

ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO SEGUNDO OS COMPONENTES DA PAISAGEM

Elton Souza Oliveira¹
Adriana Reatto²
Henrique Llacer Roig³

RESUMO

O conhecimento da variabilidade e espacialização dos estoques de carbono no solo (ECS) é fundamental para a caracterização e monitoramento de uma dada área em relação à qualidade do solo, e os ECS são um dos indicadores-chave na prestação de serviços ambientais promovidos pelas boas práticas agrícolas. O entendimento dos componentes da paisagem que controlam essa variável ambiental nem sempre é consenso entre os diversos estudos já realizados. O conceito de paisagem utilizado neste trabalho refere-se à paisagem compreendida de forma integrada, representando um conjunto de elementos que estão inter-relacionados no espaço, expressos por: clima; relevo; material de origem; classes de solo; e tipos de cobertura vegetal e uso da terra. A respeito disso, as discussões e dados sobre os ECS no presente estudo permitem enriquecer essa discussão e esclarecer alguns desses questionamentos. Nesse contexto, o presente trabalho contribui com uma revisão, apresentando discussões e resultados de pesquisa que relacionam ECS com os componentes da paisagem.

Termos para indexação: matéria orgânica do solo, mudança climática, qualidade do solo, serviço ambiental, uso e cobertura da terra.

SOIL CARBON STOCKS ACCORDING TO LANDSCAPE COMPONENTS

ABSTRACT

The knowledge about the variability and spatial distribution of soil carbon stocks (SCS) is fundamental to the characterization and monitoring of a particular area in relation to its soil quality. The SCS are considered one of the key indicators in the provision of environmental services promoted by Good Agricultural Practices. Understanding the landscape components that control this environmental variable is not always a consensus among the various studies conducted. The concept of landscape used in this paper refers to the landscape understood in an

¹ Geógrafo, mestre em Geociências Aplicadas, professor visitante da Universidade Estadual de Goiás, Campus Formosa, Formosa, GO. elton.gea@gmail.com

² Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF. adriana.reatto@embrapa.br

³ Geólogo, doutor em Geociências, professor adjunto da Universidade de Brasília, Brasília, DF. roig@unb.br

integrated manner, representing a set of elements that are interrelated in space, expressed by: climate; topography; parent material; soil classes; and types of vegetation cover and land use. In this regard, the discussions and data on the SCS in the present study enrich the discussion and clarify some of these questions. In this sense, this paper provides a review, presenting discussions and research results, which relate SCS to landscape components.

Index terms: soil organic matter, climate change, soil quality, environmental services, land use and vegetation cover.

INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, a comunidade científica vem debatendo os possíveis causadores do efeito estufa. Apesar do embate entre as diversas teorias, vem se destacando a tese de que o aumento da concentração dos gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera e alterações do clima do planeta são consequência da ação antrópica (WMO, 2010). Segundo Marengo (2007), a ação do homem tem contribuído para as mudanças climáticas por meio da emissão de gases como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4). Segundo Fitzsimmons et al. (2003), as alterações no uso do solo encontram-se entre as principais fontes de emissão de carbono (C) antropogênico para a atmosfera.

Há consenso científico de que os ecossistemas terrestres apresentam importância no ciclo do C e de que o solo é tido como seu maior reservatório (SILVA; MEDONÇA, 2007). Segundo Sleutel et al. (2006), o sequestro do C no solo depende de fatores como a cobertura vegetal, práticas de manejo e classes de solo. No Brasil, possivelmente em razão da dimensão continental e grande diversidade de uso e cobertura da terra nos diferentes biomas, são poucos os dados voltados para estimativa de estoques de C, os quais serão apresentados no decorrer deste artigo nas seções: “Estoques de carbono do solo”, “O carbono orgânico e as propriedades do solo”, “O carbono orgânico e o relevo”, “O carbono orgânico e a cobertura vegetal e uso do solo” e “O carbono orgânico e as classes de solos”. Essa carência de dados deve-se à pequena quantidade de informações disponíveis sobre a quantidade de carbono orgânico (CO) nos solos sob os diversos tipos de uso nas mais diversas regiões do País (FIDALGO et al., 2007). Apesar de iniciativas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e de outras instituições de ensino e pesquisa no País para disponibilização de dados pedológicos e mapeamento relativo aos estoques de carbono orgânico no solo, as informações ainda são

preliminares e em escala muito pequena, inviabilizando sua utilização em áreas menores.

O conhecimento da variabilidade e espacialização dos estoques de C no solo é fundamental para a caracterização e monitoramento de uma dada área em relação à qualidade do solo. Os estoques de carbono no solo (ECS) são um dos indicadores-chave na prestação de serviços ambientais promovidos por boas práticas agrícolas. O conhecimento dessa variabilidade e espacialização dos estoques de C no solo é condicionado pelos componentes da paisagem expressos por: clima; relevo; classes de solo; e tipos de cobertura vegetal e uso da terra. Nesse contexto, justifica-se a necessidade da produção e disponibilização de mapas com informações sobre a regionalização e extrapolação desses estoques de C para subsidiar ações de planejamento que visem ao manejo e conservação de uma determinada área, tendo os estoques de C como um indicador da prestação de serviços ambientais relacionados à qualidade do solo. Diante do exposto, o presente trabalho contribui com uma revisão, apresentando discussões e resultados de pesquisa que relacionam estoques de C no solo com os componentes da paisagem.

ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO

Os principais compartimentos de carbono (C) na Terra são a atmosfera, os oceanos, os ecossistemas compostos pela biota (vegetação) e solo e as formações geológicas em virtude da presença do C mineral e fóssil (MACHADO, 2005). Pacheco e Helene (1990) apresentam que o total de C na Terra estaria em torno de 416 gigatoneladas (1 Gt = 1.000.000.000 t), e 0,05% estaria presente em compostos orgânicos. Segundo Machado (2005), o C presente no solo corresponde a 2.500 Gt, sendo o solo o maior compartimento desse elemento no ecossistema terrestre – excluindo-se aquele das formações geológicas profundas –, sendo dividido entre mineral e orgânico.

Os solos possuem grande importância no ciclo biogeoquímico do carbono. Esse compartimento armazena aproximadamente quatro vezes mais C do que a biomassa vegetal e mais que três vezes do que a atmosfera (WATSON, 2001).

O CO do solo é proveniente de restos animais e vegetais ou de microrganismos em forma de resíduos em vários estágios de decomposição,

materiais carbonizados e compostos humificados (ROSCOE; MACHADO, 2002). Entre os compostos orgânicos, aproximadamente um terço se encontra na matéria orgânica do solo, na biomassa viva e na água (BOINA, 2008).

Vários autores destacam que os solos são um dos importantes reservatórios de C, responsáveis por armazenar 1.300 Gt a 2.000 Gt desse elemento até 1 m de profundidade (POST et al., 1982; SOMBROEK et al., 1993; BATJES, 1996).

Apesar da existência de diversos trabalhos sobre estoque de carbono do solo (ECS), Bernoux (1998) alerta para o problema das incertezas dessas estimativas, principalmente em virtude da densidade amostral, da variação temporal dos teores de C e dos métodos utilizados para seu cálculo. A certeza é que a variação espaço-temporal dos ECS para uma determinada área é o saldo líquido entre a entrada e a saída, que é controlado por alguns condutores primários⁴ (MAHECHA et al., 2010; RESENDE et al., 2007).

Segundo Aduan (2003), os dados sobre estoques de C em áreas de Cerrado encontram-se muito fragmentados. Esse fato dificulta a correta interpretação dos ECS, fazendo com que em alguns casos sejam utilizados parâmetros produzidos em outras savanas neotropicais. Aduan (2003) ainda apresenta, em seu estudo, uma esquematização dos principais processos que influenciam os estoques e fluxos do C para a região do Cerrado brasileiro.

De acordo com Lal (1997), os processos gerais de sequestro de C nos solos ocorrem via processos de humificação, agregação e sedimentação. A humificação define-se como decomposição/transformação de detritos vegetais e animais por ação de microrganismos em húmus, um estágio mais resistente a novas ações microbianas (processo bioquímico), consequentemente gerando um acúmulo de carbono no solo (KIEHL, 1979). A agregação do solo ou estruturação do substrato edáfico – resultado do arranjo das partículas primárias do solo – é consequência dos processos de floculação e cimentação (DUKER et al., 2003), estando entre os principais responsáveis pelo sequestro de C no solo (LAL, 1997).

⁴ Os condutores primários apresentam propriedades que exercem maior controle sobre os ECS. As variações dos ECS, em uma determinada área, podem ser definidas pelo saldo líquido entre a entrada e a saída, que é controlado por esses condutores primários (RESENDE et al., 2007; MAHECHA et al., 2010). Entre os condutores primários relacionados ao teor de matéria orgânica, em regiões tropicais, destacam-se a estrutura, umidade do solo, manejo, clima e mineralogia (SCOTT et al., 1996; ZECH et al. (1997), SCHOENHOLTZ et al., 2000; TELLES et al., 2003).

Por fim, a sedimentação é o processo de acúmulo de materiais provenientes da área fonte onde o ambiente perdeu a capacidade de transporte desse material. Esses materiais podem ser provenientes de outras áreas (alóctones) ou da própria área (autóctones) (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

Segundo Paula e Valle (2007), os principais processos de perdas de C no solo seriam por lixiviação, erosão, volatilização e decomposição (aeróbia ou anaeróbia). Pulrolnik (2009) explica que a lixiviação é um processo físico de remoção de materiais solúveis pela translocação da água. A erosão, segundo Pruski (2011), consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas primárias do solo, ocasionado por fenômenos naturais, porém, pode ser intensificada pela ação humana, especialmente por causa do manejo inadequado do solo ou de características do ambiente como comprimento e declive de encostas.

Bayer e Mielniczuk (2008) consideram que estão entre os fatores abióticos ligados a retenção e/ou acúmulo de C no solo: manejo químico, clima, mecânica do solo e capacidade do solo de proteger a matéria orgânica (MO). Silva et al. (2006) destacam que compartimentos bióticos como a fauna edáfica (micro, meso e macro) são importantes reservatórios de MO do solo. Os principais processos que influenciam a dinâmica do C no solo também foram descritos por Lal (1997), em que a diminuição do C estaria ligada aos processos de erosão, decomposição, volatilização e lixiviação ocorridos no solo.

Os mais diversos estudos apresentados demonstram que muitas variáveis podem controlar os estoques de C no solo. Em escala regional, as variáveis climáticas, como temperatura e precipitação pluvial, exercem grande importância. Na esfera local, as propriedades do solo, como densidade e fertilidade natural, ganham destaque (ASSAD et al., 2013). A seguir serão apresentadas relações entre o C orgânico e alguns componentes da paisagem.

O CARBONO ORGÂNICO E AS PROPRIEDADES DO SOLO

Entre os condutores primários de controle da MO, em regiões tropicais, destacam-se a estrutura, umidade, manejo e mineralogia do solo, além do clima (SCOTT et al., 1996; ZECH et al., 1997; SCHOENHOLTZ et al., 2000; TELLES et al., 2003).

Segundo Reeves (1997), o carbono orgânico do solo (COS) configura-se como indicador-chave para determinar padrões de qualidade do solo e isso se explica pela forte correlação existente entre COS e os atributos químicos, físicos e biológicos, servindo, portanto, como um avaliador de sustentabilidade.

Tendo em vista que a MO é a principal fonte de COS, Castro Filho et al. (1998) apresentaram a importância da MO em relação aos atributos físicos do solo, a qual contribui para a melhoria da infiltração e armazenamento de água no solo, porosidade e aeração. Segundo Castro Filho et al. (2002), a agregação do solo facilita o aumento dos estoques de COS. Corado Neto et al. (2015) verificaram que existe um relação direta entre o aumento do índice de agregação e o aumento do total de carbono no solo até a profundidade de 20 cm em Neossolo Litólico eutrófico, no município de Gilbués, PI. Neves et al. (2009) constataram que o COS contribui para os processos de ciclagem da MO além de configurar-se como indicador de qualidade do solo em virtude de suas características como fonte e dreno de nutrientes do ecossistema.

Aduan (2003) observou, em diversos tipos de solos, que a argila tem uma das propriedades físicas determinantes na estabilização da MOS, e os ECS possuem correlação direta com ela – este fato demonstra a importância das argilas no controle desses estoques. Bayer et al. (2006) também constataram a influência da textura na estabilidade física da matéria orgânica, em que os ECS sobre vegetação nativa de Cerrado em solos de textura muito argilosa são superiores aos de solos de textura média – respectivamente, 54 e 35 t.ha⁻¹. Zinn et al. (2007a, 2007b), em seus estudos, reforçam que a mineralogia e a textura dos solos exercem maior influência na retenção de COS em áreas tropicais. Resck et al. (2008) apresentam que o COS define-se pelas relações existentes entre vegetação, manejo, clima e drenagem, além de propriedades intrínsecas do solo, como mineralogia, textura e estrutura. Outros estudos descreveram o controle do COS exercido pelos teores de óxidos de alumínio (Al) e de ferro (Fe) em Latossolos sob Cerrado e outros solos tropicais (BARTHÈS et al., 2008).

A relação dos estoques de C com a textura do solo é apresentada por Lal et al. (2007), que afirmam que solos mais arenosos tendem a apresentar maior perda de C. Esse fator é explicado pela maior lixiviação, menor agregação das partículas do solo e baixa atividade das argilas. Boddey et al. (2004)

destacaram que os maiores valores de ECS encontram-se nos solos de textura fina, com maior concentração de argila.

Num estudo com eucalipto de 7 anos de idade na região centro-leste de Minas Gerais, e sobre uma diversidade de classes de solos – tais como Cambissolo Háplico (CX), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Neossolo Flúvico (RU) e Plintossolo Pétrico (FF) –, Gatto et al. (2010) relataram que altitude, déficit hídrico e teores de argila e Al são as características responsáveis pelas maiores variações dos ECS até 1 m de profundidade.

Em sistemas silvipastoris com idade de pelo menos 15 anos de implantação, em condições diversificadas, tanto ecológicas (classes de solos e clima) quanto geográficas (Minas Gerais, no Brasil; Flórida, nos Estados Unidos; e regiões central e norte da Espanha), Nair et al. (2011) observaram que os estoques de C dependem da qualidade do solo e estão diretamente correlacionados com a fração mais fina (argila ou silte). Zinn et al. (2012) também relataram que os teores de COS estão relacionados aos teores de argila em dois levantamentos de solos, em duas regiões de Minas Gerais (Sul e Serra do Espinhaço Meridional), considerando-se as profundidades entre 20 e 200 cm. Rosendo e Rosa (2012) confirmam que a textura, argilosa, pode ser considerada um fator determinante para dificultar as perdas de COS.

Ferreira et al. (2011), ao avaliarem a resistência de agregados em função do COS, em dois solos (Latossolo Vermelho distrófico típico) com classes texturais diferentes (média e argilosa), em sistema plantio direto de longa duração, encontraram valores distintos de COS. Para as profundidades de 0–5 cm e 5–20 cm, os valores foram, respectivamente, de 17,4 g kg⁻¹ e 10,7 g kg⁻¹ para os LV de textura média; e 22,8 g kg⁻¹ e 17,0 g kg⁻¹ para LV de textura argilosa.

Apesar de diversos estudos apresentarem a correlação dos ECS com a argila, Saiz et al. (2012), ao estudarem as variações dos ECS, identificaram que os teores de areia foram mais determinantes que os teores de argila. Esse fator é justificado pelas características do ambiente, seco e altamente intemperizado. Apesar de a maioria dos trabalhos apresentarem que a MOS está mais associada aos teores de argila, outros trabalhos, como o de Bruun et al. (2010), apresentam que a proteção da MO do solo está associada ao tipo de argila e aos teores de Al e Fe. Zinn et al. (2007a) e Resck et al. (2008),

ao estudarem a dinâmica do COS, haviam apresentado que as argilas eram responsáveis pela estabilização dos compostos coloidais ou húmicos da MOS em virtude do processo de adsorção.

Além das propriedades do solo, fatores como condições climáticas locais, relevo, drenagem e tipo de manejo de solo adotado, entre outras variáveis, exercem variações nos ECS (LAL, 2005; SMITH, 2008). Segundo Corado Neto et al. (2015), perdas de CO podem estar associadas a condições de baixa cobertura vegetal e elevado escoamento superficial da água, estando este último associado à conformação do terreno em certa topografia.

O CARBONO ORGÂNICO E O RELEVO

Segundo Marques Júnior (2009), o relevo é um agente integrador nas mais diversas propriedades do solo na paisagem, além de ter correlação direta com o estabelecimento e a produtividade das culturas. Toledo (2009) explica que pequenas variações do relevo podem definir uma maior ou menor taxa de decomposição da MO. Segundo Manfrinato et al. (2002), existe correlação positiva entre o teor de C no solo e a elevação do terreno. A correlação aponta a influência do regime hidrológico sobre a dinâmica do CO e sua migração para áreas rebaixadas no terreno.

Essa variação do CO devida ao relevo, em associação com as variações litológicas, foi apresentada por Fontana et al. (2014). Esses autores observaram a variação dos teores de CO em três topossequências em ambientes de Mar de Morros, em Pinheiral, RJ, derivados de rocha ígnea extrusiva básica (basalto), rocha metamórfica ácida (muscovita-biotita-gnaiss) e rocha intrusiva básica (gabro). Este estudo indicou que os teores de CO variaram de acordo com a posição da paisagem, associados às diferentes litologias, na seguinte ordem de grandeza, em termos litológicos: gabro > basalto > muscovita-biotita-gnaiss. E quanto à posição na paisagem, os teores de CO aumentaram do topo em direção à várzea para os solos derivados de basalto, na sequência Nitossolo Háplico → Latossolo Vermelho-Amarelo → Gleissolo Háplico, em virtude do aumento sequencial da capacidade de troca catiônica nessa topossequência. Para as outras topossequências, os solos derivados de gabro apresentaram uma inversão do aumento dos teores de CO, isto é, decresceram do topo para a várzea; essa mesma inversão foi verificada

nos teores de CTC, e os solos derivados de muscovita-biotita-gnaiss não apresentaram associação entre o teor de CO e o relevo. Olszewski et al. (2007), ao estimarem os ECS em unidades geoambientais, aferiram que à medida que se reduzia a altitude do terreno, os estoques de C tendiam a diminuir, tendo apresentado 106 t ha⁻¹ nas áreas mais altas e 55 t ha⁻¹ nas áreas baixas. A área do estudo apresenta valores de altitude que variam de 2.790 m, em Maciço Montanhoso do Itatiaia, até 600 m, no Planalto Deprimido do Médio Baixo Rio.

Dieleman et al. (2013) estudaram o comportamento do estoque de COS por meio de 92 amostras coletadas a 1 m de profundidade em áreas com altitudes distintas, abrangendo florestas tropicais e pastos, e apresentaram que o COS variou entre 4,8 e 19,4 kg C m⁻² e aumentou 5,1 kg C m⁻² a cada 1.000 m de altitude. Essa abordagem permitiu inferir que os solos de florestas tropicais de altitude contêm um maior estoque de COS.

O CARBONO ORGÂNICO E A COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO

São diversas as fontes de CO do solo. Tratando-se de ambientes naturais, o CO é proveniente da vegetação nativa, porém, essa realidade se altera sobremaneira quando se trata de ambientes antropizados, caso das áreas de pastagens plantadas, onde o CO do solo é oriundo de resíduos da cobertura vegetal utilizada (CERRI et al., 1990).

Quando ocorrem alterações nos sistemas naturais, por causa da ação antrópica, ocorre uma alteração no sistema. Segundo Cerri et al. (2008), essa mudança afeta diretamente o equilíbrio do ambiente, fazendo com que a quantidade de CO inserida no sistema seja, comumente, menor que a de saída.

Castro Filho et al. (2002) observaram que a mudança no sistema de plantio impacta diretamente os ECS. Observou-se que a mudança do sistema de plantio convencional (SPC) para o sistema plantio direto (SPD) impacta diretamente os ECS nas profundidades de 0–20 cm; porém, quando considerada a camada de 0-40 cm, não há alteração significativa nos ECS.

Já em relação à fixação ou remoção do CO em virtude da mudança da cobertura vegetal, os estudos são contraditórios. Segundo Moraes et al. (1995),

a MOS decresce nos primeiros anos de implantação de pastagens; depois, esses valores aumentam com o tempo até atingirem níveis similares aos das áreas de referência. Em contraposição, outros autores relatam diminuição dos teores de MOS por causa da substituição de áreas naturais por pastagens (VELDKAMP, 1994; CAMARGO et al., 1999).

As mudanças ocorridas nos ECS estão relacionadas ao manejo do solo, que pode acarretar tanto acréscimos como decréscimos desse elemento. Rosset et al. (2014) apresentaram o quanto o manejo é capaz de alterar atributos químicos do solo e os estoques de carbono orgânico total (COT). No estudo realizado em área de plantio de cana-de-açúcar em Maracaju, MS, sobre um Latossolo Vermelho com textura argilosa, foi apresentado que em áreas onde a cana-de-açúcar era queimada e após a colheita, sendo realizada a aplicação de vinhaça e torta de filtro, as perdas eram menores – 44% de COT. Já em áreas onde a cana-de-açúcar era queimada, mas não ocorriam aplicações desses resíduos orgânicos, as perdas chegavam à ordem de 71% de COT.

Corazza et al. (1999) avaliaram seis sistemas de manejo: vegetação típica de Cerrado, reflorestamento de eucalipto (EU), pastagem cultivada (PA), preparo com grade pesada (GP), preparo com arado de discos (AD) e sistema plantio direto (SPD), estabelecidos por mais de 12 anos, em Planaltina, DF, sobre Latossolo Vermelho com textura argilosa e muito argilosa. Esses autores verificaram que os ECS são maiores em SPD do que nos demais. Os resultados apontaram também que os sistemas com manejo não perturbados (SPD, PA, EU) tendem a acumular COS, e os sistemas com manejo perturbados (GP e AD) tendem a perder C. Silva et al. (2004) verificaram que a substituição de pastagens naturais, no Cerrado, por outras espécies de pastagens manejadas não reduz os ECS, fator esse associado à reposição em virtude do acúmulo de material orgânico, demonstrando que a acumulação de carbono depende da produção de biomassa aérea, que é um resultado do estado de fertilidade do solo das pastagens manejadas. Carvalho et al. (2014) não detectaram diferenças significativas entre os efeitos de diferentes tipos de plantas de cobertura em sucessão com o milho e os ECS em Latossolo Vermelho sob dois tipos de manejo do solo: SPD e sistema de plantio convencional, estabelecidos durante seis anos em Planaltina, DF; porém, o SPD apresentou maiores concentrações de bases trocáveis, e maiores valores de CTC e saturação por bases na camada superficial do solo.

Outros autores apontam que a substituição da vegetação do Cerrado por atividades agropecuárias conduzem à redução dos ECS (MAIA et al., 2009; SIQUEIRA NETO et al., 2009). Fernandes et al. (1999) constataram essa redução quando substituída a vegetação nativa por pastagens. Os teores de COS na camada de 0–40 cm de profundidade, quando comparados com os teores das áreas de vegetação nativa, apresentaram menor valor. No estudo, a redução foi de 32% do COS em área de um Espodossolo Hidromórfico após a introdução de *Brachiaria decumbens* (Stapf.) Prain. Szakács (2003) avaliou as variações nos ECS em diferentes sistemas de manejo de pastagem com quatro níveis de degradação, tendo mantido as mesmas condições edafoclimáticas, como a classe de solo, Neossolo Quartzarênico, relevo suave-ondulado e clima na bacia do rio Piracicaba, em São Paulo. Os resultados mostram uma correlação positiva entre a produtividade da pastagem (determinados pelos parâmetros de índice de área foliar, taxa de crescimento da biomassa vegetal, peso da biomassa vegetal e peso radicular) e os ECS. Os ECS nos sistemas de manejo de pastagem estudados até a camada de 50 cm foram de 32; 41,6; 46,71; e 54,41 t.ha⁻¹ na sequência de níveis de degradação do pasto (do mais degradado para o menos degradado), reforçando, assim, a influência do manejo da pastagem nos ECS.

Rangel e Silva (2007) avaliaram se a substituição de ecossistemas naturais por áreas cultivadas acarreta alterações na qualidade do solo, expressa pelos ECS, em Latossolo Vermelho com textura muito argilosa, em Lavras, MG. Os resultados dos ECS, em t.ha⁻¹, na profundidade de 0–40 cm, variaram nos diferentes sistemas de uso e manejo: mata nativa (90,60), eucalipto (105,28), pinus (87,87), pastagem (94,6), milho no sistema de cultivo mínimo (86,5) e milho no sistema plantio convencional (62,44). Segundo os autores, essa variabilidade pode ser atribuída ao maior ou menor revolvimento do solo, em que os sistemas mais conservacionistas permitem a proteção física dos compostos orgânicos contra a decomposição microbiana, e a proteção química por meio da interação dos ECS com os minerais e cátions do solo, dificultando sua decomposição.

Outros estudos também evidenciam os reflexos nas alterações da qualidade do solo impostas pelos sistemas de manejo. Neves et al. (2009) avaliaram indicadores biológicos da qualidade do solo no noroeste de Minas Gerais sob Latossolo Vermelho com textura muito argilosa em diferentes usos e cobertura do solo: Cerrado nativo (CN); eucalipto + arroz (EA); eucalipto +

soja (ES); eucalipto + pastagem (EP); eucalipto + pastagem + gado de corte (EPG); pastagem plantada (PP); e eucalipto convencional (EC). Em todos os sistemas de manejo, observaram uma tendência de redução nos teores de COS com o aumento da profundidade. Quanto à variabilidade entre os sistemas, o CN apresentou maiores teores de COS na profundidade de 0–5 cm, seguido do EC; já os outros sistemas tiveram teores similares, os quais não diferiram estatisticamente, o que talvez se deva ao curto período de implantação dos sistemas, bem como ao fato de serem considerados sistemas menos estáveis e à incorporação dos resíduos orgânicos.

Nair et al. (2011) também verificaram que o histórico de uso da terra é um dos fatores preponderantes para a determinação dos ECS; o uso determina a qualidade do material que servirá de aporte para acúmulo ou perda do CO. Assad et al. (2013) constataram que as práticas de manejo adequadas podem promover aumento nos ECS.

Baldotto et al. (2015) avaliaram os ECS sob diferentes sistemas de manejo na bacia do rio Paraopeba, em Minas Gerais, com a finalidade de propor indicadores para o manejo e conservação de solo na bacia. Os estudos apontaram que o aumento dos ECS está relacionado com o aumento da fertilidade do solo e, por conseguinte, com um sistema de manejo mais sustentável. Assim, os ECS, expressos em $t \cdot ha^{-1}$, na superfície variaram na sequência: remanescentes florestais (matas nativas) – 35; integração de florestas e pecuária – eucaliptos (37) e cutieiras (35); e monocultura – agricultura sob pivô central (23) e pastagem (26).

Em virtude da estreita relação do CO com a MO, muitos desses estudos são realizados apenas nas primeiras camadas do solo. Ao analisar a mudança do plantio convencional para o plantio direto, nos mais diversos estudos, é possível verificar que os valores de acúmulo ou perda de carbono são distintos conforme os diferentes parâmetros de comparação, como apresentados na Tabela 1.

Esses trabalhos, muitas vezes, são contraditórios em relação às diferenças entre os teores de COS. Para uma mesma produção e deposição de biomassa vegetal ao solo, o teor de COS pode variar de acordo com a qualidade do material aportado e a influência de diversos fatores sobre a microbiota do solo (COSTA et al., 2009). A importância da quantidade e qualidade do material deixado na superfície do solo para repor os ECS foi apresentada por Guimarães et al. (2014), que estudaram os ECS em cultivos de frutas

Tabela 1. Acúmulo ou perda de C do solo em relação à mudança do sistema de preparo do solo (plantio convencional para plantio direto).

Local	Classe de solo	Culturas ⁽¹⁾	Camada (cm)	Tempo (anos)	Taxa de C (mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Referência
Região de Cerrado	Latossolo Vermelho	S/T	0-20	15	+0,50	Corazza et al. (1999)
	Latossolo Vermelho	S/T	0-40	15	+0,80	Corazza et al. (1999)
	Latossolo	S/P-M/P	0-20	8	+0,30	Bayer et al. (2006)
Região Sul – Subtropical	Latossolo	S/T	0-20	22	+0,31	Machado e Silva (2001)
	Latossolo	S/T	0-40	22	-0,17	Machado e Silva (2001)
	Latossolo Vermelho	S/T/M	0-40	21	0	Castro Filho et al. (2002)
	Latossolo Vermelho	S/T-S/A-M/T	0-40	22	+0,90	Sá et al. (2001)
	Cambissolo Húmico álico	M-S/T-A	0-20	8	+1,00	Bayer e Bertol (1999)
	Latossolo Vermelho	S/T	0-20	11	+0,59	Machado e Silva (2001)
	Latossolo Vermelho	S/T	0-40	11	+0,29	Machado e Silva (2001)

⁽¹⁾ A: aveia; S: soja; M: milho; T: trigo; P: pasto.

tropicais, banana e citros. Esses autores aferiram que áreas cultivadas com banana apresentaram acréscimo no COT, 14%, enquanto no cultivo de citros, foram registradas perdas de COT da ordem de 38% em relação a áreas de florestas nativas. Segundo Batlle-Bayer et al. (2010), no geral, ainda pouco se sabe sobre os efeitos da conversão das terras naturais para usos agrícola ou pastoril no que se refere aos ECS na região do Cerrado. No mesmo estudo, Batlle-Bayer et al. (2010) ainda chamam a atenção para a problemática de esses estudos serem realizados apenas na profundidade de 0–30 cm, já que o recomendado seria no mínimo até 1 m em áreas de pastagens e lavouras.

O CARBONO ORGÂNICO E AS CLASSES DE SOLOS

Ao longo do estudo, evidenciaram-se vários fatores que podem controlar e/ou alterar o COS. Entre as variáveis ambientais, as classes de solo, com

suas características intrínsecas, são capazes de explicar parte dos processos controladores do CO e os próprios ECS.

Em estudos sobre a matéria MOS na região do Oeste da Bahia, na camada superficial (0–15 cm), Silva et al. (1994) verificaram que, durante o cultivo de soja ao longo de 5 anos, os teores de MOS apresentaram um decréscimo, tendo variado em função da classe de solo. Os decréscimos foram de 80% para o Neossolo Quartzarênico, 76% para o Latossolo Vermelho-Amarelo (15% a 30% de argila) e 41% para o Latossolo Vermelho-Amarelo (argila > 30%). Esses decréscimos estão associados à textura do solo: a fração argila do solo, refletindo na sua composição mineral e CTC, exercendo grande influência na fixação da MOS.

Melo (2003) estimou os ECS no Acre, que abrangem as principais classes de solo: Argissolos, Luvisolos, Cambissolos, Latossolos e solos Hidromórficos. Os resultados apontaram que os Argissolos tenderam a perder mais CO com a mudança do uso e cobertura da terra em relação às outras classes, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Estoque de carbono (kg m^{-2}) das classes de solos encontradas no Acre, nas profundidades de 0–30 cm e 0–100 cm.

Classes de solo	C (kg m^{-2})	C (kg m^{-2})
	0–30 cm	0–100 cm
Luvissolo Crômico	4,7	7,5
Luvissolo Hipocrômico	4,4	7,1
Cambissolo Háplico Ta eutrófico	3,7	5,9
Cambissolo Háplico Ta distrófico	3,4	6,9
Cambissolo Háplico Tb distrófico	4,7	6,4
Argissolo Vermelho distrófico	3,6	6,8
Argissolo Amarelo distrófico	3,5	5,8
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	3,0	6,1
Gleissolo Háplico Ta eutrófico	3,2	6,3
Gleissolo Háplico Ta distrófico	5,0	7,4
Latossolo Vermelho distrófico	3,3	5,9
Latossolo Amarelo distrófico	5,0	7,4

Fonte: adaptado de Melo (2003).

Ao analisarem perdas de solo, água, nutrientes e CO em Cambissolo Háplico com textura argilosa (CX) e Latossolo Vermelho com textura muito argilosa (LV) sob chuva natural, Silva et al. (2005) demonstraram que o COS varia, sob efeito de chuvas, de acordo com as características intrínsecas de cada classe de solo, na ordem de 205,65 Mg ha⁻¹ em áreas de CX e 14,90 Mg g kgha⁻¹ em áreas de LV. Esses valores díspares entre essas classes de solos no COS podem estar relacionados com o componente mineralógico, em que o LV apresentou mineralogia gibbsítica, tendo permitido maior permeabilidade e menores perdas de solo, e, por outro lado, o CX, mais caulínítico, apresentou baixa permeabilidade, o que justificou maiores valores de perdas de solo.

Avaliações das propriedades do solo em microbacias na Amazônia Meridional foram realizadas por Chig et al. (2008), e estes observaram que os COS das classes de solos estudadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas nas microbacias. Os teores máximos observados de COS em suas respectivas classes de solos presentes nas microbacias estão expressos nas profundidades 0–20 cm e 40–60 cm: Argissolo Amarelo distrófico plíntico (8,59 e 45,00 g kg⁻¹); Plintossolo Pétrico concrecionário distrófico típico (11,05 e 49,80 g.kg⁻¹); Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (12,96 e 49,00 g kg⁻¹); e Latossolo Vermelho distrófico típico (12,65 e 47,00 g kg⁻¹). Essas semelhanças nos teores de COS entre as principais classes de solos nas microbacias da Amazônia Meridional evidenciam a influência exercida pelos fatores de origem – solos oriundos de mesmo material de origem, as rochas do Complexo Xingu de idade pré-cambriana –, bem como pelos fatores biológicos: solos sob o mesmo tipo de vegetação, a Floresta Ombrófila Densa de formação submontana. São vários os estudos sobre os ECS, porém, nem sempre associam o COS aos diversos atributos dos solos que o influenciam. Contudo, é possível verificar, por meio dos dados apresentados, que existe uma variação dos ECS em função das classes de solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, a compreensão e mensuração dos processos que controlam o fluxo e armazenamento de COS requer o entendimento dos fatores primários e secundários que controlam essa variável ambiental.

Entretanto, esse entendimento não é consenso entre os diversos estudos publicados. As discussões e dados sobre os ECS no presente estudo permitem enriquecer essa discussão e esclarecer alguns questionamentos.

Finalizando, conclui-se que, apesar do volume de informações aqui apresentadas, ainda existe uma demanda por estudos sobre os ECS e por aferir qual ou quais fatores melhor controlam e se correlacionam com essa variável ambiental.

Os conhecimentos sobre a variabilidade espacial e temporal de ECS, até o presente momento, ainda são escassos, e muitos deles estão restritos às parcelas experimentais, isto é, a informação é muito pontual, restringindo a utilização do dado apenas localmente, não permitindo sua extrapolação e espacialização para uma determinada área específica. Existe uma carência de dados de ECS correlacionados com os componentes da paisagem, tais como: classes de solos, propriedades do solo (textura, por exemplo), relevo, cobertura vegetal e uso da terra. E outra preocupação para se utilizar esse dado como indicador de qualidade de solo é a necessidade de uniformização e padronização metodológica de campo e de análise para que os dados possam ser comparados e extrapolados.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres**: o caso do Cerrado brasileiro. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 105).
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, p. 6141-6160, 2013.
- BODDEY, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. S. **Sequestro de carbono em solos sob sistemas agropecuários produtivos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 4 p. Boletim técnico.
- BARTHÈS, B. G.; KOUAKOUA, E.; LARRÉ-LARROUY, M. -C.; RAZAFIMBELO, T. M.; DE LUCA, E. F.; AZONTONDE, A.; NEVES, C. S. V. J.; FREITAS, P. L. de; FELLER, C. L. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. **Geoderma**, v. 143, n. 1-2, p. 14-25, Jan. 2008.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 687-694, jul./set. 1999.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, Apr. 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 2, p. 7-18.

BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, n. 1-2, p. 47-58, Apr. 2010.

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, n. 2, p. 151-163, Jun. 1996.

BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. de O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 301-309, maio/jun. 2015.

BERNOUX, M. **Conteúdo de carbono dos solos da Amazônia ocidental e mudanças decorrentes da conversão da floresta em pastagens**. 1998. 98 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BRUUN, T. B.; ELBERLING, B.; CHRISTENSEN, B. T. Lability of soil organic carbon in tropical soils with different clay minerals. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 6, p. 888-895, Jun. 2010.

CAMARGO, P. B. de; TRUMBORE, S. E.; MARTINELLI, L. A.; DAVIDSON, E. A.; NEPSTAD, D. C.; VICTORIA, R. L. Soil carbon dynamics in regrowing forest of eastern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 5, n. 6, p. 693-702, Aug. 1999.

CARVALHO, A. M. de; MARCHÃO, R. L.; SOUZA, K. W.; BUSTAMANTE, M. M. da C. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 914-921, 2014.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. de F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 65, n. 1, p. 45-51, Apr. 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função

de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CERRI, C. C.; EDUARDO, B. P.; PICCOLO, M. C. Use of stable isotopes in soil organic matter studies. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE USE OF STABLE ISOTOPES IN PLANT NUTRITION, SOIL FERTILITY AND ENVIRONMENTAL STUDIES, 1990, Vienna. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1990. p. 247-259.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 325-358.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. dos S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 715-722, dez. 2008.

CORADO NETO, F. da C.; SAMPAIO, F. de M. T.; VELOSO, M. E. da C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 8, n. 1, p. 75-83, jan./mar. 2015.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. da; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1137-1145, 2009.

DIELEMAN, W. I. J.; VENTER, M.; RAMACHANDRA, A.; KROCKENBERGER, A. K.; BIRD, M. I. Soil carbon stocks vary predictably with altitude in tropical forests: Implications for soil carbon storage. **Geoderma**, v. 204-205, p. 59-67, Aug. 2013.

DUIKER, S. W.; ROTHON, F. E.; TORRENT, J.; SMECK, N. E.; LAL, R. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 606-611, 2003.

FERNANDES, F. A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, A. H. B. M. Alterações na matéria orgânica de um Podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 10, p. 1943-1951, out. 1999.

FERREIRA, A. de O.; SÁ, J. C. de M.; GIAROLA, N. F. B.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BAVOSO, M. A.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q. Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campo Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 437-445, 2011.

FIDALGO, E. C. C.; BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; COELHO, M. R.; MOURA, I. B.; LIMA, C. X. **Estoques de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 27 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 121).

FITZSIMMONS, M. J.; PENNOCK, D. J.; THORPE, J. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. **Forest Ecology and Management**, v.188, n. 1-3, p. 349-361, Feb. 2003.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; SANTOS, A. C. dos; BERNINI, T. A. Matéria orgânica de horizontes superficiais em topolitossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 221-229, abr./jun. 2014.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. da; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. de A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1069-1079, 2010.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; MELO NETO, J. de O. Management of soil organic matter and carbon storage in tropical fruit crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 301-306, mar. 2014.

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

LAL, R. Carbon management in agricultural soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, n. 2, p. 303-322, Feb. 2007.

LAL, R. Soil processes and greenhouse effect. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 199-212. (Advances in Soil Science, 9).

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, v. 220, p. 242-258, 2005.

MAHECHA, M. D.; REICHSTEIN, M.; CARVALHAIS, N.; LASSLOP, G.; LANGE, H.; SENEVIRATNE, S. I.; VARGAS, R.; AMMANN, C.; ARAIN, M. A.; CESCATTI, A.; JANSSENS, I. A.; MIGLIAVACCA, M.; MONTAGNANI, L.; RICHARDSON, A. D. Global convergence in the temperature sensitivity of respiration at ecosystem level. **Science**, v. 329, n. 5993, p. 838-840, Aug. 2010.

MACHADO, P. L. O. de A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, n. 1, p. 119-130, Sept. 2001.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 328-334, mar./abr. 2005.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v. 149, n. 1-2, p. 84-91, Feb. 2009.

MARQUES JÚNIOR, J. **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. 2009. 113 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MANFRINATO, W.; PICCOLO, M. de C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P. Monitoring carbon stocks in soil of a forest-pasture chronosequence and determining its origin with isotope technology in Guaraqueçaba (PR), Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST CARBON SEQUESTRATION AND MONITORING, 2002, Taipei. Proceedings... Taipei: Taiwan Forest Research Institute, Nov. 2002. p. 142-153.

MELO, A. W. F. de. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MORAES, J. L.; CERRI, C. C.; MELILLO, J. M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; STEUDLER, P. A.; SKOLE, D. L. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 1, p. 244-247, 1995.

MARENCO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista MultiCiência**, v. 8, p. 5-28, 2007.

NAIR, P. K. R.; TONUCCI, R. G.; GARCIA, R.; NAIR, V. D. Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado). In: KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. (Ed.). **Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges**. Dordrecht: Springer, 2011. p. 145-162. (Advances in Agroforestry, 8).

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. de S.; D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 105-112, jan./fev. 2009.

CORADO NETO, F. da C.; SAMPAIO, F. de M. T.; VELOSO, M. E. da C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 1, p. 75-83, jan./mar. 2015.

OLSZEWSKI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M. da; FERNANDES FILHO, E. I. Estimativa do estoque de carbono em unidades geoambientais da bacia hidrográfica do Rio Preto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 2, p. 56-64, 2007.

PACHECO, M. R. P. dos S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 9, p. 204-220, maio/ago. 1990.

PAULA, T. A.; VALLE, C. M. Quantificação do estoque de carbono no solo e a mitigação da mudança climática. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., 2007, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Cefet-PB, 2007.

POST, W. M.; EMANUEL, W. R.; ZINKE, P. J.; STANGENBERGER, A. G. Soil carbon pools and world life zones. **Nature**, v. 298, p. 156-159, jul. 1982.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 36 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 264).

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2011. Cap. 1.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, nov./dez. 2007.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 43, n. 1-2, p. 131-167, nov. 1997.

RESENDE, M.; CURTI, N.; RESENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5. ed. Lavras: Ed. da Ufla, 2007. 322 p.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 21, p. 359-417.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 359-376, maio/ago. 2012.

ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANÁZIO, R. A. R. Atributos químicos, estoques de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2351-2366, 2014.

SÁ, J. C. de M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SAIZ, G.; BIRD, M. I.; DOMINGUES, T.; SCHRODT, F.; SCHWARZ, M.; FELDPAUSCH, T. R.; VEENENDAAL, E.; DJAGBLETEY, G.; HIEN, F.; COMPAORE, H.; DIALLO, A.;

- LLOYD, J. Variation in soil carbon stocks and their determinants across a precipitation gradient in West Africa. **Global Change Biology**, v. 18, n. 5, p. 1670-1683, May 2012.
- SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1-3, p. 335-356, 2000.
- SCOTT, N. A.; COLE, C. V.; ELLIOTT, E. T.; HUFFMAN, S. A. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 4, p. 1102-1109, 1996.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C. da; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.
- SILVA, J. E. da; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do Oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 541-547, 1994.
- SILVA, J. E. da; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage under cultivated pastures in a clayey Oxisol in the Cerrado Region, Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 103, n. 2, p. 357-363, Jul. 2004.
- SILVA, A. M. da; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. de; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005.
- SILVA, R. F. da; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 697-704, abr. 2006.
- SILVA, I. R.; MEDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-375.
- SLEUTEL, S.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G. Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. **Soil Use and Management**, v. 19, n. 2, p. 166-171, 2006.
- SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 81, n. 2, p. 169-178, Jun. 2008.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1990. 183 p.
- SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 22, n. 7, p. 417-426, 1993.

SZAKÁCS, G. G. J. **Sequestro de carbono nos solos**: avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens. 2003. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TELLES, E. de C. C.; CAMARGO, P. B. de; MARTINELLI, L. A.; TRUMBORE, S. E.; COSTA, E. S. da; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA JR., R. C. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 17, n. 2, article ID 1040, 2003.

TOLEDO, J. J. de. **Influência do solo e topografia sobre a mortalidade de árvores e decomposição de madeira em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. 2009. 85 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 1, p. 175-180, 1994.

WATSON, R. T. (Ed.). **Climate change 2001**: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 408 p.

WMO. World Meteorological Organization. WMO statement on the status of the global climate in 2009. Geneva, 2010. 13 p. WMO-No. 1055.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; BIGHAM, J. M.; RESCK, D. V. S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: soil structure. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1215-1224, 2007a.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; BIGHAM, J. M.; RESCK, D. V. S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1204-1214, 2007b.

ZINN, Y. L.; GUERRA, A. R.; SILVA, A. C.; MARQUES, J. J.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N. Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões Sul e Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais: modelagem em profundidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1395-1406, out./nov. 2012.

Trabalho recebido em 15 de junho de 2015 e aceito em 30 de outubro de 2015.

