

DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN CLASES DE AGREGADOS EN UN LATOSOL ARCILLOSO ROJO BAJO FORESTACIÓN Y PASTIZAL

ORGANIC MATTER DISTRIBUTION IN CLASSES OF AGGREGATES OF A RED CLAY LATOSOL UNDER FORESTRY AND PASTURES

Daiane Carvalho-dos Santos¹, Cláudia L. Rodrigues-de Lima¹, Clenio Nailto-Pillon², José Ma. Filippini-Alba^{2*}, Carla Machado-da Rosa¹, Marla de Oliveira-Farias¹

¹Post-graduación en Agronomía, Campus Universitario, Universidad Federal de Pelotas. s/n, Caja Postal 354, CEP 96010-900, Ciudad de Pelotas, Estado de Rio Grande do Sul, Brasil. (santos.daianec@gmail.com) (clrlima@yahoo.com.br) (carlamrosa@yahoo.com.br) (marla_farias@yahoo.com.br). ²Embrapa Clima Templado, Carretera BR 392, km 78, Caja Postal 403, Pelotas, Estado de Rio Grande do Sul, Brasil. (clenio.pillon@cpact.embrapa.br) (jose.filippini@cpact.embrapa.br).

RESUMEN

Los estudios de la concentración de carbono orgánico total (COT) del suelo y de las fracciones de la materia orgánica contribuyen significativamente para la evaluación de la calidad del suelo, en particular en la región estudiada, donde no hay información sobre el tema. Además hay una preocupación mundial sobre el ciclo del carbono, en función del efecto invernadero que perjudica las condiciones climáticas del planeta. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de los sistemas productivos en la concentración de COT en un suelo clasificado como latosol arcilloso rojo distrófico, en la fracción de carbono orgánico particulado y en la fracción de carbono mineral, o sea, la fracción de carbono asociado a los minerales del suelo y en varias clases de agregados del suelo plantado con: 1) eucaliptus (*Eucalyptus saligna*) de 13 y 20 años, 2) pastizales y 3) bosque nativo donde predominan especies higrófitas y xerófitas deciduales. Las muestras de suelo se recolectaron en el distrito de Butiá, Rio Grande do Sul (Brasil) en el 2006 en profundidades de 0.00 a 0.05, 0.05 a 0.10, 0.10 a 0.20 y 0.20 a 0.40 m. Las muestras se secaron al aire a 20 °C y se tamizaron según las clases de fraccionamiento granulométrico, considerando las clases de agregados 4.76 a 8.00 mm, 2.00 a 4.76 mm, 1.00 a 2.00 mm, 0.50 a 1.00 mm; 0.25 a 0.50 mm y <0.25 mm. Para cada clase de agregado se determinó carbono orgánico particulado y COT. Las mayores concentraciones de COT, carbono orgánico particulado y carbono mineral ocurrieron en la fracción de mayor tamaño (8.00 a 4.76 mm). En los suelos de pradera la mayor acumulación

ABSTRACT

Studies of the concentration of total organic carbon (TOC) in soil and organic matter fractions contribute significantly to the evaluation of soil quality, particularly in the study region, where there is no information on this topic. Moreover, there is also a worldwide concern about the carbon cycle, depending on the greenhouse effect that harms the world's climatic conditions. The aim of this study was to evaluate the effect of production systems in TOC concentration in a soil classified as dystrophic red clayey latosol, in the fraction of particulate organic carbon and in the mineral carbon fraction, *i. e.*, the fraction of carbon associated with soil minerals and in various classes of aggregates of the soil planted with: 1) 13 and 20-year-old eucalyptus (*Eucalyptus saligna*), 2) pastures and 3) native forest where hygrophilous species and deciduous xerophytes dominate. Soil samples were collected in the district of Butiá, Rio Grande do Sul (Brazil) in 2006 in the depths 0.00 to 0.05, 0.05 to 0.10, 0.10 to 0.20 and from 0.20 to 0.40 m. Samples were air-dried at 20 °C and sieved according to the classes of granulometric fractionation, considering the aggregate classes of 4.76 to 8.00 mm, 2.00 to 4.76 mm, 1.00 to 2.00 mm, 0.50 to 1.00 mm, 0.25 to 0.50 mm and <0.25 mm. For each class of aggregate, particulate organic carbon and TOC was determined. The highest TOC concentrations, particulate organic carbon and mineral carbon occurred in the largest fraction (8.00 to 4.76 mm). In pasture soils greatest TOC accumulation was found at depth of 0.05 to 0.20 m, in classes of aggregates 8.00 to 0.50 mm.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2011. Aprobado: febrero, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 231-241. 2012.

Key words: *Eucalyptus saligna*, land use systems, soil quality, forestation, particulate organic carbon and soil mineral, microaggregates and macroaggregates.

de COT se encontró en la profundidad de 0.05 a 0.20 m, en las clases de agregados 8.00 a 0.50 mm.

Palabras clave: *Eucalyptus saligna*, sistemas de uso del suelo, calidad del suelo, forestación, carbono orgánico particulado y mineral en el suelo, microagregados y macroagregados.

INTRODUCCIÓN

La sustitución del bosque natural por cultivos anuales, praderas o pastizales y plantíos forestales comerciales puede disminuir las reservas de materia orgánica del suelo (MOS) debido a la descomposición acelerada, reducción de aporte de material vegetal y calidad de los residuos (Lima *et al.*, 2008). Sin embargo, los sistemas conservacionistas de uso, como la siembra directa o mínimo movimiento del suelo, mejoran la calidad de los suelos debido al aumento en el contenido de MOS, lo que determina mayor estabilidad/tamaño de agregados y mayores concentraciones de carbono orgánico total (COT) en el suelo (Wright y Hons, 2005).

La MOS es un atributo importante en la evaluación de los sistemas de uso y de manejo, porque se correlaciona con la mayoría de los atributos de calidad del suelo. Para facilitar el estudio de la MOS y dada su heterogeneidad, se consideran las diferentes fracciones granulométricas del suelo. Así, según Christensen (2001), en la fracción particulada, o sea con tamaño superior a $53\ \mu\text{m}$, predomina la parte lábil de la MOS, con mayor tasa de reciclado y muy sensible a las prácticas de manejo adoptadas. La fracción asociada con los minerales incluye arcilla con tamaño de partículas inferior a $2\ \mu\text{m}$ y silte en el intervalo 2 a $53\ \mu\text{m}$, dependiendo de la MOS transferida desde la fracción particulada, representando una condición avanzada de humificación, o sea constituyendo una fracción más estable, afectada a largo plazo por las prácticas de manejo.

Por tanto, el cambio en el uso del suelo de un sistema natural para un sistema agrícola causa una disminución significativa de la concentración de carbono en la fracción particulada de la MOS, pero la fracción asociada a los minerales es menos alterada (Guggenberger y Zech, 1999). Entonces, los sistemas conservacionistas de cultivo optimizan los beneficios generados por la MOS, desde la perspectiva de la calidad del suelo y de la productividad agrícola. Para

INTRODUCTION

The replacement of natural forest for annual crops, pastures or grasslands and commercial forest plantations may decrease the soil organic matter (SOM) stocks due to the accelerated decomposition, reduction of plant material supply and quality of residues (Lima *et al.*, 2008). However, the conservationist use systems, such as direct seeding or soil preparation with minimal turnover, improve soil quality due to the increase in SOM content, which determines greater stability/size of aggregates and higher concentrations of total organic carbon (TOC) in soil (Wright and Hons, 2005).

In the evaluation of systems of use and management SOM is an important attribute, because it correlates with the majority of soil quality attributes. To facilitate the study of SOM and given its heterogeneity, the different soil granulometric fractions are considered as the following text. Thus, according to Christensen (2001), in the particulate fraction, or with size larger than $53\ \mu\text{m}$, dominates the labile part of SOM, with higher recycled rate and very sensitive to management practices adopted. The fraction associated with the minerals includes clay with particle size less than $2\ \mu\text{m}$ and silt in the range 2 to $53\ \mu\text{m}$, depending on SOM transferred from the particulate fraction, representing an advanced condition of humification, or constituting a more stable fraction, long-term affected by management practices.

Therefore, the land use change from a natural system to an agricultural system, causes a significant decrease of carbon concentration in the particulate fraction of SOM, but the fraction associated with minerals is less altered (Guggenberger and Zech, 1999). Thus, the conservationist systems of cultivation optimize the benefits generated by SOM, from the perspective of soil quality and agricultural productivity. To contribute in the definition of appropriate forms of management and land use in the implementation of forest and grassland production systems and to reduce the degradation processes, the aim of this study was to evaluate TOC concentration in the classes of aggregates and fractions of particulate organic matter and associated with clay and silt fractions, of a dystrophic Clayey Red Latosol after 13 and 20 years of planting eucalyptus (*Eucalyptus*

contribuir en la definición de formas adecuadas de manejo y uso del suelo en la implantación de sistemas de producción forestal y de pastizales y para reducir los procesos de degradación, el objetivo del presente estudio fue evaluar la concentración de COT en las clases de agregados y en las fracciones de la materia orgánica particulada y asociada a las fracciones arcilla y silte, de un Latosol Arcilloso Rojo distrófico, después de 13 y 20 años de plantación de eucaliptus (*Eucalyptus saligna*), comparado con una área de pastizales y otra de bosque nativo (bosque estacional decidual).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en áreas de producción forestal de eucaliptus con diferentes edades de plantación, pertenecientes a la CMPC Celulosa Riograndense, en una área con pastizales y en otra de bosque nativo (bosque estacional decidual), localizadas en el distrito de Butiá, Rio Grande do Sul, Brasil. Es una región de clima subtropical, húmedo y sin estación seca, clasificado como Cfa según Köppen (Strahler *et al.*, 1984). La temperatura media anual es 18 °C, con medias máximas y mínimas anuales de 24 y 14 °C. El suelo se clasificó como Latosol Arcilloso Rojo distrófico, Tb A moderado, con textura media/arcillosa con grava, relieve suave ondulado y ondulado (Santos *et al.*, 2006). Los porcentajes medios de grava, arena total, arena gruesa, arena fina, limo y arcilla en cada profundidad muestreada y en los diferentes tipos de uso del suelo fueron presentados por Suzuki (2008).

El área E1, aproximadamente 17 ha, está localizada entre 30° 06' 06" S y 51° 52' 22" O. Los muestreos se realizaron en septiembre de 2006 con un cultivo comercial de *E. saligna* de 13 años. El suelo del área fue preparado con escarificador y arado pesado; el primer corte de eucaliptus se realizó en 1998 (8.5 años de edad) y el segundo, plantío efectuado en las entrelíneas, fue en 2002. La distancia entre líneas de eucaliptus fue 3 m y la distancia entre plantas fue 2 m. Los árboles se fertilizaron con superfosfato y pentóxido de fósforo en surcos y con una dosis de 200 kg ha⁻¹ expresada como P₂O₅. Además se aplicó en cobertura 200 g por planta de la fórmula NPK 20:0:20 (N, P₂O₅ y K₂O). No se realizó quema de residuos vegetales en esta área.

El área E2, localizada en 30° 06' 11" S y 51° 52' 42" O, tenía cultivo de *E. saligna* con 20 años de edad al momento de recolectar las muestras. Tamaño aproximado de 3 ha, manejados de forma similar al área E1, pero sin cortes intermediarios. El área de pastizales (PAST), con uso predominante de ganadería extensiva, está entre 30° 06' 13" S y 51° 52' 34" O, con braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*) asociada a pensacola (*Paspalum lourai*) y trébol (*Trifolium* sp.). La siembra se realizó en 1200

saligna) compared with one area of pastures and other of native forest (decidual seasonal forest).

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted in areas of eucalyptus forest production with different ages of plantation, belonging to the company CMPC Celulosa Riograndense, in one area with pastures and on the other with native forest (decidual seasonal forest), located in the district of Butiá, Rio Grande do Sul, Brazil. It is a region with humid subtropical climate and without dry season, classified as Cfa according to Köppen (Strahler *et al.*, 1984). The mean annual temperature is 18 °C, with maximum and minimum annual means of 24 and 14 °C. Soil is classified as dystrophic Red Clayey Latosol, Tb A moderate with medium/clayey texture with gravel, soft undulating and undulating relief (Santos *et al.*, 2006). The mean percentages of gravel, total sand, coarse sand, fine sand, silt and clay at each depth sampled and in the different types of land use were presented by Suzuki (2008).

Area E1, approximately 17 ha, is located between 30° 06' 06" S and 51° 52' 22" W. Sampling was conducted in September 2006 with a 13-year-old *E. saligna* cash crop. The soil of the area was prepared with scarifier and heavy plow; the first cutting of eucalyptus took place in 1998 (8.5 years of age) and the second, plantation made between the inter-lines, took place in 2002. The distance between lines of eucalyptus trees was 3 m and plant spacing was 2 m. The trees were fertilized with superphosphate and phosphorus pentoxide in rows and with a rate of 200 kg ha⁻¹ expressed as P₂O₅. In coverage, 200 g per plant of the formula NPK 20:0:20 (N, P₂O₅ and K₂O) was also applied. No burning of plant residues was made in this area.

Area E2, located at 30° 06' 11" S and 51° 52' 42" W, had a 20-year-old *E. saligna* crop at the time of collecting samples. It had an approximate size of 3 ha, managed similarly to E1 area, but without intermediate cuttings. Pasture (PAST) area with predominant use of extensive cattle raising, is between 30° 06' 13" and 51° 52' 34" W, with braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*) associated with pensacola (*Paspalum lourai*) and clover (*Trifolium* sp.). Planting was done in 1200 ha by conventional preparation (tillage and hand planting) and plants were five years old at the time of sampling. The native forest (BN) area is adjacent to areas E1, E2 and PAST and is located at 30° 06' 14" S and 51° 52' 27" W. According to IBGE (1986), it is a decidual seasonal forest with trees of average height 4 m, dominated by hygrophilous and deciduous xerophytes species (*Apuleia*, *Parapeptadenia* and *Peltophorum*). In each collection area three trenches were randomly opened next to each other, to reduce the variability of undulating relief. In the layers of 0.00 to 0.05 m, 0.05 to 0.10 m, 0.10 to

ha por preparación convencional (labrado y siembra manual) y tenía cinco años de edad al momento del muestreo. El área de bosque nativo (BN) es adyacente a las áreas E1, E2 y PAST y se localiza en 30° 06' 14" S y 51° 52' 27" O. Según el IBGE (1986), es una selva estacional decidual con individuos de 4 m de altura promedio, donde predominan especies higrófitas y xerófitas deciduales (*Apuleia*, *Parapeptadenia* y *Peltophorum*). En cada área de recolección se abrieron aleatoriamente tres trincheras próximas entre sí, para reducir la variabilidad del relieve ondulado. En las capas de 0.00 a 0.05 m, 0.05 a 0.10 m, 0.10 a 0.20 m y 0.20 a 0.40 m de cada área, se recolectaron muestras de suelo alteradas para analizar el COT y evaluar el fraccionamiento físico granulométrico. También se recolectaron muestras inalteradas (anillos volumétricos) para determinar la densidad del suelo, datos usados para evaluar la cantidad de COT y de NT por capa (Suzuki, 2008).

Las muestras de suelo alteradas fueron secadas 72 h al aire (20 °C aproximadamente), se pesaron y tamizaron para separar en clases por tamaño de agregados. La separación granulométrica se realizó manualmente agitando 15 veces los tamices, girando 90° y repitiendo las 15 agitaciones. Después de separar las clases de agregados, parte del suelo fue molido en mortero de ágata para determinar el COT. El suelo restante del tamizado de cada clase de agregados se destinó al fraccionamiento físico granulométrico para obtener las fracciones particulada (COP > 53 μm) y la fracción asociada a los minerales (CAM < 53 μm), de acuerdo al procedimiento de Cambardella y Elliott (1992).

El contenido de COT en la masa de suelo y el carbono de la fracción particulada (COP) fueron cuantificados por oxidación seca en un analizador elemental FLASH EA 1112 HT. Los resultados se expresaron por la relación masa/volumen considerando los datos de densidad del suelo (muestras de anillos). El carbono de la fracción de la MOS asociado a los limos y arcilla (CAM) se obtuvo por la diferencia entre el COT y el COP. Los resultados se evaluaron con la prueba de t , considerando la diferencia mínima significativa (DMS; $p \leq 0.05$) de acuerdo con el análisis de varianza (SAS, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sistemas de uso mostraron diferencias estadísticas significativas para la concentración de COT en la capa de 0.00 a 0.05 m para las clases de tamaño de agregado 2.50 a 4.76 mm, 1.00 a 2.00 mm y 0.50 a 1.00 mm (Cuadro 1). En la clase de agregados de 4.76 a 2.00 mm, el bosque nativo (BN) fue estadísticamente significativo sólo para E1. Sin embargo, en las clases de tamaño de agregado de 1.00 a 2.00 mm

0.20 m and 0.20 to 0.40 m in each area, altered soil samples were collected to analyze TOC and evaluate the granulometric physical fractionation. Unaltered samples were also collected (volumetric rings) to determine soil density, data used to evaluate the amount of TOC and NT by layer (Suzuki, 2008).

Altered soil samples were air-dried for 72 h (20 °C approximately), weighted and sieved to separate into classes per aggregate size. The granulometric separation was performed manually shaking 15 times the sieves, turning 90° and repeating the 15 shakings. After separating the classes of aggregates, part of the soil was ground in an agate mortar to determine TOC. The rest of the sieved soil of each class of aggregates was devoted to the physical granulometric fractionation to obtain the particulate fractions (POC > 53 μm) and the fraction associated with minerals (CAM < 53 μm), according to the procedure of Cambardella and Elliott (1992).

The content of TOC in the soil mass and carbon from the particulate fraction (POC) were quantified by dry oxidation in an elemental analyzer FLASH EA 1112 HT. The results were expressed by the mass/volume relationship considering the soil density data (samples of rings). Carbon of the fraction of SOM associated to silt and clay (CAM) was obtained by the difference between TOC and POC. The results were evaluated using the t test, considering the least significant difference (LSD; $p \leq 0.05$) according to analysis of variance (SAS, 1991).

RESULTS AND DISCUSSION

All the systems of use showed significant statistical differences for TOC concentration in the 0.00 to 0.05 m layer for aggregate size classes 2.50 to 4.76 mm, 1.00 to 2.00 mm and 0.50 to 1.00 mm (Table 1). In the class of aggregates of 2.00 to 4.76 mm, the native forest (BN) was statistically significant only for E1. However, in the aggregate size classes of 1.00 to 2.00 and of 0.50 to 1.00 mm, the highest TOC concentrations were observed in E2 and BN systems. Perhaps the shorter contribution of plant residues to the surface area of eucalyptus production E1 (13 years) and of PAST system (5 years) contributed to a slight TOC accumulation in these classes of aggregates. There are higher TOC concentrations compared to the aforementioned considering a direct-seeding system to all classes of aggregates (Madari *et al.* (2005), with respect to the conventional cultivation in the 0.00 to 0.05 m layer. This accumulation is attributable to the absence of turnover soil and addition of dry matter, which favors aggregation of organic matter.

Cuadro 1. Carbono orgánico total (g dm^{-3}) en clases de tamaño de agregados y capas de profundidad de un Latosol Arcilloso Rojo bajo diversos sistemas de uso del suelo.**Table 1. Total organic carbon (g dm^{-3}) in classes of aggregate size and layers of depth of a Red Clayey Latosol under different land use systems.**

| Sistemas de uso [†] | Clases de diámetro (mm) | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| | 4.76-8.00 | 2.00-4.76 | 1.00-2.00 | 0.50-1.00 | 0.25-0.50 | <0.25 |
| 0.00 – 0.05 m | | | | | | |
| E1 | 7.35 Aa | 5.59 Bab | 3.33 Cc | 3.82 Bbc | 3.50 Ac | 3.23 Ac |
| E2 | 5.89 Aab | 8.61 Aba | 7.14 Aa | 8.18 Aa | 4.83 Aab | 2.71 Ab |
| PAST | 8.83 Aa | 7.28 Aba | 4.19 BCb | 3.42 Bbc | 2.29 Abc | 1.60 Ac |
| BN | 8.77 Aab | 10.87 Aa | 6.87 ABbc | 6.15 ABbc | 4.14 Acd | 1.98 Ad |
| 0.05 – 0.10 m | | | | | | |
| E1 | 5.65 ABa | 4.33 Ba | 2.38 BCb | 1.92 Bb | 1.67 Ab | 1.10 Ab |
| E2 | 5.71 ABa | 6.63 Ba | 2.19 Cb | 2.09 Bb | 1.50 Abc | 0.92 Ac |
| PAST | 7.93 Aa | 7.21 Aa | 3.43 ABb | 2.71 ABb | 1.82 Abc | 1.06 Ac |
| BN | 4.65 Bb | 6.95 Aa | 3.99 Abc | 3.10 Acd | 1.96 Ade | 0.99 Ae |
| 0.10 – 0.20 m | | | | | | |
| E1 | 3.92 Ba | 4.22 Ba | 2.40 ABb | 2.09 ABb | 1.74 Abc | 1.09 Ac |
| E2 | 7.30 Aa | 3.86 Bb | 1.68 Bc | 1.25 Bc | 1.04 Bc | 0.79 Ac |
| PAST | 6.21 Aa | 6.28 Aa | 2.89 Ab | 1.89 ABbc | 1.07 Bc | 0.67 Ac |
| BN | 4.07 Bb | 5.55 Aa | 3.02 Ac | 2.28 Ad | 1.58 Abe | 0.81 Af |
| 0.20 – 0.40 m | | | | | | |
| E1 | 5.36 Aa | 4.15 Aa | 1.87 Aa | 1.53 Aa | 1.33 ABa | 0.92 Ba |
| E2 | 5.45 Aa | 4.28 Aa | 2.17 Aa | 1.81 Aa | 2.39 Aa | 1.37 Aa |
| PAST | 6.27 Aa | 5.09 Aa | 2.40 Aa | 1.54 Aa | 0.94 Ba | 0.49 Ba |
| BN | 3.95 Aa | 3.89 Aa | 2.16 Aa | 1.74 Aa | 1.19 ABa | 0.77 Ba |

[†] E1: eucalipto de 13 años; E2: eucalipto de 20 años; PAST: pastizal; BN: bosque nativo. Medias consecutivas con diferente letra mayúscula en una columna y minúscula en un renglón son estadísticamente diferentes ($t; p \leq 0.05$) * [†]E1: 13-year-old eucalyptus; E2: 20-year-old eucalyptus; PAST: pasture; BN: native forest. Consecutive means with different capital letter in a column and small letter in a row are statistically different ($t; p \leq 0.05$).

y de 0.50 a 1.00 mm, las mayores concentraciones de COT se observaron en los sistemas E2 y BN. Probablemente, el menor tiempo de aporte de residuos vegetales a la superficie del área de producción de eucalipto E1 (13 años) y del sistema PAST (5 años) contribuyeron para una ligera acumulación de COT en esas clases de agregados. Hay concentraciones más elevadas de COT comparadas a las ya mencionadas considerando siembra directa para todas las clases de agregados (Madari *et al.* (2005), respecto al cultivo convencional en la capa de 0.00 a 0.05 m. Esta acumulación se atribuye a la ausencia de suelo revuelto y a la adición de materia seca, lo que favorece la agregación de materia orgánica.

En las capas de profundidad 0.05 a 0.10 m y 0.10 a 0.20 m, hubo diferencias estadísticas entre las medias de cada tipo de uso en las clases de agregados con

In the layers of depth 0.05 to 0.10 m and 0.10 to 0.20 m, there were statistical differences between the means of each type of use in the classes of aggregates with size greater than 0.50 mm and 0.25 mm (Table 1). In general, higher TOC concentrations were associated with PAST and BN systems, in classes of 4.76 to 0.50 mm. In the 0.05 to 0.10 m layer, for the class of 4.76 to 8.00 mm, the system PAST had the highest TOC concentration, which was attributed to the root system of grasses or the redistribution of SOM in depth during the planting of grass. This suggests that in systems with pastures there is a carbon contribution to soil through roots, which is essential for the macroaggregates (Liu *et al.*, 2005; Salton *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2009).

Land use affected POC concentration in the surface layer in the classes of aggregates 1.00 to 2.00

tamaño superior a 0.50 mm y a 0.25 mm (Cuadro 1). En general, las concentraciones elevadas de COT se relacionaron con los sistemas PAST y BN, en las clases de 4.76 a 0.50 mm. En la capa de 0.05 a 0.10 m, para la clase de 4.76 a 8.00 mm, el sistema PAST presentó la mayor concentración de COT, lo que se atribuyó al sistema radicular de las gramíneas o a la redistribución de la MOS en profundidad durante la siembra del pastizal. Esto sugiere que en los sistemas con pastizales hay un aporte de carbono al suelo por medio de las raíces, que es fundamental para los macroagregados (Liu *et al.*, 2005; Salton *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2009).

El uso del suelo afectó la concentración de COP en la capa superficial en las clases de agregados de 1.00 a 2.00 mm y de 0.25 a 0.50 mm, con mayores concentraciones en el sistema E2 (Cuadro 2). Mendham *et al.* (2004) mencionan una mayor concentración de COP en el suelo con eucaliptus debido al depósito significativo de residuos orgánicos arbóreos. La estabilidad de los agregados de 2.00 a 3.00 mm se puede atribuir a la presencia de materia orgánica joven y los macroagregados estables son ricos en materia orgánica particulada (Puget *et al.*, 2000).

En la capa de 0.05 a 0.10 m hubo diferencias estadísticas en las concentraciones de COP, en las clases que varían entre 0.50 a 8.00 mm y en la clase con tamaño inferior a 0.25 mm (Cuadro 2). En general, concentraciones elevadas de COP se relacionaron al sistema PAST, especialmente cuando se comparó con los sistemas E1 y E2. Salton *et al.* (2008) consideran que los pastizales aumentan la cantidad de macroagregados estables del suelo, especialmente para la clase de agregados de 2.00 a 4.76 mm. Neves *et al.* (2004) señalan concentraciones de COT en pastizales equivalentes a las de bosque nativo, lo cual se puede atribuir a la alta densidad del sistema radicular de las gramíneas. En la capa de 0.10 a 0.20 m los sistemas de uso afectaron solamente la clase de agregados de 1.00 a 2.00 mm, ya que la mayor concentración correspondió al bosque nativo (BN).

Los sistemas de uso en las clases de agregados de 0.50 a 2.00 mm influenciaron la concentración de CAM en la capa superficial (Cuadro 3), con valores más elevados en los sistemas BN y E2, posiblemente en función de la condición natural del primero y el manejo forestal más antiguo del segundo. En la capa de 0.05 a 0.10 m las diferencias entre los sistemas de uso para la concentración de CAM se observaron en

mm and 0.25 to 0.50 mm, with higher concentrations in the system E2 (Table 2). Mendham *et al.* (2004) mention a higher POC concentration in the soil with eucalyptus due to the significant deposit of tree organic residues. The aggregate stability of 2.00 to 3.00 mm may be attributable to the presence of fresh organic matter and the stable macroaggregates are rich in particulate organic matter (Puget *et al.*, 2002).

In the 0.05 to 0.10 m layer there were statistical differences in POC concentrations, in the classes that range from 0.50 to 8.00 mm and in the class with size less than 0.25 mm (Table 2). In general, higher POC concentrations were related to the PAST system, especially when compared with systems E1 and E2. Salton *et al.* (2008) consider that grasslands increase the amount of stable macroaggregates of soil, especially for the class of aggregates of 2.00 to 4.76 mm. Neves *et al.* (2004) indicate TOC concentrations in pastures equivalent to those of native forest, which can be attributed to the high density of the root system of grasses. In the layer of 0.10 to 0.20 m the systems of use affected only the class of aggregates of 1.00 to 2.00, since the highest concentration corresponded to the native forest (BN).

Use systems in classes of aggregates of 0.50 to 2.00 mm influenced the CAM concentration in the surface layer (Table 3), with higher values in the BN and E2 systems, possibly based on the natural condition of the first and the oldest forest management of the second. In the 0.05 to 0.10 m layer the differences between use systems for the CAM concentration were observed in the classes of aggregates of 4.76 to 1.00 mm, due to higher concentrations in the native forest (BN) and the pastures (PAST) (Table 3). That same trend occurred in the 0.10 to 0.20 m layer, but there were also differences in the layer of the class between 8.00 to 4.76 mm. In the layer of 0.20 to 0.40 m differences in CAM between use systems showed the order E2>E1>BN>PAST for the class of aggregates <0.25 mm (Table 3).

The highest concentrations of TOC, POC and CAM were observed generally on the surface layer from 0.00 to 0.05 m (Tables 1, 2 and 3). The highest concentrations of SOM on the surface layers are related to the addition of plant residues by the aerial part of crops to the soil surface (Burle *et al.*, 1997). In this study there was a trend to lower concentrations with depth, as indicated by Freixo *et al.* (2002), with

Cuadro 2. Carbono orgánico particulado (g dm^{-3}) en clases de agregados y capas de un Latosol Arcilloso Rojo bajo diversos sistemas de uso del suelo.**Table 2. Particulate organic carbon (g dm^{-3}) in classes of aggregates and layers of a Red Clayed Latosol under different land use systems.**

| Sistemas de uso [†] | Clases de diámetro (mm) | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 4.76-8.00 | 2.00-4.76 | 1.00-2.00 | 0.50-1.00 | 0.25-0.50 | <0.25 |
| 0.00 – 0.05 m | | | | | | |
| E1 | 0.72 Aa | 0.75 Aa | 0.58 Ba | 0.60 Aa | 0.71 Ba | 0.72 Aa |
| E2 | 0.88 Abc | 1.15 Ab | 1.79 Aa | 0.38 Ac | 1.21 Aab | 0.30 Ac |
| PAST | 1.55 Aa | 1.45 Aa | 0.86 Bb | 0.61 Abc | 0.45 Cc | 0.42 Ac |
| BN | 1.30 Aa | 1.05 Aa | 1.17 Ba | 0.98 Aa | 0.20 Da | 0.51 Aa |
| 0.05 – 0.10 m | | | | | | |
| E1 | 0.21 Ca | 0.19 Bab | 0.12 Cbc | 0.09 Bc | 0.12 Abc | 0.09 Bc |
| E2 | 0.42 Ba | 0.34 Bab | 0.25 BCbc | 0.20 ABc | 0.22 Ac | 0.17 ABc |
| PAST | 0.95 Aa | 0.97 Aa | 0.43 Ab | 0.36 Ab | 0.27 Ab | 0.25 Ab |
| BN | 0.34 BCb | 0.68 ABa | 0.33 Abb | 0.25 ABb | 0.13 Ab | 0.12 Bb |
| 0.10 – 0.20 m | | | | | | |
| E1 | 0.14 Aa | 0.13 Aa | 0.11 Bab | 0.08 Ac | 0.08 Abc | 0.07 Ac |
| E2 | 0.33 Aa | 0.31 Aa | 0.12 Bb | 0.09 Ab | 0.08 Ab | 0.08 Ab |
| PAST | 0.39 Aa | 0.41 Aa | 0.14 Ba | 0.10 Aa | 0.08 Aa | 0.09 Aa |
| BN | 0.20 Aa | 0.34 Aa | 0.24 Aa | 0.12 Aa | 0.31 Aa | 0.11 Aa |
| 0.20 – 0.40 m | | | | | | |
| E1 | 0.13 Aa | 0.13 Aa | 0.06 Ab | 0.04 Ab | 0.04 Ab | 0.06 Ab |
| E2 | 0.21 Aa | 0.20 Aa | 0.11 Aa | 0.08 Aa | 0.14 Aa | 0.19 Aa |
| PAST | 0.17 Aa | 0.18 Aa | 0.07 Ab | 0.05 Ab | 0.05 Ab | 0.53 Ab |
| BN | 0.15 Aa | 0.18 Aa | 0.10 Aa | 0.06 Aa | 0.26 Aa | 0.73 Aa |

[†] E1: eucalipto de 13 años; E2: eucalipto de 20 años; PAST: pastizales; BN: bosque nativo. Medias con diferente letra mayúscula en la columna de cada capa y minúscula en el renglón de cada área, son diferentes estadísticamente (t ; $p \leq 0.05$) * [†]E1: 13-year-old eucalyptus; E2: 20-year-old eucalyptus; PAST: pasture; BN: native forest. Means with different capital letter in the column of each layer and small letter in the row of each area, are statistically different (t ; $p \leq 0.05$).

las clases de agregados de 4.76 a 1.00 mm, debido a concentraciones elevadas en el bosque nativo (BN) y en los pastizales (PAST) (Cuadro 3). Esa misma tendencia ocurrió en la capa de 0.10 a 0.20 m, pero también hubo diferencias en la capa de la clase entre 4.76 a 8.00 mm. En la capa de 0.20 a 0.40 m las diferencias en CAM entre los sistemas de uso mostraron el orden E2>E1>BN>PAST para la clase de agregados <0.25 mm (Cuadro 3).

Las concentraciones más elevadas de COT, COP y CAM se observaron, en general, en la capa superficial de 0.00 a 0.05 m (Cuadros 1, 2 y 3). Las mayores concentraciones de MOS en las capas superficiales se relacionan con la adición de residuos vegetales por la parte aérea de los cultivos a la superficie del suelo (Burle *et al.*, 1997). En este estudio hubo una tendencia a disminuir las concentraciones con la

decreasing TOC contents in depth in the region of the Brazilian savannah (“Cerradão”).

The classes of aggregates presented differences for TOC concentrations up to 0.20 m of depth (Table 1), while for POC and CAM concentrations there were differences up to the layer of 0.40 m (Tables 2 and 3). For all use systems evaluated, the highest concentrations of TOC, POC, and CAM occurred in the classes of aggregates of larger diameter. In a Latosol under direct seeding, the highest TOC contents and polysaccharides are in the classes of larger diameter of aggregates, whereby the stability of aggregates is controlled by the carbon content easily hydrolyzable and by polysaccharides (Martins *et al.*, 2009).

The results of this study agree with those of Puget *et al.* (1995), Liu *et al.* (2005) and Martins

Cuadro 3. Carbono asociado a las fracciones limo y arcilla (g dm^{-3}) en las clases de tamaño de agregados y capas de un Latosol Arcilloso Rojo bajo diversos sistemas de uso del suelo.
Table 3. Carbon associated with silt and clay fractions (g dm^{-3}) in the aggregate size classes and layers of a Red Clay Latosol under different land use systems.

| Sistemas de uso [†] | Clases de diámetro (mm) | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 4.76-8.00 | 2.00-4.76 | 1.00-2.00 | 0.50-1.00 | 0.25-0.50 | <0.25 |
| 0.00 – 0.05 m | | | | | | |
| E1 | 6.64 Aa | 4.84 Ab | 2.75 Cc | 3.22 Bbc | 2.80 Ac | 2.51 Ac |
| E2 | 5.01 Aa | 7.46 Aa | 5.36 ABa | 7.80 Aa | 3.62 Aa | 2.41 Aa |
| PAST | 7.28 Aa | 5.83 Aa | 3.32 BCb | 2.81 Bbc | 1.84 Abc | 1.18 Ac |
| BN | 7.47 Aab | 9.82 Aa | 5.70 Abc | 5.17 ABbc | 3.94 Acd | 1.47 Ad |
| 0.05 – 0.10 m | | | | | | |
| E1 | 5.43 Aa | 4.14 Ba | 2.26 BCb | 1.83 Ab | 1.55 Ab | 0.99 Ab |
| E2 | 5.29 Aa | 4.29 Ba | 1.94 Cb | 1.90 Ab | 1.29 Abc | 0.75 Ac |
| PAST | 6.98 Aa | 6.24 Aa | 2.99 ABb | 2.35 Ab | 1.55 Abc | 0.80 Ac |
| BN | 4.38 Ab | 6.27 Aa | 3.67 Ab | 2.86 Abc | 1.83 Acd | 0.87 Ad |
| 0.10 – 0.20 m | | | | | | |
| E1 | 3.78 Ba | 4.09 BCa | 2.30 ABb | 2.02 Ab | 1.66 Abc | 1.01 Ac |
| E2 | 6.97 Aa | 3.55 Cb | 1.56 Bc | 1.16 Ac | 0.95 Ac | 0.71 Ac |
| PAST | 5.81 Aa | 5.87 Aa | 2.75 Ab | 1.78 Abc | 0.99 Ac | 0.58 Ac |
| BN | 3.87 Bb | 5.21 ABa | 2.78 Ac | 2.15 Ad | 1.26 Ae | 0.70 Ae |
| 0.20 – 0.40 m | | | | | | |
| E1 | 5.23 Aa | 4.03 Aa | 1.80 Ab | 1.48 Ab | 1.29 Ab | 0.86 ABb |
| E2 | 5.24 Aa | 4.08 Aa | 2.06 Ab | 1.73 Ab | 2.25 Ab | 1.18 Ab |
| PAST | 6.10 Aa | 4.91 Aa | 2.33 Ab | 1.49 Ab | 0.88 Ab | 0.43 Cb |
| BN | 3.80 Aa | 3.72 Aa | 2.06 Ab | 1.69 Abc | 0.94 Ac | 0.69 BCc |

[†] E1: eucalipto de 13 años; E2: eucalipto de 20 años; PAST: pastizales; BN: bosque nativo. Medias con diferente letra mayúscula en la columna de cada capa y minúscula en el renglón de cada área, son diferentes del punto de vista estadístico (t ; $p \leq 0.05$) * [†]E1: 13-year-old eucalyptus; E2: 20-year-old eucalyptus; PAST: pasture; BN: native forest. Means with different capital letter in the column and small letter in the row of each area are statistically different (t ; $p \leq 0.05$).

profundidad, como lo señala Freixo *et al.* (2002), con reducción de los contenidos de COT en profundidad en la región de las sabanas brasileñas (“Cerrado”).

Las clases de agregados presentaron diferencias para las concentraciones de COT hasta 0.20 m de profundidad (Cuadro 1), y para las concentraciones de COP y CAM hubo diferencias hasta la capa de 0.40 m (Cuadros 2 y 3). Para todos los sistemas de uso evaluados, las mayores concentraciones de COT, COP y CAM ocurrieron en las clases de agregados de mayor diámetro. En un Latosol bajo siembra directa, los mayores contenidos de COT y de polisacáridos están en las clases de mayor diámetro de agregados, por lo cual la estabilidad de agregados es controlada por el contenido de carbono fácilmente hidrolizable y por los polisacáridos (Martins *et al.*, 2009).

et al. (2009), who point out that the lower TOC contents are in the class of aggregates <0.25 mm or microaggregates. To a Latosol in the layers of 0.05 to 0.10 m and 0.10 to 0.15 m, Passos *et al.* (2007) conclude that smaller aggregates are responsible for a higher content of organic matter, and organic reserves are mainly associated with the clay fraction and Fe oxides that are the main agents of SOM stabilization and thus are little affected by soil preparation, concomitantly to what was established by the hierarchy theory of aggregation (Oades and Waters, 1991).

The percentage of dry stable aggregates was correlated with the COT and CAM concentration (Figure 1), demonstrating that conservationist systems enhance the aggregation and concentration of TOC inside of the aggregates. Silva and Mielniczuk

Los resultados del presente estudio coinciden con los de Puget *et al.* (1995), Liu *et al.* (2005) y Martins *et al.* (2009), quienes señalan que los menores contenidos de COT están en la clase de agregados <0.25 mm o microagregados. Para un Latosol en las capas de 0.05 a 0.10 m y de 0.10 a 0.15 m, Passos *et al.* (2007) concluyen que los agregados de menor tamaño son responsables por un mayor contenido de materia orgánica, y las reservas orgánicas están asociadas principalmente con la fracción arcilla y los óxidos de Fe que son los principales agentes de estabilización de la MOS y, por tanto, son poco afectados por la preparación del suelo, de manera concomitante a lo establecido por la teoría de jerarquía de la agregación (Oades y Waters, 1991).

El porcentaje de agregados estables secos se correlacionó con la concentración de COT y CAM (Figura 1), evidenciando que los sistemas conservacionistas

(1997) show a similar relationship between the mean pondered diameter of wet aggregates and the TOC content of a violet Latosol submitted to different types of management (61 %). According to Madari *et al.* (2005), there are high correlations between indexes of aggregation and TOC concentrations in aggregate fractions in the 0.00 to 0.05 m layer, independently of the management system used.

Salton *et al.* (2005) relate CAM with DMP in Latosols in the 0.00 to 0.20 m layer (R^2 0.99, 0.83 and 0.71) in the cities of Maracaju, Dourados and Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil. CAM protection through aggregates occurs by the greatest difficulty of decomposition because, in addition to an organic-mineral interaction, there are difficulties of access for microorganisms and mainly of ventilation in these places, when compared with free organic compounds (COP). Conservationist

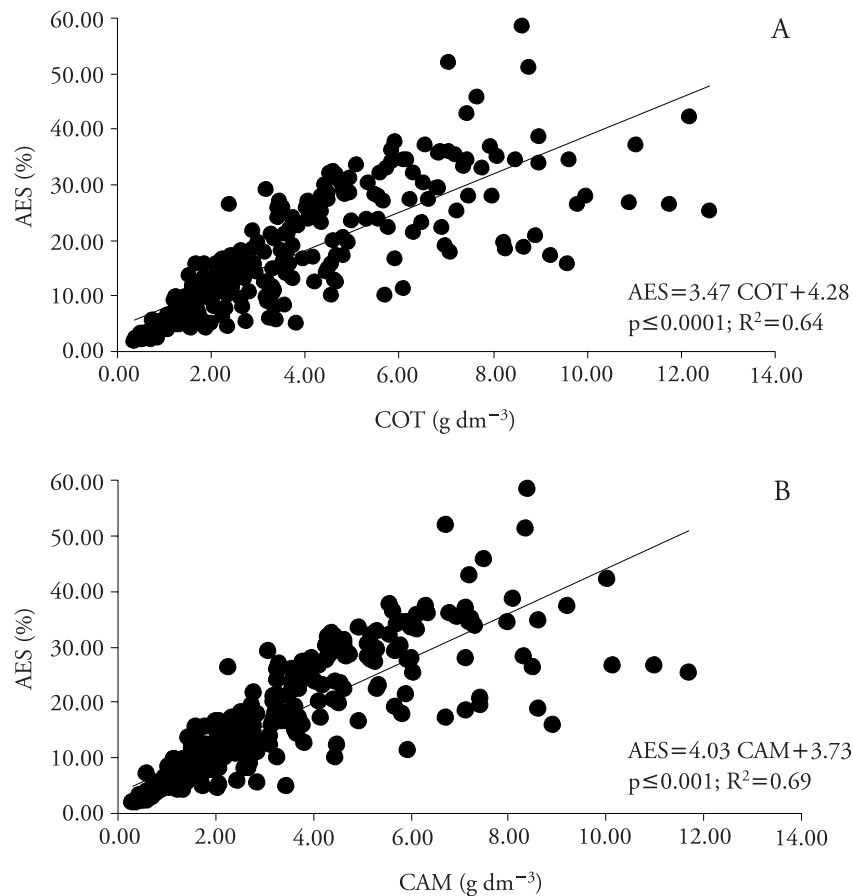


Figura 1. Relación entre agregados de suelo estables a seco (AES) y el contenido de (A) COT; (B) CAM de un Latosol Arcilloso Rojo hasta una profundidad de 0.40 m.

Figure 1. Relationship between stable to dry soil aggregates (AES) and the content of (A) TOC, (B) CAM of a Red Clayey Latosol up to a depth of 0.40 m.

mejoran la agregación y la concentración de COT en el interior de los agregados. Silva y Mielniczuk (1997) muestran una relación similar entre el diámetro medio ponderado de agregados húmedos y el contenido de COT de un Latosol violeta sometido a diferentes tipos de manejo (61 %). Según Madari *et al.* (2005), hay correlaciones elevadas entre los índices de agregación y las concentraciones de COT en las fracciones de agregados en la capa de 0.00 a 0.05 m, de manera independiente al sistema de manejo utilizado.

Salton *et al.* (2005) relacionan el CAM con el DMP en Latosolos en la capa de 0.00 a 0.20 m (R^2 0.99, 0.83 y 0.71) en las ciudades de Maracaju, Dourados y Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. La protección del CAM por medio de los agregados ocurre por la mayor dificultad de descomposición porque, además de una interacción orgánico-mineral, hay dificultades de acceso de los microorganismos y principalmente de aireación en estos lugares, cuando se compara con los compuestos orgánicos libres (COP). Los sistemas conservacionistas resultan generalmente en mayor agregación del suelo por el aporte de material vegetal y por la ausencia de operaciones de preparación, que promueven la pérdida de carbono del suelo por la ruptura de los macroagregados (Six *et al.*, 2004). Los macroagregados formados por procesos físicos, por operaciones mecánicas de máquinas y equipamientos o por pisoteo de animales, pueden no ser estables. Esto confirma que los factores para una mayor estabilidad de los agregados son los agentes cementantes vinculados a aspectos biológicos, como la actividad microbiana, liberación de exudados, crecimiento y funcionamiento de las raíces, crecimiento y muerte de los tejidos (Salton *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

La acumulación de carbono orgánico total, en la fracción particulada y en la fracción asociada a los minerales de la materia orgánica de un Latosol Arcilloso Rojo Distrófico, bajo pastizales y eucalipto plantados hace 13 y 20 años, ocurre preferencialmente en las clases de agregados de mayor tamaño.

LITERATURA CITADA

Burle, M. L., J. Mielniczuk, and S. Focchi. 1997. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant Soil* 190: 309-316.

systems generally result in greater soil aggregation by the contribution of plant material and the absence of preparation operations, leading to loss of soil carbon by the breakdown of macroaggregates (Six *et al.*, 2004). Macroaggregates formed by physical processes, through mechanical operations of machinery and equipment or by trampling of animals, may not be stable. This confirms that the factors for increased stability of the aggregates are the cementing agents linked to biological aspects, such as microbial activity, release of exudates, growth and function of roots, growth and death of tissues (Salton *et al.*, 2005).

CONCLUSIONS

The accumulation of total organic carbon in the particulate fraction and in the fraction associated with minerals in the organic matter of a Dystrophic Red Clayey Latosol, under pastures and eucalyptus planted 13 and 20 years ago, occurs preferentially in the classes of larger size aggregates.

—End of the English version—



- Cambardella, C. A., and E. T. Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Christensen, B. T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *Eur. J. Soil Sci.* 52: 345-353.
- Freixo, A. A., P. L. O. A. Macahado, C. M. Guimaraes, C. A. Silva, e F. S. FADIGAS. 2002. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuições das frações orgânicas de Latossolos do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Rev. Bras. Ci. Solo* 26: 425-434.
- Guggenberger, G., and W. Zech. 1999. Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Región Huetar North, Costa Rica. *For. Ecol. Manage.* 124: 93-104.
- IBGE. 1986. Levantamento dos Recursos Naturais. Vol. 33: Folha SH 22 Porto Alegre e parte das folhas SH 21 Uruguaiana e SI 22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sem numeração de páginas.
- Lima A. M. N., I. R. Silva, J. C. L. Neves, R. F. Novaris, N. F. Barros, E. S. Mendonça, M. S. M. Demolinari and F. P. Leite. 2008. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MG. *Rev. Bras. Ci. Solo* 32: 1053-1063.
- Liu A., B. L. Ma, and A. A. Bomke. 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Sci. Soc. Am.* 69: 2041-2048.

- Madari B., P. L. O. A. Machado, E. Torres, A. G. Andrade, and L. I. O. Valencia. 2005. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil and Till. Res.* 80: 185-200.
- Martins M. R., J. E. Corá, R. F. Jorge, and A. V. Marcelo. 2009. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. *Soil Till. Res.* 104: 22-29.
- Mendham D. S., E. C. Heagney, M. Corbeels, A. M. O'Connell, T. S. Grove, and R. E. Mcmurtrie. 2004. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globulus*. *Soil Biol. Biochem.* 36: 1067-1074.
- Neves C. M. N., M. L. Silva, N. Curi, R. L. G. Macedo, e A. M. Tokura. 2004. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do Estado de Minas Gerais. *Rev. Ci. Agrotécnica* 28: 1038-1046.
- Oades J. M., and A. G. Waters. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Austr. J. Soil Res.* 29: 815-828.
- Passos R. R., H. A. Ruiz, R. B. Cantarutti, e E. S. Mendonça. 2007. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob duas coberturas vegetais. *Rev. Bras. Ci. Solo* 31: 1109-1118.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon, T. A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1633-1644, doi:10.5194/hess-11-1633-2007.
- Puget P., C. Chenu, and J. Balesdent. 1995. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *Eur. J. Soil Sci.* 46(4): 49-459.
- Puget P., C. Chenu, and J. Balesdent. 2000. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *Eur. J. Soil Sci.* 51: 595-605.
- Salton J.C., J. Mielniczuk, C. Bayer, A. C. Fabrício, M. C. M. Macedo, D. L. Broch, M. Boeni, e P. C. Conceição. 2005. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. *Bol. P&D* 29, Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados-MS, 58 p.
- Salton J.C., J. Mielniczuk, C. Bayer, M. Boeni, P. C. Conceição, A. C. Fabrício, M. C. M. Macedo, e D. L. Broch. 2008. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Rev. Bras. Ci. Solo* 32: 11-21.
- Santos H. G., P. K. T. Jacomine, L. H. C. Anjos, V. A. Oliveira, J. B. Oliveira, M. R. Coelho, J. F. Lumberreras, e T. J. F. Cunha (eds). 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306 p.
- SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System Institute. 1991. SAS/STAT procedure guide for personal computers. 5.ed. Cary, SAS Institute. 1104p.
- Strahler, A. N., and A. H. Strahler. 1984. Elements of Physical Geography. New York: John Wiley & Sons. 560 p.
- Silva, I. F., e J. Mielniczuk. 1997. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo* 21: 113-117.
- Six J., H. Bossuyt, S. Degryze, e K. Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79: 7-31.
- Suzuki, L. E. A. S. 2008. Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil. Santa Maria, Universidad Federal de Santa Maria. Tesis de Doctorado. 136 p.
- Wright A. L. and F. M. Hons. 2005. Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences. *Soil Till. Res.* 84: 67-75.