³ quando aplicaram 14 t ha⁻¹

¹ de esterco de galinha, valores acima dos obtidos neste estudo. Pires et al. (2008) com aplicação de 5 t ha⁻¹ de esterco bovino obtiveram aumentos de CTC de 62 para 67 mmol_c dm⁻³. Por outro lado, Scherer et al. (2007) não constataram efeitos do esterco de suínos na CTC e no teor de MO do solo.

Aplicação de doses de esterco proporcionou aumentos significativos no valor da CTC, vindo a concordar com Kiehl (1985), em que a matéria orgânica contribuiu com 30–40 % na CTC em solos argilosos e 50–60 % em solos arenosos.

5 CONCLUSÕES

- O uso de esterco bovino proporcionou aumento no teor de carbono orgânico total de $11,08 \text{ g dm}^{-3}$ no tratamento testemunha para $18,64 \text{ g dm}^{-3}$ com aplicação de 80 t ha^{-1} de esterco bovino, e na CTC, de $62 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $72 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na média dos tempos de incubação.
- O N total do solo aumentou aos 180 dias de avaliação, de $0,95$ para $1,3 \text{ g kg}^{-1}$, com aplicação de 80 t ha^{-1} de esterco bovino.
- A fração humina foi a que predominou na matéria orgânica do solo, sendo seguida das frações ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, e da fração carbono solúvel em água.

6 REFERÊNCIAS

- ABRIL, A.; CAUCAS, V.; BUCHER, E.H. Reliability of the in situ incubation methods used to assess nitrogen mineralization: a microbiological perspective. **Applied Soil Ecology**, v.17, p.125-130, 2001.
- AMADO, T. J. C; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 189-197, 2001.
- ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; CARDOSO, S. J. T. **Iniciação à Minhocultura**. Santa Maria: UFSM, p.59-89, 1996.
- ALVES, W.L.; MELO,W.J.; FERREIRA, M.E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. n. 23, p. 729-736, 1999.
- ALVAREZ-PUEBLA, I. A.; GOULET, P. J. C.; GARRIDO, J. J. Characterization of the porous structure of different humic fraction. **Colloids Surfaces. Physicochemical and Engineering Aspects**, Colsurfa, v. 256, n. 3-2, p. 129-135, 2005.
- BARBOSA, J.C.; MALDONADO, Jr. W.; **Agro Estat** Sistema para análises estatística de ensaios agrônômicos. Versão 1.1.0.696, 2011.
- BERNAL, M.P.; NAVARRO, A.F.; SANCHEZ-MONEDERO, M.A.; ROIG, A.; CEGARRA, J. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, p. 305- 313, 1998.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2003 7p. (Embrapa solos. Comunicado Técnico, 16).
- BRITO, O.R; VENDRAME, P.R.S; BRITO, R.M. Alterações das propriedades químicas de um latossolo vermelho distroférrico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 33-40, 2005.
- BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil formation**. 2.ed. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2002. 404p.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Ed.rev.atual. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 173-180.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio total em solo. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. p. 262-269. 77p. (IAC. Boletim técnico, 106).

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1529-1538, 2001.

CANELLAS, L.P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.935-944, 2003.

CHRISTENSEN, B. T. Effects of animal manure and mineral fertilizer on the total carbon and nitrogen contents of soil size fractions. **Biology and Fertility of Soils**, v.5, p.304-307, 1988.

COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu : University of Hawaii Press, 1989. 249p.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.777-788, 2005.

CURI, N; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, SBSCS, 1993. 90p.

De SOUZA, L. M.; CASTILHOS, D. D.; MORSELLI, T. B. G. A.; CASTILHOS, R. M. V. Influência da aplicação de diferentes vernicompostos na biomassa microbiana do solo após cultivo de alface. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, p. 429-434, 2006.

DICK, D. P.; GONÇALVES, C. M.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KOGELKNABNER, I.; SIMOES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 319-333, 2005.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: compartimentos, composição e reações. In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. (Org.) **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006. p. 65-80.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: **Soil Science Society of America**, Madison, 1994. p.3-35.

DOBBD, L. B.; RUMJANECK, V. M.; BALDOTTO, M.; VELLOSO, A. A. X.; CANELLAS, L. P. Caracterização química e espectroscópica de Latossolos Brasileiros. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n.1, p. 51-63, 2009.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.15, p.3-11, 2000.

ENO, C.F. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.24, p.277-279, 1960.

ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. Efeito imediato e residual de materiais orgânicos, adubo mineral e calcário no rendimento vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.6, p. 119-124, 1982.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA. Normais climatológicas FCAV/UNESP. Disponível em WWW.exatas.fcav.unesp.br/estacao/est_normal.htm. Acesso em: 15 nov. 2013.

FALLEIRO, R.M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, n.6, p.1097-1104, 2003.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.41, p.847-853, 2006.

GARCIA-GOMEZ, A.; BERNAL, M.P.; ROIG, A. Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting. *Compost Science & Utilization*, v. 13, p. 127-135, 2005.

GALVÃO, S.R.S.; SALCEDO, I.H.; OLIVEIRA, F.F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, p. 99-105, 2008.

GORDON, A.M.; TALLAS, M.; CLEVE, K. van Soil incubations in polyethylene bags: effect of bag thickness and temperature on nitrogen transformations and CO₂ permeability. *Canadian Journal of Soil Science*, v.67, p. 65-75, 1987.

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: Gênese, 1999. 49p.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREALL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Montreal, v. 74, p. 367-385, 1994.

HAYES, M.H.B.; HIMES, F.L. Nature and properties of humus-mineral complexes. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds.) **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison, SSSA, p. 103-158, 1986.

HASSETT, J. J.; BANWART, W. L. **Soils & their environment**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992. 427 p.

HAYES, M.H.B.; MALCOLM, R.L. Considerations of compositions and of aspects of the structures of humic substances. In: CLAPP, C.E.; HAYES, M.H.B.; SNESI, N.; BLOOM, P.R.; JARDINE, P.M. (Eds). **Humic substances and chemical contaminants**. Madison: SSSA, 2001. p. 3-39.

HATI, K. M., SWARUP, A., DWIVEDI, A. K., MISRA, A. K., and BANDYOPADHYAY K. K. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 119, p. 127-134, 2007.

HOFFMANN, W. Etnobotânica. In: Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Roma: FAO, Produção e Proteção Vegetal, 2001. Tradução (SEBRAE/PB), Paper 132, p. 12-14.

KAUTZ, T.; FANDO, C.L. e ELLMER, F. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. **Applied Soil Ecology**, v.33 p. 278-285, 2006.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985. 492p

LEITE, L.F.C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.821- 832, 2003.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 2.ed. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1967 – 528 p.

MAIA, C.E.; CANTARUTTI, R.B. Acumulação de nitrogênio e carbono no solo pela adubação orgânica e mineral contínua na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 8, p. 39-44, 2004.

MANNA, M. C.; SWARUP, A.; WANJARI, R. H.; MISHRA, B.; SHAH, C. D. K. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil & Tillage Research*, v. 94, p.397-409, 2007.

MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um latossolo argiloso sob cerrado e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v 18, p. 295-303, 1994.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 181, p.83-93, 1996.

MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 3ª ed. Porto Alegre: EVANGRAF, 2006.

MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, v.11, p.361-367, 2007.

MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, v. 12, 2008.

MELLEK, J.E. Dejeito líquido bovino e alterações em atributos físicos e estoque de carbono de um latossolo sob plantio direto. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. de O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v 32; p. 101-110, 2008.

MORETI, D.; ALVES, M.C.; VALERIO FILHO, W.; CARVALHO, M.P. Atributos químicos de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 167-175, 2007.

NASCIMENTO, E.J.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L.M.; CRUZ, J.C.; REGAZZI, A.J. Dinâmica da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, fase cerrado, submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 28, n. 220, p. 513-521, 1991.



NOVOTNY, E. H.; MARTIN-NETO, L. Effects from humidity and metal ions on the free radical analysis of peat húmus. *Geoderma*, Amsterdam, v. 106, n. 3/4, p. 305-317, 2002.

OADES, J. M. N. A 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, Madison, 1989. p. 35-84.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; LIMA, J. M.; RANGEL, O. J. P. Formas e quantidades de carbono em lixiviados de Latossolos Vermelhos sob influência de calcário e fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1261-1271, 2008.

PICCOLO, A. Atmospheric CO₂ and alteration of global climate. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., 1999, Santa Maria. *Anais*. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1999. 145 p.

PIRES, A. A.; MONNERAT, P. H.; MARCIANO, C. R.; PINHO, L. G. R.; ROSA, R. C. C.; MUNIZ, R. A. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro nas características químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1997-2005, 2008.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

REDDY, K.S.; SINGH, M.; TRIPATHI, A. K.; SAHA, M. N. Changes in amount of organic and inorganic fractions of nitrogen in an Eutrochrept soil after long-term cropping with different fertilizer and organic manure inputs. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 166, p. 232-238, 2003.

SCHJØNNING, P.; CHRISTENSEN, B. T.; CARSTENSEN, B. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. *European Journal of Soil Science*, v. 45, p.257-268, 1994.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SOUZA, L.M.; CASTLHOS, D.D.; MORSELLI, T.B.G.A.; CASTILHOS, R.M.V. Influencia de aplicação de diferentes vermicompostos na biomassa microbiana do solo após cultivo de alface. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v. 12, p. 429-434, 2006.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a

intensidades de pastejo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of soil science terms**. Madison: SSSA, 1997. 138p.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: J. Wiley, 1986. 380p.

STEVENSON, F.J.; **Humus chemistry: genesis, composition and reaction**. 2^a ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 123-13, 2007.

SWIFT, R. S.; In: **Methods of soil analysis**. Part 3. chemical methods – SSSA Book series no 5. Madison: Soil Science Society of America Journal, 1996, p. 1011.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5)

VANLAUWE, B.; GACHENGO, C.; SHEPHERD, K.; BARRIOS, E.; CADISCH, G.; PALM, C.A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.69, p.1135-1145, 2005.

VIAUD, V.; ANGERS, D. A.; PARNAUDEAU, V.; MORVAN, T.; MENASSERI AUBRY, S. Response of organic matter to reduce tillage and animal manure in a temperate loamy soil. *Soil and Use Management*, v.27, p.84-93, 2011.

VIDIGAL, S. M.; RIBEIRO, A. C.; CASALI, V. W. D.; FONTES, L. E. T. Resposta do alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 42, n. 239, p. 89-97, 1995.

VITTI, G.C.; HOLANDA, J.S.; SERQUEIRA LUZ, P.H.; HERNANDEZ, F.B.T.; BOARETTO, A.E.; PENTEADO, S.R. Fertirrigação: condições e manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1995. *Anais*. Petrolina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.195-271.

VOLKOFF, B.; FLEXOR, J.M.; SANTA ISABEL, L.; SANTA ISABEL, M. Natureza do húmus nos latossolos distróficos da Bahia. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 2, p. 59-63, 1978.

YAGI, R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 60, p. 549-557, 2003.

ZECH, Z., 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*, Amsterdam, v.79, p.69-116, 1997.