

DEGRADAÇÃO DO SOLO PELA CONVERSÃO DO CERRADO EM
PASTAGEM NATURAL NA BACIA DO RIBEIRÃO BOM JARDIM
(TRIÂNGULO MINEIRO / MG)

*SOIL DEGRADATION BY CONVERSION OF SAVANNA ON NATURAL
PASTURE IN THE BASIN OF RIBEIRÃO BOM JARDIM (TRIÂNGULO
MINEIRO / MG)*

*DEGRADACIÓN DEL SUELO POR CONVERSIÓN DE SABANA EN
PASTOS NATURALES DE LA CUENCA DEL RIBEIRAO BOM JARDIM
(TRIÂNGULO MINEIRO / MG)*

Thalita Mendes Resende

Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Av. João naves de Ávila 2121 – Uberlândia – MG – CEP 38400.299
E-mail: thalitamresende@yahoo.com.br

Vania Rosolen

Profa. Dra. do Instituto de Geografia
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
E-mail: vrosolen@ig.ufu.br

Resumo

A rápida degradação do solo sob exploração agropecuária no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola. No Brasil, as áreas originalmente recobertas com vegetação de Cerrado (savanas) vêm sendo desmatadas e substituídas por sistemas agropecuários. As mudanças no uso da terra deste bioma podem induzir alterações no teor de carbono nos solos, de acordo com os tipos de uso e práticas de manejo. Este trabalho objetiva avaliar o teor e a origem do carbono orgânico do solo em uma área de Cerrado nativo após a conversão da vegetação em área de pastagem, visando apresentar o nível de degradação do solo em relação à atividade, ao manejo e ao tempo de uso do mesmo. A pesquisa foi desenvolvida na Bacia do Ribeirão Bom Jardim, situada entre as porções sul do município de Uberlândia e norte do município de Uberaba, estado de Minas Gerais. Os resultados das análises de carbono total (%C) e carbono isotópico ($\delta^{13}\text{C}$), representativas dessas duas categorias de uso – remanescente de cerrado arbóreo e pastagem degradada –, revelaram maior empobrecimento no teor de carbono nas áreas sob pastagem degradada.

Palavras Chave: Uso do solo; Cerrado brasileiro; Pastagem degradada; Teor de Carbono orgânico.

Abstract

The rapid degradation of soil under agricultural exploitation in the world, especially in tropical developing countries, has raised in recent decades, in concerning to soil quality and sustainability of the farming. In Brazil, the areas originally covered with Cerrado vegetation (savanna) have been deforested and replaced by agriculture and grazing. Changes in land use of this biome can induce modifications in soil carbon content, according to the types of uses and management practices. This study evaluates the content and origin of soil organic matter in an area of native savanna vegetation after conversion to pasture, to test the level of soil degradation in relation to the activity, the management and use of the same. The research was conducted in Ribeirão Bom Jardim Basin, located between the portions south of the city of Uberlândia and north of the city of Uberaba, Minas Gerais state. The results of analysis of total carbon (%C) and carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$), representing these two categories of use - remnant of Wooded Cerrado and degraded pasture -, showed a greater impoverishment in carbon content in degraded pasture areas.

Keywords: Land use; Brazilian Cerrado; degraded pasture; organic carbon content.

Resumen

La rápida degradación de los suelos en explotación agrícola en el mundo, especialmente en países tropicales en desarrollo, ha aumentado en las últimas décadas, la preocupación por la calidad del suelo y la sostenibilidad de la agricultura. En Brasil, las áreas originalmente cubiertas de vegetación del Cerrado (sabana) han sido deforestadas y sustituida por la agricultura y el pastoreo. Cambios en los usos de este bioma pueden provocar cambios en el contenido de carbono en los suelos, de acuerdo con los tipos de usos y prácticas de gestión. Este estudio evalúa el contenido y el origen del carbono orgánico del suelo en una zona de vegetación de sabana nativa después de la conversión a pastizales, para mostrar el nivel de degradación del suelo en relación con la actividad, el tiempo de manejo y uso mismo. La investigación se llevó a cabo en Ribeirão Bom Jardim Cuenca, situada entre las porciones sur de la ciudad de Uberlândia y el norte de la ciudad de Uberaba, Minas Gerais. Los resultados de los análisis de carbono total (% C) y de isótopos de carbono (^{13}C), en representación de estas dos categorías de uso - remanente de los pastos leñosos cerrado y degradado -, mostraron un mayor empobrecimiento en el contenido de carbono en las áreas de pastizales degradados.

Palabras clave: Uso de la tierra; Cerrado brasileño; Pastura degradada; Carbono orgánico contenido.

Introdução

A rápida degradação do solo sob exploração agropecuária no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (LAL & PIRCE, 1991). A qualidade do solo pode ser definida por sua capacidade em

manter a produtividade microbiológica, a vida vegetal e animal saudáveis (DORAN & PARKIN, 1994). Para monitorar a qualidade do solo, Larson & Pirce (1994) propuseram um conjunto mínimo de variáveis químicas, físicas e biológicas que são capazes de detectar as alterações da qualidade do solo em função do manejo, sendo o carbono orgânico total (COT) ou matéria orgânica do solo (MOS) uma destas variáveis.

O teor de matéria orgânica (MO) no solo é muito sensível às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais, onde nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da MO previamente acumulada pode ser perdida por diversos processos, como a decomposição microbiana e a erosão (ANDREUX, 1996). A temperatura elevada e as condições de umidade dos trópicos aceleram os processos bioquímicos do solo e, quando associados a sistemas convencionais de preparo do solo – que diminuem a proteção física da MO (CONCEIÇÃO, 2006), determinam taxas de mineralização maiores em relação às taxas de adição de resíduos orgânicos, diminuindo, portanto, o estoque de MO e, por fim, contribuindo para a emissão de CO₂ à atmosfera. Inicia-se, assim, um processo de degradação física, química e biológica do solo, com redução da produtividade e aumento da erosão, que retroalimentam o processo de degradação (MIELNICZUK, 1988).

Sabe-se que os solos são importantes reservatórios de carbono e armazenam, aproximadamente, 1.500 Gt C, ou seja, cerca de duas vezes o estoque da atmosfera e três vezes a quantidade estocada na biomassa terrestre (CERRI et al., 2007). Particularmente, os solos do Cerrado brasileiro estocam, aproximadamente, entre 4 e 5 Kg C m⁻², apresentando áreas cujos estoques diminuem e variam entre 1,5 e 4 kg C m⁻² (BERNOUX et al., 2002). Mudanças no uso do solo e no manejo podem induzir à diminuição do estoque de carbono e um aumento da quantidade dos gases do efeito estufa na atmosfera. No Brasil, 75% do CO₂ vêm da agricultura e da mudança do uso da terra, sendo a variação dos teores de carbono do solo uma função do uso (CERRI et al., 2007). Em síntese, mudança do uso da terra no país, devido à agricultura, representa mais de dois terços do total das emissões nacionais (CERRI et al., 2007).

Naturalmente, o solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio. O sistema atinge um estado estável quando as taxas de adição e perdas se equivalem (ADDISCOT, 1992). Portanto, a adição de matéria orgânica ocorre via adição de carbono pela síntese de compostos orgânicos no processo de fotossíntese.

A incorporação de carbono em determinadas condições edafoclimáticas depende das espécies e dos cultivos utilizados; enquanto que as perdas de carbono ocorrem principalmente pela liberação de CO₂ na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e da matéria orgânica do solo e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão. A magnitude desses processos depende direta ou indiretamente do manejo do solo. O homem, através da perturbação do sistema estável (solo + cobertura vegetal) normalmente causa mais perdas do que ganhos de carbono, implicando a redução do seu teor ao longo do tempo e a degradação da qualidade do solo (DORAN, 1997). A degradação do solo é definida em Siqueira et al. (1994) como o “declínio da qualidade e da capacidade produtiva do solo causada pelo mau uso do mesmo pelo homem”. A degradação ocorre quando a vegetação nativa e fauna são destruídas, a camada fértil do solo é perdida, removida ou enterrada e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico são alterados, causando profundas mudanças no ecossistema, e o tornando inviável à exploração sócio-econômica e ambiental (IBAMA, 1990). Dentre os principais processos causadores da degradação do solo, tem-se a perda da matéria orgânica.

Em termos de abrangência geográfica, a área global ocupada pelos solos degradados representa cerca de 2 bilhões de hectares. As interferências nos ecossistemas tornaram-se muito intensas, causando a degradação de grandes extensões de terra que, juntamente com o crescimento populacional, resultam em redução da área cultivada per capita. Estima-se que, atualmente, cerca de 40% da área com potencial de uso agrícola encontra-se com algum nível de degradação. Ao mesmo tempo, os fatores que atuam na degradação do solo tendem a se agravarem, pois, para se atender as demandas do crescimento populacional, há a necessidade de se triplicar a produção de alimentos até 2050 (em comparação àquela de 2000). Isto poderá aumentar de 2 a 3 vezes os impactos ambientais, em conseqüência deste aumento na produção agrícola (TILMAN et. al., 2001).

Os sistemas agropecuários têm avançado sobre as áreas do Cerrado Brasileiro, causando grande destruição de habitat e grande impacto na biodiversidade, o que pode contribuir para a degradação do solo. A área recoberta originalmente com vegetação de Cerrado no Brasil ocupava cerca de 2 milhões de Km². No entanto, principalmente após a década de 1970 – período da modernização da agricultura, expansão da fronteira

agrícola e do agronegócio (BALBINO et al., 2002; BROSSARD & LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 2005), imensas áreas de vegetação original vêm sendo desmatadas e substituídas por monoculturas de grãos (soja e milho), algodão, cana de açúcar e pastagens. Estima-se que 50% do Cerrado é terra potencialmente arável e que dois terços poderiam ser incorporadas na agricultura / pecuária / produção florestal (LOPES, 1996). Desse modo, o Cerrado tem sido visto como uma região apropriada para a agricultura mecanizada, em função, principalmente, de sua localização (ao longo de um platô), do potencial de terras aráveis disponíveis para utilização, e dos avanços tecnológicos no solo e manejo da cultura (LOPES, 1996). As políticas governamentais, programas de incentivo e criação do Centro Nacional de Investigação Agrícola (EMBRAPA) também têm incentivado a expansão agropecuária na região. Sano et al. (2000), utilizando dados do censo de 1995-1996 e de um Sistema Informações Geográficas (SIG), estimaram que 20% do Cerrado brasileiro estão sob pastagens cultivadas. Segundo Barcellos (1996), 80% da área total de pastagens cultivadas estão degradadas.

Diante disso, esta pesquisa objetiva avaliar mudanças no teor do carbono orgânico do solo, utilizando técnicas para determinação do teor (%C) e origem ($\delta^{13}\text{C}$) do carbono, após aproximadamente 30 anos de histórico de conversão da vegetação de Cerrado em áreas de pastagem degradada, na Bacia do Ribeirão Bom Jardim / MG, visando avaliar o potencial de degradação do solo em relação à atividade, ao manejo e ao tempo de uso do mesmo. A área de estudo, situada entre os municípios de Uberlândia e Uberaba – Minas Gerais, não é uma exceção quando se analisa a conversão da vegetação natural de Cerrado em sistemas agropecuários. Desde a década de 1970, a vegetação original do Cerrado, na qual recobria toda a bacia, vem sendo substituída por extensas áreas de monoculturas (milho, soja, cana etc.), pastagens e reflorestamento (BRITO, 2001).

O tema tem relevância científica e prática, tendo em vista a escassez de estudos nesta bacia acerca da relação entre mudanças no uso da terra e a potencialidade de estoque de carbono, e a necessidade de produção agropecuária em conformidade com as preocupações ambientais, de forma a elevar o aproveitamento das terras já destinadas à agricultura, assim como promover a preservação das áreas de remanescentes da vegetação nativa e a conservação dos solos e das águas.

Localização da área de pesquisa

As áreas de coleta de solo localizam-se na Bacia do Ribeirão Bom Jardim, situada entre as porções Sul do município de Uberlândia e Norte do município de Uberaba, estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 18°58'00" - 19°20'30" de latitude Sul, e 48°04'00" - 48°18'00" de longitude Oeste (Figura 1). Os municípios de Uberlândia e Uberaba estão inseridos na Região do Triângulo Mineiro, originalmente recoberta pela vegetação de Cerrado. No entanto, desde a década de 1970 esta região está sendo fortemente desmatada por ser uma área pioneira de expansão do agronegócio.

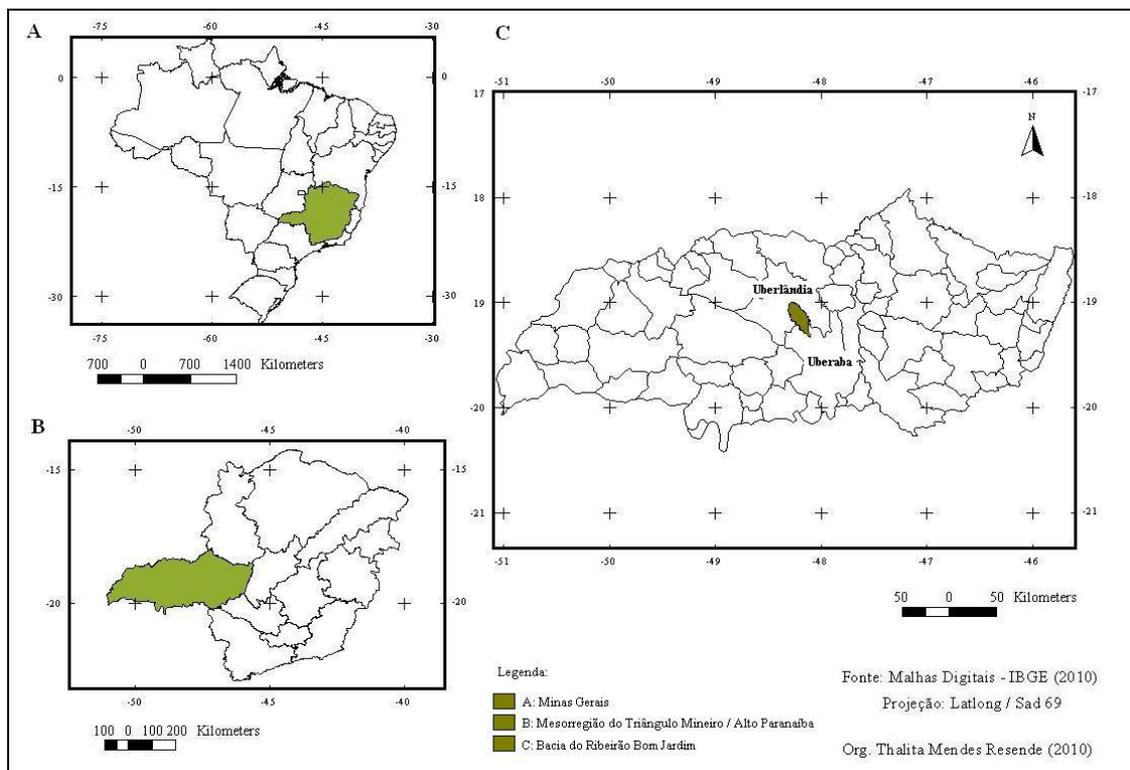


Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Ribeirão Bom Jardim / MG

O clima da região é o tropical, caracterizado pela alternância de estações úmidas e secas, por influência sazonal de massas de ar. As condições climáticas predominantes na área de estudo são bastante semelhantes às encontradas no Brasil Central, isto é, Tropical, com duas estações bem definidas: uma seca, com longo período de estiagem

(março a outubro), e a outra chuvosa (novembro a fevereiro) (FELTRAN FILHO, 1997). A precipitação atmosférica média anual dessa região gira em torno de 1.550 milímetros, sendo que os meses mais chuvosos são dezembro e janeiro, representando cerca de 41% deste volume. Os meses menos chuvosos são junho e julho (ROSA et al., 1991). A temperatura média anual é de 22°C, sendo que os meses mais quentes são fevereiro (23,5°C), outubro e novembro (23,4°C); enquanto os meses mais frios são junho e julho (18,8°C) (ROSA et al., 1991). Os solos tropicais lateríticos, representados por Latossolos, Neossolos Quartzarênicos e Argissolos, recobrem aproximadamente 75% do bioma Cerrado (REATTO et al., 2008).

Metodologia

Coleta das amostras de solo

A partir da análise do uso atual da Bacia do Ribeirão Bom Jardim, foram coletadas 12 amostras, distribuídas em 6 pontos de amostragem. Desse total, 3 pontos de coleta referem-se a uma área remanescente de Cerrado denso – Ponto 1 (coordenadas UTM 791.320 E / 7.889.989 N) (Figuras 2 e 3); e os outros 3 pontos tratam-se de uma pastagem natural degradada com gramínea do Cerrado – Ponto 2 (coordenadas UTM 799.739 E / 7.873.718 N) (Figuras 4 e 5).



Figuras 2 e 3: Ponto de Coleta 1 – Fragmento de vegetação natural (Cerradão preservado)



Figuras 4 e 5: Ponto de Coleta 2 – Área de pastagem degradada

Em cada uso e/ou ponto estabelecido de amostragem, foram abertas trincheiras e coletadas amostras em duas profundidades, entre 0 e 10 cm e entre 20 e 30 cm. As profundidades escolhidas devem-se ao fato de que os maiores teores de carbono orgânico encontram-se estocados na superfície do solo, camadas estas onde o desflorestamento e perda por mineralização se refletirá de forma mais rápida e a

Em cada profundidade foram coletadas 3 amostras, o que corresponde a 6 amostras em cada categoria de uso. As amostras foram secas, inicialmente em condições ambientais de laboratório e, posteriormente, colocadas em estufa com temperatura de 30°C, até atingir peso constante. Em seguida, as amostras foram destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2 mm para obter a fração terra fina.

As duas áreas de amostragem – Cerrado e Pastagem Degradada, apresentam solos similares, isto é, Latossolos. São solos fortemente lixiviados, dessaturados, ácidos (pH entre 4,0-5,5), alta concentração de alumínio trocável e constituído com argila de baixa atividade (LAC). Sua composição mineralógica comum associa caolinita, gibbsita, hematita e goethita e quartzo residual (MACEDO & BRYANT, 1987), sendo que os teores variam de acordo com a litologia e posição topográfica (VOLKOFF, 1985).

Análises em laboratório

Após a coleta das amostras de solo, realizou-se a análise granulométrica, segundo o método de peneiramento e pipetagem, em frações padronizadas por Atteberg (areia, silte e argila), proposto no Manual de Métodos de Análise de solo (EMBRAPA,

1997). Este método baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo.

Para determinação do carbono orgânico total (%C) e da natureza do carbono ($\delta^{13}\text{C}$), as amostras de solo foram secas a 50°C , até atingirem o peso constante. Raiz e outros resíduos vegetais foram removidos por catação e peneiramento. Além disso, qualquer material vegetal remanescente foi removido por flutuante em HCl 0,01 M e, posteriormente, peneiramento em 210 μm . O carbono isótopo ($\delta^{13}\text{C}$) e o carbono orgânico total (%C) foram determinados usando um *Carlo Erba Analyser* CHN-1110 (fabricação italiana), anexado a um espectrômetro de massa *Optima Thermo Finnigan, Plus Delta* (fabricação alemã). As análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP). As incertezas analíticas variaram em média 0,3-0,5 ‰. Os teores de carbono orgânico total são expressos em percentagem de solo seco (%C) e do carbono isotópico em $\delta^{13}\text{C}\%$.

Resultados e Discussões

Composição granulométrica dos solos

No solo recoberto por Cerrado (ponto 1), o teor médio de areia grossa é de 44,6% nas profundidades de 0-10 cm e de 43,86% de 20-30 cm. Já os teores de areia fina mostram um crescimento à medida que se aumenta a profundidade (média de 24,91% de 0-10 cm e 26,91% de 20-30 cm). O teor de argila possui média de 28,31% de 0-10 cm e 27,56% de 20-30 cm.

Em solos ocupados com pastagem degradada (ponto 2), o teor médio de areia grossa é de 44,81% entre 0-10 cm e de 49,2% entre 20-30 cm. Comparando com o solo do Cerrado, houve aumento dos teores de areia fina, com média de 38,38% entre 0-10 cm e de 34,11% entre 20-30 cm. Os teores médios de argila encontrados foram de 14,13% nas profundidades de 0-10 cm e de 16,9% entre 20-30 cm.

Portanto, percebe-se que o manejo pode ter causado uma nítida redução nos teores de argila, que conseqüentemente, pode afetar a capacidade de estoque de carbono. Solos que sob a vegetação original do Cerrado são compostos por uma média

de 28% de argila, apresentaram teor médio de 15% na pastagem degradada (Tabela 1).

Os solos do Cerrado são extremamente frágeis e um dos maiores problemas ambientais está relacionado à erosão superficial ou em sulcos. Geralmente, os Latossolos do Cerrado possuem microestrutura muito estável; porém, a macroestrutura é frágil e pouco desenvolvida e, quando convertidos em sistemas de pastagem sem manejo adequado, a degradação é rapidamente verificada, visto que solos expostos são altamente susceptíveis a perder argila no horizonte superficial em função da erosão laminar, resultando na perda da fertilidade física e química (BALBINO et al., 2002).

Tabela 1: Análise Granulométrica das amostras de solo

Ponto	Identificação (Uso Atual)	Prof.* (cm)	Granulometria			
			Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
C-1-1	Cerrado	0-10	43,81	24,47	3,00	28,72
C-1-2	Cerrado	20-30	42,15	27,41	2,12	28,32
C-2-1	Cerrado	0-10	40,18	27,06	1,52	31,24
C-2-2	Cerrado	20-30	45,70	27,38	2,56	24,36
C-3-1	Cerrado	0-10	49,81	24,07	1,16	24,96
C-3-2	Cerrado	20-30	43,74	24,46	1,80	30,00
Média	Cerrado	0-10	44,60	25,20	1,89	28,31
Média	Cerrado	20-30	43,86	26,42	2,16	27,56
PD-1-1	Pastagem Degradada	0-10	43,75	41,45	1,12	13,68
PD-1-2	Pastagem Degradada	20-30	48,37	34,47	0,80	16,36
PD-2-1	Pastagem Degradada	0-10	44,76	40,76	0,32	14,16
PD-2-2	Pastagem Degradada	20-30	50,84	32,44	1,88	14,84
PD-3-1	Pastagem Degradada	0-10	45,93	39,35	0,16	14,56
PD-3-2	Pastagem Degradada	20-30	48,38	33,04	1,50	17,08
Média	Pastagem Degradada	0-10	44,81	40,52	0,53	14,13
Média	Pastagem Degradada	20-30	49,19	33,32	1,39	16,09

*Profundidade.

Determinação do teor (%C) e origem ($\delta^{13}C$) da M.O.S.

No solo sob vegetação original de cerrado arbóreo, nas profundidades entre 0-10 cm, foram determinados os teores de carbono (%C) de 1,5 a 2% (média de 1,75%; SD de 0,26), e nas profundidades entre 20-30 cm, teores de 0,77 a 0,92% (média de 0,86%; SD de 0,08). Enquanto que, no solo recoberto com pastagem degradada, houve nitidamente um empobrecimento de C, tanto em superfície quanto em subsuperfície

(63,43% e 50%, respectivamente). Nas profundidades de 0-10 cm, o teor de C variou de 0,61 a 0,66% (média de 0,64%; SD de 0,03) e, entre 20-30 cm, o teor de C variou de 0,41 a 0,45% (média de 0,43%; SD de 0,02) (Tabela 2).

Tabela 2: Determinações do Teor (%C) e Origem ($\delta^{13}\text{C}$) do Carbono Orgânico do Solo

Ponto	Identificação (Uso Atual)	Prof.** (cm)	Teor e origem do Carbono	
			C total (g/100g)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
C-1-1	Cerrado	0-10	1,74	-26,08
C-1-2	Cerrado	20-30	0,92	-25,04
C-2-1	Cerrado	0-10	2,01	-26,18
C-2-2	Cerrado	20-30	0,90	-24,84
C-3-1	Cerrado	0-10	1,50	-26,33
C-3-2	Cerrado	20-30	0,77	-24,44
Média	Cerrado	0-10	1,75	-26,20
SD*			0,26	0,13
Média	Cerrado	20-30	0,86	-24,77
SD*			0,08	0,31
PD-1-1	Pastagem Degradada	0-10	0,63	-13,93
PD-1-2	Pastagem Degradada	20-30	0,45	-14,62
PD-2-1	Pastagem Degradada	0-10	0,61	-13,96
PD-2-2	Pastagem Degradada	20-30	0,41	-14,38
PD-3-1	Pastagem Degradada	0-10	0,66	-14,57
PD-3-2	Pastagem Degradada	20-30	0,44	-13,50
Média	Pastagem Degradada	0-10	0,64	-14,15
SD*			0,03	0,36
Média	Pastagem Degradada	20-30	0,43	-14,17
SD*			0,02	0,59

* Desvio Padrão; ** Profundidade.

Considerando a relação uso do solo e perda de C, determinou-se as menores taxas de concentração de carbono em solo sob pastagem degradada nas duas profundidades analisadas. As pastagens naturais do bioma cerrado, formadas após o corte e queima da vegetação original, é de baixa qualidade e quantidade, e não cobre toda a superfície do solo. Segundo Barcellos (1996), mesmo sob pastagens cultivadas, aproximadamente 80% da área total são degradadas. Nestas regiões, os contrastes climáticos sazonais, com chuvas concentradas de verão e forte insolação e dessecação,

tornam os solos expostos altamente susceptíveis, resultando em aumento dos processos erosivos e perda da fertilidade física e química, que refletirão diretamente nos teores de C (BROSSARD & LÓPES-HERNÁNDES, 2005).

Assim, além do manejo não adequado, a textura novamente reflete no resultado do C. O solo de pastagem degradada possui elevados teores de areias grossa e fina (83% nos horizontes superficial e subsuperficial), o qual, em conjunto com o não desenvolvimento da macroestrutura, favorecem na diminuição da taxa de C. Nos solos lateríticos, constituídos por argila de atividade baixa, a relação carbono e argila é determinante para aumentar o teor da M.O.S., sendo que esta relação, quando favorecida, equaliza os teores obtidos em solos cultivados com aqueles de vegetação nativa (FELLER et al., 1991). Parte da M.O.S. está protegida nos macroagregados, 10% em solos cultivados e 19% em solos não cultivados, segundo Beare et al. (1994), possuindo, desta forma, capacidade de proteção contra biodegradação. Esta capacidade aumenta com o aumento de argila e ausência de cultivo, assim como com a frequência na qual os agregados são susceptíveis de serem destruídos *in situ* pelo cultivo, ou ainda em relação à sua intrínseca estabilidade em água (BALESDENT et al., 2000). Quando os solos do Cerrado são convertidos em sistemas agrícolas sem manejo adequado, a degradação macroestrutural é rapidamente verificada, pois são originalmente frágeis e pouco desenvolvidos (BALBINO et al., 2002). Mineralogia e textura estão relacionadas aos gradientes de teor de MOS (FELLER & BEARE, 1997) e respondem pela conservação do C e pelo fracionamento isotópico.

Na área de estudo, o empobrecimento de C nos primeiros 30 cm do solo parece refletir o que Balesdent et al., (2000) denominaram como as três maiores ações que comandam a dinâmica da M.O.S.: mudanças microclimáticas do solo, incorporação da M.O.S. na matriz do solo e periódica quebra da estruturas pedológicas. Desta forma, nesta área de pastagem degradada, a estabilização da M.O.S. fica comprometida pelo tipo de solo e pela susceptibilidade as condições sazonais.

Em relação à origem do carbono, o enriquecimento ou empobrecimento no solo está acompanhado de mudanças da assinatura isotópica ($\delta^{13}\text{C}$). Na área de estudo, a história vegetativa é bem conhecida e, desta forma, as mudanças na assinatura $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica originada de diferentes tipos de vegetação (C_3 e C_4) foram usadas para descrever a perda do C da vegetação nativa e a acumulação de C derivado da nova

vegetação, de acordo com o proposto por Cerri et al. (1985) e Feller & Beare (1997). A vegetação do Cerrado brasileiro é composta predominantemente por espécies arbóreas C_3 e gramíneas C_4 . Na área de estudo, a M.O.S. da área recoberta por Cerrado apresentou $\delta^{13}C$ entre -26,08 e -26,33‰ na profundidade entre 0-10 cm (média de -26,20‰, SD de 0,13) e entre -24,44 e -25,04‰ entre 20-30 cm (média de -24,77‰, SD de 0,31). Os valores obtidos estão de acordo com aqueles determinados para as espécies arbóreas típicas do Cerrado, com assinatura isotópica de -27,76‰, que localmente podem coexistir com espécies arbóreas da floresta sempre verde, que possui assinatura isotópica de -28,44‰ (HOFFMANN et al., 2005). O $\delta^{13}C$ da matéria orgânica dos solos atualmente usados com pastagem degradada diferem daqueles determinados sob Cerrado e indicam clara tendência de alteração da decomposição e incorporação da MOS nas áreas convertidas. Observou-se uma mudança nítida de incorporação de plantas C_4 originadas da gramínea forrageira *Brachiaria* spp. Os solos convertidos em pastagem degradada apresentaram $\delta^{13}C$ entre -13,50 e -14,62‰ (média de -14,15‰ entre 0-10 cm e de 14,17‰ entre 20-30 cm de profundidade). Os resultados indicam que a conversão do uso do solo, originalmente recoberto com Cerrado arbóreo para sistemas de pastagem degradada, provocou modificações relacionadas ao decréscimo do teor e a substituição do carbono do Cerrado arbóreo pelo carbono das gramíneas.

Considerações Finais

Áreas sob vegetação natural geralmente acumulam Carbono Orgânico no Solo (COS), enquanto o desmatamento causa profundas alterações no fluxo e transformações deste carbono, com ruptura do ciclo dos elementos e fluxo hídrico no solo, podendo levar à degradação. O desmatamento, além de aumentar o estoque de C da atmosfera, interrompe a deposição de material orgânico e aumenta a decomposição da M.O.S. estocada no solo, resultando em grande emissão de C e outros gases. Portanto, como foi demonstrado nos resultados apresentados, mudanças no uso da terra podem causar perdas do estoque de COS que, em sua grande maioria, se perde para a atmosfera. Podem também ocorrer reduções de 60 a 75% do estoque original de MOS em poucos anos de atividade agropecuária (LAL, 2004).

Mesmo que, num primeiro momento, o teor de carbono no solo não seja importante para a produtividade das culturas, será significativo na melhoria da qualidade do solo em relação à preservação do ambiente, pela retenção de cátions (CTC), agregação, resistência à erosão, infiltração e retenção de água e retirada de CO₂ da atmosfera (LAL, 1997). A melhoria desses atributos trás efeitos significativos sobre a produtividade das culturas, reduzindo os custos de produção e de descontaminação ambiental. A sustentabilidade de um sistema agrícola dificilmente poderá ser acessada pelo acompanhamento de um único atributo (SYERS et al., 1995). Porém, o declínio do teor de matéria orgânica no solo indica algum erro no sistema de manejo adotado: baixa fertilidade, baixa produção de resíduos, excesso de revolvimento, erosão acelerada, etc. A persistência no erro inevitavelmente conduzirá o sistema agrícola a uma condição insustentável sob o ponto de vista econômico e ambiental.

Sistemas de produção agropecuária sustentáveis têm que ser capazes de, pelo menos, manter o teor de M.O.S., do contrário a exploração levará à degradação do solo. Devido à conversão dos ecossistemas naturais em sistemas agropecuários, e à degradação dos solos causada por processos erosivos, os solos do mundo todo vem perdendo de 55 a 90Pg de C (LAL, 2006). A M.O.S. influencia as diversas funções do solo este corresponde a um dos maiores reservatórios do ciclo global. Na área de estudo, as áreas que originalmente eram recobertas com a vegetação original de Cerrado foram substituídas por pastagens sem técnicas de manejo, resultando numa diminuição do teor de C e na substituição do C da M.O.S. de espécies C₃ do Cerrado em C de gramíneas C₄ quando comparadas com o solo de remanescente de Cerrado arbóreo. Além do manejo, textura e mineralogia dos solos parecem ter influenciado a dinâmica do C.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de mestrado e a FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo financiamento do projeto de Pesquisa (SHA-APQ-02901-09).

Referências Bibliográficas

ADDISCOT, T. M. Entropy and sustainability. *European Journal of Soil Science*, Dordrecht, v. 46, p. 161-168, 1992.

ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (Ed.) *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.

BALBINO, L. C.; BROSSARD, M.; LEPRUN, J. C.; BRUAND, A. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques: une étude bibliographique. *Étude et gestion des sols*, v. 9, p. 83-104, 2002.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, B. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, v. 53, p. 215-230, 2000.

BARCELLOS, A. O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção pecuária bovina de corte nos cerrados. In: PEREIRA, R. C.; NASSER, L. C. B. (Eds.). SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. Agosto, 1996, Brasília. *Anais...* Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.130–136.

BEARE, M. H.; CABRERA, M. L.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional-tillage and no-tillage soils. *Soil Science Society American Journal*, v. 58, p. 787-795, 1994.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society American Journal*, v. 66, p. 88-896, 2002.

BRITO, J. L. S. *Adequação das potencialidades do uso da terra na Bacia do ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG): Ensaio de Geoprocessamento*. 2001. 184p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BROSSARD, M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Des indicateurs d'évolution du milieu et des sols pour rendre durable l'usage des savanes d'Amérique du Sud. *Natures Sciences Sociétés*, v. 13, p. 266-278, 2005.

CERRI, C.; FELLER, C.; BALESDENT, J.; VICTORIA, R.; PLENECASSEGNE, A. Application du traçage isotopique naturel en ¹³C, à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. *C.R. Acad. Sci. Paris*, v. 11, n. 9, p. 423-428, 1985.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Sci. Agri.*, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

CONCEIÇÃO, P. C. *Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do Sul do Brasil*. 2006. 138f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. *CD Room...* Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 3-21.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v. 79, p. 69-116, 1997.

FELLER, C.; FRITSCH, E.; POSS, R.; VALENTIN, C. Effects de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). *Cah. ORSTOM, sér. Pédologie*, v. 26, p. 25-36, 1991.

FELTRAN FILHO, A. *A estruturação das paisagens nas chapadas do Oeste Mineiro*. 1997. 251p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C.; MOREIRA, M. Z.; HARIDASAN, M. Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. *Functional Ecology*, v. 19, p. 932-940, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação*. Brasília, 1990. 96p.

LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Eds) *Soil management for sustainability*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p.1-5, 1991.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ – enrichment. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.43, p. 81-107, 1997.

_____. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, v.123, p.1-22, 2004.

_____. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation and Development*, v.17, p.197-209, 2006.

LARSON, W. E.; PIRCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et. al. (Eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: ASA/SSSA, p. 37-51, 1994.

LOPES, A. S. Soils under Cerrado: a success story in soil management. *Better Crops Int.*, v.10, p. 9-15, 1996.

MACEDO J.; BRYANT R. B. Morphology, Mineralogy, and Genesis of a hydrosequence of Oxisols in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 51, p. 690-698, 1987.

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas à produtividade, conservação e recuperação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Rio de Janeiro, *CDRom...* Rio de Janeiro: SBCS, 1988.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. D; RIBEIRO, J. F. (Eds.), *Cerrado – Ecologia e Flora*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p.107-133, 2008.

ROSA, R., LIMA, S. C.; ASSUNÇÃO, W. L. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia-MG. *Sociedade & Natureza*, v. 3, n. 5 e 6, p. 91-108, 1991.

SANO, E. E.; CHAVES, J. M.; BEZERRA, H. S.; FEITOZA, L. Identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado a partir de Sensoriamento Remoto. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: Soil Functioning under Pastures in Intertropical Areas, 2000, Brasília. *Anais...* Brasília: Embrapa Cerrados - IRD, 2000.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. *Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental*. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142p.

SYERS, J. K.; HAMBLIN, A.; PUSHPARAJAH, E. Indicators and thresholds for the evaluation of sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.75, p.423-428, 1995.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B. et. al. Forecasting agriculturally driven Global Environmental change. *Science*, v. 292, p. 281-284, 2001.

VOLKOFF, B. Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations. *Cah. Orstom, sér. Pédologie*, v.XXI, p. 225-236, 1985.

Recebido para publicação em outubro de 2010

Aprovado para publicação em março de 2011