

Teores e estoques de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no Planalto Sul de Santa Catarina

Contents and stocks of soil organic carbon in different types of land use in the Southern Plateau of Santa Catarina (Brazil)

Kristiana Fiorentin dos Santos^{1*}, Fabrício Tondello Barbosa², Ildegardis Bertol³, Romeu de Souza Werner³, Neuro Hilton Wolschick³ e Josie Moraes Mota³

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. *Autor para correspondência: kristianaflorentin@gmail.com.

²Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, Brasil.

³Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

Submissão: 06/06/2018 | Aceite: 25/02/2019

RESUMO

O estudo das modificações do carbono do solo provocadas pela mudança de uso da terra possibilita adotar medidas que reduzam os riscos de futuros impactos negativos. O objetivo da pesquisa foi quantificar e comparar os teores (COT) e os estoques (EC) de carbono orgânico total do solo em diferentes usos da terra na região do Planalto Sul de Santa Catarina. Foram selecionadas áreas sob floresta natural (FN), plantio de pinus (PP), campo natural pastejado (CP) e sucessão de lavoura e pastagem (LP). Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, onde foram determinados os teores e calculados os estoques de carbono orgânico total por dois métodos, considerando a camada equivalente e a massa equivalente de solo. Os diferentes usos da terra influenciam os COT e os EC, os quais são maiores na condição de FN. Os valores de COT foram, respectivamente, 33,9; 27,1; 26,0 e 23,2 g kg⁻¹ para FN, PP, CP e LP, na média da camada de 0-40 cm, enquanto os EC até a profundidade de 40 cm foram, respectivamente, 121,5; 113,8; 112,4 e 100,6 Mg ha⁻¹ com base na camada equivalente de solo e 121,5; 102,2; 99,1 e 89,8 Mg ha⁻¹ após correção pela massa equivalente de solo. A adequada gestão de uso do solo, a recuperação de matas e a florestação das terras são passos importantes para permitir o sequestro de carbono no solo.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do solo, indicadores de sustentabilidade, sequestro de carbono.

ABSTRACT

The study of soil carbon changes caused by the land use alteration allows adopting measures to reduce the risk of future negative impacts. This study aimed to quantify and compare the contents (TOC) and stocks (SOC) of total organic carbon for different types of land use in the southern Plateau of Santa Catarina. The areas selected were natural forest (NF), planted pine (PP), natural rangeland (NR), and crops in succession with pasture (CSP). Soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10, 10-20, and 20-40 cm, where the TOC were determined and the SOC were calculated by two methods, one considering the equivalent soil layer and the other the equivalent soil mass. The different types of land use influence the TOC and SOC, which are higher in the NF. The TOC values were, respectively 33.9; 27.1; 26.0, and 23.2 g kg⁻¹ for NF, PP, NR and CSP, in the soil layer average of 0-40 cm. The EC values up to the depth of 40 cm were respectively 121.5; 113.8; 112.4, and 100.6 Mg ha⁻¹, based on the equivalent soil layer, and 121.5; 102.2; 99.1 and 89.8 Mg ha⁻¹ after correction for the equivalent soil mass. Proper management of land use, recovery of forests and afforestation of lands are important steps to allow carbon sequestration in the soil.

KEYWORDS: soil quality, sustainability indicators, carbon sequestration.

INTRODUÇÃO

A conversão de ecossistemas naturais para outros tipos de uso da terra afeta a concentração e o armazenamento de carbono orgânico do solo (ZINN et al. 2005, CALONEGO et al. 2012, LACERDA et al. 2013), o qual geralmente diminui e não é repostado na mesma proporção das perdas ao longo do tempo, ocasionando sua liberação para a atmosfera (WALKER & DESANKER 2004, PAN et al. 2011, STÜRMER et

al. 2011).

As variações dos estoques de carbono do solo estão associadas às práticas de uso e manejo, as quais têm grande implicação na manutenção da qualidade do solo e na atenuação dos efeitos negativos das mudanças climáticas (COSTA et al. 2008, PARRON et al. 2015, PRIMIERI et al. 2017). Níveis adequados de carbono no solo minimizam o impacto dos cultivos no ambiente, reduzindo os processos erosivos e preservando a biodiversidade do solo (SIX et al. 2002).

A intervenção humana através de práticas agropecuárias reduz o estoque de carbono no solo a níveis inferiores aos da mata natural (CALONEGO et al. 2012). SANDI (2009) observou na floresta natural maior estoque, seguido por plantio de eucalipto e lavoura, indicando perdas de carbono pelo aumento da intensidade de uso da terra. WASIGE et al. (2014) constataram maiores estoques de carbono no solo sob diferentes coberturas florestais enquanto os mais baixos ocorreram sob uso agrícola. Em estudo desenvolvido por GOL (2009) concluiu-se que a conversão da floresta natural em cultivos de longo prazo resultou na diminuição dos teores e do estoque de carbono do solo.

O carbono do solo é um dos indicadores-chaves na prestação de serviços ambientais promovidos por boas práticas agrícolas (KIBBLEWHITE et al. 2008, SIMONE et al. 2017). Nesse contexto, vêm se destacando a teoria de que o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e as alterações do clima do planeta são consequências de ações antrópicas, sendo as modificações no uso do solo umas das principais fontes de emissão de carbono antropogênico para a atmosfera (OLIVEIRA et al. 2015). Em função disso, o tamanho das reservas de carbono e os fatores que as impactam estão se tornando economicamente importantes para os países. Existem estimativas dos estoques de carbono na biomassa acima do solo para grande parte dos ecossistemas, porém ainda são limitadas as informações sobre o carbono subterrâneo armazenado no solo nos diferentes ambientes (WALKER & DESANKER 2004).

Os estoques de carbono no solo são frequentemente calculados considerando a densidade do solo e a espessura da camada estudada. Recentemente esse procedimento está sendo considerado insuficiente, pois as mudanças no uso e manejo das terras pode alterar a densidade do solo e, assim, ao se considerar uma mesma profundidade de uma área cultivada e de uma área sob vegetação nativa, as massas de solo serão diferentes, podendo levar a interpretações equivocadas, o que torna necessário a correção dos estoques para uma mesma massa de solo (ELLERT & BETTANY 1995, SISTI et al. 2004, FERNANDES & FERNANDES 2009).

Atualmente os campos e florestas naturais no Planalto Sul de Santa Catarina estão sendo substituídos de forma rápida e contínua, descaracterizando os diferentes ambientes que os compõem, impulsionado pelo avanço de áreas com exploração agrícola e de monocultivos de espécies florestais exóticas (BOLDRINI 2009), em especial, sobre solos com maior aptidão agrícola, como a classe dos Nitossolos, característico da região. Por isso, as transformações decorrentes destas mudanças precisam ser melhor investigadas, já que este bioma também conhecido como Planalto das Araucárias é muito peculiar, de clima subtropical, com baixas temperaturas e altitude Montana, o qual pode ser importante reservatório de carbono no solo, principalmente sobre vegetação natural.

Considerando a escassez de informações para a região e a importância da quantificação do carbono do solo, a hipótese deste estudo é de que a vegetação natural de floresta armazena maiores quantidades de carbono orgânico no solo em comparação à exploração agrícola, independentemente do tipo de uso. Os objetivos foram quantificar os teores e os estoques de carbono orgânico do solo (Nitossolo) em diferentes tipos de uso da terra no Planalto Sul de Santa Catarina e comparar duas metodologias para o cálculo dos estoques de carbono orgânico do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma propriedade rural localizada no município de Capão Alto, SC, entre as coordenadas de 27°55' a 27°57' S e 50°25' a 50°29' W. O clima do local, segundo critérios estabelecidos pela classificação de Köppen é mesotérmico úmido com verão fresco, do tipo Cfb (ALVARES et al. 2013), com temperatura média anual de 14 °C e altitude média de 1.022 m. O solo escolhido no local e característico da região é o Nitossolo Bruno, de acordo com Levantamento e Reconhecimento de Solos do Estado de Santa Catarina (EMBRAPA 2004).

A área possui 1.200 ha e para realização do experimento foram avaliados quatro tipos de uso da terra, distribuídas em diferentes glebas e a seguir descritas:

- floresta natural (FN), classificada como Floresta Ombrófila Mista, com presença da espécie *Araucaria angustifolia*. Para este tratamento foram selecionadas glebas de difícil acesso, nas quais a

interferência antrópica e de animais era mínima;

- floresta plantada de *Pinus taeda* (PP), com idade entre 8 a 10 anos, sendo este o primeiro ciclo de cultivo. Anteriormente estas glebas eram ocupadas por campo natural pastejado com bovinos;

- campo natural com bovinos (CP), utilizado com pastejo extensivo tradicional há mais de 70 anos. Neste tipo de uso é realizada a queima do campo a cada dois anos ao final da estação de inverno, para provocar a renovação das pastagens, prática comum na região;

- sucessão de lavoura e pastagem (LP). Estas glebas foram cultivadas por 10 anos sob preparo convencional do solo com arado e grade e uso de espécies anuais agrícolas na primavera-verão e mantidas sob pastejo no outono-inverno. Há oito anos o cultivo anual vem sendo realizado sob semeadura direta, sem o revolvimento prévio do solo, com a sucessão milho/soja na primavera-verão e aveia e azevém sob pastejo direto no outono-inverno.

A pesquisa no campo foi realizada entre setembro de 2012 a abril de 2013, por meio de levantamento amostral em nove glebas distintas para cada modalidade de uso da terra. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, através da abertura de trincheira em um local por gleba, totalizando nove pontos amostrais para cada categoria de uso. Para isso, inicialmente foi realizado levantamento prévio do solo por meio de tradagem para definir os pontos de amostragem apenas quando constatada a classe Nitossolo. Na LP as avaliações foram feitas na época do cultivo do milho e no CP no ano subsequente à queima da vegetação. As principais características físicas e químicas do solo nas diferentes camadas e tipos de uso da terra constam na Tabela 1.

Tabela 1. Granulometria e atributos químicos do solo em diferentes camadas e tipos de uso da terra.

Table 1. Granulometry and soil chemical attributes in different layers and types of land use.

| Uso da terra | Camada (cm) | Argila ----- % ----- | Silte ----- | Areia ----- | pH-H ₂ O (1:1) | Ca ---- cmol _c kg ⁻¹ ---- | Mg ---- | Al ---- | P -- mg kg ⁻¹ -- | K -- |
|--------------|-------------|-------------------------|----------------|----------------|------------------------------|--|------------|------------|--------------------------------|---------|
| FN | 0-5 | 37 | 57 | 06 | 5,2 | 3,6 | 1,8 | 0,7 | 1,2 | 86 |
| | 5-10 | 40 | 54 | 06 | 5,3 | 3,6 | 1,9 | 0,6 | 0,9 | 53 |
| | 10-20 | 45 | 50 | 05 | 5,2 | 3,6 | 1,7 | 0,7 | 0,7 | 42 |
| | 20-40 | 48 | 47 | 05 | 5,1 | 3,3 | 0,1 | 1,2 | 0,9 | 37 |
| PP | 0-5 | 53 | 41 | 06 | 4,9 | 3,9 | 2,6 | 1,9 | 1,9 | 64 |
| | 5-10 | 53 | 41 | 06 | 4,9 | 3,5 | 2,8 | 2,8 | 0,9 | 52 |
| | 10-20 | 56 | 39 | 05 | 4,2 | 1,9 | 1,6 | 3,2 | 0,9 | 51 |
| | 20-40 | 62 | 34 | 04 | 5,1 | 2,2 | 1,4 | 3,1 | 1,0 | 37 |
| CP | 0-5 | 57 | 37 | 06 | 4,8 | 2,4 | 1,6 | 4,1 | 1,0 | 201 |
| | 5-10 | 60 | 33 | 07 | 4,8 | 2,0 | 1,3 | 3,1 | 0,9 | 113 |
| | 10-20 | 57 | 39 | 04 | 4,9 | 2,9 | 1,6 | 1,0 | 0,9 | 103 |
| | 20-40 | 68 | 27 | 05 | 4,8 | 2,5 | 1,3 | 0,7 | 0,8 | 63 |
| LP | 0-5 | 60 | 35 | 05 | 5,0 | 3,6 | 2,1 | 4,1 | 6,0 | 264 |
| | 5-10 | 61 | 34 | 05 | 4,9 | 2,8 | 1,3 | 3,8 | 2,9 | 85 |
| | 10-20 | 63 | 33 | 04 | 4,7 | 2,1 | 1,5 | 3,4 | 0,9 | 51 |
| | 20-40 | 69 | 27 | 03 | 4,6 | 2,0 | 1,3 | 2,2 | 0,9 | 36 |

FN: floresta natural; PP: plantio de pinus; CP: campo natural pastejado; LP: sucessão de lavoura e pastagem. Argila, silte e areia: método da pipeta (EMBRAPA 1997); pH em água: relação 1:1, v/v; Ca, Mg, Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; P e K: extrator Mehlich-1 (TEDESCO et al. 1995).

O teor de carbono orgânico total do solo (COT) foi determinado pelo método da oxidação via combustão úmida em solução sulfocrômica e leitura por titulometria (TEDESCO et al. 1995). A densidade do solo (DS) foi quantificada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA 1997). Os estoques de carbono orgânico total do solo (EC) foram calculados por dois métodos. Em um deles considerou-se a camada equivalente de solo, utilizando a expressão: $EC = COT * DS * P$, onde P é a espessura da camada de solo considerada. Posteriormente, os estoques foram corrigidos considerando uma mesma massa de solo entre os tratamentos (equivalência de massa), tendo como base de cálculo as massas de solo das camadas correspondentes à floresta natural, a qual foi a referência no estudo. Para isso, utilizou-se a expressão: $EC = \sum_{i=1}^{n-1} ECti + [Mtn - (\sum_{i=1}^{n-1} Mti - \sum_{i=1}^{n-1} Msi)] * COTtn$, onde $\sum_{i=1}^{n-1} ECti$ é a soma dos estoques

de carbono da primeira à penúltima camada no tratamento, M_{tn} é a massa de solo da última camada amostrada, $\sum_{i=1}^n M_{ti}$ é a soma da massa total de solo do tratamento, $\sum_{i=1}^n M_{si}$ é a soma da massa total de solo da área de referência e COT_{tn} é o teor de carbono na última camada amostrada (SISTI et al. 2004, FERNANDES & FERNANDES 2009).

Os dados foram analisados através de estatística descritiva das médias dos pontos amostrados e por meio do intervalo de confiança das médias no nível de 90% ($p \leq 0,1$), com a normal padronizada a distribuição t-Student. Através de análise de correlação entre as variáveis, utilizando-se o programa SigmaPlot®, equações do tipo $y = a x^b$ foram geradas para estimativa dos estoques de carbono orgânico total acumulado em função da profundidade do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores teores de carbono orgânico total do solo (COT) foram encontrados na FN até 10 cm de profundidade, enquanto nos demais tipos de uso os teores foram menores e semelhantes entre si (Tabela 2). KLUG (2014) observou maiores teores de COT em Floresta Ombrófila Mista quando comparada aos plantios de pinus e eucalipto com idade, respectivamente, de 49 e 21 anos, na região dos Campos de Cima da Serra, no estado do Rio Grande do Sul. Provavelmente esta condição é oriunda do grande aporte de resíduos orgânicos e do natural não revolvimento do solo neste tipo de uso da terra. Ecossistemas em equilíbrio, como uma floresta natural, geralmente têm alto teor de carbono (LAL 2005).

Nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, o COT foi, respectivamente, 72 e 45% maior na FN em comparação à média dos demais tipos de uso. Na profundidade de 10-20 cm, o uso florestal (FN e PP) apresentou COT 34% mais elevado que os demais usos, em média. Na camada mais profunda, de 20-40 cm, os tipos de uso foram semelhantes pelo intervalo de confiança das médias (Tabela 2). MARTINS et al. (1990), avaliando o efeito do desmatamento e do cultivo sobre propriedades do solo de uma floresta natural, observaram que, após cinco anos, ocorreu diminuição de 14% no teor de carbono orgânico, sendo o efeito mais pronunciado nos primeiros 10 cm do solo. Esta redução está associada às mudanças do microclima local que favorecem a mineralização dos compostos orgânicos e da não adição de resíduos em grande quantidade, a qual ocorre em condições naturais.

Tabela 2. Densidade do solo, teores e estoques de carbono orgânico do solo nos diferentes tipos de uso da terra em quatro camadas de solo.

Table 2. Soil density, soil organic carbon contents and stocks in different types of land use in four soil layers.

| Uso da terra | Densidade do solo (kg dm ⁻³) | Teor de C orgânico (g kg ⁻¹) | Estoque de C orgânico (Mg ha ⁻¹) | |
|--------------|--|--|--|---------------------------|
| | | | Camada equivalente de solo | Massa equivalente de solo |
| 0-5 cm | | | | |
| FN | 0,66 | 65,3 ± 5,8 a | 21,6 ± 3,1 a | 21,6 ± 3,1 a |
| PP | 0,87 | 36,9 ± 5,9 b | 16,1 ± 2,0 b | 12,2 ± 2,2 b |
| CP | 1,03 | 38,7 ± 5,2 b | 19,9 ± 3,4 ab | 12,8 ± 1,9 b |
| LP | 1,07 | 38,2 ± 2,9 b | 20,4 ± 1,5 a | 12,6 ± 1,1 b |
| 5-10 cm | | | | |
| FN | 0,88 | 42,2 ± 4,0 a | 18,6 ± 2,3 a | 18,6 ± 2,3 a |
| PP | 1,04 | 28,5 ± 3,5 b | 14,8 ± 1,4 b | 13,4 ± 1,5 b |
| CP | 1,07 | 29,7 ± 3,8 b | 15,9 ± 1,9 ab | 14,8 ± 2,0 ab |
| LP | 1,11 | 29,4 ± 3,8 b | 16,3 ± 2,0 ab | 14,7 ± 1,2 b |
| 10-20 cm | | | | |
| FN | 0,98 | 32,3 ± 5,7 a | 31,7 ± 6,0 ab | 31,7 ± 6,0 a |
| PP | 1,08 | 29,9 ± 3,3 a | 32,3 ± 4,2 a | 29,0 ± 3,3 a |
| CP | 1,11 | 24,2 ± 6,2 ab | 26,9 ± 6,5 ab | 25,3 ± 4,7 a |
| LP | 1,08 | 22,1 ± 3,5 b | 23,9 ± 3,8 b | 24,0 ± 2,6 a |
| 20-40 cm | | | | |
| FN | 1,00 | 24,8 ± 3,8 a | 49,6 ± 6,8 a | 49,6 ± 6,8 a |
| PP | 1,11 | 22,8 ± 4,8 a | 50,6 ± 9,6 a | 47,6 ± 9,5 a |
| CP | 1,09 | 22,8 ± 3,1 a | 49,7 ± 7,4 a | 46,2 ± 4,6 a |
| LP | 1,08 | 18,5 ± 4,3 a | 40,0 ± 9,0 a | 38,5 ± 8,3 a |

FN: floresta natural; PP: plantio de pinus; CP: campo natural pastejado; LP: sucessão de lavoura e pastagem. Média ± intervalo de confiança de 90% ($p \leq 0,1$). Médias seguidas por mesma letra apresentam sobreposição entre os limites inferior e superior dos intervalos de confiança.

Na média ponderada da camada de 0-40 cm, os valores de COT foram, respectivamente, 33,9; 27,1; 26,0 e 23,2 g kg⁻¹ para FN, PP, CP e LP. O menor valor na LP pode estar associado ao maior grau de perturbação do solo ocasionado pelo cultivo de lavouras e pastagem semeadas mecanicamente nos últimos 10 anos, ao histórico de preparo intensivo do solo em anos anteriores e ao manejo inadequado dos animais na área, os quais são criados soltos sem controle do pastejo. BERTOL et al. (2004) verificaram que o COT foi maior em condição de campo natural seguido por lavoura sob semeadura direta e menor em condição de lavoura sob preparo convencional. SOUZA et al. (2009) avaliando sistemas de integração lavoura-pecuária constataram que o sobrepastejo da vegetação proporcionou redução nos valores de COT. O aumento da intensidade de uso ocasionados pela agricultura intensiva e baixa entrada de detritos orgânicos potencializam a degradação física do solo e a perda de carbono orgânico (HICKMANN et al. 2012, BARANČIKOVÁ et al. 2016).

Os maiores teores de COT foram encontrados nas camadas mais superficiais do solo em todos os tipos de uso, diminuindo em profundidade. O maior gradiente de COT entre as camadas ocorreu na FN, revelando grande acumulação superficial.

Os estoques de carbono orgânico total considerando a camada equivalente de solo (EC_c) variaram entre os tipos de uso da terra e profundidade de solo (Tabela 2). O PP resultou nos menores EC_c nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, diferindo da FN pelo intervalo de confiança. Na camada de 10-20 cm a LP resultou em menor estoque, enquanto na camada de 20-40 cm o EC_c entre os diferentes usos foram semelhantes entre si, explicados pela pequena variação na densidade do solo (DS) e nos teores de COT.

Observou-se que até 20 cm de profundidade houve maior variação na DS entre os tipos de uso da terra (Tabela 2), o que justifica a interpretação dos estoques de carbono orgânico total considerando a massa equivalente de solo (EC_m). Isso é necessário, pois tomando como exemplo a camada de 0-5 cm, a DS variou de 0,66 kg dm⁻³ na FN a 1,07 kg dm⁻³ na LP, o que representa massa de solo, respectivamente, de 330 e 535 Mg ha⁻¹, ou seja, uma diferença de 62%. Com isso, se levar em consideração uma mesma profundidade as massas de solo serão diferentes e haverá interpretação equivocada, o que torna necessário a correção dos estoques para uma mesma massa de solo (FERNANDES & FERNANDES 2009).

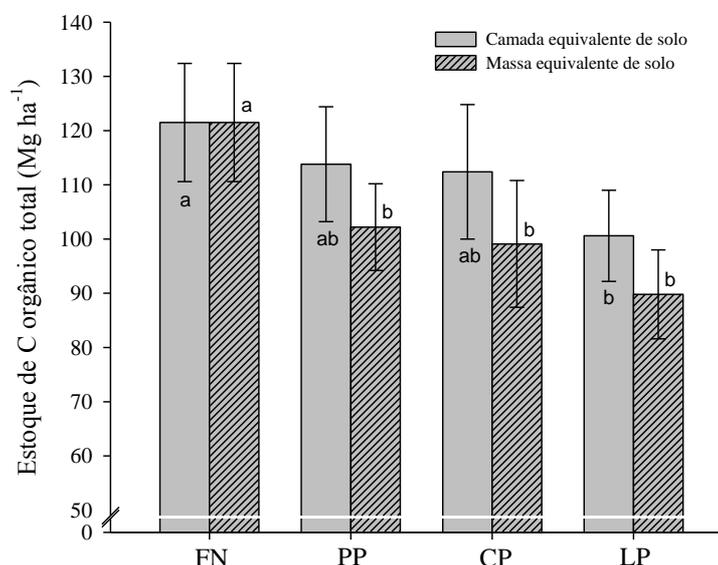
Os maiores EC_m ocorreram na FN nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, diferindo dos demais tipos de uso pelo intervalo de confiança (Tabela 2) e confirmando a hipótese inicial deste trabalho. CALONEGO et al. (2012) observaram comportamento semelhante na camada de 0-10 cm, ao comparar os estoques de vegetação nativa do cerrado com pastagem e culturas agrícolas. Na camada de 10-20 cm, o uso florestal (FN e PP) apresentou em média EC_m 23% superior aos usos não florestais, embora todas as formas de uso apresentaram sobreposição dos intervalos de confiança. Este aumento pode ser devido ao efeito em profundidade das raízes das espécies florestais, as quais agregam mais carbono no solo. Na camada de 20-40 cm os tipos de uso apresentaram-se semelhantes, com valor médio ligeiramente menor na LP. De acordo com MAFRA et al. (2008), a floresta natural além de ter o potencial de armazenar carbono no solo, pode conter notável estoque desse elemento na parte aérea das árvores, o que, ao longo do tempo, pode interagir com o solo pela decomposição da serapilheira.

No somatório dos estoques de carbono das camadas amostradas os valores de EC_c foram de 121,5; 113,8; 112,4 e 100,6 Mg ha⁻¹ e os valores de EC_m foram de 121,5; 102,2; 99,1 e 89,8 Mg ha⁻¹, respectivamente, para FN, PP, CP e LP (Figura 1). Ao considerar a camada equivalente de solo houve diferença pelo intervalo de confiança apenas entre FN e LP, enquanto ao considerar a massa equivalente de solo o estoque de carbono na FN foi superior aos demais tipos de uso da terra, o que demonstra a importância do cálculo da correção dos estoques. Neste caso, a FN foi responsável por estocar 19, 23 e 35% mais carbono orgânico total que PP, CP e LP, respectivamente.

Em pesquisa desenvolvida no Planalto Sul de Santa Catarina, sob um Nitossolo, foi observado que reflorestamentos com pinus e com araucária mantiveram estoques de carbono orgânico na camada de solo de 0-40 cm em níveis equivalentes aos de mata e campo natural (MAFRA et al. 2008). No entanto, no presente trabalho, o PP não aumentou o estoque a nível próximo ao da FN, em um período de 8 a 10 anos após o pinus ter sido implantado sobre o campo natural. Este resultado corrobora com estudos realizados por KLUG (2014) e PRIMIERI et al. (2017), os quais constataram maiores estoques de carbono orgânico na camada de 0-20 cm na condição de Floresta Ombrófila Mista em comparação aos plantios de pinus e eucalipto.

Ao relacionar os estoques de carbono orgânico total acumulados com a profundidade do solo houve ajuste adequado dos dados ao modelo matemático do tipo potencial, sendo que os coeficientes de determinação (R²) variaram de 0,86 a 0,93 (Tabela 3). Maior valor do parâmetro “a” da equação indica maior estoque de carbono próximo à superfície do solo. Foi possível verificar esse resultado em FN, onde na

profundidade de um cm o estoque é estimado em 5,64 Mg ha⁻¹. No caso da LP e, considerando a camada equivalente de solo, o maior valor deste parâmetro e conseqüentemente maior estoque em superfície ocorreu devido à maior DS, já que o teor de COT foi semelhante em PP e CP. Quanto aos valores do parâmetro “b”, quanto mais próximo da unidade (1,0) o aumento dos estoques de carbono em profundidade ocorre de forma linear, como no caso do PP, demonstrando que o gradiente do estoque é menor, ou seja, distribuído de forma mais uniforme no perfil.



FN: floresta natural; PP: plantio de pinus; CP: campo natural pastejado; LP: sucessão de lavoura e pastagem. As barras verticais representam o intervalo de confiança das médias de 90% ($p \leq 0,1$). Médias seguidas por mesma letra, dentro de cada método de cálculo, apresentam sobreposição entre os limites inferior e superior dos intervalos de confiança.

Figura 1. Estoques de carbono orgânico total do solo até a profundidade de 40 cm, calculados por equivalências de camada e de massa de solo, em diferentes tipos de uso da terra.

Figure 1. Total organic carbon stocks of the soil up to 40 cm depth, calculated by layer equivalents and soil mass, in different types of land use.

Tabela 3. Parâmetros do modelo matemático utilizado para estimativa dos estoques de carbono orgânico total (EC - Mg ha⁻¹) acumulados em função da profundidade do solo (P - cm), em diferentes tipos de uso da terra.

Table 3. Parameters of the mathematical model used to estimate the total organic carbon stocks (EC - Mg ha⁻¹) accumulated as a function of soil depth (P - cm), in different types of land use.

| Uso da terra | Equação: $EC_{(Mg\ ha^{-1})} = a P_{(cm)}^b$ | | | | | |
|--------------|--|--------|----------------|---------------------------|--------|----------------|
| | Camada equivalente de solo | | | Massa equivalente de solo | | |
| | a | b | R ² | a | b | R ² |
| FN | 5,64** | 0,84** | 0,91 | 5,64** | 0,84** | 0,91 |
| PP | 3,64** | 0,93** | 0,92 | 2,55** | 1,00** | 0,92 |
| CP | 4,96** | 0,84** | 0,89 | 2,94** | 0,96** | 0,92 |
| LP | 5,47** | 0,79** | 0,86 | 3,21** | 0,90** | 0,93 |

FN: floresta natural; PP: plantio de pinus; CP: campo natural pastejado; LP: sucessão de lavoura e pastagem.

** Parâmetro da equação significativo a 1% de probabilidade.

CONCLUSÃO

Os diferentes tipos de uso da terra influenciam os teores (COT) e os estoques (EC) de carbono orgânico total do solo, os quais são maiores na condição de floresta natural (FN) em comparação ao plantio de pinus (PP), campo natural pastejado (CP) e a sucessão de lavoura e pastagem (LP), sendo os efeitos mais pronunciados até 20 cm do perfil do solo.

Os valores de COT foram, respectivamente, de 33,9; 27,1; 26,0 e 23,2 g kg⁻¹ para FN, PP, CP e LP, na média da camada de 0-40 cm. Em todas as modalidades de uso da terra os teores foram maiores na camada superficial do solo de 0-5 cm e diminuíram em profundidade.

Os EC na camada de 0-40 cm foram, respectivamente, de 121,5; 113,8; 112,4 e 100,6 Mg ha⁻¹ para

FN, PP, CP e LP, calculados com base na camada equivalente de solo, enquanto que após correção dos estoques pela massa equivalente de solo os valores foram, respectivamente, de 121,5; 102,2; 99,1 e 89,8 Mg ha⁻¹. O modelo matemático do tipo potencial ajustou-se aos dados para estimativa dos EC acumulados em função da profundidade do solo.

A adequada gestão de uso do solo, a recuperação de matas e a florestação das terras são passos importantes para permitir o sequestro de carbono no solo.

REFERÊNCIAS

- ALVARES CA et al. 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711-728.
- BARANČÍKOVÁ G et al. 2016. Effect of land use change on soil organic carbon. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)* 62: 10-18.
- BERTOL I et al. 2004. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 155-163.
- BOLDRINI II. 2009. Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias. Brasília: MMA. 240p.
- CALONEGO JC et al. 2012. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Caatinga* 25: 128-135.
- COSTA FS et al. 2008. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 323-332.
- ELLERT BH & BETTANY JR. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 529-538.
- EMBRAPA. 1997. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 212p.
- EMBRAPA. 2004. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos do estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. (CD-Rom). (Boletim 46).
- FERNANDES FA & FERNANDES AHBM. 2009. Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo. Corumbá: Embrapa Pantanal. 4p. (Comunicado Técnico, 69).
- GOL C. 2009. The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdami river catchment in Turkey. *Journal of Environmental Biology* 30: 825-830.
- HICKMANN C et al. 2012. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. *Revista Caatinga* 25: 128-136.
- KIBBLEWHITE MG et al. 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363: 685-701.
- KLUG I. 2014. Estoque e frações granulométricas do carbono em solo de altitude no Rio Grande do Sul sob diferentes vegetações. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Lages: UDESC. 80p.
- LACERDA KAP et al. 2013. Carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista de Ciências Agrárias* 56: 249-254.
- LAL R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220: 242-258.
- MAFRA AL et al. 2008. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Revista Árvore* 32: 217-224.
- MARTINS PFS et al. 1990. Efeito do desmatamento e do cultivo sobre características físicas e químicas do solo sob floresta natural na Amazônia oriental. *Revista Instituto Geológico* 11: 21-33.
- OLIVEIRA ES et al. 2015. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. *Cadernos de Ciência & Tecnologia* 32: 71-93.
- PAN Y et al. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988-993.
- PARRON LM et al. 2015. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília: Embrapa. 374p.
- PRIMIERY S et al. 2017. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. *Floresta e Ambiente* 24: 1-9.
- SANDI JTT. 2009. Estoque de carbono no solo sob diferentes coberturas vegetais. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Chapecó: UnoChapecó. 97p.
- SIMONE TE et al. 2017. Soil carbon sequestration, carbon markets, and conservation agriculture practices: a hypothetical examination in Mozambique. *International Soil and Water Conservation Research* 5: 167-179.
- SISTI CPJ et al. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 76: 39-58.
- SIX J et al. 2002. Soil carbon matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no tillage. *Agronomie* 22: 755-775.
- SOUZA ED et al. 2009. 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 de Ciência do Solo* 33: 1829-1836.
- STÜRMER SLK et al. 2011. Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo. *Ciência Florestal* 21: 241-250.
- TEDESCO MJ et al. 1995. Análise de solos, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 174p.
- WALKER SM & DESANKER PV. 2004. The impact of land use on soil carbon in Miombo Woodlands of Malawi. *Forest Ecology and Management* 203: 345-360.

- WASIGE JE et al. 2014. Contemporary land use/land cover types determine soil organic carbon stocks in south-west Rwanda. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 100: 19-33.
- ZINN YL et al. 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Tillage Research* 84: 28-40.